

· 研究论文 ·

DOI: 10.16801/j.issn.1008-7303.2018.0013

双环磺草酮除草活性及对水稻的安全性研究

毕亚玲*, 王曹阳, 谷 刚, 李 部, 任永娟, 李学维, 李淑娟

(安徽科技学院 农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘 要: 双环磺草酮是一种以对-羟苯基丙酮酸双氧化酶 (HPPD) 为作用靶标的双环辛烷类化学除草剂。为明确其在水稻田的应用技术, 采用温室盆栽法测定了双环磺草酮的杀草谱、除草活性及对 8 个水稻品种的安全性。结果表明: 在有效成分 360 g/hm² 剂量处理下, 双环磺草酮对水稻田常见杂草稗草 *Echinochloa crusgalli*、雨久花 *Monochoria korsakowii*、异型莎草 *Cyperus difformis* 的地上部分鲜重抑制率均高于 90%, 对主要秋熟杂草稗草 *E. crusgalli*、牛筋草 *Eleusine indica*、雨久花 *M. korsakowii*、千金子 *Euphorbia lathyris*、田皂角 *Aeschynomene indica* 和异型莎草 *C. difformis* 的 GR₅₀ 值为有效成分 48~196 g/hm², 除田皂角外, 除草活性均高于对照药剂硝磺草酮。双环磺草酮对 8 个水稻品种的安全性研究结果表明: 在有效成分 720 g/hm² 剂量处理下, 隆两优华占、皖垦糯 1 号、皖稻 68 和绿早粳 1 号 4 个水稻品种对双环磺草酮耐药性较高, 徽两优 882、C 两优 608、皖稻 119 和 Y 两优 1 号 4 个水稻品种的株高和鲜重受到不同程度的抑制。双环磺草酮在隆两优华占、皖垦糯 1 号、皖稻 68 和绿早粳 1 号 4 种水稻与异型莎草、稗草和雨久花 3 种杂草之间的选择性指数分别为 3.66~4.37、4.50~5.37、3.36~4.01 和 3.29~3.93, 明显高于对照药剂硝磺草酮。研究表明, 双环磺草酮对多种秋熟杂草防效较好, 且对供试的 3 个粳稻品种及 5 个籼稻品种中的隆两优华占安全。

关键词: 双环磺草酮; 杀草谱; 除草活性; 水稻; 安全性

中图分类号: S482.4 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2018)01-0018-07

Herbicidal activity evaluation of benzobicyclon and its safety to rice

BI Yaling*, WANG Caoyang, GU Gang, LI Bu, REN Yongjuan, LI Xuewei, LI Shujuan
(College of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, Anhui Province, China)

Abstract: Benzobicyclon, which targets the 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD), is a bicyclooctane herbicide. In order to explore its application in rice fields of China, the weed controlling spectrum, herbicidal activity, and safety of benzobicyclon to rice were investigated under greenhouse conditions. The results showed that the aboveground fresh weight reduction of common weeds in rice field, including *Echinochloa crusgalli*, *Monochoria korsakowii* and *Cyperus difformis*, were all above 90% at active ingredient of 360 g/hm². The GR₅₀ value of benzobicyclon against main autumn weeds were 48-196 g/hm². The biological activity of benzobicyclon was higher than that of mesotrione except in the case of *Aeschynomene indica*. The safety of 8 rice varieties to benzobicyclon was studied. At the

收稿日期: 2017-08-15; 录用日期: 2017-12-26.

基金项目: 国家自然科学基金 (31201529); 安徽省高校优秀中青年骨干人才国内外访学研修重点项目 (gxfxZD2016183); 安徽省教育厅自然科学重点项目 (KJ2017A511); 安徽科技学院植物保护重点学科 (AKZDXK2015C04).

