

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.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.01.010

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

王红春¹, 李小艳^{1,2}, 孙宇^{1,3}, 贺建荣^{1,2}, 张伟星^{1,2}, 娄远来¹, 詹福康^{4,5}

(1.江苏省农业科学院植物保护研究所,江苏南京210014;2.南京农业大学植物保护学院,江苏南京210095;3.南京农业大学生命科学学院,江苏南京210095;4.北京法盖银科技有限公司,北京102499;5.定远县嘉禾植物保护剂有限责任公司,安徽滁州233200)

摘要: 本研究采用室内整株生测法测定了新型除草化合物二氯喹啉草酮的杀草谱、除草活性及对不同水稻品种的安全性。二氯喹啉草酮 600 g/hm², a.i. 处理对秋熟杂草无芒稗、稗草、西来稗、光头稗、硬稗、马唐、鳢肠、陌上菜、丁香蓼、异型莎草、碎米莎草地上部分鲜质量抑制率均高于 90%, 对耳叶水苋、鸭舌草地上部分鲜质量抑制率低于 80%, 对千金子地上部分鲜质量抑制率低于 50%; 对夏熟杂草猪殃殃、牛繁缕、芥菜、大巢菜地上部分鲜质量抑制率均低于 90%, 而对日本看麦娘、看麦娘、茵草、硬草、棒头草、早熟禾、野燕麦和野老鹳草地上部分鲜质量抑制率均低于 30%。二氯喹啉草酮对主要秋熟杂草无芒稗、稗草、西来稗、光头稗、硬稗、马唐、鳢肠、陌上菜、丁香蓼、异型莎草和碎米莎草的 ED₉₀ 值为 214.872 0~489.547 8 g/hm², a.i.。二氯喹啉草酮在水稻和秋熟杂草硬稗、西来稗、无芒稗、稗、光头稗、马唐、鳢肠、陌上菜、异型莎草、碎米莎草间的选择性指数较高, 为 6.16~16.47。二氯喹啉草酮对多种恶性秋熟杂草防效好, 且对水稻安全, 在水稻田应用前景广阔。

关键词: 二氯喹啉草酮; 杀草谱; 生物活性; 水稻; 安全性

中图分类号: **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)01-0067-06

Herbicidal activity of quintrione and its safety to rice

WANG Hong-chun¹, LI Xiao-yan^{1,2}, SUN Yu^{1,3}, HE Jian-rong^{1,2}, ZHANG Wei-xing^{1,2}, LOU Yuan-lai¹, ZHAN Fu-kang^{4,5}

(1. Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 4. Vagean Beijing Technologies Co., Ltd., Beijing 102499, China; 5. Dingyuan Plant Protection Agent Co., Ltd., Chuzhou 233200, China)

Abstract: In order to demonstrate the application rule of quintrione, the spectrum of weed control, herbicidal activity, and the safety to rice of quintrione were studied in the greenhouse by whole-plant bioassay. The results indicated that the inhibition rates of quintrione to the shoot fresh weight of autumn weeds *Echinochloa crusgalli*, *E. crusgalli* var. *mitis*, *E. crusgalli* var. *zelayensis*, *E. colonum*, *E. glabrescens*, *Digitaria sanguinalis*, *Ludwigia prostrate*, *Lindernia procumbens*, *Cyperus*

收稿日期: 2015-07-20

基金项目: 江苏省农业三新工程项目[SXGC(2015)293]

作者简介: 王红春(1985-), 男, 河南汝州人, 博士, 助理研究员, 研究方向为除草剂研究与应用。(E-mail) hongchun023@126.com

通讯作者: 娄远来, (Tel) 025-84391119, (E-mail) Louyl@jaas.ac.cn

iria, and *C. difformis* were higher than 90%, the inhibition rates to *Ammannia arenaria* H.B.K., *Monochoria vaginalis* (Burm.f.) Presl ex Kunth were lower than 80%, and the inhibition rate to *Leptochloa chinesis* L. were less than 50%. The inhibition effects of quintrione on summer weeds *Galium aparine* L., *Capsella bursa-pastoris*, *Malachium aquaticum* (L.) Fries, and *Vicia gigantea* were lower than

90%, and the effects on *Beckmannia syzigachne*, *Alopecurus japonicus*, *A. aequalis*, *Avena fatua* L., *Sclerochloa kengiana*, *Polypogon fugax*, *Geranium carolinianum* L. were lower than 30%. The ED_{90} values of quintrione against major autumn weeds were 214.872 0–489.547 8 g/hm², a.i.. The selectivity indices of quintrione between rice and autumn weeds were 6.16–16.47. In conclusion, quintrione is a safe herbicide to be used in rice field to control autumn weeds.

