

二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸的除草活性及对水稻安全性的比较

王正博, 王 豪, 于佳星, 李 俊, 董立尧*

(南京农业大学植物保护学院, 农作物生物灾害综合治理教育部重点实验室, 南京 210095)

摘要 采用整株生物测定法测定两种除草剂二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸茎叶处理对水稻田杂草的生物活性及对水稻的安全性。结果表明:当二氯喹啉草酮和二氯喹啉酸有效成分剂量均为 600 g/hm^2 时,两种除草剂对稗属杂草、鳢肠的鲜重抑制率均高于 94%,其 GR_{90} 为 $107.35 \sim 558.58 \text{ g/hm}^2$;对马唐和耳叶水苋的鲜重抑制率低于 85%,对抗二氯喹啉酸西来稗和千金子的鲜重抑制率低于 50%;不同的是二氯喹啉草酮对丁香蓼和异型莎草的鲜重抑制率分别为 92.17%、94.33%,均显著高于二氯喹啉酸(83.64%、85.57%)。二氯喹啉草酮和二氯喹啉酸对 1.5 叶期水稻安全性差,选择性指数为 2.53~3.58;对 3.5 叶期水稻安全,选择性指数大于 4,各处理水稻鲜重与对照组之间无显著差异。本着高效、安全、经济的原则,不推荐二氯喹啉草酮用于防除水稻田禾本科杂草,仅对部分阔叶类和莎草科杂草发生严重的水稻田,二氯喹啉草酮可以作为补充除草剂。

关键词 二氯喹啉草酮; 二氯喹啉酸; 杂草; 生物活性; 水稻; 安全性

中图分类号: S 482.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021601

Comparison of herbicidal activity and the safety of quintrione and quinclorac to rice

WANG Zhengbo, WANG Hao, YU Jiaxing, LI Jun, DONG Liyao*

(College of Plant Protection, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Pests, Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract The whole-plant bioassay was used to determine bioactivity of quintrione and quinclorac to weeds and its safety to rice seedling in paddy fields in this study. The results indicated that at a dose of 600 g/hm^2 , the inhibition rates of quintrione and quinclorac to *Echinochloa* spp. and *Eclipta prostrata* were higher than 94%, with the GR_{90} value ranged from 107.35 to 558.58 g/hm^2 . The inhibition rates to *Digitaria sanguinalis* and *Ammannia auriculata* were lower than 85%, and the inhibition rates to *Leptochloa chinensis* and resistant *Echinochloa crus-galli* var. *zelayensis* were lower than 50%, however, the inhibition rates of quintrione on fresh weight of *Ludwigia prostrata* and *Cyperus difformis* were 92.17% and 94.33%, respectively, significantly higher than those of quinclorac (83.64%, 85.57%). Quintrione and quinclorac had poor safety to rice seedling at 1.5-leaf stage, with the selectivity indices ranged from 2.53 to 3.58 while they were safe to rice seedling at 3.5-leaf stage, with the selectivity indices higher than 4. There was no significant difference in the fresh weight of rice between each treatment and control group. According to the principle of high efficiency, economy and safety, quintrione is not recommended to control gramineous weeds, but could be a supplementary herbicide only for some broadleaf and cyperaceous weeds in paddy fields.

Key words quintrione; quinclorac; weed; bioactivity; rice; safety

水稻田防除杂草的措施有多种,其中化学防除具有省工、省时、见效快等优点,是目前农田杂草防

控最有效的手段^[1-3]。目前水稻田常用防除禾本科杂草的除草剂有五氟磺草胺、苯噻酰草胺、二氯喹啉

收稿日期: 2021-10-29 修订日期: 2022-01-04

基金项目: 国家自然科学基金(31871993)

