

张玉池, 刘 琪, 相世刚, 等. 稻田杂草对草甘膦和草铵膦的敏感性差异[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1260-1266.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.06.009

稻田杂草对草甘膦和草铵膦的敏感性差异

张玉池, 刘 琪, 相世刚, 强 胜, 宋小玲

(南京农业大学生命科学学院杂草研究室, 江苏 南京 210095)

摘要: 选择水稻田 10 种单子叶杂草和 4 种双子叶杂草为研究对象, 通过室内试验明确供试杂草对灭生性除草剂草甘膦和草铵膦的敏感性差异, 为将来抗草甘膦和抗草铵膦转基因水稻商业化生产中杂草防除提供依据。结果显示不同杂草对 2 种灭生性除草剂的敏感性存在差异, 41% 草甘膦异丙胺盐水剂和 18% 草铵膦可溶液在最高剂量下对供试杂草达到药害 5 级所需时间分别为 5~13 d 和 4~9 d, 杂草对草甘膦的反应速度比对草铵膦的慢, 杂草对 41% 草甘膦异丙胺盐水剂和 18% 草铵膦可溶液的 ED_{90} 分别为 5.12~6.05 kg/hm² 和 2.49~2.87 kg/hm²。对 41% 草甘膦异丙胺盐水剂较不敏感的杂草有稗草(二氯喹啉酸抗性和敏感性生物型)(*Echinochloa crusgalli* L.)、杂草稻(泰州、益阳、茂名生物型)(*Oryza sativa* f. *spontanea*)、异型莎草(*Cyperus difformis* L.)、碎米莎草(*C. iria* L.)和丁香蓼(*Ludwigia prostrata* Roxb.); 对 18% 草铵膦可溶液较不敏感的杂草有稗草(二氯喹啉酸抗性和敏感性生物型)、硬稈稈(二氯喹啉酸抗性生物型)(*E. glabrescens* Munro ex Hook f.)、光头稈(*E. colonum* L.)、长芒稈(*E. caudata* Roshev.)、异型莎草、碎米莎草、耳叶水苳(*Ammannia arenaria* H. B. K.)和多花水苳(*A. multiflora* Roxb.)。因此在抗草甘膦和草铵膦水稻商业化生产中需要密切关注对草甘膦和草铵膦较不敏感杂草的种群动态, 并探索相应的杂草防除策略。

关键词: 稻田杂草; 草甘膦; 草铵膦; 敏感性

中图分类号: S511.053

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2018)06-1260-07

Sensitivity difference of weeds in rice field to glyphosate and glufosinate

ZHANG Yu-chi, LIU Qi, XIANG Shi-gang, QIANG Sheng, SONG Xiao-ling

(Weed Research Laboratory, College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to detect the sensitivity difference of weeds in rice field to non-selective herbicides, glyphosate and glufosinate, and provide basis for future weeds control in glyphosate-resistant and glufosinate-resistant transgenic rice commercial production, bioassay was conducted on ten monocotyledons weeds and four dicotyledons weeds. The results showed that days which were required for weeds reaching injury level five after applying 41% glyphosate isopropylammonium AS and 18% glufosinate-ammonium SL were 5–13 days and 4–9 days, respectively, and response speed of weeds to glyphosate was slower than that to glufosinate. ED_{90} values of these weeds to 41% glyphosate isopropylammonium AS and 18% glufosinate-ammonium SL were 5.12–6.05 kg/hm² and 2.49–2.87 kg/hm², respectively. Weeds displayed less sensitive to 41% glyphosate isopropylammonium AS were *Echinochloa crusgalli* L. (resistant and sensitive to quinclorac), three biotypes of *Oryza sativa* f. *spontanea*, *Cyperus difformis* L., *C. iria* L., and *Ludwigia prostrata* Roxb.. Weeds displayed less sensitive to 18% glufosinate-ammonium SL were *E. crusgalli* L. (resistant and sensitive to quinclorac), *E. glabrescens* Munro ex Hook f. (resistant to quinclorac), *E. colonum* L., *E. caudata* Roshev., *Cyperus difformis* L., *C. iria* L., *Ammannia arenaria* H. B. K. and *A. multiflora* Roxb..

Therefore, these weeds which demonstrated less sensitive to glyphosate and glufosinate should be paid more attention to their population dynamics in the commercial production

收稿日期: 2018-04-13

基金项目: 转基因生物新品种培育重大专项课题 (2016ZX08011-001)

作者简介: 张玉池 (1989-), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为转基因作物安全性评估。(E-mail) 1099564360@qq.com

通讯作者: 宋小玲, (E-mail) sxl@njau.edu.cn

of glyphosate-resistant and glufosinate-resistant rice.

