

环磺酮的除草活性及对玉米的安全性评价

汪雅妃^{1,2} 柴茵¹ 胡伟^{1,2} 殷凡^{1,2} 张晶旭^{1,2} 王时兵³
赵宁^{1,2} 操海群^{1,2} 廖敏^{1,2*}

(1. 安徽农业大学植物保护学院, 合肥 230036; 2. 安徽农业大学农产品质量与生物安全教育部重点实验室,
安徽省绿色农药研发与应用工程实验室, 合肥 230036; 3. 安徽久易农业股份有限公司, 合肥 230000)

摘要: 为明确环磺酮在我国玉米田的应用技术和前景,采用温室盆栽法测定环磺酮的杀草谱和对常见杂草的除草活性以及对不同玉米品种的安全性,并通过田间药效试验验证其应用效果。结果表明,在100 g (a.i.)/hm²田间推荐剂量下进行茎叶处理时,环磺酮可以有效防除玉米田常见禾本科、莎草科和阔叶杂草,其中对反枝苋*Amaranthus retroflexus*、鳢肠*Eclipta prostrata*的活性较高,鲜重抑制率可达90%以上;对6种常见玉米田杂草稗*Echinochloa crus-galli*、马唐*Digitaria sanguinalis*、圆叶牵牛*Ipomoea purpurea*、反枝苋、碎米莎草*Cyperus iria*和青葙*Celosia argentea*的生长抑制中量GR₅₀分别为8.44、17.16、9.37、8.68、9.40和32.51 g (a.i.)/hm²,在供试剂量下环磺酮的除草活性均高于对照药剂硝磺草酮;田间推荐剂量下环磺酮对除黑糯301品种以外的11个玉米品种均较为安全,提高到2倍推荐剂量时,对不同玉米品种的生长抑制均增强;环磺酮对郑单958、珍珠糯8号、苏科甜1506和中糯2号4个玉米品种以及稗、马唐、圆叶牵牛、反枝苋、碎米莎草和青葙6种杂草之间均具有较好的选择性,选择性指数为10.40~29.14。田间药效试验表明,126 g (a.i.)/hm²环磺酮处理茎叶后第28天,对玉米田杂草稗、马唐、狗尾草*Setaria viridis*、香附子*Cyperus rotundus*、圆叶牵牛、空心莲子草*Alternanthera philoxeroides*的总株防效为86.51%,鲜重防效为87.81%,且对供试玉米品种彩甜糯102安全。

关键词: 环磺酮; 除草活性; 安全性; 田间药效

Evaluation of the herbicidal activity and safety of tembotrione to maize

Wang Yafei^{1,2} Chai Yin¹ Hu Wei^{1,2} Yin Fan^{1,2} Zhang Jingxu^{1,2} Wang Shibing³ Zhao Ning^{1,2}
Cao Haiqun^{1,2} Liao Min^{1,2*}

(1. School of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui Province, China; 2. Engineering
Laboratory for Green Pesticide Development and Application; Key Laboratory of Agro-Products Quality and
Biosafety (Ministry of Education), Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui Province, China;
3. Anhui Jiuyi Agriculture Co., Ltd., Hefei 230000, Anhui Province, China)

Abstract: To explore the application procedures and potential of tembotrione in maize fields in China, the herbicidal spectrum of tembotrione and its weed control activity against common weeds, as well as its safety on different maize varieties, were determined using the greenhouse pot experiment method. Field efficacy trials were conducted to verify its effects. The results showed that when post-emergence herbicides (POST) was applied at the recommended field rate (RFR) of 100 g (a.i.)/hm², tembotrione could effectively control common grasses, sedges, and broad-leaved weeds in maize fields. It exhibited high activity against *Amaranthus retroflexus* and *Eclipta prostrata*, with a fresh weight inhibition rate

基金项目: 安徽省科技重大专项(202203a06020016),安徽农业大学大学生创新训练项目(X202210364213)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: liaomin3119@126.com

收稿日期: 2023-04-30

reaching over 90%. The tembotrione rates resulting in a 50% growth reduction for six common weeds from maize fields, including *Echinochloa crus-galli*, *Digitaria sanguinalis*, *Ipomoea purpurea*, *A. retroflexus*, *Cyperus iria*, and *Celosia argentea*, were 8.44, 17.16, 9.37, 8.68, 9.40, and 32.51 g (a.i.)/hm², respectively, with the herbicidal activity of tembotrione higher than the control herbicide mesotrione when applied at the tested rates. Under the RFR, tembotrione was relatively safe for all 11 maize varieties except for Heinuo 301. When the RFR was increased two-fold, growth inhibition in different maize varieties was enhanced. Tembotrione showed good selectivity between four maize varieties, Zhengdan 958, Zhenzhunuo 8, Suketian 1506, and Zhongnuo 2, as well as six weeds, including *E. crus-galli*, *D. sanguinalis*, *I. purpurea*, *A. retroflexus*, *C. iria*, and *C. argentea*, with a selectivity index ranging from 10.40 to 29.14. Field efficacy trials indicated that at 28 d after POST treatment with 126 g (a.i.)/hm² of tembotrione, the total plant control efficacy against weeds such as *E. crus-galli*, *D. sanguinalis*, *Setaria viridis*, *Cyperus rotundus*, *I. purpurea*, and *Alternanthera philoxeroides* in maize fields was 86.51%, and the fresh weight control efficacy was 87.81%, while it was safe for the tested maize variety Caitian-nuo 102.