作者简介: *毕亚玲, 通信作者 (Author for correspondence), 女, 博士, 副教授, 主要从事除草剂毒理及应用技术研究, E-mail: byl-211@163.com

rate of 720 g/hm², the tolerance of Longliangyouhuazhan, Wankennuo 1, Wandao 68 and Lvhanjing 1 to benzobicyclon were good. However, the plant height and fresh weight of Huiliangyou 882, C liangyou 608, Wandao 119 and Y liangyou 1 were inhibited in different degree. Selectivity index of benzobicyclon between Longliangyouhuazhan, Wankennuo 1, Wandao 68, Lvhanjing 1 and three weeds were 3.66-4.37, 4.50-5.37, 3.36-4.01 and 3.29-3.93, respectively, which was much higher than that of mesotrione. In conclusion, benzobicyclon had good herbicidal effect against autumn weeds, and it is safe to 3 japonica varieties mentioned above and Longliangyouhuazhan of 5 indica varieties.

Keywords: benzobicyclon; weed control spectrum; herbicidal activities; rice; safety

对-羟苯基丙酮酸双氧化酶 (HPPD, EC1.13、11.27) 是在植物体合成质体醌和生育酚过程中的一种关键酶。若该酶被抑制, 可导致质体醌和生育酚的正常合成途径被阻断, 进而造成类胡萝卜素的生物合成减少、光合作用链电子传递受阻, 以及质体的光氧化等, 最终导致植物中叶绿素分子被破坏, 促使叶片出现白化症状, 甚至死亡^[1]。由于 HPPD 抑制剂类除草剂既可在芽前使用也可在芽后使用, 并具有高效、低毒、不易产生抗性、环境相容性好以及使用安全等特点^[2], 故自 20 世纪 90 年代以来, 该类除草剂已成为农药化学研究领域的热点, 目前已开发的此类除草剂品种主要有硝磺草酮 (mesotrione)、双环磺草酮 (benzobicyclon)、异噁唑草酮 (isoxaflutole) 和苄草唑 (pyrazoxyfen) 等^[3]。

双环磺草酮 (benzobicyclon) 是由日本史迪士生物科学株式会社研发的双环辛烷类除草剂, 化学名称为 3-(2-氯-4-甲基磺酰基苯甲酰基)-2-苯硫基双环[3, 2, 1]辛-2-烯-4-酮^[4]。该药剂用于水稻田苗前及苗后早期茎叶处理防除一年生和多年生杂草。Young^[5]报道了双环磺草酮在美国中南部水稻田中的应用情况; 截至目前, 中国仅见 25% 双环磺草酮悬浮剂对水稻田部分杂草田间药效的报道^[6], 有关其对多种常见杂草的杀草谱、除草活性及对不同水稻品种的安全性方面均未见报道。为了明确双环磺草酮在水稻田的应用技术, 笔者采用温室盆栽法研究了其杀草谱、除草活性以及对不同水稻品种的安全性。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试药剂 98% 双环磺草酮 (benzobicyclon)

原药和 97% 硝磺草酮 (mesotrione) 原药。

1.1.2 供试杂草 杂草均采自安徽凤阳周边地区。

秋熟杂草: 牛筋草 *Eleusine indica*、雨久花 *Monochoria korsakowii*、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*、田皂角 *Aeschynomene indica*、地锦 *Parthenocissus tricuspidata*、异型莎草 *Cyperus difformis*、稗草 *Echinochloa crusgalli*、青葙 *Celosia argentea*、千金子 *Euphorbia lathyris*、鳢肠 *Eclipta prostrata*、鸭跖草 *Commelina communis*。

夏熟杂草: 铁苋菜 *Acalypha australis*、野老鹳草 *Geranium carolinianum*、荠菜 *Capsella bursa-pastoris*、日本看麦娘 *Alopecurus japonicus*、小巢菜 *Vicia hirsuta*、阿拉伯婆婆纳 *Veronica persica*、风花菜 *Rorippa globosa*。

将采集的杂草种子, 放于室温为 25 ℃ 左右的条件下自然风干后装入纸袋, 室温保存待用。

1.1.3 供试水稻品种 皖垦糯 1 号 (粳稻)、皖稻 68 (粳稻)、绿早粳 1 号 (粳稻)、Y 两优 1 号 (籼稻)、隆两优华占 (籼稻)、皖稻 119 (籼稻)、C 两优 608 (籼稻) 和徽两优 882 (籼稻), 由安徽科技学院农学院提供。