* 通信作者 E-mail: dly@njau.edu.cn

酸、氟氟草酯、敌稗等^[4-5];防治阔叶类和莎草科杂草有灭草松、吡嘧磺隆、氟吡磺隆等^[6-7],随着上述除草剂的长期使用,导致某些地区杂草对除草剂产生严重的抗药性,在推荐剂量下无法达到较好的防治效果^[8-9],因此开发杀草谱宽、安全性高的稻田除草剂具有重要意义。

二氯喹啉草酮是由北京法盖银科技有限公司研发的具有自主知识产权的新型除草化合物,该化合物以喹啉环和三酮基团为先导结构合成(图 1),应用于水稻田防除一年生杂草如无芒稗 *Echinochloa crus-galli* var. *mitis*、马唐 *Digitaria sanguinalis*、鳢肠 *Eclipta prostrata*、陌上菜 *Lindernia procumbens*、异型莎草 *Cyperus difformis* 等,特别对高龄稗草 *Echinochloa crus-galli* 防治效果好^[10-11],但其实际应用面积小。二氯喹啉酸,又名快杀稗,是 BASF 公司开发的一种激素型除草剂,可以有效防除稻田稗草、雨久花 *Monochoria korsakowii*、水芹 *Oenanthe javanica* 等杂草,其中对稗草有很高活性^[12],但由于二氯喹啉酸的长期使用,目前很多地区的稗草对其产生了抗药性,且抗性程度日趋严重^[13-14]。

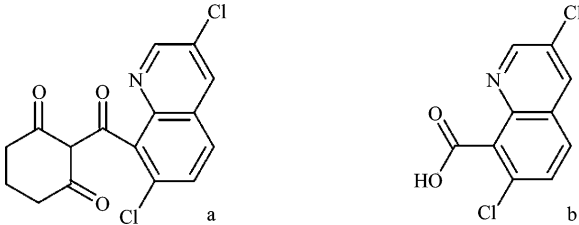


图 1 二氯喹啉草酮(a)和二氯喹啉酸(b)的结构
Fig. 1 The structure of quintrione (a) and quinclorac (b)

二氯喹啉草酮是二氯喹啉酸的一个衍生物,关于两者在除草活性及对水稻安全性方面的比较,国内外未见报道,而且外界对二氯喹啉草酮评价褒贬不一。因此,本文的主要目的是明确二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸对水稻田杂草生物活性以及对水稻安全性的差异,为二氯喹啉草酮田间推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试水稻:粳稻‘淮稻 5 号’和籼稻‘湘两优 900’,均由江苏省农业科学院提供。供试杂草种子来源见表 1。

表 1 供试杂草信息¹⁾

Table 1 The collecting site and collecting time of weed seeds

供试杂草 Tested weed	采集时间/年-月 Collecting time	采集地点 Collecting site
稗 <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	2018-09	江苏省连云港市赣榆县
硬稗稗 <i>Echinochloa glabrescens</i>	2017-09	江苏省淮安市淮安区
无芒稗 <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>mitis</i>	2018-09	江苏省南京市玄武区
西来稗 <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i>	2016-05	江苏省南京市玄武区
西来稗(R) <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i> (R) ^[15]	2010-10	上海市松江区
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	2018-10	江苏省连云港市赣榆县
千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	2017-10	浙江省嘉兴市南湖区
鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	2018-09	江苏省盐城市阜宁县
丁香蓼 <i>Ludwigia prostrata</i>	2017-11	安徽省芜湖市无为县
耳叶水苋 <i>Ammannia auriculata</i>	2015-10	浙江省杭州市余杭区
异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	2018-10	江苏省扬州市江都区

1) R 表示高抗二氯喹啉酸的西来稗。
R represent that *E. crus-galli* var. *zelayensis* which was highly resistant to quinclorac.