Key words: quintrione; weed control spectrum; biological activity; rice; safety

近年来,随着耕种方式的改变和除草剂的长期使用,长江中下游稻田主要危害杂草种群已由稗 [*Echinochloa crusgalli* (L.)]、鳢肠 (*Echinochloa crusgalli* L.)、扁秆蔗草 (*Scirpus planiculmis* Fr. Schmidt.) 等单一种群发展为稗属杂草无芒稗 [*E. crusgalli* var. *mitis* (Pursh) Peterm]、稗 (*E. crusgalli*)、西来稗 [*E. crusgalli* var. *zelayensis* (H. B. K.) Hitchc]、光头稗 [*E. colonum* (L.) Link.]、硬稗 (*E. glabrescens* Munro ex Hook.f.)] 和千金子 (*Lepidochloa chinensis* L.)、杂草稻 (*Oryza sativa* L.)、马唐 (*Digitaria sanguinalis* Scop.)、鸭舌草 [*Monochoria vaginalis* (Burm.f.) Presl ex Kunth]、耳叶水苋 (*Ammannia arenaria* H.B.K.) 等多种杂草种群混生危害,杂草草相演替给稻田杂草防除提出了新的挑战^[1-3]。而目前,稻田除草剂仍以五氟磺草胺^[4]、噁唑啉草胺、二氯喹啉酸^[5]、丁草胺^[5]等为主导品种,对新出现的恶性杂草防治效果差,且单一除草剂的长期使用,导致抗药性杂草蔓延迅速。为有效防除抗性杂草,农民随意提高除草剂用量的现象普遍,这不仅提高了稻田杂草化学防除成本,而且还导致除草剂药害事故频发^[6]。因此研发新型高效、安全、可有效应对稻田复杂草相的新型除草剂品种具有重要意义^[7-9]。

二氯喹啉草酮是 2-(喹啉-8-基)-羰基-环己烷-1,3-二酮类除草化合物 (专利号: ZL201110119584), CAS 登记号为 130901-36-8, 化学名称为 2-(3,7-二氯喹啉-8-基)-羰基-环己烷-1,3-二酮。目前,尚未见任何关于二氯喹啉草酮的除草活性及其安全性的研究报道。本研究采用室内生物测定法对二氯喹啉草酮的杀草谱、除草活性及对不同水稻品种的安全性进行了研究。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试药剂: 98% 二氯喹啉草酮 (Quintrione) 原药, 由北京法盖银科技有限公司提供。

供试杂草: 秋熟杂草光头稗、稗、硬稗、无芒稗、西来稗、马唐种子, 2013 年 10 月采集于江苏省盐城市阜宁县试验田; 秋熟杂草千金子、鳢肠、耳叶水苋、陌上菜 [*Lindernia procumbens* (Krock.) Philcox]、丁香蓼 (*Ludwigia prostrata* Roxb)、鸭舌草、碎米莎草 (*Cyperus iria* L.)、异型莎草 (*C. difformis* L.) 种子, 2013 年 10 月采集于江苏省农业科学院休闲田; 夏熟杂草茵草 (*Beckmannia syzigachne*)、日本看麦娘 (*Alopecurus japonicus*)、看麦娘 (*A. aequalis*)、硬草 (*Sclerochloa kengiana*)、棒头草 (*Polypogon fugax*)、野燕麦 (*Avena fatua* L.)、猪殃殃 (*Galium aparine* L.)、芥菜 (*Capsella bursa-pastoris*)、牛繁缕 [*Malachium aquaticum* (L.) Fries]、大巢菜 (*Vicia gigantea*)、野老鹳草 (*Geranium carolinianum* L.)、早熟禾 (*Poa annua* L.) 种子, 2013 年 5 月采集于江苏省农业科学院休闲田。杂草种子采后 25 ℃ 左右室温自然风干, 装入纸袋, 室温保存待用。

