

喹草酮与辛酰溴苯腈复配应用于小麦田的除草效果及对小麦的安全性

高兴祥¹ 安传信² 李 美^{1*} 李 健¹ 张悦丽¹ 房 锋¹

(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. 新泰市小协镇农业综合服务中心, 山东 新泰 271200)

摘要: 为明确新型除草剂喹草酮应用于小麦田的除草效果及对小麦的安全性, 在温室内采用共毒系数法对喹草酮与辛酰溴苯腈联合作用进行测定, 并验证喹草酮与辛酰溴苯腈两者混用以及与双氟磺草胺三者混用时对小麦田杂草的防效, 以及对小麦的安全性。温室试验结果表明, 喹草酮对阿拉伯婆婆纳 *Veronica persica* 防效优, 试验剂量下全部死亡, 对播娘蒿 *Descurainia sophia* 和麦家公 *Lithospermum arvense* 的 GR_{50} 分别为 12.67 g (a.i.)/ hm^2 和 152.99 g (a.i.)/ hm^2 ; 辛酰溴苯腈对播娘蒿和麦家公防效优, 其 GR_{50} 分别为 26.22 g (a.i.)/ hm^2 和 13.36 g (a.i.)/ hm^2 , 对阿拉伯婆婆纳防效略差, GR_{50} 为 85.12 g (a.i.)/ hm^2 。喹草酮与辛酰溴苯腈按有效成分用量 1:1~1:2.5 配比时, 阿拉伯婆婆纳全部死亡, 对播娘蒿的共毒系数在 140.34~202.77 之间, 呈明显增效作用, 对麦家公的共毒系数达 700.00 以上, 也呈明显增效作用。田间试验结果表明, 喹草酮对阿拉伯婆婆纳防效高, 而对猪殃殃 *Galium aparine* 和播娘蒿略差; 辛酰溴苯腈作用速度快, 但后期部分杂草返青, 喹草酮与辛酰溴苯腈复配后优势互补, 对小麦田阔叶杂草阿拉伯婆婆纳、猪殃殃和播娘蒿防效均优, 鲜重防效在 88.54%~93.83% 之间, 且杂草死亡速度快, 在 2 种药剂基础上加入双氟磺草胺后, 鲜重防效在 96.12% 以上。喹草酮单剂或与辛酰溴苯腈、双氟磺草胺的混配处理不影响小麦的正常生长。

关键词: 喹草酮; 辛酰溴苯腈; 双氟磺草胺; 除草效果; 小麦田

Evaluate quinotrione and bromoxynil octanoate for weed control in wheat field

Gao Xingxiang¹ An Chuanxin² Li Mei^{1*} Li Jian¹ Zhang Yueli¹ Fang Feng¹

(1. Shandong Key Laboratory of Plant Virology, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China; 2. Xiaoxie Town of Xintai City Agricultural Comprehensive Service Center, Xintai 271200, Shandong Province, China)

Abstract: In order to evaluate the weed control effect and wheat safety of the new herbicide quinotrione for weed control in wheat field, the combined action of quinotrione and bromoxynil octanoate was determined with co-toxicity coefficient (CTC) method in the greenhouse, and the efficacy of the mixture of quinotrione, bromoxynil octanoate and florasulam on weeds in wheat field and the safety of wheat were verified. The results of greenhouse experiment showed that the efficacy of quinotrione was excellent on *Veronica persica*, and killed all of the weeds under the experimental dose. The efficacy of quinotrione on *Descurainia sophia* was higher than that on *Lithospermum arvense* with a GR_{50} 12.67 g (a.i.)/ hm^2 and 152.99 g (a.i.)/ hm^2 , respectively while the GR_{50} of bromoxynil octanoate was 26.22, 13.36, and 85.12 g (a.i.)/ hm^2 on *D. sophia*, *L. arvense* and *V. persica*, respectively. When quinotri-

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200102), 山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2018E04)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: limei9909@163.com

收稿日期: 2020-03-26

one and bromoxynil octanoate were mixed in a ratio of 1:1–1:2.5, all of the *V. persica* weeds died. The co-toxicity coefficient of quinotrione+bromoxynil octanoate on *D. sophia* were between 140.34 and 202.77, and more than 700 on *L. arvense*, showing obvious synergistic effect. The results of field experiment showed that quinotrione was highly effective on *V. persica*, but less effective on *Galium aparine* and *D. sophia*, the bromoxynil octanoate had a quick effect, but some weeds revived in the later period. The efficacy of quinotrione+bromoxynil octanoate was excellent with an 88.54%~93.83% control on the fresh weight, and the action speed was fast. The fresh weight control efficacy was over 96.12% when it was mixed with florasulam. No influence on the wheat growth was detected when quinotrione was used alone or mixed with bromoxynil octanoate and florasulam.