Key words: tembotrione; herbicidal activity; safety; field efficacy

玉米 *Zea mays* 是我国重要的粮食作物之一, 广泛种植于东北、华北和华南等地区, 一直遭受杂草等各种有害生物的严重威胁(王宏栋等, 2021)。当前, 我国玉米田杂草主要包括稗 *Echinochloa crus-galli*、马唐 *Digitaria sanguinalis*、牛筋草 *Eleusine indica* 和狗尾草 *Setaria viridis* 等禾本科杂草, 香附子 *Cyperus rotundus* 和碎米莎草 *Cyperus iria* 等莎草科杂草以及反枝苋 *Amaranthus retroflexus*、田旋花 *Convolvulus arvensis* 和鸭跖草 *Commelinaceae communis* 等阔叶杂草(王宏栋等, 2021; Duan & Sun, 2022)。化学除草剂是防除农田杂草的重要手段之一, 目前玉米田常用除草剂包括三氮苯类(莠去津、西玛津、扑草净)、苯氧羧酸类(2甲4氯钠盐)、苯甲酸类(麦草畏)、磺酰脲类(烟嘧磺隆)和酰胺类(乙草胺、丁草胺、异丙甲草胺)等(吴翠霞等, 2016; 甘林等, 2020)。

环磺酮是德国拜耳公司研发的一种三酮类除草剂, 该除草剂通过抑制4-羟基苯基丙酮酸双氧化酶(4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase, HPPD)活性导致植物分生组织中酪氨酸积累和质体醌匮乏, 3~5 d左右即可引起杂草失绿、褪色, 最终蔓延至整株, 进而白化死亡(Wang et al., 2022)。环磺酮不仅对玉米田多种一年生禾本科和阔叶杂草具有较好的防效, 而且还能有效防治对草甘膦及乙酰乳酸合成酶(acetolactate synthase, ALS)抑制剂类除草剂产生抗性的杂草(胡尊纪等, 2021)。此外, 环磺酮的除草活性显著优于硝磺草酮等相同作用机制的除草剂, 其更耐雨水冲刷, 能够在作物整个生长周期中维持良

好的除草效果, 并且对多种玉米品种安全(李琦等, 2018; 高兴祥等, 2019)。

尽管环磺酮在2007年已经在奥地利等国家登记并用于玉米田除草, 但是截至目前, 环磺酮尚未在我国玉米田得到广泛应用。考虑到国内外气候条件、土壤类型、杂草种类和玉米品种等各方面存在较大差异, 有必要明确其对我国玉米田常见杂草的除草效果和对常用玉米品种的安全性。鉴于此, 本研究首先通过室内生物活性测定明确环磺酮对玉米田主要杂草的杀草谱和除草活性, 同时测定其对12个常见玉米品种的安全性, 并结合田间药效试验进一步验证该药剂在玉米田的应用效果, 以期为环磺酮在我国玉米田的应用提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试杂草及土壤: 牛筋草、稗、狗尾草、千金子 *Leptochloa chinensis*、青葙 *Celosia argentea*、苘麻 *Abutilon theophrasti*、圆叶牵牛 *Ipomoea purpurea*、画眉草 *Eragrostis pilosa*、反枝苋、马唐、酸模叶蓼 *Persicaria lapathifolia*、鳢肠 *Eclipta prostrata*、猪殃殃 *Galium spurium* 和碎米莎草, 以上杂草种子均采自安徽省阜阳市、亳州市、宿州市、安庆市和铜陵市的非耕地中, 在室温下(25 °C左右)自然风干, 4 °C保存待用。供试土壤采自安徽省合肥市庐阳区大杨镇, 采样深度为0~20 cm; 育苗基质, 郑州中禾农业有限公司。

供试玉米品种:黑糯301,山西嘉瑞种业有限公司;彩甜糯102、中农甜488、甜糯182和华耐甜玉23号,北京华耐农业发展有限公司;爆裂玉米,北京优丰纳农业科技有限公司;苏科甜1506,南京嘉华农业发展有限公司;粤白糯6号、珍珠糯8号、粤甜29号和中糯2号,合肥市合丰种业有限公司;郑单958,河南省圣道种业有限公司。

药剂、试剂及仪器:95.4%环磺酮(tembotrione)原药、8%环磺酮可分散油悬浮剂、97%硝磺草酮(mesotrione)原药,安徽久易农业股份有限公司;15%硝磺草酮悬浮剂,合肥星宇化学股份有限公司。试验中所用试剂均为国产分析纯。3WP-2000型行走式喷雾塔,农业部南京农业机械化研究所;GHP-9160N恒温培养箱,上海一恒科学仪器有限公司;万分之一电子天平,上海越平科学仪器(苏州)制造有限公司;Solo-425型背负式喷雾器,索罗植保机械(合肥)有限公司。

1.2 方法

1.2.1 试材培养方法

选取均匀一致的杂草种子,均匀摆在放有滤纸直径为9 cm的培养皿中,加入约5 mL纯水浸没种子,然后放于光周期L 12 h:D 12 h、温度25 ℃、相对湿度为75%的恒温培养箱中培养,直至种子露白出芽。将壤土与育苗基质按质量比2:1进行混匀,填至塑料盆钵中(杯口9 cm×杯高9 cm×杯底8 cm),使用渗灌方式从盆钵底部浇水,使土壤渗透吸水至充分饱和。选择芽长均匀一致的种子移栽至盆钵中,每盆至少10株,种植完成后覆上少量细土,置于温室内培养。温室日平均温度为25~32 ℃,相对湿度为60%~80%,光照约12 h,定期浇水以保持土壤湿润。