1.1.4 主要仪器 HCL-2000 行走式喷雾塔, 昆山恒创力科技有限公司; GXZ 智能型光照培养箱, 宁波江南仪器厂; FA1004 型万分之一电子天平, 上海精密科学仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 药剂配制 准确称取适量药剂, 用少量丙酮溶解, 配制成高浓度母液, 使用时再用质量分数为 0.1% 的吐温-80 水溶液稀释成所需浓度药液, 以不含药剂的 0.1% 吐温-80 水溶液为空白对照。

1.2.2 试材培养 在生化培养箱中放入大小均匀一致的水稻或杂草种子, 低温浸泡催芽至露白。

供试土壤为砂壤土, pH 值为 7.0, 有机质质量分数为 1.7%, 经风干过筛后备用。用塑料钵 (直径 10 cm, 高 10 cm, 底部打孔) 装满风干细土, 采用盆钵底部渗灌方式加水, 使土壤渗透吸水至充分饱和。待水稻或杂草种子露白时均匀播种于塑料钵内, 每钵播种 20 粒种子, 根据种子大小覆上 0.2~1.0 cm 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; 播种夏熟杂草种子的盆钵置于光照培养箱内培养, 光照培养箱内昼/夜温度分别为 25 ℃/15 ℃, 相对湿度 75%, 12 h 黑暗/12 h 光照, 光照度为 6 000 lx^[7]。隔天补充水分, 以保持土壤湿润。待杂草或水稻出苗整齐时进行定苗, 每盆留取长势一致的 10 株, 在禾本科杂草及水稻长至 2~3 叶期或阔叶杂草长至 3 片真叶时进行药剂喷雾处理。

1.2.3 双环磺草酮杀草谱试验 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》^[8]进行。施药剂量设为有效成分 180 和 360 g/hm², 采用 HCL-2000 行走式喷雾塔喷雾, 喷雾压力为 275 kPa, 喷液量为 450 L/hm², 喷头与营养钵之间的距离为 50 cm。喷施药剂后, 定期观察植株的生长情况, 第 21 天时称量并记录植株地上部分鲜重, 按 (1) 式计算鲜重抑制率。

$$\text{鲜重抑制率}/\% = \frac{\text{对照杂草鲜重} - \text{处理杂草鲜重}}{\text{对照杂草鲜重}} \times 100 \quad (1)$$

杂草对双环磺草酮的敏感性按鲜重抑制率大小分为极敏感 (++++, >90%)、敏感 (+++, 80%~90%)、中度敏感 (++, 60%~79%)、一般耐药 (+, 30%~59%) 和耐药 (—, <30%) 5 个等级^[7]。

1.2.4 双环磺草酮对主要秋熟杂草的生物活性 双环磺草酮对稗草、牛筋草、雨久花、千金子、田皂角、异型莎草的生物活性测定施药剂量设为有效成分 0、45、90、180、360 和 720 g/hm², 对照药剂硝磺草酮生物活性测定施药剂量设为有效成分 0、50、100、150、200 和 400 g/hm²。于茎叶喷雾处理后 21 d 称量杂草植株地上部分鲜重, 每处理 4 次重复, 施药方法同 1.2.3 节。采用 DPS 软件统计分析双环磺草酮抑制杂草地上部分 50% 鲜重的剂量 (GR₅₀) 和 90% 鲜重的剂量 (GR₉₀)。以除草剂剂量对数值 (x) 为横坐标, 鲜重抑制率几率值 (y) 为纵坐标, 建立回归方程。

1.2.5 双环磺草酮对水稻的安全性测定 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》^[9]进行。水稻品种为皖垦糯 1 号、皖稻 68、绿旱粳 1 号、Y 两优 1 号、隆两优华占、皖稻 119、C 两优 608 和徽两优 882, 在水稻长至 2~3 叶期时进行茎叶喷雾处理, 施药方法同 1.2.3 节。双环磺草酮施药剂量设为有效成分 360 和 720 g/hm²。在施药后 21 d 测量水稻株高和称量地上部分鲜重, 每处理 4 次重复, 计算株高和鲜重抑制率。