供试药剂:20%二氯喹啉草酮可分散油悬浮剂,定远县嘉禾植物保护剂有限责任公司;25%二氯喹啉酸悬浮剂,河南瀚斯作物保护有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 供试杂草和水稻的培养

参照 Fang 等室内整株生物测定法^[16],将土和肥按 2:1 比例混合均匀后,装入规格为边长 7 cm 且底

部打孔的小白盒中,底部吸水至土壤水分饱和,然后分别在不同的小白盒中播种 20 粒杂草种子及 10 粒水稻种子,并覆盖 1~2 cm 的细土,保持土壤湿润,置于温室中培养(昼夜温度 30℃/25℃,光照为自然光照),待杂草和水稻长到 1 叶期,进行间苗定株,保证植株密度及大小一致,在杂草 3~4 叶期、水稻 1.5 叶期及水稻 3.5 叶期分别进行茎叶喷雾处理。

1.2.2 二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸室内除草生物活性测定

准确称取一定量的药剂,采用倍量稀释法设定5~6个剂量,二氯喹啉草酮和二氯喹啉酸有效剂量(下同)设为0、37.5、75、150、300、600 g/hm²。采用农业部南京农业机械化研究所生产的3WP-2000型行走式生测喷雾塔进行喷雾(主轴转动速度96 mm/r,喷雾高度300 mm,喷头有效喷幅350 mm,喷头流量390 mL/min,行走距离1 340 mm,喷雾面积0.469 m²,喷液压力为0.3 MPa),将供试植株的塑料钵置于喷雾塔中,喷头匀速前进,使药液均匀分布在供试植株上,待药液完全被植株吸收后,将供试植株置于温室中培养,药剂处理20 d后,剪取并测定杂草地上部分鲜重,计算杂草地上部分鲜重抑制率。采用SPSS 20统计软件求出抑制杂草地上部分鲜重90%的剂量(GR₉₀)。

鲜重抑制率=[(对照杂草鲜重-处理杂草鲜重)/对照杂草鲜重]×100%。

1.2.3 二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸在水稻和稗草间的选择性指数

待水稻长到1.5、3.5叶期时进行茎叶处理,二氯喹啉草酮和二氯喹啉酸有效剂量设为0、37.5、75、150、300、600 g/hm²。药后20 d测定水稻地上部分鲜重,计算水稻地上部分鲜重抑制率,利用SPSS 20统计软件求出抑制水稻地上部分鲜重10%的剂量(GR₁₀)。

以统计分析所得的抑制水稻地上部分鲜重10%的剂量(GR₁₀)和抑制杂草地上部分鲜重90%

的剂量(GR₉₀),计算二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸在水稻和杂草之间的选择性指数(Z)^[17]。

$Z = \text{抑制水稻生长 } 10\% \text{ 的剂量 (GR}_{10}) / \text{抑制杂草生长 } 90\% \text{ 的剂量 (GR}_{90})$;

以选择性指数(Z)的大小来确定二氯喹啉草酮和二氯喹啉酸对水稻的安全性。当Z<2表示对作物不安全;当2≤Z≤4表示对作物相对安全;当Z>4表示对作物安全^[17]。

1.3 数据分析

药后20 d测定杂草和水稻地上部分鲜重,每处理4次重复,试验重复3次。采用SPSS 20统计软件进行回归分析和配对样本t测验,计算GR₁₀、GR₉₀,并对药剂处理的鲜重之间进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸对水稻田主要杂草的生物活性

从表2可知,当二氯喹啉草酮和二氯喹啉酸有效剂量为600 g/hm²时,两种除草剂对稗、无芒稗、硬稈稗 *Echinochloa glabrescens*、西来稗 *Echinochloa crus-galli* var. *zelayensis*、鳢肠的鲜重抑制率均高于94%,其GR₉₀为107.35~558.58 g/hm²;对马唐和耳叶水苋 *Ammannia auriculata* 的鲜重抑制率低于85%,对抗二氯喹啉酸西来稗和千金子 *Leptochloa chinensis* 的鲜重抑制率低于50%;不同的是二氯喹啉草酮对丁香蓼 *Ludwigia prostrata* 和异型莎草的鲜重抑制率分别为92.17%、94.33%,均显著高于二氯喹啉酸(83.64%、85.57%)。