Key words: quinotrione; bromoxynil octanoate; florasulam; weed control effect; wheat field

小麦田杂草群落复杂多样,一直是制约小麦产量和品质的重要因素(高兴祥等,2018)。黄淮海地区是我国最大的小麦产区,各个区域优势杂草均各有特点,据资料报道山东省小麦田杂草有65种,其中优势杂草有播娘蒿 *Descurainia sophia*、荠菜 *Capsella bursa-pastoris*、雀麦 *Bromus japonicus* 等10种(高兴祥等,2014a),河南省则以猪殃殃 *Galium aparine*、荠菜、播娘蒿和野燕麦 *Avena fatua* 为主(高兴祥等,2016),此外,阿拉伯婆婆纳 *Veronica persica* 等恶性杂草也在局部区域发生严重(高兴祥等,2014a)。目前小麦田杂草防除还主要以化学除草剂防治为主,高兴祥等(2014b)和王恒智等(2019)研究表明,阔叶杂草已经对2,4-滴丁酯和苯磺隆的抗性越来越重,现在双氟磺草胺是防除阔叶杂草的主要药剂(侯珍等,2012),市场上用于防除阔叶杂草的除草剂产品多是该药剂与啶草酮、氯氟吡氧乙酸或2甲4氯等除草剂的混配制剂(李美等,2013;2016a),鲜有新的除草剂在小麦田苗后使用。双氟磺草胺与苯磺隆一样,也属于乙酰乳酸合成酶(acetolactate synthase, ALS)抑制剂类除草剂,易使杂草产生抗药性,随着双氟磺草胺大面积、长时间的应用,有些区域猪殃殃等杂草对其已产生抗性(马鹏生,2014),并且有些区域恶性杂草阿拉伯婆婆纳等对其敏感性低,亟需探索新型除草剂。

啶草酮是一种对羟苯基丙酮酸双氧化酶(hydroxyphenylpyruvate dioxygenase, HPPD)抑制剂类除草剂,该类除草剂与ALS抑制剂类除草剂最大的不同就是不易使杂草产生抗药性(柏亚罗,2019)。该药剂由华中师范大学和山东先达农化股份有限公司共同开发,通过抑制杂草体内HPPD活性来影响杂草体内的光合作用,进而导致杂草出现白化而死亡, Lin et al. (2019)和冯义志等(2019)认为啶草酮对高粱安全且对高粱田的一年生杂草均有很好的防

除效果,目前正在进行啶草酮在高粱田的应用登记;还有关于啶草酮残留量检测以及复配制剂色谱测定等的报道(陈飞等,2019;王二琼等,2019)。在前期试验中,笔者发现小麦田的杂草阿拉伯婆婆纳、麦瓶草对啶草酮高度敏感,但作用速度慢;辛酰溴苯腈是一种广谱性的选择性苗后茎叶处理触杀型除草剂,作用速度快,对小麦、玉米等禾本科作物具有很高的选择性,被广泛应用于防除麦田、玉米等作物田中的阔叶杂草(封云涛等,2015),啶草酮与辛酰溴苯腈复配存在优势互补的可能性。目前,有啶草酮与莠去津复配应用于高粱田的研究报道(高兴祥等,2020),但关于啶草酮以及啶草酮与辛酰溴苯腈复配在小麦田的应用未见报道。

本研究采用共毒系数法(李美等,2016b)对啶草酮与辛酰溴苯腈2种药剂的联合作用类型进行测定,并将两者与小麦田应用最广的除草剂双氟磺草胺混配,测定3种药剂混配在小麦田中对阔叶杂草的防除效果以及对小麦的安全性进行评价,以期丰富小麦田除草剂及大面积推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试杂草:阿拉伯婆婆纳、播娘蒿、麦家公 *Lithospermum arvense* 三种阔叶杂草种子于2017年5月采自山东省济南市济阳县小麦田。

供试药剂及仪器:95%啶草酮(quinotrione)原药、10%啶草酮悬浮剂、97%辛酰溴苯腈(bromoxynil octanoate)原药、25%辛酰溴苯腈乳油、50 g/L 双氟磺草胺(florasulam)悬浮剂,山东先达农化股份有限公司;N,N-二甲基甲酰胺,南京杉湖化学有限公司。ASS-4自动控制喷洒系统,北京农业信息技术研究中心;没得比超绿16型背负式喷雾器,深圳市卫华有害生物防治有限公司。

1.2 方法

1.2.1 啶草酮与辛酰溴苯腈复配的联合作用类型

试验于2017年10月在山东省农业科学院植物保护研究所玻璃温室内进行,自然光照,暖气供热,温度在15~20℃之间。将阔叶杂草阿拉伯婆婆纳、播娘蒿、麦家公种子分别播于直径为9 cm的塑料盆中,每盆播种10粒,覆土1~2 mm,放入搪瓷盘中,采用底部渗灌方式浇水,等水渗到土表后,移入玻璃温室内培养。待杂草长至4叶期时进行施药,施药时称取啶草酮1.05 g、辛酰溴苯腈1.03 g原药,分别加入N,N-二甲基甲酰胺2 mL至完全溶解,用0.1%吐温-80水溶液稀释至100 mL,即1%母液备用。

本试验设置3个药剂处理,包括啶草酮单剂处理、辛酰溴苯腈单剂处理以及啶草酮与辛酰溴苯腈复配处理。啶草酮单剂处理剂量为9.375、18.75、37.5、75、150 g (a.i.)/hm²,辛酰溴苯腈单剂处理剂量为25、50、100、200、400 g (a.i.)/hm²,啶草酮与辛酰溴苯腈复配的有效成分用量配比为1:0.5、1:1、1:1.5、1:2、1:2.5,每组配比剂量为25、50、100、200、400 g (a.i.)/hm²。使用ASS-4自动控制喷洒系统,用水量450 L/hm²,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,每种药剂每剂量均重复4次。以不施药处理作空白对照。