依据安全性测定结果, 选取隆两优华占、皖垦糯 1 号、皖稻 68 和绿旱粳 1 号 4 个品种, 双环磺草酮施药剂量设为有效成分 0、45、90、180、360 和 720 g/hm², 对照药剂硝磺草酮剂量设为有效成分 0、50、100、150、200 和 400 g/hm², 茎叶喷雾处理, 方法同上。药剂剂量对数值与鲜重抑制率的几率值用 DPS 软件进行回归分析, 计算出相关系数和抑制水稻地上部分 10% 鲜重的药剂剂量 (GR₁₀) 和抑制水稻地上部分 50% 鲜重的药剂剂量 (GR₅₀), 根据统计分析所得 GR₁₀ 和对稗草、雨久花、异型莎草地上部分鲜重的 GR₉₀ 值, 计算双环磺草酮在水稻和稗草、雨久花、异型莎草之间的选择性指数。

$$\text{株高抑制率}/\% = \frac{\text{对照杂草株高} - \text{处理杂草株高}}{\text{对照杂草株高}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{选择性指数} = \frac{\text{抑制水稻生长 10\% 的剂量}(\text{GR}_{10})}{\text{抑制杂草生长 90\% 的剂量}(\text{GR}_{90})} \quad (3)$$

2 结果与分析

2.1 双环磺草酮杀草谱评价

茎叶喷雾处理 21 d 后发现, 双环磺草酮对多种禾本科、莎草科和阔叶类秋熟杂草具有较好的防除效果 (表 1)。其中, 秋熟杂草在有效成分 360 g/hm² 剂量处理下, 双环磺草酮对稗草、雨久花和异型莎草有极高的防除效果, 其地上部分鲜重抑制率均超过 90%, 对千金子和青葙的地上部分鲜重抑制率为 80%~90%, 对牛筋草、鸭跖草、鳢肠、田皂角的地上部分鲜重抑制率为 60%~79%, 对空心莲子草和地锦的防除效果较差, 其地上部分鲜重抑制率均小于 30%。

双环磺草酮对夏熟杂草地上部分鲜重有一定的抑制作用。其中, 在施药剂量为有效成分

表 1 双环磺草酮对杂草的防治效果

Table 1 Control effect of benzobicyclon against weeds

杂草 Weed	施药剂量 (有效成分) Dose, a.i./ (g/hm ²)		杂草 Weed	施药剂量 (有效成分) Dose, a.i./ (g/hm ²)	
	180	360		180	360
野老鹳草 <i>G. carolinianum</i>	—	—	田皂角 <i>A. indica</i>	++	++
芥菜 <i>C. bursa-pastoris</i>	++	+++	雨久花 <i>M. korsakowii</i>	+++	++++
日本看麦娘 <i>A. japonicus</i>	—	—	千金子 <i>E. lathyris</i>	++	+++
鳢肠 <i>E. prostrata</i>	+	++	青葙 <i>C. argentea</i>	++	+++
稗草 <i>E. crusgalli</i>	+++	++++	异型莎草 <i>C. difformis</i>	+++	++++
小巢菜 <i>V. hirsuta</i>	+	++	铁苋菜 <i>A. australis</i>	+	+
阿拉伯婆婆纳 <i>V. persica</i>	—	—	地锦 <i>P. tricuspidata</i>	—	—
鸭跖草 <i>C. communis</i>	+	++	空心莲子草 <i>A. philoxeroides</i>	—	—
牛筋草 <i>E. indica</i>	+	++	风花菜 <i>R. globosa</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%.

360 g/hm² 时, 对芥菜的抑制率为 80%~90%, 防治效果较好, 对小巢菜的抑制率为 60%~79%, 对铁苋菜的抑制率为 30%~59%, 但对野老鹳草、日本看麦娘、风花菜和阿拉伯婆婆纳的防除效果均低于 30%, 防除效果较差 (表 1)。

2.2 双环磺草酮对主要秋熟杂草的除草活性

茎叶喷雾处理 21 d 后发现, 双环磺草酮对水稻田的多种杂草有较高的除草活性, 其中对异型莎草、稗草和雨久花的活性最高, GR₅₀ 值分别为有效成分 48、56 和 63 g/hm²; 其次是对千金子,