1.2.2 环磺酮杀草谱试验

根据环磺酮的推荐剂量(90~105 g (a.i.)/hm²)设定浓度分别为50 g (a.i.)/hm²和100 g (a.i.)/hm²。试验参照《农药室内生物测定试验准则除草剂第4部分:活性测定试验茎叶喷雾法》(NY/T 1155.4—2006)进行。准确称取100.50 mg环磺酮原药,用丙酮溶解,以0.1%吐温-80水溶液定容至10 mL,配制成浓度为10 050 mg/L的母液,用0.1%吐温-80水溶液稀释成50 g (a.i.)/hm²和100 g (a.i.)/hm²药液,以不含药剂的0.1%吐温-80水溶液为空白对照。当禾本科杂草和莎草科杂草生长至2~3叶期或阔叶杂草长至4片真叶期时,采用3WP-2000型行走式喷雾塔进行喷雾处理,设置喷雾压力为275 kPa,喷液量为450 L/hm²,喷头与杂草叶片距离为50 cm。

茎叶喷雾后置于日光温室内继续培养,培养条件同1.2.1。定期观察并记录植株生长状况,药后第21天称取地上部分鲜重,并计算鲜重抑制率。鲜重抑制率=(对照组植株鲜重-处理组植株鲜重)/对照组植株鲜重×100%。每个处理重复3盆,试验重复2次。

根据环磺酮处理后各供试杂草的鲜重抑制率进行敏感度分级,敏感度分级标准:鲜重抑制率>90%,极敏感(++++);80%≤鲜重抑制率≤90%,敏感(+++);60%≤鲜重抑制率<80%,中度敏感(++)；30%≤鲜重抑制率<60%(+),一般耐药;鲜重抑制率<30%,耐药(-)(邢雨诚等,2023)。

1.2.3 环磺酮对玉米田主要杂草的生物活性测定

根据预试验确定各药剂梯度施用剂量,其中环磺酮剂量为0、1.23、3.70、11.11、33.33、100.00、300.00 g (a.i.)/hm²,对照药剂硝磺草酮剂量为0、1.85、5.56、16.67、50.00、150.00、450.00 g (a.i.)/hm²。以稗、马唐、反枝苋、圆叶牵牛、碎米莎草和青葙等玉米田杂草为研究对象,参照1.2.1方法将供试杂草培养至3~4叶期并进行茎叶喷雾处理,施药方法同1.2.2。于茎叶喷雾处理后21 d分别称量各处理杂草植株地上部分鲜重,测定方法同1.2.2。使用DPS 7.05软件进行数据拟合处理。将各供试除草剂剂量换算为对数值x,然后与各处理下的鲜重抑制率y按照y=a+bx进行拟合,计算环磺酮抑制供试杂草50%和90%生长所需除草剂剂量GR₅₀和GR₉₀。每个处理重复3盆,试验重复2次。

1.2.4 环磺酮对不同玉米品种的安全性测定

参照《农药室内生物测定试验准则除草剂第8部分:作物的安全性试验茎叶喷雾法》(NY/T 1155.8—2007)测定环磺酮对不同玉米品种的安全性。

将11种供试玉米种子均匀点播于掺有供试土壤与育苗基质的塑料盆钵中(杯口14 cm×杯高14 cm×杯底12 cm),每盆播种10粒,覆土约2 cm。待玉米生长至3叶1心期,分别用100 g (a.i.)/hm²和200 g (a.i.)/hm²环磺酮进行茎叶处理,培养条件及施药方法分别同1.2.1和1.2.2。药剂处理后第21天分别测定各处理下玉米植株的株高和根长,同时剪取植株地上部分称量鲜重,并分别计算株高、根长和鲜重抑制率。株高抑制率=(对照玉米株高-处理玉米株高)/对照玉米株高×100%;根长抑制率=(对照玉米根长-处理玉米根长)/对照玉米根长×100%;鲜重抑制率=(对照玉米鲜重-处理玉米鲜重)/对照玉米鲜重×100%。每个处理重复3盆,试验重复2次。

根据安全性试验结果,选取安全性较高的玉米

品种郑单958、珍珠糯8号、苏科甜1506和中糯2号进行药剂梯度处理,培养条件及施药方法分别同1.2.1和1.2.2。其中,环磺酮施药剂量为0、50、100、200、400、800 g (a.i.)/hm²,对照药剂硝磺草酮施药剂量为0、50、100、150、300、600 g (a.i.)/hm²。药后21 d分别剪取玉米植株地上部分称重,计算鲜重抑制率,使用DPS 7.05软件计算环磺酮抑制供试玉米10%生长所需除草剂剂量GR₁₀以及环磺酮在玉米和稗、马唐、圆叶牵牛、反枝苋、碎米莎草、青葙之间的选择性指数。选择性指数=GR₁₀/GR₉₀。若选择性指数>2时,说明药剂对目标杂草有较高防效的同时对作物也有较好的安全性(高兴祥等,2016)。

1.2.5 田间药效试验

2022年在安徽农业大学试验基地(117.20 °E/31.93 °N)进行田间药效试验,该基地的主要杂草为稗、马唐、香附子、狗尾草、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 和圆叶牵牛等,发生密度约为总草密度的85%。玉米品种为彩甜糯102,干谷播种,播种量37.5 kg/hm²。试验田地势平整,土质为壤土,前茬作物为油菜。试验共设7个处理:8%环磺酮可分散油悬浮剂有效成分为90、108、126和216 g (a.i.)/hm²,15%硝磺草酮悬浮剂有效成分为150 g (a.i.)/hm²,人工除草(人工拔除所有可见杂草)以及清水对照,每个处理1个小区,每个小区面积20 m²,每个处理重复3次,共21个处理小区,采用随机区组排列。其他田间管理措施与当地玉米种植模式一致。