施药后3 d,观察并记录各处理杂草受害症状,比较单剂与复配处理的速效性关系;施药后20 d,称量各处理杂草地上部分鲜重,计算鲜重防效,鲜重防效=(空白对照处理杂草鲜重-药剂处理杂草鲜重)/空白对照处理杂草鲜重×100%;用DPS 7.05软件求毒力回归方程、相关系数、GR₅₀值,利用毒力指数、混剂的共毒系数(co-toxicity coefficient, CTC)判断两者复配的联合作用类型(李美等,2013;2016b)。将任一种药剂定为标准药剂,另外一种药剂就为被测药剂,毒力指数=标准药剂的GR₅₀/被测药剂的GR₅₀×100;混剂共毒系数=(混剂的毒力指数实测值/混剂的毒力指数理论值)×100,其中混剂的毒力指数理论值=药剂A的毒力指数×药剂A在混剂中的比例+药剂B的毒力指数×药剂B在混剂中的比例。联合作用类型判定标准:共毒系数<80为拮抗作用,80≤共毒系数≤120时为加成作用,共毒系数>120时为增效作用。

1.2.2 啶草酮与辛酰溴苯腈复配田间试验效果测定

2017—2018年在山东省菏泽市曹县大集镇毛庄村小麦田进行杂草防效试验,小麦品种为济麦22号。施药时间分别为2017年11月15日和2018年11月20日。田间试验设10个处理:(1)90 g (a.i.)/hm²啶草

酮+225 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈;(2)120 g (a.i.)/hm²啶草酮+300 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈;(3)120 g (a.i.)/hm²啶草酮+300 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈+9 g (a.i.)/hm²双氟磺草胺;(4)150 g (a.i.)/hm²啶草酮+375 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈;(5)150 g (a.i.)/hm²啶草酮+375 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈+9 g (a.i.)/hm²双氟磺草胺;(6)150 g (a.i.)/hm²啶草酮;(7)450 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈;(8)9 g (a.i.)/hm²双氟磺草胺;(9)人工除草处理,人工除草处理时间为施药当天、施药后30 d和120 d共3次,将处理区杂草人工拔除;(10)不施药处理作空白对照。每个处理重复4次,每小区畦宽3.3 m,面积大小为宽3.3 m×长6.1 m,各小区随机排列,共计40个小区。选择阔叶杂草分布均匀且没有禾本科杂草的小麦田块,采用绝对值(数测)调查法于施药后30 d和冬后返青拔节期各调查1次,在每个小区随机取4点,每点调查面积为长0.5×宽0.5 m,共计调查1 m²,记录阔叶杂草种类和数量,计算株防效。在冬后返青拔节期调查株数时拔取调查点内阔叶杂草并测定鲜重,计算鲜重防效。杂草总株防效=(空白对照处理杂草株数-药剂处理杂草株数)/空白对照处理杂草株数×100%。

1.2.3 啶草酮与辛酰溴苯腈复配对小麦的安全性测定

调查杂草的同时于施药后30 d和冬后返青拔节期,观察各处理小麦叶色、叶片等有无药害症状并详细记录。小麦收获时,对各试验药剂处理小区进行小麦实收进行测产,明确试验药剂对小麦的安全性。

1.3 数据分析

试验数据采用WPS 2016、SPSS 13.0软件进行统计分析,采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 啶草酮与辛酰溴苯腈复配的联合作用测定

2.1.1 对阿拉伯婆婆纳的联合作用类型

施药后3 d,辛酰溴苯腈作用速度快,阿拉伯婆婆纳外叶干枯,但心叶未死;啶草酮作用速度慢,阿拉伯婆婆纳症状不明显;啶草酮与辛酰溴苯腈2种药剂复配后,杂草表现症状同辛酰溴苯腈单用时的症状。

施药后20 d,啶草酮单用及与辛酰溴苯腈复配处理的阿拉伯婆婆纳全部死亡,无法求得2种药剂复配的联合作用类型,表明阿拉伯婆婆纳对啶草酮高度敏感。辛酰溴苯腈单用对阿拉伯婆婆纳效果一般,GR₅₀为85.12 g (a.i.)/hm²。

2.1.2 对播娘蒿的联合作用类型

施药后 3 d, 啶草酮对播娘蒿防除效果不明显; 辛酰溴苯腈对播娘蒿作用速度快, 大部分播娘蒿外叶干枯, 部分已死亡; 啶草酮与辛酰溴苯腈 2 种药剂复配后播娘蒿干枯严重, 且干枯程度与辛酰溴苯腈的剂量正相关。

施药后 20 d, 啶草酮与辛酰溴苯腈单用时, 对播娘蒿的GR₅₀分别为 12.67 g (a.i.)/hm²和 26.22 g (a.i.)/hm², 啶草酮与辛酰溴苯腈按不同比例混配后 GR₅₀在 12.65~17.33 g (a.i.)/hm²之间, 配比 1:1~1:2.5 时的共毒系数为 140.34~202.77, 均明显大于 120, 属于增效作用; 1:0.5 配比时的共毒系数为 107.67, 属于加成作用(表 1)。

表 1 啶草酮与辛酰溴苯腈复配对播娘蒿放入联合作用类型

Table 1 The combined action mode of quinotrione+ bromoxynil octanoate in *Descurainia sophia*