GR₅₀ 值为 76 g/hm²; 对牛筋草和田皂角的除草活性较低, GR₅₀ 值分别为 144 和 196 g/hm²。而对照药剂硝磺草酮对稗草、牛筋草的除草活性明显低于双环磺草酮 (表 2)。

2.3 双环磺草酮对水稻的安全性

结果表明: 茎叶喷雾处理 21 d 后, 在有效成分 720 g/hm² 剂量处理下, 双环磺草酮对隆两优华占、皖垦糯 1 号、皖稻 68 和绿早粳 1 号 4 个水稻品种株高和鲜重的抑制率较低, 株高抑制率在 3.98%~8.36% 之间, 鲜重抑制率介于 4.59%~4.96%

表 2 双环磺草酮和硝磺草酮对稻田主要杂草的生物活性

Table 2 Biological activities of benzobicyclon and mesotrione to main weeds in rice field

杂草 Weed	除草剂 Herbicide	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	GR ₅₀ (95% CL), a.i./ (g/hm ²)	GR ₉₀ (95% CL), a.i./ (g/hm ²)
稗草 <i>E. crusgalli</i>	双环磺草酮 benzobicyclon	y = 1.851 8x + 1.762 4	0.999 6	56 (53~59)	276 (267~285)
	硝磺草酮 mesotrione	y = 2.158 1x + 0.760 9	0.976 2	92 (75~113)	362 (226~579)
牛筋草 <i>E. indica</i>	双环磺草酮 benzobicyclon	y = 1.153 5x + 2.510 8	0.959 2	144 (103~201)	1 858 (798~4 325)
	硝磺草酮 mesotrione	y = 1.459 7x + 1.209 9	0.993 4	395 (317~492)	2 981 (1 749~5 082)
雨久花 <i>M. korsakowii</i>	双环磺草酮 benzobicyclon	y = 1.784 4x + 1.789 7	0.987 9	63 (49~81)	329 (268~404)
	硝磺草酮 mesotrione	y = 2.927 1x + 0.449 0	0.981 5	36 (26~50)	98 (85~114)
千金子 <i>E. lathyris</i>	双环磺草酮 benzobicyclon	y = 1.183 1x + 2.774 2	0.962 5	76 (50~115)	922 (502~1 693)
	硝磺草酮 mesotrione	y = 2.115 7x + 0.987 0	0.985 9	79 (68~91)	318 (241~420)
田皂角 <i>A. indica</i>	双环磺草酮 benzobicyclon	y = 1.283 2x + 2.058 4	0.985 2	196 (161~238)	1 955 (1 176~3 249)
	硝磺草酮 mesotrione	y = 1.624 0x + 2.342 0	0.994 1	43 (37~51)	267 (228~311)
异型莎草 <i>C. difformis</i>	双环磺草酮 benzobicyclon	y = 1.636 9x + 2.249 4	0.994 8	48 (40~58)	291 (256~330)
	硝磺草酮 mesotrione	y = 3.315 4x + 0.942 2	0.979 2	62 (50~78)	151 (127~180)

之间；而徽两优 882、C 两优 608、皖稻 119 和 Y 两优 1 号存在明显的植株矮化及叶片白化的药害症状，株高抑制率在 28.53%~62.76% 之间，鲜重抑制率介于 29.95%~58.89% 之间 (表 3)。

由表 4、表 5 可知：双环磺草酮对隆两优华占、皖垦糯 1 号、皖稻 68 和绿早粳 1 号的 GR₁₀ 值分别为有效成分 1 205、1 479、1 105 和 1 084 g/hm²，均明显大于硝磺草酮对该 4 个水稻品种的 GR₁₀ 值，双环磺草酮对隆两优华占、皖垦糯 1 号、皖稻 68、绿早粳 1 号 4 种水稻与异型莎草、稗草、雨久花 3 种杂草之间的选择性指数分