待玉米生长至3~5叶期、杂草基本出齐后,使用索逻Solo-425型背负式喷雾器对茎叶进行均匀喷雾处理1次,配备扇形喷头,设置喷液量450 L/hm²、流速1 080 mL/min。施药时间为2022年7月1日上午09:00—11:00,当天天气阴,温度为28.5 °C,相对湿度为73.0%,东南风2级。按照《农药田间药效试验准则(一):除草剂防治玉米地杂草》(GB/T 17980.42—2000)测定株防效和鲜重防效。采用五点取样法,每点0.25 m²,于药后14 d和28 d分别记录各小区内杂草存活株数,计算株防效;同时在28 d调查时剪取样点内杂草地上部分,称量鲜重,计算鲜重防效。株防效=(对照杂草株数-处理杂草株数)/对照杂草株数×100%;鲜重防效=(对照杂草鲜重-处理杂草鲜重)/对照杂草鲜重×100%。同时观察玉米在药剂处理后10、30和45 d的生长情况,若发生药害,则记录药害具体症状、起始药害发生部位和作物后期恢复情况。在玉米各个生长阶段,分别观察各处理区与对照区玉米生长发育是否一致。

1.3 数据分析

用SPSS 26.0软件对试验数据进行单因素方差分析,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 环磺酮对玉米田杂草的杀草谱评价

环磺酮对部分禾本科、莎草科和阔叶杂草表现出较好的防效(表1)。在施药剂量为100 g (a.i.)/hm²时,环磺酮对反枝苋、鳢肠的除草活性优异,鲜重抑制率均达90.00%以上;对碎米莎草、稗、圆叶牵牛、马唐、牛筋草、狗尾草的鲜重抑制率在80.00%~90.00%之间,对猪殃殃、青葙、苘麻和酸模叶蓼的鲜重抑制率在60.00%~80.00%之间,对画眉草、千金子的除草活性较低,鲜重抑制率为52.94%和45.58%。在50 g (a.i.)/hm²剂量下,环磺酮对反枝苋、鳢肠的鲜重抑制率均能达到85.00%以上。

2.2 环磺酮对主要夏熟杂草的生物活性

环磺酮对玉米田常见杂草均有较高的除草活性,对稗、马唐、圆叶牵牛、反枝苋、碎米莎草、青葙的GR₅₀分别为8.44、17.16、9.37、8.68、9.40和32.51 g (a.i.)/hm²,GR₉₀分别为53.01、94.91、77.69、70.21、118.01和101.32 g (a.i.)/hm²(表2)。环磺酮对6种供试玉米田主要杂草的除草活性均高于对照药剂(表2)。

2.3 环磺酮对不同玉米品种的安全性

在茎叶喷雾处理后第21天,当施药剂量为100 g (a.i.)/hm²时,环磺酮对彩甜糯102、中农甜488、甜糯182、华耐甜玉23号、爆裂玉米、苏科甜1506、粤白糯6号、珍珠糯8号、粤甜29号、中糯2号、郑单958等11个供试玉米品种的株高、鲜重和根长抑制率均较低,其中株高抑制率在0.51%~2.37%之间,根长抑制率在0.50%~1.48%之间,鲜重抑制率在0.67%~2.67%之间;而黑糯301存在明显的植株矮化及叶片白化的药害症状,株高抑制率为6.00%,根长抑制率为6.18%,鲜重抑制率为7.38%。在施药剂量为200 g (a.i.)/hm²时,环磺酮对各玉米品种的株高抑制率、鲜重抑制率及根长抑制率均有所上升(表3)。

2.4 环磺酮在杂草和玉米间的选择性指数

郑单958、珍珠糯8号、苏科甜1506和中糯2号对环磺酮均有较强的耐药性,GR₁₀分别为1 544.59、1 227.33、1 490.82和1 504.65 g (a.i.)/hm²,而对照药剂硝磺草酮对4种供试玉米的GR₁₀为729.46~906.80 g (a.i.)/hm²(表4)。

表1 不同剂量环磺酮对玉米田杂草的除草效果评价

Table 1 Evaluation of the herbicidal efficacy of different dosage of tembotrione on weeds in maize fields

供试杂草 Tested weed species	50 g (a.i.)/hm ²		100 g (a.i.)/hm ²	
	鲜重抑制率 Inhibiting rate of fresh weight/%	敏感性 Sensitivity	鲜重抑制率 Inhibiting rate of fresh weight/%	敏感性 Sensitivity
稗 <i>Echinochloa crus-galli</i>	72.47±7.38	++	84.34±2.92	+++
圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i>	74.95±3.91	++	81.15±4.05	+++
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	46.08±6.93	+	52.94±2.40	+
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	73.92±1.66	++	88.94±2.83	+++
猪殃殃 <i>Galium spurium</i>	41.79±2.61	+	66.41±2.83	++
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	88.22±0.29	+++	90.52±0.23	++++
苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	76.72±2.92	++	78.04±11.78	++
鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	93.90±0.55	++++	97.78±0.37	++++
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	82.55±3.40	+++	83.4±0.85	+++
青葙 <i>Celosia argentea</i>	58.63±6.64	+	72.89±1.02	++
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	56.37±10.34	+	80.78±3.32	+++
千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	35.71±6.29	+	45.58±7.74	+
酸模叶蓼 <i>Persicaria lapathifolium</i>	60.62±2.765	++	69.98±4.51	++
碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	76.72±8.13	++	88.06±3.98	+++

+: 一般耐药; ++: 中度敏感; +++: 敏感; ++++: 极敏感。+: Mildly tolerance; ++: moderately sensitive; +++: sensitive; ++++: highly sensitive.