表2 二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸对水稻田主要杂草的生物活性 ¹⁾								
Table 2 The bioactivity of quintrione and quinclorac to main weeds in rice fields								
药剂 Herbicide	供试杂草 Tested weed	鲜重抑制率/% Inhibition rate on fresh weight					GR ₉₀ (95%置信区间)/ g·(hm ²) ⁻¹ GR ₉₀ (95% confidence interval)	R
		37.5	75	150	300	600		
		g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²		
二氯喹啉草酮 quintrione	稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	31.35	56.38	79.39	91.85	100.00a	258.25(246.01~271.11)	0.999 6
	无芒稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i>	83.16	85.26	88.00	92.00	94.95a	168.64(292.37~560.53)	0.989 7
	硬稈稗 <i>E. glabrescens</i>	27.20	50.85	85.76	90.47	98.39a	251.52(203.87~310.29)	0.986 3
	西来稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i>	79.44	85.52	93.05	95.94	96.23a	107.35(95.57~120.59)	0.994 2
	西来稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i> (R)	30.55	39.05	41.88	43.67	45.75a	—	—
	马唐 <i>D. sanguinalis</i>	3.12	5.12	13.60	30.09	81.85a	852.62(641.37~1133.46)	0.991 8
	千金子 <i>L. chinensis</i>	17.32	19.29	24.80	25.20	25.72a	—	—
	鳢肠 <i>E. prostrata</i>	27.67	42.67	66.74	82.79	96.63a	377.53(308.55~461.92)	0.991 3
	丁香蓼 <i>L. prostrata</i>	18.48	38.92	68.30	91.19	92.17a	298.07(259.37~342.55)	0.997 0
	耳叶水苋 <i>A. auriculata</i>	4.88	17.07	22.10	56.71	68.90a	—	—
	异型莎草 <i>C. difformis</i>	4.64	23.71	69.07	77.84	94.33a	459.28(414.28~509.17)	0.998 6

续表 2 Table 2(Continued)

药剂 Herbicide	供试杂草 Tested weed	鲜重抑制率/% Inhibition rate on fresh weight					GR ₉₀ (95%置信区间)/ g·(hm ²) ⁻¹ GR ₉₀ (95% confidence interval)	R
		37.5	75	150	300	600		
		g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²		
二氯喹啉酸 quinclorac	稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	75.57	79.87	91.46	97.47	100.00a	118.30(122.85~302.88)	0.985 0
	无芒稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i>	51.42	61.83	78.71	91.43	100.00a	289.36(214.61~706.40)	0.985 1
	硬稈稗 <i>E. glabrescens</i>	72.20	82.03	91.27	92.71	98.90a	124.77(113.03~137.73)	0.997 6
	西来稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i>	66.48	75.79	89.59	98.80	100.00a	188.99(129.13~276.60)	0.984 3
	西来稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i> (R)	29.06	38.30	40.98	41.43	45.31a	—	—
	马唐 <i>D. sanguinalis</i>	1.91	9.38	13.15	32.36	82.03a	970.10(548.99~1714.24)	0.981 5
	千金子 <i>L. chinensis</i>	14.17	15.49	27.17	27.95	29.13a	—	—
	鳢肠 <i>E. prostrata</i>	36.40	50.12	63.49	77.56	95.47a	558.58(406.71~767.18)	0.985 7
	丁香蓼 <i>L. prostrata</i>	34.47	45.57	49.24	65.97	83.64b	941.59 (771.92~1148.56)	0.996 9
	耳叶水苋 <i>A. auriculata</i>	52.29	59.45	69.21	73.78	79.10a	—	—
	异型莎草 <i>C. difformis</i>	20.62	27.32	68.30	78.35	85.57b	672.95(483.18~—937.26)	0.989 1

1) 两种除草剂有效剂量均为 600 g/hm²。不同小写字母表示两种除草剂对同一种草的鲜重抑制率差异显著($P<0.05$)。
Significance analysis of inhibition rate on fresh weight of two herbicides on the same weed at the dose of 600 g/hm² was conducted. Different letters indicate significant difference between two herbicides ($P<0.05$).