药剂 Herbicide	毒力回归方程 Regression equation	相关系数 <i>r</i> Coefficient	GR ₅₀ / (g (a.i.)/hm ²)	共毒系数 Co-toxicity coefficient
啶草酮 Quinotrione	$y=2.938+1.870x$	0.973	12.67	—
辛酰溴苯腈 Bromoxynil octanoate	$y=1.451+2.502x$	0.971	26.22	—
啶草酮+辛酰溴苯腈 1:0.5	$y=2.974+1.839x$	0.947	12.65	107.67
Quinotrione+bromoxynil 1:1.0	$y=2.482+2.242x$	0.928	13.27	144.25
octanoate	1:1.5 $y=1.995+2.745x$	0.842	12.44	202.77
	1:2.0 $y=1.774+2.604x$	0.838	17.33	140.34
	1:2.5 $y=1.564+2.811x$	0.843	16.69	160.93

2.1.3 对麦家公的联合作用类型

施药后 3 d, 啶草酮作用速度快, 对麦家公和对播娘蒿一样, 症状不明显; 辛酰溴苯腈作用速度快, 麦家公外叶干枯, 部分死亡; 啶草酮与辛酰溴苯腈 2 种药剂复配后麦家公干枯严重, 辛酰溴苯腈含量越高, 干枯越严重。

施药后 20 d, 辛酰溴苯腈对麦家公的毒力高, 其 GR₅₀ 为 13.36 g (a.i.)/hm², 啶草酮毒力较低, 为 152.99 g (a.i.)/hm²。两者复配后效果优, 其中配比为 1:1.5~1:2.5 时麦家公全部死亡, 配比 1:0.5 和 1:1.0 时的共毒系数分别达 734.71 和 797.51, 远远大于 120, 属于增效作用(表 2)。

表 2 啶草酮与辛酰溴苯腈复配对麦家公的联合作用类型

Table 2 The combined action mode of quinotrione and bromoxynil octanoate on *Lithospermum arvense*

药剂 Herbicide	毒力回归方程 Regression equation	相关系数 <i>r</i> Coefficient	GR ₅₀ / g (a.i.)/hm ²	共毒系数 Co-toxicity coefficient
啶草酮 Quinotrione	$y=1.255+1.714x$	0.986	152.99	—
辛酰溴苯腈 Bromoxynil octanoate	$y=3.525+1.310x$	0.888	13.36	—
啶草酮+辛酰溴苯腈 1:0.5	$y=4.146+1.333x$	0.913	4.37	734.71
Quinotrione+bromoxynil 1:1.0	$y=0.771+3.819x$	0.845	12.81	797.51
octanoate	1:1.5 —	—	—	—
	1:2.0 —	—	—	—
	1:2.5 —	—	—	—

—表示在试验剂量下对麦家公防效 100%。— in the table indicates good efficacy, and the fresh weight control efficacy is 100% under the test dose.

2.2 啶草酮与辛酰溴苯腈混用对杂草田间防效

2.2.1 2017—2018 年的田间防效

2017—2018 年度, 试验田杂草为阿拉伯婆婆纳和播娘蒿。施药后 30 d, 含有辛酰溴苯腈的处理作用速度快, 杂草干枯明显, 部分死亡, 其中啶草酮+辛酰溴苯腈+双氟磺草胺复配高剂量处理的防效最好, 阔叶杂草总株防效为 93.22%, 与其他药剂处理效果差异显著, 其他含有辛酰溴苯腈的处理也有较好的防效, 杂草总株防效在 78.22%~88.32% 之间; 不含辛酰溴苯腈的处理作用速度慢, 啶草酮单剂处理和双氟磺草胺单剂处理杂草总株防效最低, 分别为

57.64% 和 32.53%(表 3)。

冬后小麦拔节期调查结果显示, 辛酰溴苯腈单剂处理区部分杂草返青, 防效下降, 而啶草酮和双氟磺草胺单剂处理防效提高。啶草酮与辛酰溴苯腈复配处理或两者与双氟磺草胺的三者复配处理对阔叶杂草的防效最好, 杂草总株防效在 90.22%~96.32% 之间, 鲜重防效在 92.21%~96.52% 之间, 与啶草酮、辛酰溴苯腈、双氟磺草胺单用处理时的防效(总株防效分别为 84.81%、83.43% 和 80.52%, 鲜重防效分别为 89.21%、75.43% 和 83.22%) 差异显著。其中杂草防效最优的是啶草酮、辛酰溴苯腈与双氟磺草胺三者复配处理, 杂

草总株防效为94.22%和96.32%,鲜重防效为96.12%和96.52%,与其他药剂处理之间差异显著(表3)。

表3 2017—2018啶草酮与辛酰溴苯腈复配应用于小麦田的除草防效

Table 3 Efficacy of quinotrione+bromoxynil octanoate on weeds in the wheat in 2017—2018