供试水稻: 南粳 9108 (粳稻) 和南京 11 (籼稻), 由江苏省农业科学院粮食作物研究所提供。

1.2 试验方法

1.2.1 药剂配制与施药方法 准确称量 98% 二氯喹啉草酮原药 0.102 04 g, 用少量丙酮溶解, 并用 0.1% 的吐温-80 水溶液定容至 50 ml, 配成 2 000 mg/L 的二氯喹啉草酮-丙酮母液。试验时用 0.1% 的吐温-80 水溶液稀释至所需浓度。以不含药剂的 0.1% 的吐温-80 水溶液为空白对照。

除草剂茎叶喷雾采用农业部南京农业机械化研究所生产的 3WPSH-500D 型生测喷雾塔进行喷雾, 圆盘直径 50 cm, 主轴转动速度为 6 r/min, 喷头孔径 0.3 mm, 喷雾压力 3×10^5 Pa, 雾滴直径 100 μ m, 喷头流量 90 ml/min^[10]。

1.2.2 试验材料 杂草和水稻幼苗培养参照《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》进行^[11]。试验用土为马肝土, pH 为 6.7, 有机质含量 1.6%, 风干过筛后备用。将塑料钵 (15 cm \times 11 cm \times 7 cm, 底部打孔) 装

满风干细土,置于塑料周转箱内,底部加水,土壤底部渗透吸水至充分饱和。低温浸泡催芽至露白的杂草或水稻种子均匀播至塑料钵内,每钵约35粒,播后根据种子大小覆0.2~1.0 cm细土。播种水稻或秋熟杂草种子的盆钵置于日光温室(日平均温度25~32℃,约12 h光照,相对湿度60%~80%)内培养;播种夏熟杂草种子的盆钵置于光照培养箱(温度15/25℃,12 h黑暗/12 h光照,相对湿度75%)内培养。隔天补充水分保持土壤湿润。杂草或水稻出苗整齐时定苗至每钵25株,待阔叶杂草长至3片真叶或禾本科杂草及水稻长至2~3叶期进行喷雾处理。

1.2.3 二氯喹啉草酮杀草谱试验 二氯喹啉草酮的杀草谱测定剂量设计为450 g/hm², a.i.、600 g/hm², a.i.。将供试杂草对二氯喹啉草酮的防治效果按照鲜质量抑制率分为极敏感(++++)、敏感(+++、80%~90%)、中度敏感(++、60%~79%)、一般耐药(+、30%~59%)和耐药(-、<30%)5级^[12]。

1.2.4 二氯喹啉草酮对主要秋熟杂草生物活性 二氯喹啉草酮对不同稗属杂草(光头稗、稗、硬稗、无芒稗、西来稗)、千金子、马唐、鳢肠、陌上菜、异型莎草、碎米莎草的生物活性剂量设计为0、150 g/hm², a.i.、225 g/hm², a.i.、300 g/hm², a.i.、450 g/hm², a.i.、600 g/hm², a.i.。药后20 d测定杂草地上部分鲜质量,每处理4次重复。试验重复3次。试验所测原始数据经ANOVA分析发现3次重复试验间无显著差异后,数据汇总进行统计分析。采用IBM SPSS Statistics (Version 20.0, IBM SPSS Inc.)软件统计分析二氯喹啉草酮抑制杂草地上部分鲜质量90%的剂量(ED₉₀)^[13]。拟合模型方程如下:

$$Y = A + Bx$$

式中,Y为鲜质量抑制率,A为截距,B为回归系数,x为除草剂剂量的对数。以统计分析所得ED₉₀值的大小来评价二氯喹啉草酮对主要秋熟杂草的生物活性。ED₉₀值的越大,除草剂的生物活性越低。

1.2.5 二氯喹啉草酮对2种水稻的选择性指数测定 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》进行^[14]。水稻品种为南京11(籼稻)、南粳9108(粳稻),水稻2~3叶期喷雾处理。二氯喹啉草酮剂量

设计为0、150 g/hm², a.i.、300 g/hm², a.i.、450 g/hm², a.i.、600 g/hm², a.i.、1 200 g/hm², a.i.。药后20 d测定水稻株高及地上部分鲜质量,每处理4次重复。试验重复3次。试验所测原始数据经ANOVA分析发现3次重复试验间无显著差异后,数据汇总进行统计分析。

以统计分析所得二氯喹啉草酮抑制水稻地上部分鲜质量10%的剂量(ED₁₀)和对秋熟杂草地上部分鲜质量的ED₉₀值计算二氯喹啉草酮在水稻和秋熟杂草之间的选择性指数^[14]:

选择性指数=抑制水稻生长10%的剂量/抑制秋熟杂草生长90%的剂量

以选择性指数的大小来确定二氯喹啉草酮对水稻安全性。当选择性指数大于4时,表明除草剂对水稻安全^[14]。

1.2.6 数据调查与分析 药后20 d测定杂草地上部分鲜质量、水稻株高及地上部分鲜质量,每处理4次重复。试验重复3次。试验所测原始数据经ANOVA分析发现3次重复试验间无显著差异后,数据汇总进行统计分析。采用IBM SPSS Statistics (Version 20.0, IBM SPSS Inc.)软件统计分析二氯喹啉草酮抑制杂草生长90%的剂量(ED₉₀)^[14]。拟合模型方程如下:

$$Y = A + Bx$$

2 结果与分析

2.1 二氯喹啉草酮杀草谱评价

药后20 d,二氯喹啉草酮茎叶喷雾处理对2~3叶期的多种禾本科、阔叶类及莎草科秋熟杂草具有很好的防治效果,在600 g/hm², a.i.剂量下,对硬稗、西来稗、无芒稗、稗、光头稗、马唐、鳢肠、陌上菜、丁香蓼、异型莎草、碎米莎草有极高的防除效果,其地上部分鲜质量抑制率均高于90%,对耳叶水苋、鸭舌草地上部分鲜质量抑制率低于80%,对千金子地上部分鲜质量抑制率稍差(表1)。

二氯喹啉草酮对部分阔叶夏熟杂草具有一定的防治效果,而对禾本科夏熟杂草防治效果较差。其中,二氯喹啉草酮600 g/hm², a.i.剂量处理对猪殃殃、芥菜、大巢菜、牛繁缕防治效果高于60%,对日本看麦娘、看麦娘、茵草、硬草、棒头草、早熟禾、野燕麦、野老鹳防治效果均低于30%(表1)。

表1 二氯喹啉草酮对杂草的防治效果评价

Table 1 Control effect of quintrione to experimental weeds

供试杂草	剂量(g/hm ² , a.i.)		供试杂草	剂量(g/hm ² , a.i.)	
	450	600		450	600
硬稈稗	++++	++++	野燕麦	-	-
西来稗	++++	++++	鳢肠	++++	++++
无芒稗	+++	++++	野老鹳草	-	-
稗	+++	++++	丁香蓼	+++	++++
光头稗	++++	++++	耳叶水苳	+	++
马唐	+++	++++	鸭舌草	+	++
千金子	+	+	猪殃殃	++	+++
日本看麦娘	-	-	芥菜	++	+++
看麦娘	-	-	大巢菜	+	++
茵草	-	-	牛繁缕	+	++
硬草	-	-	陌上菜	++++	++++
棒头草	-	-	异型莎草	+++	++++
早熟禾	-	-	碎米莎草	++++	++++

++++:鲜质量抑制率>90%;+++ :抑制率80%~90%;++ :抑制率60%~79%;+ :抑制率30%~59%;- :抑制率<30%。

2.2 二氯喹啉草酮对主要秋熟杂草的生物活性

药后20 d,二氯喹啉草酮茎叶喷雾处理对2~3叶期的多种恶性秋熟杂草表现出很高的生物活性,

其中对鳢肠、西来稗的生物活性最高,其次是硬稈稗、碎米莎草、稗和异型莎草,对耳叶水苳、千金子生物活性最低(表2)。

表2 二氯喹啉草酮对稻田主要恶性杂草的生物活性

Table 2 Biological activity of quintrione to main weeds in rice field

供试杂草	回归方程(Y=Ax+B)	相关系数	ED ₉₀ 值(g/hm ² , a.i.)	95%置信区间
硬稈稗	Y=4.011 1x-4.181 4	0.991 7	405.997 0	373.682 7~441.105 6
无芒稗	Y=3.745 9x-3.794 1	0.962 6	489.547 8	394.546 4~607.424 2
稗	Y=3.858 5x-3.944 1	0.995 3	446.8692	408.711 7~488.589 1
光头稗	Y=3.747 7x-3.666 1	0.983 3	451.135 8	395.962 7~513.996 8
西来稗	Y=7.112 3x-11.169 0	0.843 3	284.155 2	198.545 4~406.678 6
马唐	Y=4.790 7x-6.543 7	0.993 3	475.467 1	436.016 6~518.487 1
千金子	Y=7.682 7x-15.666 6	0.958 3	719.180 2	424.858 3~1217.394 4
鳢肠	Y=8.796 3x-14.233 0	0.950 6	214.872 0	171.675 5~268.937 5
陌上菜	Y=4.402 2x-5.492 1	0.995 1	472.573 3	438.981 1~508.736 0
耳叶水苳	Y=4.432 1x-5.970 3	0.990 8	581.237 7	513.370 2~658.077 2
碎米莎草	Y=3.148 4x-1.965 1	0.990 2	416.229 9	379.509 1~456.503 8
异型莎草	Y=3.166 5x-2.0740	0.974 8	435.242 3	372.379 6~508.717 0