2.2 二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸对水稻的安全性

据目测,在水稻 1.5 叶期,两种除草剂处理后 7 d,水稻表现出相似受害症状,水稻叶片黄化,株高明显受到抑制。药后 20 d,二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸对 1.5 叶期粳稻(‘淮稻 5 号’)、籼稻(‘湘两优 900’)和稗草选择指数为 2.53~3.58,对 1.5 叶期水稻安全性差(表 3、5、6)。

药后 20 d,二氯喹啉草酮 600 g/hm² 处理对

3.5 叶期粳稻(‘淮稻 5 号’)和籼稻(‘湘两优 900’)的鲜重抑制率分别为 4.72%和 3.71%,各处理水稻鲜重与对照组无显著性差异,在水稻和稗草之间选择性指数大于 4,对两种水稻均安全。二氯喹啉酸对两种类型水稻(‘淮稻 5 号’‘湘两优 900’)和稗草之间的选择性指数分别为 4.04 和 7.97,对两种水稻均安全(表 4、5、6)。

表 3 二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸对 1.5 叶期水稻和稗草的鲜重和鲜重抑制率¹⁾

Table 3 The fresh weight and inhibition rate on fresh weight of rice and *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* after quintrione and quinclorac treatment at 1.5-leaf stage

药剂 Herbicide	剂量/ g·(hm ²) ⁻¹ Dose	淮稻 5 号 Huaidao 5		湘两优 900 Xiangliangyou 900		稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	
		鲜重/g	抑制率/%	鲜重/g	抑制率/%	鲜重/g	抑制率/%
		Fresh weight	Inhibition rate	Fresh weight	Inhibition rate	Fresh weight	Inhibition rate
二氯喹啉草酮 quintrione	37.5	(2.96±0.25)a	1.31	(3.13±0.21)a	1.03	(1.62±0.28)b	34.54
	75	(2.89±0.23)a	3.56	(3.08±0.31)a	2.84	(1.40±0.37)b	43.68
	150	(2.91±0.23)a	3.06	(3.04±0.10)a	3.95	(0.28±0.06)c	88.58
	300	(2.87±0.04)ab	4.23	(2.95±0.45)ab	6.00	(0.06±0.07)c	97.45
	600	(2.76±0.14)b	7.90	(2.86±0.29)b	9.79	0.00c	100.00
	0	(3.00±0.19)a	0	(3.17±0.33)a	0	(2.48±0.28)a	0
二氯喹啉酸 quinclorac	37.5	(3.00±0.19)a	0.06	(3.11±0.41)a	1.74	(0.80±0.15)b	58.37
	75	(3.00±0.12)a	0.56	(3.13±0.28)a	1.21	(0.41±0.25)c	70.59
	150	(2.90±0.21)a	3.39	(3.07±0.08)a	3.16	(0.30±0.05)d	85.60
	300	(2.88±0.20)ab	4.06	(2.98±0.20)ab	5.85	(0.10±0.06)d	93.10
	600	(2.75±0.11)b	8.40	(2.88±0.19)b	9.16	0.00d	100.00
	0	(3.00±0.19)a	0	(3.17±0.33)a	0	(2.48±0.28)a	0

1) 表中数据为平均值±标准差。同列不同小写字母表示同一除草剂在各自不同剂量下在 0.05 水平差异显著。下同。
Data are mean±SD. Different letters in the same column for same herbicide with their different doses indicate significant difference at 0.05 level. The same applies below.