表2 环磺酮和硝磺草酮对玉米田主要杂草的生物活性

Table 2 Bioactivity of tembotrione and mesotrione on main weeds in maize fields

供试杂草 Tested weed species	除草剂 Herbicide	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)
稗	环磺酮 Tembotrione	y=3.51+1.61x	0.969	8.44(6.12~11.63)	53.01(33.89~82.91)
<i>Echinochloa crus-galli</i>	硝磺草酮 Mesotrione	y=2.42+1.79x	0.980	27.81(21.79~35.49)	144.70(96.78~216.33)
马唐	环磺酮 Tembotrione	y=2.87+1.73x	0.944	17.16(11.02~26.74)	94.91(45.84~196.50)
<i>Digitaria sanguinalis</i>	硝磺草酮 Mesotrione	y=1.78+2.13x	0.962	32.59(23.17~45.84)	130.13(76.05~222.69)
圆叶牵牛	环磺酮 Tembotrione	y=3.64+1.40x	0.968	9.37(6.80~12.92)	77.69(46.61~129.50)
<i>Ipomoea purpurea</i>	硝磺草酮 Mesotrione	y=2.56+1.72x	0.946	26.10(17.35~39.29)	145.29(74.12~284.80)
反枝苋	环磺酮 Tembotrione	y=3.67+1.41x	0.911	8.68(4.97~15.18)	70.21(29.84~165.19)
<i>Amaranthus retroflexus</i>	硝磺草酮 Mesotrione	y=2.85+1.57x	0.996	23.74(21.20~26.58)	156.23(129.20~188.92)
碎米莎草	环磺酮 Tembotrione	y=3.86+1.17x	0.966	9.40(6.73~13.13)	118.01(64.49~215.93)
<i>Cyperus iria</i>	硝磺草酮 Mesotrione	y=2.82+1.62x	0.963	21.86(15.50~30.85)	134.53(78.53~230.44)
青葙	环磺酮 Tembotrione	y=1.07+2.60x	0.948	32.51(21.56~49.04)	101.32(52.67~194.88)
<i>Celosia argentea</i>	硝磺草酮 Mesotrione	y=0.90+2.60x	0.926	38.05(22.64~63.94)	118.59(59.53~236.25)

x: 除草剂剂量对数; y: 鲜重抑制率。x: Logarithm of herbicides dosage; y: inhibition of fresh weight.

环磺酮在郑单958、珍珠糯8号、苏科甜1506、中糯2号4个玉米品种以及稗、马唐、圆叶牵牛、反枝苋、碎米莎草、青葙6种杂草之间具有较好的选择性,选择性指数为10.40~29.14;硝磺草酮在供试4个玉米品种和6种杂草之间的选择性指数较低,为4.67~7.65(表5)。

2.5 环磺酮对玉米田杂草的田间防效

茎叶喷雾处理后第10天,各处理区杂草即出现受害症状,表现为植株矮小、叶片白化,部分叶片开始干枯,生长受到明显抑制,并随用药剂量增加症状

更加明显。

药剂处理后第14天,分别调查各处理区一年生杂草的株防效。结果显示,环磺酮在90、108、126和216 g (a.i.)/hm²剂量下均可以在一定程度上防除稗、马唐、圆叶牵牛、香附子、狗尾草和空心莲子草,总株防效分别为62.27%、69.65%、77.70%和82.91%,其中对稗、马唐和圆叶牵牛的防效较好,对香附子防效次之,对狗尾草和空心莲子草防效相对较差;对照药剂硝磺草酮在150 g (a.i.)/hm²剂量下对稗、马唐、狗尾草、圆叶牵牛、香附子和空心莲子草的防效分别为

66.05%、62.37%、49.03%、57.28%、69.23% 和 51.57%，处理下的总株防效(表6)。总株防效为 59.26%，显著低于环磺酮在 90 g (a.i.)/hm²

表3 不同剂量环磺酮对不同玉米品种株高、鲜重和根长的影响

Table 3 Effects of different dosage of tembotrione on plant height, fresh weight, and root length of different maize varieties %

玉米品种 Maize variety	100 g (a.i.)/hm ²			200 g (a.i.)/hm ²			%
	株高抑制率 Inhibiting rate of plant height	鲜重抑制率 Inhibiting rate of fresh weight	根长抑制率 Inhibiting rate of root length	株高抑制率 Inhibiting rate of plant height	鲜重抑制率 Inhibiting rate of fresh weight	根长抑制率 Inhibiting rate of root length	
黑糯301 Heinuo 301 (CK)	6.00±0.56 a	7.38±0.07 a	6.18±0.37 a	7.15±0.49 a	7.59±0.47 a	6.66±0.34 a	
彩甜糯102 Caijiannuo 102	1.40±0.09 cd	1.48±0.22 cde	1.38±0.47 bc	1.64±0.20 de	1.92±0.35 cd	1.60±0.42 bc	
中农甜488 Zhongnongtian 488	1.57±0.31 cd	1.61±0.17 bcd	1.48±0.52 b	1.81±0.31 de	1.84±0.23 bcd	1.80±0.35 b	
甜糯182 Tiannuo 182	1.63±0.60 cd	1.77±0.18 bcd	0.86±0.21 de	2.60±0.54 c	2.09±0.10 bc	1.59±0.48 bc	
华耐甜玉23 Huanaitianyu 23	0.82±0.14 e	1.14±0.25 cdef	1.07±0.46 bcd	0.98±0.16 f	1.35±0.26 cde	1.22±0.44 cd	
爆裂玉米 Baolieyumi	2.37±0.48 b	2.38±0.34 bcd	1.15±0.25 bcd	3.38±0.74 b	3.12±0.24 b	1.40±0.58 bc	
苏科甜1506 Suketian 1506	0.80±0.37 e	1.12±0.31 ef	1.03±0.26 bcd	0.90±0.35 f	1.25±0.18 de	1.46±0.38 bc	
郑单958 Zhengdan 958	0.51±0.10 e	0.67±0.18 f	0.50±0.16 e	0.62±0.10 f	0.74±0.21 e	0.71±0.20 d	
粤白糯6号 Yuebainuo 6	0.92±0.31 de	1.20±0.20 def	1.05±0.21 bcd	0.95±0.38 f	1.25±0.28 de	1.20±0.29 cd	
珍珠糯8号 Zhenzhunuo 8	0.54±0.17 e	1.00±0.29 def	1.09±0.25 bcd	1.12±0.28 ef	1.07±0.39 de	1.16±0.30 cd	
粤甜29号 Yuetian 29	0.91±0.26 de	2.67±0.22 bcde	1.05±0.23 bcd	1.10±0.39 ef	3.30±0.25 cd	1.27±0.37 bc	
中糯2号 Zhongnuo 2	0.77±0.26 e	1.03±0.11 ef	1.00±0.17 cd	0.94±0.17 f	1.26±0.11 de	1.39±0.35 bc	