调查时间 Time	药剂处理 Herbicide	株防效 Plant control effect/%		总株防效 Total plant control effect/%	鲜重防效 Fresh weight control effect/%
		阿拉伯婆婆纳 <i>Veronica persica</i>	播娘蒿 <i>Descurainia sophia</i>		
药后30 d 30 days after treatment	1	77.62±2.33 c	79.62±2.81 c	78.22±2.14 c	—
	2	77.23±3.24 c	79.89±1.63 c	78.86±1.63 c	—
	3	90.24±1.62 a	86.22±2.16 b	82.31±2.23 c	—
	4	83.08±4.23 b	71.56±3.10 d	79.43±3.12 c	—
	5	94.07±2.21 a	95.21±1.12 a	93.22±1.62 a	—
	6	63.21±1.93 d	43.82±3.51 e	57.64±1.91 e	—
	7	85.52±2.22 b	94.23±2.83 a	88.32±3.24 b	—
	8	25.83±1.14 e	47.82±3.21 e	32.53±1.52 f	—
小麦拔节期 Jointing stage of wheat	1	96.14±1.62 a	83.21±1.63 b	90.22±2.23 b	92.21±2.11 b
	2	94.23±0.93 a	86.43±3.45 b	91.14±1.91 b	93.23±2.45 b
	3	97.11±2.42 a	90.34±0.91 a	94.22±2.82 a	96.12±1.14 a
	4	96.20±1.14 a	87.93±2.21 b	91.23±1.83 b	93.83±1.53 b
	5	98.32±0.63 a	92.62±1.22 a	96.32±3.11 a	96.52±1.41 a
	6	95.21±2.52 a	72.51±2.81 c	84.81±2.22 c	89.21±3.12 c
	7	70.38±3.12 b	92.44±0.62 a	83.43±1.13 c	75.43±2.53 d
	8	68.31±2.21 b	89.12±1.62 b	80.52±2.81 c	83.22±2.91 c

表中数据为平均数±标准误。同时间同列不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。1: 90 g (a.i.)/hm²啶草酮+225 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈; 2: 120 g (a.i.)/hm²啶草酮+300 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈; 3: 120 g (a.i.)/hm²啶草酮+300 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈+9 g (a.i.)/hm²双氟磺草胺; 4: 150 g (a.i.)/hm²啶草酮+375 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈; 5: 150 g (a.i.)/hm²啶草酮+375 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈+9 g (a.i.)/hm²双氟磺草胺; 6: 150 g (a.i.)/hm²啶草酮; 7: 450 g (a.i.)/hm²辛酰溴苯腈; 8: 9 g (a.i.)/hm²双氟磺草胺; -: 未调查。Data are mean±SE. Different letters in same time in same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. 1: 90 g (a.i.)/hm² quinotrione+225 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 2: 120 g (a.i.)/hm² quinotrione+300 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 3: 120 g (a.i.)/hm² quinotrione+300 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate+9 g (a.i.)/hm² florasulam; 4: 150 g (a.i.)/hm² quinotrione+375 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 5: 150 g (a.i.)/hm² quinotrione+375 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate+9 g (a.i.)/hm² florasulam; 6: 150 g (a.i.)/hm² quinotrione; 7: 450 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 8: 9 g (a.i.)/hm² florasulam; -: no investigation.

2.2.2 2018—2019年的田间防效

2018—2019年度,田间试验杂草为播娘蒿和猪殃殃。试验结果与2017—2018年类似。从速效性来看,含有辛酰溴苯腈的处理作用速度快;从持效性来看,啶草酮、辛酰溴苯腈与双氟磺草胺的三者复配处理防效最好。施药后30 d,含有辛酰溴苯腈的处理防效最好,大部分阔叶杂草干枯死亡,杂草总株防效在73.54%以上,啶草酮或双氟磺草胺单剂处理虽然杂草表现症状好,但死亡率低,杂草总株防效分别为56.31%和32.54%(表4)。

冬后小麦拔节期调查结果显示,啶草酮、辛酰溴苯腈与双氟磺草胺的三者复配处理的杂草防效最好,杂草总株防效为94.33%和96.23%,鲜重防效为96.23%和96.82%,与其他处理效果差异显著。其次啶草酮与辛酰溴苯腈复配处理对杂草也有较好的防效,均优于3种单剂处理,且差异显著(表4)。

综合2年试验结果发现,辛酰溴苯腈优势是作

用速度快,施药后阔叶杂草很快就开始干枯死亡,劣势是部分杂草后期会返青;啶草酮对小麦田杂草阿拉伯婆婆纳防效高,株防效为95.21%,对猪殃殃、播娘蒿效果略差,株防效在65.82%~72.62%之间。啶草酮与辛酰溴苯腈复配后,对阿拉伯婆婆纳、猪殃殃、播娘蒿等小麦田杂草效果均优,鲜重防效在88.54%~93.83%之间,且作用速度快,加入双氟磺草胺形成三者混配后,鲜重防效达96.12%以上。

2.3 啶草酮与辛酰溴苯腈复配小麦生长的影响测定

2年田间试验结果均表明,所有试验处理对小麦均安全,小麦生长均正常,无药害产生。收获期产量结果显示,3个单剂处理产量有差异,其中2017—2018年试验中,3个单剂处理产量与人工除草处理差异不大,产量在6 595.00~6 675.50 kg/hm²之间,但2018—2019年啶草酮单剂处理产量(6 895.50 kg/hm²)低于人工除草处理产量(7 200.00 kg/hm²),且差异显著(表5),这与杂草草相不同有关。

表 4 2018—2019 喹草酮与辛酰溴苯腈复配应用于小麦田的除草防效

Table 4 Efficacy of quinotrione+bromoxynil octanoate on weeds in the wheat in 2018—2019