表 4 二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸对 3.5 叶期水稻和稗草的鲜重及鲜重抑制率¹⁾

Table 4 The fresh weight and inhibition rate on fresh weight of rice and <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i> after quintrione and quinclorac treatment at 3.5-leaf stage							
药剂 Herbicide	剂量/ g · (hm ²) ⁻¹ Dose	淮稻 5 号 Huaidao 5		湘两优 900 Xiangliangyou 900		稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	
		鲜重/g Fresh weight	抑制率/% Inhibition rate	鲜重/g Fresh weight	抑制率/% Inhibition rate	鲜重/g Fresh weight	抑制率/% Inhibition rate
二氯喹啉草酮 quintrione	37.5	(3.80±0.35)a	0.26	(4.30±0.53)a	0.31	(3.74±0.67)b	29.70
	75	(3.79±0.31)a	0.52	(4.29±0.52)a	0.46	(2.48±0.22)c	53.38
	150	(3.62±0.33)a	1.23	(4.52±0.28)a	1.01	(1.40±0.42)d	73.62
	300	(3.75±0.44)a	1.57	(4.20±0.33)a	2.55	(0.77±0.03)d	85.53
	600	(3.63±0.40)a	4.72	(4.15±0.29)a	3.71	(0.54±0.08)d	89.85
	0	(3.81±0.43)a	0	(4.31±0.16)a	0	(5.32±0.72)a	0
二氯喹啉酸 quinclorac	37.5	(3.79±0.42)a	0.59	(4.33±0.17)a	0.46	(3.24±0.46)b	39.19
	75	(3.78±0.22)a	0.79	(4.25±0.10)a	2.41	(2.30±0.38)c	56.77
	150	(3.73±0.30)a	2.01	(4.22±0.41)a	3.10	(1.07±0.04)c	79.89
	300	(3.70±0.10)a	2.89	(4.14±0.41)a	4.75	(0.82±0.05)c	84.65
	600	(3.61±0.26)a	5.25	(4.12±0.23)a	5.21	(0.48±0.28)c	90.98
	0	(3.81±0.43)a	0	(4.31±0.16)a	0	(5.32±0.72)a	0

表 5 不同时期施用二氯喹啉草酮和二氯喹啉酸对稗草的生物活性

Table 5 Bioactivity of quintrione and quinclorac at different leaf stages on <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>				
药剂 Herbicide	水稻施药叶期 Leaf stage of rice	斜率±标准误 b±SE	GR ₉₀ (95%置信区间)/g · (hm ²) ⁻¹ GR ₉₀ (95% Confidence interval)	χ ² (df)
二氯喹啉草酮 quintrione	1.5	2.79±0.09	240.82(163.61~354.49)	1.95(3)
	3.5	1.34±0.25	604.24(560.97~650.85)	2.23(3)
二氯喹啉酸 quinclorac	1.5	1.42±0.05	226.09(186.80~273.66)	2.01(3)
	3.5	1.36±0.18	502.71(437.98~577.00)	3.40(3)

表 6 二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸在水稻与稗草间的选择性指数

Table 6 The selectivity index of quintrione and quinclorac between different rice varieties and <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>							
药剂 Herbicide	水稻施药叶期 Leaf stage of rice	水稻品种 Rice variety	斜率±标准误 b±SE	GR ₁₀ (95%置信区间)/ g · (hm ²) ⁻¹ GR ₁₀ (95% confidence interval)	χ ² (df)	选择性指数 Selectivity index	
二氯喹啉草酮 quintrione	1.5	淮稻 5 号 Huaidao 5	0.65±0.11	860.96(737.81~1 019.87)	2.69(3)	3.58	
		湘两优 900 Xiangliangyou 900	0.80±0.09	608.36(440.37~840.46)	3.58(3)	2.53	
	3.5	淮稻 5 号 Huaidao 5	0.74±0.18	3 800.54(1 439.27~1 635.73)	3.21(3)	6.29	
		湘两优 900 Xiangliangyou 900	0.81±0.11	2 678.02(1 573.06~4 559.14)	3.78(3)	4.43	
二氯喹啉酸 quinclorac	1.5	淮稻 5 号 Huaidao 5	1.50±0.12	638.27(456.72~892.00)	2.01(3)	2.82	
		湘两优 900 Xiangliangyou 900	1.02±0.07	616.69(497.12~765.02)	3.98(3)	2.73	
	3.5	淮稻 5 号 Huaidao 5	0.74±0.06	2 028.77(802.73~1 863.34)	2.04(3)	4.04	
		湘两优 900 Xiangliangyou 900	0.44±0.16	4 010.07(539.92~1 783.61)	3.67(3)	7.97	