别为 3.66~4.37、4.50~5.37、3.36~4.01、3.29~3.93，明显高于对照药剂硝磺草酮。

3 小结与讨论

HPPD 是继乙酰乳酸合成酶 (acetolactate synthetase, ALS) 和乙酰辅酶 A 羧化酶 (acetyl-CoA carboxylase, ACCase) 后又一重要的除草剂作用靶标^[2]。双环磺草酮作为 HPPD 抑制剂类除草剂，与目前水稻田广泛应用的 ALS 抑制剂类除草剂五氟磺草胺、吡嘧磺隆、苄嘧磺隆、双草醚，ACCase 抑制剂类除草剂噁唑酰草胺、氰氟草酯和合成激

表 3 不同施药剂量处理 21 d 双环磺草酮对水稻株高和鲜重的抑制效果

Table 3 The inhibitory effect of benzobicyclon on the plant height and fresh weight of rice 21 d after treatment				
水稻品种 Rice variety	施药剂量 (有效成分) Dose, a.i./ (g/hm ²)			
	360		720	
	株高抑制率 Inhibiting rate of plant height/%	鲜重抑制率 Inhibiting rate of fresh weight/%	株高抑制率 Inhibiting rate of plant height/%	鲜重抑制率 Inhibiting rate of fresh weight/%
隆两优华占 Longliangyouhuazhan	2.74 ± 0.46 e	3.77 ± 0.59 e	3.98 ± 1.08 f	4.79 ± 0.35 e
徽两优882 Huiliangyou 882	14.70 ± 0.49 d	22.49 ± 3.31 d	28.53 ± 0.99 d	29.95 ± 3.04 d
C两优608 C liangyou 608	18.79 ± 2.91 c	27.33 ± 2.68 c	38.79 ± 3.36 c	34.99 ± 3.49 c
皖稻119 Wandao 119	41.18 ± 3.81 b	40.78 ± 2.27 b	56.38 ± 3.55 b	49.18 ± 1.50 b
Y两优1号 Y liangyou 1	49.29 ± 1.22 a	49.27 ± 3.25 a	62.76 ± 3.21 a	58.89 ± 8.64 a
皖垦糯1号 Wankennuo 1	3.28 ± 1.14 e	3.44 ± 0.22 e	8.36 ± 0.84 e	4.96 ± 0.02 e
皖稻68 Wandao 68	1.64 ± 0.92 e	3.66 ± 0.75 e	4.48 ± 0.75 f	4.77 ± 0.45 e
绿早粳1号 Lvhanjing 1	1.92 ± 0.06 e	2.40 ± 0.08 e	5.15 ± 0.38 f	4.59 ± 0.62 e

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.

表 4 不同水稻品种对双环磺草酮与硝磺草酮的耐药性测定

Table 4 Tolerance of different rice varieties to benzobicyclon and mesotrione					
水稻品种 Rice variety	除草剂 Herbicide	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	GR ₁₀ (95% CL), a.i./ (g/hm ²)	GR ₅₀ (95% CL), a.i./ (g/hm ²)
隆两优华占 Longliangyouhuazhan	双环磺草酮 benzobicyclon	$y = 1.165\ 3x + 0.128\ 1$	0.969 0	1 205 (650~2 234)	15 167 (4 092~56 216)
	硝磺草酮 mesotrione	$y = 2.084\ 0x + 0.751\ 8$	0.956 2	140 (99~196)	575 (323~1 024)
皖垦糯1号 Wankennuo 1	双环磺草酮 benzobicyclon	$y = 0.846\ 4x + 1.035\ 4$	0.945 3	1 479 (597~3 667)	48 341 (5 360~444 282)
	硝磺草酮 mesotrione	$y = 2.013\ 8x - 0.627\ 1$	0.973 6	144 (111~187)	623 (394~985)
皖稻68 Wandao 68	双环磺草酮 benzobicyclon	$y = 1.092\ 0x + 0.395\ 2$	0.920 6	1 105 (410~2 973)	16 475 (1 791~151 525)
	硝磺草酮 mesotrione	$y = 2.121\ 4x - 1.040\ 8$	0.987 2	175 (146~210)	704 (504~983)
绿早粳1号 Lvhanjing 1	双环磺草酮 benzobicyclon	$y = 1.539\ 8x + 0.954\ 9$	0.970 4	1 084 (609~1 928)	7 367 (2 500~21 707)
	硝磺草酮 mesotrione	$y = 2.033\ 6x - 0.547\ 3$	0.971 2	125 (95~165)	534 (342~834)