2.3 二氯喹啉草酮对水稻的安全性

药后20 d,二氯喹啉草酮150~600 g/hm², a.i.茎叶喷雾处理对2~3叶期南京11、南粳9108的株

高抑制率均低于7%,地上部分鲜质量抑制率均低于5%(表3)。

根据表2中ED₉₀值和表4中ED₁₀值,计算得到

二氯喹啉草酮在水稻(南京 11 和南粳 9108)和恶性秋熟杂草(硬稈稗、西来稗、无芒稗、稗、光头稗、马唐、鳢肠、陌上菜、异型莎草、碎米莎草)之间的选择

性指数为 6.16~16.47,说明二氯喹啉草酮在水稻和靶标杂草间有极好的选择性,对水稻安全。

表 3 药后 20 d 二氯喹啉草酮对水稻株高和鲜质量的抑制

Table 3 The inhibitory effect of quintrione on the height and fresh weight of rice 20 d after treatment

二氯喹啉草酮浓度 (g a.i./hm ²)	株高 (cm)		鲜质量 (g)	
	南京 11	南粳 9108	南京 11	南粳 9108
150	22.50 ± 0.58a	18.00 ± 0.82a	5.925 0 ± 0.40a	1.357 5 ± 0.30a
300	22.00 ± 1.41a	17.50 ± 0.58ab	5.885 0 ± 0.43a	1.330 0 ± 0.18a
450	21.75 ± 1.26a	17.25 ± 0.50ab	5.845 0 ± 0.52a	1.322 5 ± 0.12a
600	21.00 ± 2.16a	17.00 ± 0.82b	5.780 0 ± 0.10a	1.312 5 ± 0.17a
1 200	20.50 ± 0.58a	16.75 ± 0.96b	5.690 0 ± 0.07a	1.290 0 ± 0.09a
空白对照	22.00 ± 1.83a	17.50 ± 0.58ab	5.960 0 ± 0.06a	1.342 5 ± 0.29a

同一列数据后不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著。

表 4 二氯喹啉草酮在南京 11、南粳 9108 与杂草间的选择性指数

Table 4 The selectivity index of quintrione between rice and weed

水稻品种	回归方程 (Y=A _x +B)	相关系数	ED ₁₀ 值 (g/hm ² , a.i.)	95%置信区间	选择性指数
南京 11	Y=0.942 3x+0.440 3	0.993 1	3 013.393 8	2 287.975 8~3 968.810 4	6.16~14.02
南粳 9108	Y=0.987 9x+0.212 2	0.995 6	3539.899 3	2 761.078 0~4 538.403 9	7.23~16.47

3 讨论

近年来,化学除草剂研发速度缓慢,农田杂草草相演替明显,可有效应对农田草害的除草剂品种越来越少^[7]。筛选获得新的除草化合物,加快新除草剂研发上市速度显得尤为重要。本研究发现,二氯喹啉草酮对主要秋熟杂草无芒稗、稗、西来稗、光头稗、硬稈稗、马唐、鳢肠、陌上菜、异型莎草、碎米莎草生物活性高,对鸭舌草、耳叶水苋具有一定的抑制作用,对千金子防治效果稍差;对大多数的恶性夏熟杂草生物活性稍低。二氯喹啉草酮对大多数恶性秋熟杂草生物活性高,具有在稻田推广使用的可能性。进一步测定二氯喹啉草酮对水稻的安全性发现,二氯喹啉草酮在水稻和主要恶性秋熟杂草间的选择性指数为 6.16~16.47,略低于其在粳稻南粳 9108 和主要恶性秋熟杂草间的选择性指数(7.23~16.47),其选择性指数间无显著差异。因此,二氯喹啉草酮可应用于水稻田防除多种禾本科、阔叶类和莎草科杂草。