3 结论与讨论

近年来水稻田的杂草危害呈加重趋势,对水稻生产造成严重威胁,因此水稻田杂草的化学防控越来越受重视^[1]。二氯喹啉草酮是水稻新型除草剂^[11],基于二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸的结构相似性,对比研究两种除草剂的生物活性,本研究发现二氯喹啉草酮 600 g/hm² 处理对稗属 *Echinochloa* spp. 杂草具有高抑制作用,对千金子抑制作用

差,这与孙文忠等^[18]研究发现二氯喹啉草酮田间喷施 750 g/hm², 药后 20 d 对稗草和千金子的鲜重防效分别为 94.34%和 34.08%的结果一致。二氯喹啉草酮对鳢肠、丁香蓼、异型莎草具有高的抑制作用,这与王红春等^[10]报道的二氯喹啉草酮对部分阔叶类和莎草科杂草活性高的研究结果一致。本研究还发现在有效剂量为 600 g/hm² 时,二氯喹啉草酮对丁香蓼、异型莎草的生物活性高于二氯喹啉酸,初步推断二氯喹啉草酮可以用于防除水稻田部分阔叶

类和莎草科杂草。在推荐剂量下,二氯喹啉草酮对抗二氯喹啉酸的西来稗抑制作用较差,可能是与二氯喹啉酸产生了不同程度的交互抗性,其交互抗性机理有待于进一步研究。

‘淮稻 5 号’和‘湘两优 900’是长江流域播种面积较大的水稻品种^[19-20],也分别是粳稻和籼稻的代表品种,因此本试验选择这两个品种进行安全性评价。研究发现二氯喹啉草酮和二氯喹啉酸对 1.5 叶期水稻安全性差,选择性指数均小于 4,所以两种除草剂不宜在水稻低龄叶期使用。对于相同叶期水稻,二氯喹啉草酮对粳稻的 GR₁₀ 大于籼稻,说明二氯喹啉草酮对不同类型水稻安全性为:粳稻>籼稻。据观察水稻喷施二氯喹啉草酮后的症状与喷施二氯喹啉酸相似,前期水稻出现新叶黄化、株高受到抑制,但随着施药叶期增大,植株逐渐恢复叶色及株高^[21-22]。这种相似的症状可能是由于二氯喹啉草酮与二氯喹啉酸有相同的喹啉环结构。据了解二氯喹啉草酮的田间推荐剂量和药剂成本均高于二氯喹啉酸^[23-24],这些增加了二氯喹啉草酮在水稻田推广的难度,也是二氯喹啉草酮田间应用面积小的主要原因。本研究是在温室进行盆栽试验模拟大田情况,后续拟通过田间试验加以验证。