表中数据为平均数±标准差。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean ± SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$)。

表4 不同玉米品种对环磺酮和硝磺草酮的耐药性测定

Table 4 Determination of tolerance of different maize varieties to tembotrione and mesotrione

玉米品种 Maize variety	除草剂 Herbicide	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	GR ₁₀ /(g (a.i.)/hm ²)	GR ₅₀ /(g (a.i.)/hm ²)
郑单958	环磺酮 Tembotrione	$y=-0.64+1.37x$	0.983	1 544.59(952.43–2 504.92)	13 386.73(5 331.80–33 610.51)
Zhengdan 958	硝磺草酮 Mesotrione	$y=0.80+1.02x$	0.997	729.46(621.25–856.52)	13 165.61(8 654.22–20 028.76)
珍珠糯8号	环磺酮 Tembotrione	$y=-0.87+1.49x$	0.998	1 227.33(1 057.76–1 423.85)	8 946.51(6 742.30–11 871.33)
Zhenzhunuo 8	硝磺草酮 Mesotrione	$y=0.24+1.20x$	0.974	806.36(501.19–1 297.37)	9 505.94(3 173.19–28 477.03)
苏科甜1506	环磺酮 Tembotrione	$y=-0.29+1.26x$	0.981	1 490.82(899.29–2 471.47)	15 374.06(5 618.17–42 070.89)
Suketian 1506	硝磺草酮 Mesotrione	$y=0.20+1.19x$	0.997	906.80(766.89–1 072.24)	10 806.50(7 415.67–15 747.81)
中糯2号	环磺酮 Tembotrione	$y=0.14+1.13x$	0.986	1 504.65(972.21–2 328.67)	20 620.30(8 197.94–51 866.31)
Zhongnuo 2	硝磺草酮 Mesotrione	$y=-0.23+1.37x$	0.989	762.51(568.32–1 023.05)	6 566.18(3 475.67–12 404.71)

x: 除草剂剂量对数; y: 鲜重抑制率。x: Logarithm of herbicides dosage; y: inhibition of fresh weight.

药剂处理后第28天, 分别调查各处理区一年生杂草的株防效和鲜重防效。其中, 环磺酮在 90、108、126 和 216 g (a.i.)/hm² 剂量下对杂草的总株防效分别为 76.16%、81.75%、86.51% 和 91.51%, 总鲜重防效分别为 78.29%、83.56%、87.81% 和 92.58%; 对照药剂硝磺草酮 150 g (a.i.)/hm² 剂量下对杂草的总株防效为 71.94%, 总鲜重防效为 75.21%, 均显著低于环磺酮在 90 g (a.i.)/hm² 处理下的防效(表6), 与室内生物活性测定结果基本一致。

3 讨论

玉米田杂草的大量发生严重影响着玉米的产量及品质, 而化学除草是农田杂草科学防控策略必不

可少的手段之一。环磺酮作为HPPD抑制剂类除草剂的重要品种之一, 对玉米田大多数一年生杂草表现出较好的防效(高兴祥等, 2020)。本研究比较了HPPD抑制剂类除草剂环磺酮与硝磺草酮除草活性差异, 结果表明, 环磺酮对6种玉米田主要杂草均具有较好的生物活性, 这与高兴祥等(2019)报道的环磺酮对禾本科杂草马唐、稗、牛筋草、狗尾草和阔叶类杂草苘麻、反枝苋具有较好防效的研究结果相似。田间试验结果表明, 环磺酮对玉米田常见一年生杂草稗、马唐、狗尾草、香附子、圆叶牵牛和空心莲子草均有较好的防效, 其除草活性显著高于对照药剂硝磺草酮的。苏旺苍等(2020)选择5%环磺酮可分散油悬浮剂进行田间试验, 并与玉米田常用

除草剂 15% 硝磺草酮可分散油悬浮剂进行对比分析,发现环磺酮对一年生杂草的防治效果显著高于硝磺草酮;高兴祥等(2019)研究发现,环磺酮在 60~150 g (a.i.)/hm² 剂量下的总杂草株防效在 84.9%~95.8% 之间,显著高于对照药剂硝磺草酮在

150 g (a.i.)/hm² 剂量下的防效。本试验中,环磺酮在 60~216 g (a.i.)/hm² 剂量下对稗、马唐、狗尾草、香附子、圆叶牵牛和空心莲子草的总株防效和总鲜重防效较好,且防效显著高于对照药剂硝磺草酮,与上述研究结果一致。

表5 环磺酮和硝磺草酮在不同玉米品种和不同杂草间的选择性指数

Table 5 Selectivity indices of tembotrione and mesotrione between different maize varieties and different weeds