调查时间 Time	药剂处理 Herbicide	株防效 Plant control effect/%		总株防效 Total plant control effect/%	鲜重防效 Fresh weight control effect/%
		播娘蒿 <i>Descurainia sophia</i>	猪殃殃 <i>Galium aparine</i>		
药后 30 d	1	79.21±2.82 b	77.21±2.55 c	78.32±2.24 b	—
30 days after treatment	2	66.53±3.11 c	77.63±3.14 c	73.54±1.63 b	—
	3	86.42±1.52 a	90.19±1.12 a	89.23±1.12 a	—
	4	71.64±2.52 c	83.52±2.16 b	79.56±2.13 b	—
	5	90.38±0.56 a	92.93±1.13 a	91.22±0.64 a	—
	6	43.45±2.78 d	63.62±2.42 d	56.31±2.53 c	—
	7	88.22±1.21 a	86.24±1.54 b	87.23±1.11 a	—
	8	47.63±2.51 d	25.81±3.23 e	32.54±3.25 d	—
小麦拔节期	1	83.24±1.12 b	93.23±0.85 a	86.33±0.84 b	88.54±1.54 bc
Jointing stage of wheat	2	84.42±3.13 b	94.12±1.11 a	87.64±2.23 b	90.02±2.22 b
	3	90.21±1.12 a	97.29±1.02 a	94.33±1.14 a	96.82±0.63 a
	4	87.22±2.24 b	96.27±2.13 a	92.08±2.12 a	92.53±1.12 b
	5	92.43±0.65 a	98.21±0.36 a	96.23±0.93 a	96.23±0.83 a
	6	72.62±1.52 c	65.82±2.54 c	68.23±2.82 c	56.81±2.52 e
	7	92.13±2.12 a	77.94±1.12 b	83.22±1.20 b	75.93±3.13 d
	8	89.24±1.81 b	82.63±1.21 b	85.44±2.21 b	86.22±2.21 c

表中数据为平均数±标准误。同时间同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。1: 90 g (a.i.)/hm² 喹草酮+225 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈; 2: 120 g (a.i.)/hm² 喹草酮+300 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈; 3: 120 g (a.i.)/hm² 喹草酮+300 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈+9 g (a.i.)/hm² 双氟磺草胺; 4: 150 g (a.i.)/hm² 喹草酮+375 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈; 5: 150 g (a.i.)/hm² 喹草酮+375 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈+9 g (a.i.)/hm² 双氟磺草胺; 6: 150 g (a.i.)/hm² 喹草酮; 7: 450 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈; 8: 9 g (a.i.)/hm² 双氟磺草胺; —: 未调查。Data are mean±SE. Different letters in same time in same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. 1: 90 g (a.i.)/hm² quinotrione+225 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 2: 120 g (a.i.)/hm² quinotrione+300 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 3: 120 g (a.i.)/hm² quinotrione+300 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate+9 g (a.i.)/hm² florasulam; 4: 150 g (a.i.)/hm² quinotrione+375 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 5: 150 g (a.i.)/hm² quinotrione+375 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate+9 g (a.i.)/hm² florasulam; 6: 150 g (a.i.)/hm² quinotrione; 7: 450 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 8: 9 g (a.i.)/hm² florasulam; —: no investigation.

表 5 喹草酮与辛酰溴苯腈复配对小麦产量的影响

Table 5 The effect of quinotrione+ bromoxynil octanoate on wheat yield

处理 Herbicide	2017—2018		2018—2019	
	产量 Yield/(kg/hm ²)	与人工除草处理比较 Compare with manual weed control/%	产量 Yield/(kg/hm ²)	与人工除草处理比较 Compare with manual weed control/%
1	6 750.00±21.22 a	1.0	7 200.00±18.23 a	0.0
2	6 712.50±16.83 a	0.4	7 162.50±12.61 a	-0.5
3	6 825.00±16.51 a	2.1	7 262.50±11.54 a	0.9
4	6 687.50±15.22 a	0.0	7 337.50±13.23 a	1.9
5	6 829.50±11.42 a	2.2	7 362.50±6.92 a	2.3
6	6 612.50±9.61 a	-1.1	6 895.50±11.21 b	-4.2
7	6 675.50±12.83 a	-0.1	7 105.00±9.21 a	-1.3
8	6 595.00±13.82 a	-1.4	7 225.00±8.89 a	0.3
9	6 685.50±14.61 a	—	7 200.00±10.21 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。1: 90 g (a.i.)/hm² 喹草酮+225 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈; 2: 120 g (a.i.)/hm² 喹草酮+300 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈; 3: 120 g (a.i.)/hm² 喹草酮+300 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈+9 g (a.i.)/hm² 双氟磺草胺; 4: 150 g (a.i.)/hm² 喹草酮+375 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈; 5: 150 g (a.i.)/hm² 喹草酮+375 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈+9 g (a.i.)/hm² 双氟磺草胺; 6: 150 g (a.i.)/hm² 喹草酮; 7: 450 g (a.i.)/hm² 辛酰溴苯腈; 8: 9 g (a.i.)/hm² 双氟磺草胺; 9: 人工除草。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. 1: 90 g (a.i.)/hm² quinotrione+225 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 2: 120 g (a.i.)/hm² quinotrione+300 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 3: 120 g (a.i.)/hm² quinotrione+300 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate+9 g (a.i.)/hm² florasulam; 4: 150 g (a.i.)/hm² quinotrione+375 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 5: 150 g (a.i.)/hm² quinotrione+375 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate+9 g (a.i.)/hm² florasulam; 6: 150 g (a.i.)/hm² quinotrione; 7: 450 g (a.i.)/hm² bromoxynil octanoate; 8: 9 g (a.i.)/hm² florasulam; 9: manual weed control.