综上所述,本着高效、安全、经济的原则,不推荐二氯喹啉草酮用于防除水稻田禾本科杂草,仅对部分阔叶类和莎草科杂草发生严重的稻田,二氯喹啉草酮可以作为补充除草剂。

参考文献

- [1] 孙方胜. 水稻田杂草化学防除技术探析[J]. 现代农业科技, 2020(9): 122.
- [2] 余柳青, 沈国辉, 陆永良, 等. 长江下游水稻生产与杂草防控技术[J]. 杂草科学, 2010(1): 8-11.
- [3] 张建萍, 唐伟, 于晓明, 等. 几种除草剂在机直播稻田“播喷同步”封闭除草技术中的应用[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(3): 484-486.
- [4] 高婷, 石晓鹏, 沈纪冬, 等. 防治直播稻田禾本科杂草药剂的筛选及其制剂研究[J]. 杂草科学, 2015, 33(3): 59-64.
- [5] 朱玉坤, 陈恩昌. 6 种除草剂对宁夏稗草的防治效果[J]. 农药, 2019, 58(4): 311-312.
- [6] 王怡, 吴国锋, 陈翠芳. 20%千金克防除稻田禾本科杂草的药剂试验[J]. 上海农业科技, 2018(6): 135-136.
- [7] 张伟莉. 苄嘧磺隆和吡嘧磺隆对谷子的安全性及生理特性的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2019.
- [8] 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.
- [9] XU Hongle, ZHU Xudong, WANG Hongchun, et al. Mechanism of resistance to fenoxaprop in Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) from China [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2013, 107(1): 25-31.
- [10] 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.
- [11] 孙宇, 李小艳, 贺建荣, 等. 二氯喹啉草酮对不同龄期稻田主要杂草的生物活性[J]. 杂草学报, 2016, 34(1): 56-60.
- [12] GAO Yuan, PAN Lang, SUN Yu, et al. Resistance to quinclorac caused by the enhanced ability to detoxify cyanide and its molecular mechanism in *Echinochloa crus-galli* var. *zelayensis* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2017, 143(2): 231-238.
- [13] 李拥兵, 王小玲, 夏阳, 等. 湖南稻区稗草对二氯喹啉酸的抗性研究[J]. 植物保护, 2004, 30(3): 48-52.
- [14] 陆保理, 张建新, 王玉香, 等. 直播稻田稗草对二氯喹啉酸抗性研究[J]. 杂草科学, 2008(4): 31-32.
- [15] GAO Yuan, LI Jun, PAN Xukun, et al. Quinclorac resistance induced by the suppression of the expression of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthase and ACC oxidase genes in *Echinochloa crus-galli* var. *zelayensis* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2018, 146(4): 25-32.
- [16] FANG Jiapeng, LIU Tingting, ZHANG Yuhua, et al. Target site-based penoxsulam resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) from China [J]. Weed Science, 2019, 67: 281-287.
- [17] WANG Hengzhi, HUANG Yizhao, ZHAO Kongping, et al. Greenhouse and field evaluation of the novel herbicide QYC101 for weed control in maize (*Zea mays* L.) in China [J]. Crop Protection, 2019(10): 120-124.
- [18] 孙文忠, 周怀江, 邓权才, 等. 20%二氯喹啉草酮悬浮剂防除水稻机插秧田杂草试验[J]. 现代农业科技, 2016(24): 114+117.
- [19] 杨艳, 严贞, 杨居银. 淮稻 5 号品种特性及绿色栽培技术[J]. 农业开发与装备, 2021(1): 205-206.
- [20] 夏沈, 李军, 李建武, 等. 湘两优 900 在湖北荆州的示范表现及高产栽培技术[J]. 杂交水稻, 2021(7): 1-2.
- [21] GROSSMANN K, JACEK KWIATKOWSKI J. Selective induction of ethylene and cyanide biosynthesis appears to be involved in the selectivity of the herbicide quinclorac between rice and barnyardgrass [J]. Journal of Plant Physiology, 1993, 142(4): 457-466.
- [22] GAO Yuan, PAN Xukun, SUN Xutao, et al. Is the protection of photosynthesis related to the mechanism of quinclorac resistance in *Echinochloa crus-galli* var. *zelayensis*? [J]. Gene, 2019, 683(1): 133-148.
- [23] 佚名. 二氯喹啉草酮[J]. 农药科学与管理, 2019, 40(2): 62-63.
- [24] 佚名. 新批准登记[J]. 农药登记公告, 2018(4): 1-70.

(责任编辑: 田 喆)