除草剂 Herbicide	玉米品种 Maize variety	稗 <i>Echinochloa crus-galli</i>	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i>	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	青葙 <i>Celosia argentea</i>
环磺酮 Tembotrione	郑单 958	29.14	16.27	19.88	22.00	13.09	15.24
硝磺草酮 Mesotrione	Zhengdan 958	5.04	5.61	5.02	4.67	5.42	6.15
环磺酮 Tembotrione	珍珠糯 8 号	23.15	12.93	15.80	17.48	10.40	12.11
硝磺草酮 Mesotrione	Zhenzhunuo 8	5.57	6.20	5.55	5.16	5.99	6.80
环磺酮 Tembotrione	苏科甜 1506	28.12	15.71	19.19	21.23	12.63	14.71
硝磺草酮 Mesotrione	Suketian 1506	6.27	6.97	6.24	5.80	6.74	7.65
环磺酮 Tembotrione	中糯 2 号	28.38	15.85	19.37	21.43	12.75	14.85
硝磺草酮 Mesotrione	Zhongnuo 2	5.27	5.86	5.25	4.88	5.67	6.43

表6 不同处理对玉米田一年生杂草的防治效果

Table 6 Control efficacy of different treatments on annual weeds in maize field

调查时间 及防效 Survey time and control efficacy	供试 药剂 Herbi- cide	施药 剂量 Dose/ (g (a.i.)/ hm ²)	稗 <i>Echinochloa crus-galli</i>	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	圆叶牵牛 <i>Ipomoea purpurea</i>	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	总防效 Total control efficacy
药后 14 d 株防效 Plant control efficacy at 14 d after treatment	1	90	69.12±2.16 e	63.64±2.83 e	52.09±3.86 e	60.32±3.30 e	73.08±3.56 c	55.35±1.70 d	62.27±7.31 de
		108	72.04±2.87 d	69.70±1.25 d	61.98±1.25 d	67.96±1.63 d	81.41±0.94 b	64.78±2.05 c	69.65±6.18 cd
	2	126	79.72±3.74 c	74.49±1.63 c	72.68±2.49 c	74.76±2.94 c	85.90±0.47 b	78.62±1.25 b	77.70±4.40 bc
		216	83.10±1.70 b	82.60±1.25 b	80.63±2.05 b	80.91±1.25 b	87.82±1.25 b	82.39±1.25 b	82.91±2.37 b
	3	150	66.05±2.05 f	62.37±2.05 f	49.03±1.70 f	57.28±2.83 e	69.23±1.41 c	51.57±2.05 d	59.26±7.34 e
		/	98.16±0.82 a	98.53±1.63 a	98.37±0.47 a	97.41±1.25 a	98.08±0.82 a	98.11±0.82 a	98.11±0.35 a
药后 28 d 株防效 Plant control efficacy at 28 d after treatment	1	90	79.70±2.36 e	75.07±3.74 e	71.96±1.25 e	75.73±2.94 e	80.36±2.16 cd	74.14±0.82 e	76.16±2.97 e
		108	83.41±2.62 d	82.91±2.16 d	77.15±2.05 d	80.26±1.70 d	85.71±1.41 bc	81.03±0.82 d	81.75±2.70 d
	2	126	87.11±2.45 c	87.68±3.56 c	82.44±2.87 c	85.11±0.47 c	91.67±1.89 ab	85.06±0.94 c	86.51±2.86 c
		216	93.19±2.49 b	91.50±2.49 b	86.43±2.49 b	91.91±1.25 b	94.05±1.25 a	91.95±1.25 b	91.51±2.43 b
	3	150	73.19±2.05 f	71.62±3.30 f	69.36±5.31 f	71.20±0.94 f	75.60±2.05 d	70.69±1.63 e	71.94±1.99 e
		/	97.93±0.47 a	98.60±2.16 a	98.90±1.25 a	98.06±0.82 a	97.02±0.47 a	97.13±0.47 a	97.94±0.69 a
药后 28 d 鲜重防效 Fresh weight control efficacy at 28 d after treatment	1	90	80.10±3.27 e	76.04±4.74 e	75.05±2.81 e	78.90±1.91 e	81.54±2.97 e	78.12±1.91 e	78.29±2.23 e
		108	84.52±6.13 d	83.01±3.55 d	80.30±0.83 d	84.70±2.89 d	86.08±5.41 d	82.76±3.81 d	83.56±1.83 d
	2	126	88.02±2.19 c	88.08±1.01 c	83.98±5.65 c	88.87±1.46 c	92.08±2.41 c	85.83±0.71 c	87.81±2.52 c
		216	93.40±3.50 b	92.07±1.38 b	90.71±1.23 b	92.02±1.96 b	94.60±0.57 b	92.69±1.84 b	92.58±1.21 b
	3	150	78.80±2.46 f	74.34±2.16 f	72.73±1.72 f	74.15±1.37 f	78.40±4.49 f	72.86±2.50 f	75.21±2.47 e
		/	98.92±1.05 a	99.25±1.93 a	99.30±1.23 a	98.74±0.94 a	98.97±1.35 a	98.13±0.79 a	98.89±0.39 a

1: 8% 环磺酮 OD; 2: 15% 硝磺草酮 OD; 3: 人工除草。表中数据为平均数±标准差。同列不同小写字母表示经 Duncan 新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。1: 8% tembotrione OD; 2: 15% mesotrione OD; 3: artificial weeding. Data are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

本试验发现,剂量为200 g (a.i.)/hm²的环磺酮对除黑糯301以外的11个玉米品种均较为安全,其在供试4个玉米品种和6种杂草之间均具有较好的选择性,选择性指数显著高于对照药剂硝磺草酮的。Bollman et al.(2008)研究发现,环磺酮对某些甜玉米品种表现出一定程度的药害,本试验中环磺酮对粤甜29号株高、鲜重和根长均表现出一定程度的抑制,但对苏科甜1506却表现出较高的安全性,这可能是由于同类型不同玉米品种对环磺酮的耐药性也存在差异。崔洪振和杨鹏艳(2020)对环磺酮在甘蔗田的应用也进行了研究,发现环磺酮在甘蔗3叶期至封行前进行茎叶喷雾处理时无明显药害症状,表明环磺酮可能对不同作物均具有较高的安全性。