3 讨论

杂草抗药性一直是制约除草剂发展的重要因素之一,对ALS抑制剂类除草剂产生抗药性的杂草种类最多(黄兆峰等,2019),而对HPPD类除草剂产生抗性的杂草目前报道仅有4例(柏亚罗,2019),这也是HPPD抑制剂类除草剂近几年一直是世界各大农药公司开发的热点的主要原因之一(柏亚罗,2019)。HPPD类除草剂如硝磺草酮、苯唑草酮、异噁唑草酮、环磺酮在我国主要登记用于玉米田杂草防治(高兴祥等,2019),2018年江苏清原农冠杂草防治有限公司全球首次在小麦田登记HPPD类除草剂环吡氟草酮(于小波等,2018)和双唑草酮(吕学深,2018)。华中师范大学杨光富团队开发并报道了包括啶草酮在内的多种HPPD类除草剂化合物开发前景(Wang et al., 2014; 2015)。啶草酮作为一种HPPD抑制剂类除草剂,已在高粱田显示出安全性和效果好的优势(Lin et al., 2019)。温室试验结果表明,啶草酮对阿拉伯婆婆纳活性高,但作用速度慢,辛酰溴苯腈触杀活性高,施药后3 d即开始干枯死亡,啶草酮与辛酰溴苯腈按1:1~1:2.5复配对播娘蒿的共毒系数在107.67~202.77之间,对麦家公的共毒系数甚至达到700,表现为明显增效作用,具有很好的可复配价值,与Lin et al.(2019)报道的啶草酮防效活性高的结果一致。

田间试验结果表明,阿拉伯婆婆纳防除难度大,常规除草剂双氟磺草胺对其防效差,侯珍等(2012)也报道过双氟磺草胺对阿拉伯婆婆纳防效差。但新型除草剂啶草酮对该杂草防效优,单剂使用的株防效即达到95.21%以上,防效明显好于双氟磺草胺,但该药剂对猪殃殃和播娘蒿效果不如双氟磺草胺。啶草酮与辛酰溴苯腈混用优势互补,作用速度快且效果好,加入双氟磺草胺形成三者混配后,防效更好,对阿拉伯婆婆纳、猪殃殃和播娘蒿防效均优,鲜重防效在96.12%以上。虽然仅有啶草酮应用于高粱田的报道(柏亚罗,2019;冯义志等,2019;Lin et al., 2019),但本试验结果表明啶草酮、辛酰溴苯腈、双氟磺草胺三者混配可以为小麦田除草剂精准治理提供新的选择。

除草剂对作物的安全性对啶草酮推广应用至关重要,Lin et al.(2019)认为啶草酮对高粱安全性高;本试验结果表明,啶草酮对小麦安全性也高,无论是单剂使用还是与辛酰溴苯腈混用以及加入双氟磺草胺后的三者混配,对小麦正常生长均无影响,显示出

较好的推广应用价值。小麦田杂草种类多样,群落复杂,本研究仅进行了啶草酮与辛酰溴苯腈复配的联合作用类型测定,并在田间测定了啶草酮、辛酰溴苯腈、双氟磺草胺对播娘蒿、猪殃殃和阿拉伯婆婆纳等杂草的防效,对其他杂草的防效有待于进一步试验。

参 考 文 献 (References)

- Bai YL. 2019. Unique features of HPPD inhibitor herbicide rapid growth and details of its key varieties and R & D varieties. *Pesticide Market News*, (23): 43–37 (in Chinese) [柏亚罗. 2019. HPPD抑制剂类除草剂快速增长的独到之处及其重点品种、研发品种详述. *农药市场信息*, (23): 34–37]
- Chen F, Wang EQ, Zhang WB. 2019. Development of 10% oxadiargyl·kuinoxalone SC. *Anhui Chemical Industry*, 45(6): 39–43 (in Chinese) [陈飞, 王二琼, 张维博. 2019. 10%丙炔恶草酮·啶草酮悬浮剂的配方研究及生物活性测定. *安徽化工*, 45(6): 39–43]
- Feng YT, Fan RJ, Yu Q, Li GY, Gao Y, Zhang RX. 2015. Control effect and security of bromoxynil octanoate·nicosulfuron·atrazine 39% of against weeds in summer corn field. *Agrochemicals*, 54(5): 375–377 (in Chinese) [封云涛, 范仁俊, 庾琴, 李光玉, 高越, 张润祥. 2015. 39%辛酰溴苯腈·烟嘧磺隆·莠去津油悬浮剂对夏玉米田杂草的防除效果. *农药*, 54(5): 375–377]
- Feng YZ, Zhang AJ, Wang CM, Wang W, Qi XX, Pan JJ, Han JF, Liang L, Liu W. 2019. Analysis of quinotrione residues in sorghum by HPLC-MS/MS. *Agrochemicals*, 58(1): 54–56 (in Chinese) [冯义志, 张爱娟, 王赐明, 王伟, 齐晓雪, 潘金菊, 韩济峰, 梁林, 刘伟. 2019. 高效液相色谱-串联质谱检测高粱中啶草酮残留量. *农药*, 58(1): 54–56]
- Gao XX, Li M, Fang F, Li J. 2016. Species composition and characterization of weed communities in wheat fields in Henan Province. *Journal of Triticeae Crops*, 36(10): 1402–1408 (in Chinese) [高兴祥, 李美, 房锋, 李健. 2016. 河南省冬小麦田杂草组成及群落特征. *麦类作物学报*, 36(10): 1402–1408]
- Gao XX, Li M, Fang F, Zhang YL, Sun ZW, Qi JS. 2014a. Species composition and characterization of weed communities 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. *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]
- Gao XX, Li M, Li J, Fang F. 2019. Indoor determination of bioactivities of tembotrione to eight weeds and its weed control effects in the fields. *Journal of Plant Protection*, 46(3): 719–720 (in Chinese) [高兴祥, 李美, 李健, 房锋. 2019. 环磺酮对八种杂草生物活性的室内测定及田间应用效果. *植物保护学报*, 46(3): 719–720]