表 5 环磺草酮和硝磺草酮在 4 个水稻品种和不同杂草间的选择性指数

Table 5 The selectivity index of benzobicyclon and mesotrione between 4 rice varieties and different weeds				
水稻品种 Rice variety	除草剂 Herbicide	稗草 <i>E. crusgalli</i>	雨久花 <i>A. indica</i>	异型莎草 <i>C. difformis</i>
隆两优华占 Longliangyouhuazhan	双环磺草酮 benzobicyclon	4.37	3.66	4.15
	硝磺草酮 mesotrione	0.39	1.42	0.93
皖垦糯 1 号 Wankennuo 1	双环磺草酮 benzobicyclon	5.37	4.50	5.09
	硝磺草酮 mesotrione	0.40	1.46	0.95
皖稻 68 Wandao 68	双环磺草酮 benzobicyclon	4.01	3.36	3.80
	硝磺草酮 mesotrione	0.48	1.78	1.16
绿早粳 1 号 Lvhanjing 1	双环磺草酮 benzobicyclon	3.93	3.29	3.73
	硝磺草酮 mesotrione	0.35	1.27	0.83

素类除草剂二氯喹啉酸等作用机制不同^[10-14]，因此，该药剂可以应用于水稻田作为防除因长期单一使用某类除草剂而导致的抗 ALS、ACCase、合成激素类抑制剂杂草的轮换药剂。

长久以来，人们常采用改变种植方式、加强田间管理及使用除草剂等措施来控制杂草的危害。然而，随着这些措施产生的选择压和生态环境的变化，杂草群落也不断演变，致使水稻田间生物链发生了改变，进一步加大了稻田杂草的防治难度^[15]。因此，新型除草剂的研发及商品化变得十分重要^[16-18]。本研究发现，双环磺草酮对主要秋熟杂草如稗草、异型莎草、雨久花等水稻田禾本科、阔叶类和莎草科杂草具有较高的生物活性，杀草谱较广，这使得其在稻田推广使用具有较好的前景。

对水稻的安全性测定结果表明，双环磺草酮在 720 g/hm² 剂量下进行茎叶喷雾处理 21 d 后，徽两优 882、C 两优 608、皖稻 119 和 Y 两优 1 号 4 个品种存在明显的植株矮化及叶片白化等药害症状，而隆两优华占、皖垦糯 1 号、皖稻 68 和绿早粳 1 号 4 个品种的耐药性则较强。其中，双环磺草酮在 4 个水稻品种——隆两优华占、皖垦糯 1 号、皖稻 68 和绿早粳 1 号与 3 种杂草——异型莎草、稗草和雨久花之间的选择性指数均高于对照药剂硝磺草酮。试验结果表明，双环磺草酮对供试的 3 个粳稻品种安全，在供试的 5 个籼稻品种中，仅对隆两优华占安全，其安全性优于硝磺草酮。因为中国水稻品种繁多，而本研究仅探索了 8 个水稻品种对双环磺草酮的耐药性差异，

所以针对不同的水稻品种，仍需在进行广泛安全性试验基础上才能得以应用，并确定最佳适宜的施药时间和剂量。

综上所述，双环磺草酮具有杀草谱宽、持效期长、作用机制新颖等特点，本研究通过温室盆栽法测定了双环磺草酮的杀草谱、除草活性及对不同水稻品种的安全性，还需进一步通过田间试验测定和评价双环磺草酮在水稻田的应用技术。

参考文献 (Reference):

[1] 杨文超, 林红艳, 杨盛刚, 等. 对羟基苯基丙酮酸双氧化酶抑制剂筛选方法研究进展[J]. 农药学报, 2013, 15(2): 129-134.
YANG W C, LIN H Y, YANG S G, et al. Progress on the assay methods of *p*-hydroxyphenylpyruvatedioxygenase inhibitor screening[J]. Chin J Pestic Sci, 2013, 15(2): 129-134.