综上所述,本研究通过室内生物测定明确了环磺酮的杀草谱、对常见杂草的除草活性以及对不同玉米品种的安全性,并通过田间试验进一步验证了环磺酮在玉米田的应用效果,表明该药剂杀草谱广、除草活性高,且对玉米较为安全,具有较好的应用前景。值得注意的是,本研究中田间药效试验是在特定条件下进行的,未来需要进一步探究环磺酮在不同地区、不同土壤和管理条件、不同玉米品种和栽培模式下的使用效果,并探究其与不同除草剂的联合作用效果,以在促进其推广和应用的同时,进一步降低其用药剂量。

参考文献 (References)

- Bollman JD, Boerboom CM, Becker RL, Fritz VA. 2008. Efficacy and tolerance to HPPD-inhibiting herbicides in sweet corn. *Weed Technology*, 22(4): 666–674
- Cui HZ, Yang PY. 2020. Efficacy of tembotrione against weeds in the sugarcane fields. *Guangxi Plant Protection*, 33(2): 23–25 (in Chinese) [崔洪振, 杨鹏艳. 2020. 环磺酮防除甘蔗田杂草的应用效果. 广西植保, 33(2): 23–25]
- Duan GF, Sun T. 2022. Control efficacy of pyroxasulfone on weeds in corn field. *Agricultural Science & Technology*, 23(4): 40–44
- Gan L, Lu XS, Lan CZ, Dai YL, Yang XJ. 2020. Control efficacies of nine herbicides to weeds and their safety evaluation in maize fields. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 22(3): 468–476 (in Chinese) [甘林, 卢学松, 兰成忠, 代玉立, 杨秀娟. 2020. 九种除草剂对玉米田杂草的防除效果及其安全性评价. 农药学学报, 22(3): 468–476]
- Gao XX, Li JY, Li M, Fang F, Li J, Qi JS. 2016. Weed control effect of diflufenican and its safety to wheat in glasshouses. *Journal of Plant Protection*, 43(2): 329–335 (in Chinese) [高兴祥, 李建勇, 李美, 房峰, 李健, 齐军山. 2016. 吡氟酰草胺除草活性及对小麦安全性测定. 植物保护学报, 43(2): 329–335]
- 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, Zhang Q, Li M, Li J, Fang F. 2020. Indoor bioactivities of mixture of tembotrione 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. 2020. 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]
- Hu ZJ, Liu J, Wu XB, Zhuang ZG, Song HW, Tang GX, Liu DR, Zhuang ZX. 2021. Efficacy of the mixture of tembotrione and terbutylazine on annual weeds in corn. *Journal of Weed Science*, 39(1): 50–55 (in Chinese) [胡尊纪, 刘军, 吴希宝, 庄治国, 宋化稳, 唐广新, 刘定蓉, 庄占兴. 2021. 环磺酮与特丁津复配对玉米田一年生杂草的防除效果. 杂草科学, 39(1): 50–55]
- Li Q, Liu YX, Yu JP, Zhang W, Xu ZJ, Yu XL, Zhao MQ, Xu XY. 2018. Control effects of tembotrione·nicosulfuron·atrazine 29% OD against annual weeds and security in corn field. *Agrochemicals*, 57(11): 851–854 (in Chinese) [李琦, 刘亦学, 于金萍, 张惟, 徐志军, 余小龙, 赵美芹, 徐欣媛. 2018. 29%环磺酮·烟嘧磺隆·莠去津可分散油悬浮剂防治玉米田一年生杂草效果与安全性. 农药, 57(11): 851–854]
- Su WC, Hao HD, Sun LL, Xu HL, Wu RH, Zhang YJ, Xue F. 2020. Efficacy and selectivity of tembotrione 5% OD in corn. *Journal of Weed Science*, 38(4): 49–56 (in Chinese) [苏旺苍, 郝红丹, 孙兰兰, 徐洪乐, 吴仁海, 张玉聚, 薛飞. 2020. 5%环磺酮可分散油悬浮剂在玉米田应用的除草效果及其安全性. 杂草学报, 38(4): 49–56]
- Wang HD, Han B, Han S, Guo JJ, Wu MF, Li DG. 2021. Efficacy and crop selectivity of five herbicides on weeds in maize. *Journal of Weed Science*, 39(2): 41–46 (in Chinese) [王宏栋, 韩冰, 韩双, 郭建军, 武明飞, 李冬刚. 2021. 5种除草剂对玉米田杂草的防除效果及安全性评价. 杂草学报, 39(2): 41–46]
- Wang HZ, Li Y, Wang LP, Liu WT, Wang JX. 2022. Baseline sensitivity of *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. to tripyrasulfone, a new HPPD-inhibiting herbicide, in China. *Crop Protection*, 158: 105993
- Wu CX, Zhang HJ, Zhang J, Song M, Kong FH, Lu XT. 2016. Resistance of weeds to nicosulfuron in corn fields in China. *Plant Protection*, 42(3): 198–203, 260 (in Chinese) [吴翠霞, 张宏军, 张佳, 宋敏, 孔繁华, 路兴涛. 2016. 玉米田主要杂草对烟嘧磺隆的抗性. 植物保护, 42(3): 198–203, 260]
- Xing YC, Xu JC, Wan YL, Sun QQ, Xiang J, Bi YL. 2023. Evaluation of laboratory bioactivity and field efficacy of pentoxazone on weeds in direct-seeding rice fields. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 25(1): 117–125 (in Chinese) [邢雨诚, 许锦程, 万永乐, 孙倩倩, 项晶, 毕亚玲. 2023. 环戊噁草酮对直播稻田杂草的室内活性及田间防效评价. 农药学学报, 25(1): 117–125]

(责任编辑:王璇)