- Gao XX, Li M, Liu SG, Bai XY, Li J. 2018. The influence of different weed populations and control time on wheat yield in Shandong. *Journal of Plant Protection*, 45(4): 908–914 (in Chinese) [高兴祥, 李美, 刘士国, 白兴勇, 李健. 2018. 小麦田不同杂草群落及防除时间对小麦产量的影响. *植物保护学报*, 45(4): 908–914]
- Gao XX, Zhang JW, Li M, Li J, Fang F. 2020. Effect and safety of the combination of quinotrione with atrazine in sorghum fields. *Journal of Plant Protection*, 46(6): 1370–1376 (in Chinese) [高兴祥, 张纪文, 李美, 李健, 房锋. 2020. 喹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]
- 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]
- Huang ZF, Liu Q, Wang YY, Jiang CL, Zhou XX. 2019. Overview of weed resistance to ALS inhibitors. *Pesticide Science and Administration*, 40(2): 34–41 (in Chinese) [黄兆峰, 刘倩, 王园园, 姜翠兰, 周欣欣. 2019. 杂草对ALS抑制剂抗药性概述. *农药科学与管理*, 40(2): 34–41]
- Li M, Gao XX, Fang F, Li J, Wu JJ, Lee MS. 2016a. Weed control effect and safety to crops of a mixed formulation (halauxifen-methyl 10%+florasulam 10%). *Journal of Plant Protection*, 43(3): 514–522 (in Chinese) [李美, 高兴祥, 房锋, 李健, 吴加军, 李茂昇. 2016a. 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. *植物保护学报*, 43(3): 514–522]
- 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]
- Li M, Li Y, Gao XX, Fang F, Li J, Wu JJ, Lee MS. 2016b. Combined toxicity to weeds and safety to winter wheat of pyroxsulam and halauxifen-methyl. *Journal of Triticeae Crops*, 36(7): 969–974 (in Chinese) [李美, 李岩, 高兴祥, 房锋, 李健, 吴加军, 李茂昇. 2016b. 氟氯吡啶酯与啶磺草胺对杂草的联合毒力及其对小麦的安全性. *麦类作物学报*, 36(7): 969–974]
- Lin HY, Chen X, Chen JN, Wang DW, Wu FX, Lin SY, Liu JJ, Dong JQ, Zhan CG, Wu JW, et al. 2019. Crystal structure of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase in complex with substrate reveals a new starting point for herbicide discovery. *Research*, (20): 1–11
- Lü XS. 2018. Study on the herbicidal activity and crop safety on wheat of QYM102. Master thesis. Tai'an: Agricultural University (in Chinese) [吕学深. 2018. 双唑草酮除草活性及对小麦安全性研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- Ma PS. 2014. Study on the physiological mechanism of the resistance of *Galium aparine* L. against florasulam. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 45(5): 778–781, 784 (in Chinese) [马鹏生. 2014. 猪殃殃抗双氟磺草胺的生理机制研究. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 45(5): 778–781, 784]
- Wang DW, Lin HY, Cao RJ, Ming ZZ, Chen T, Hao GF, Yang WC, Yang GF. 2015. Design, synthesis and herbicidal activity of novel quinazoline-2,4-diones as 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase inhibitors. *Pest Management Science*, 71(8): 1122–1132
- Wang DW, Lin HY, Cao RJ, Yang SG, Chen Q, Hao GF, Yang WC, Yang GF. 2014. Synthesis and herbicidal evaluation of triketone-containing quinazoline-2,4-diones. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 62: 11786–11796
- Wang EQ, Chen F, Zhang WB. 2019. Determination of 30% quinotrione and metolachlor SE by RP-HPLC. *Anhui Chemical Industry*, 45(6): 106–108 (in Chinese) [王二琼, 陈飞, 张维博. 2019. 40% 喹草酮·异丙甲草胺悬浮乳剂的反相高效液相色谱测定. *安徽化工*, 45(6): 106–108]
- Wang HZ, Bai S, Wu XH, Wu CX, Liu WT, Wang JX. 2019. Resistance mechanism of *Lithospermum arvense* L. to tribenuron-methyl in winter wheat field. *Journal of Plant Protection*, 46(1): 216–223 (in Chinese) [王恒智, 白霜, 吴小虎, 吴翠霞, 刘伟堂, 王金信. 2019. 小麦田麦家公对苯磺隆的抗性机理. *植物保护学报*, 46(1): 216–223]
- Yu XB, Luo CP, Lu AM. 2018. Determination of huanbifucaotong by ^{19}F quantitative nuclear magnetic resonance. *Agrochemicals*, 57(9): 645–646 (in Chinese) [于小波, 罗楚平, 卢爱民. 2018. ^{19}F 核磁共振定量波谱测定环吡氟草酮含量. *农药*, 57(9): 645–646]

(责任编辑:王璇)