[2] 何波, 王大伟, 杨文超, 等. 对羟基苯丙酮酸双加氧酶(HPPD)的结构及其吡唑类除草剂的最新研究进展[J]. 有机化学, 2017, 37(11): 2895-2904.
HE B, WANG D W, YANG W C, et al. Advances in research on HPPD structure and pyrazole-containing herbicides[J]. Chinese J Org Chem, 2017, 37(11): 2895-2904.

[3] 华乃震. 三酮类除草剂产品及其应用[J]. 世界农药, 2015, 37(6): 7-13.
HUA N Z. Triketone herbicide and its application[J]. World Pestic, 2015, 37(6): 7-13.

[4] 张一宾. 除草剂双环磺草酮的研究开发[J]. 世界农药, 2006, 28(2): 9-14.
ZHANG Y B. Research and Development of herbicide benzobicyclon[J]. World Pestic, 2006, 28(2): 9-14.

[5] YOUNG M. Evaluation of benzobicyclon for use in Midsouthern Rice (*Oryza sativa*) systems[D]. Conway: University of Arkansas,

2017.

[6] 齐萌, 王亚楠, 康占海, 等. 25%双环磺草酮悬浮剂防除水稻移栽田杂草的效果与安全性[J]. 杂草科学, 2014, 32(1): 120-123.

QI M, WANG Y N, KANG Z H, et al. Efficacy of benzobicyclon and its selectivity to transplanted rice[J]. Weed Sci, 2014, 32(1): 120-123.

[7] 王红春, 李小艳, 孙宇, 等. 新型除草剂二氯喹啉草酮的除草活性及对水稻的安全性评价[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 67-72.

WANG H C, LI X Y, SUN Y, et al. Herbicidal activity of quintrione and its safety to rice[J]. Jiangsu J Agric Sci, 2016, 32(1): 67-72.

[8] 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[S]. 2006.

Pesticides guidelines for laboratory bioactivity tests. Part 4: foliar spray application test for herbicide activity: NY/T 1155.4—2006[S]. 2006.

[9] 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[S]. 2007.

Guideline for laboratory bioassay of pesticides. Part 8: foliar application test for herbicide crop safety evaluation: NY/T 1155.8—2007[S]. 2007.

[10] 于澄宇, 何蓓如. 植物乙酰乳酸合成酶抑制剂作用方式及机理研究进展[J]. 农药学报, 2011, 13(3): 221-227.

YU C Y, HE P R. Research progress on the mode and mechanism of action of plant acetolactate synthase inhibitors[J]. Chin J Pestic Sci, 2011, 13(3): 221-227.

[11] JABUSCH T W, TJEERDEMA R S. Partitioning of penoxsulam, a new sulfonamide herbicide[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(18): 7179-7183.

[12] BOND J A, WALKER T W, WEBSTER E P, et al. Rice cultivar response to penoxsulam[J]. Weed Technol, 2007, 21(4): 961-965.

[13] 夏向东, 马洪菊, 许孟涵, 等. 杂草对芳氧苯氧丙酸类(APPs)除草剂的抗性分子机理研究进展[J]. 农药学报, 2013, 15(6): 609-614.

XIA X D, MA H J, XU M H, et al. Research progress on molecular mechanism of resistant weeds to aryloxyphenoxypropionate herbicides[J]. Chin J Pestic Sci, 2013, 15(6): 609-614.

[14] MAHAJAN G, CHAUHAN B S, GILL M S. Dry-seeded rice culture in Punjab State of India: lessons learned from farmers[J]. Field Crops Res, 2013, 144: 89-99.

[15] 张斌, 董立尧. 水稻田杂草群落演化原因及趋势浅析[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(2): 58-60.

ZHANG B, DONG L Y. Preliminary analysis on reason and trend of weed community evolution in paddy field[J]. Guizhou Agric Sci, 2009, 37(2): 58-60.

[16] KRAEHMER H, VAN ALMSICK A, BEFFA R, et al. Herbicides as weed control agents: state of the art: II. Recent achievements[J]. Plant Phys, 2014, 166(3): 1132-1148.

[17] DUKE S O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?[J]. Pest Manag Sci, 2012, 68(4): 505-512.

[18] SEIBER J N, COATS J, DUKE S O, et al. Biopesticides: state of the art and future opportunities[J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(48): 11613-11619.

(责任编辑: 金淑惠)