目前,稻田除草剂品种以五氟磺草胺、噁唑酰草

胺、二氯喹啉酸为主^[15]。其中,五氟磺草胺对稗属杂草特效,但对马唐基本无效,隐性药害严重,且抗性杂草种群蔓延迅速^[16-17];噁唑酰草胺对马唐特效,但对阔叶杂草无效^[18];二氯喹啉酸对稗属杂草特效,但对低龄水稻安全性差,且药后遇高温,药害严重,存在安全隐患^[19-20]。二氯喹啉草酮与五氟磺草胺、噁唑酰草胺、二氯喹啉酸相比,具有杀草谱广、安全性佳等优势,在水稻田应用前景广阔。田间使用时,二氯喹啉草酮可在稻田杂草 2~3 叶期以 450~600 g/hm², a.i. 剂量喷雾法施用防除稻田多种恶性杂草,但由于其对千金子防治效果稍差,可与氰氟草酯等对千金子特效的除草剂混用,从而有效控制稻田草害。

参考文献:

- [1] 高婷,王红春,石旭旭,等. 水稻机械化插秧栽培及其草害防除[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(9): 60-62.
- [2] 陆永良,刘德好,余柳青,等. 中国主要农区稻田稗草分类与多样性研究[J]. 植物科学学报, 2014, 32(5): 435-445.
- [3] 张自常,李永丰,张彬,等. 江苏省稻田常见稗草的生物学特性[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(12): 136-138.

- [4] 刘兴林, 桑松, 孙涛, 等. 五氟磺草胺药肥混用对水稻移栽田杂草的防除效果[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(8): 119-121.
- [5] 单国侠, 李俭, 李海粟, 等. 吉林省稻田抗药、耐药性禾本科杂草分布特征及防控对策[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 164-167.
- [6] 高婷. 水稻机插秧田杂草发生与防除研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [7] KRAEHMER H, VAN ALMSICK A, BEFFA R, et al. Herbicides as weed control agents; state of the art; II. Recent achievements [J]. Plant Physiology, 2014, 166: 1132-1148.
- [8] DUKE S O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years [J]. Pest Management Science, 2012, 68: 505-512.
- [9] SEIBER J N, COATS J, DUKE S O, et al. Biopesticides: state of the art and future opportunities [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62: 11613-11619.
- [10] WANG H, LI J, LV B, et al. The role of cytochrome P450 monooxygenase in the different responses to fenoxaprop-P-ethyl in annual bluegrass (*Poa annua* L.) and short awned foxtail (*Alopecurus aequalis* Sobol.) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2013, 107: 334-342.
- [11] NY/T 1155.4-2006 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[S].
- [12] 谢娜, 王金信, 候珍, 等. 氯吡嘧磺隆除草活性及对不同玉米品种的安全性[J]. 植物保护学报, 2012, 39(5): 461-466.
- [13] XU H, ZHU X, WANG H, et al. Mechanism of resistance to fenoxaprop in Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) from China [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2013, 107: 25-31.
- [14] NY/T 1155.4-2006 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[S].
- [15] MAHAJAN G, CHAUHAN B S, GILL M S. Dry-seeded rice culture in Punjab State of India; lessons learned from farmers [J]. Field Crops Research, 2013, 144: 89-99.
- [16] JABUSCH T W, TJEERDEMA R S. Partitioning of penoxsulam, a new sulfonamide herbicide [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 7179-7183.
- [17] BOND J A, WALKER T W, WEBSTER E P, et al. Rice cultivar response to penoxsulam [J]. Weed Technology, 2007, 21: 961-965.
- [18] KIM T J, CHANG H S, RYU J W, et al. Metamifop; a new post-emergence grass killing herbicide for use in rice [C] // GOWEN S R, COLLIER R H, DENHOLM I, et al. The Proceedings of the BCPC International Congress; Crop Science & Technology. Alton: British Crop Protection Council, 2003: 81-86.
- [19] GROSSMANN K. Quinclorac belongs to a new class of highly selective auxin herbicides [J]. Weed Science, 1998, 46: 707-716.
- [20] STREET J E, TERESIAK H, BOYKIN D L, et al. Interaction between timings and doses of quinclorac in rice [J]. Weed Research, 1995, 35: 75-79.

(责任编辑: 陈海霞)