Key words: weeds in rice field; glyphosate; glufosinate; sensitivity

水稻是中国最主要的粮食作物,中国产业信息网数据显示,2016 年全国水稻种植面积 3.016×10^7 hm^2 ,产量达到 2.0963×10^8 $\text{t}^{[1]}$ 。然而杂草危害一直是水稻高产稳产的重要制约因素。据统计,全国稻田杂草危害面积为 1.5×10^7 hm^2 ,每年损失稻谷 1.0×10^7 t ,损失率达 15% 以上^[2]。尤其是随着耕作制度的变化和化学除草剂的广泛、持续使用,杂草群落演替加速、抗药性日益上升,严重影响农田杂草治理措施的针对性和有效性。目前稻田中稗属杂草对丁草胺、二氯喹啉酸产生了抗药性,野慈姑(*Sagittaria trifolia* L.)、慈姑(*S. sagittifolia* L.)、雨久花(*Monochoria korsakowii* Regel & Maack)、鸭舌草(*M. vaginalis* Burm. f.)、萤蔺(*Scirpus juncoides* Roxb.)、耳叶水苋(*Ammannia arenaria* H. B. K.)和节节菜(*Rotala indica* (Willd.) Koehne.)等对苄嘧磺隆、吡嘧磺隆产生了抗药性^[3-6]。水稻轻型栽培过程中杂草稻(*Oryza sativa* f. *spontanea*)的危害日趋严重,且缺乏有效的防除技术^[3,7-8]。

抗除草剂转基因水稻的选育是克服杂草抗药性,降低恶性杂草危害的途径之一^[9]。种植抗草甘膦或草铵膦水稻之后,只需使用一种除草剂就可防除大多数杂草,较常规水稻田杂草防除效率高、成本低,且有利于降低除草剂使用量。通过转基因方法和杂交转育方法,中国先后培育出抗草铵膦转基因水稻明恢 86B、抗草铵膦的杂交水稻Ⅱ优 86B 和特优 86B、抗草铵膦转基因水稻 Bar68-1 和两系杂交水稻香 125s/Bar68-1、抗草甘膦转基因水稻 AntiG1 和 AntiG2^[9-14]等,以及抗草铵膦和抗虫复合转基因水稻 T1c-19 和 T2A-1^[15-16]。以上转基因水稻已陆续进入环境释放试验阶段。一旦进入生产,将会给水稻田杂草防除技术带来重大变革。但由于吸收和传导的差异,使得不同杂草或者同一种杂草不同生育期对草甘膦或草铵膦的敏感性存在差异^[17-21]。陈景超等研究发现,稗(*E. crusgalli*)、藜(*Chenopodium album*)和马唐(*Digitaria sanguinalis*)对草甘膦的敏感性依次降低^[22]。费云燕等发现大豆田杂草对草甘膦的敏感性存在差异^[23]。孙光辉等发现草铵膦对稻田杂草水莎草和异型莎草的防效较差^[20]。随着草甘膦或草铵膦在抗除草剂转基因水稻田的配合使用,这种差异将会

导致不敏感杂草种群发生量逐渐上升,杂草实际防除效果逐渐下降。因此,需要明确目前水稻田常见杂草对草甘膦或草铵膦的敏感性差异,密切关注较不敏感杂草的种群动态。本研究通过测定水稻田 14 种杂草对草甘膦和草铵膦的敏感性,分析不同杂草对草甘膦和草铵膦的敏感性差异,为商业化种植抗草甘膦和草铵膦转基因水稻田杂草的有效管理以及预测杂草群落的演变提供科学支持。

1 材料与方法

1.1 供试杂草

测试杂草包括禾本科稗属杂草 5 种、杂草稻、千金子、莎草科杂草 2 种,以及阔叶杂草 5 种(表 1)。其中稗属杂草包括抗二氯喹啉酸(简称“抗”)和对二氯喹啉酸敏感(简称“感”)的稗草和硬稗(由江苏省农业科学院植物保护研究所李永丰研究员提供,抗性生物型的抗性指数为 50)。试验在南京农业大学牌楼试验基地的温室内进行。采用塑料盆钵(上口直径和高度分别为 13 cm 和 10 cm)种植。供试杂草的种植基质为腐殖质和水稻田土 3:1(体积比)混合的土壤。每种杂草至少播种 40 盆,每盆的播种量保持一致(每种杂草种子 0.5 g),出苗后通过间苗保留 5~8 株杂草(鸭舌草为匍匐生长,叶面积大,每盒保留 2~3 株)。

1.2 除草剂及施用剂量

供试的 2 种灭生性除草剂见表 2。41% 草甘膦异丙胺盐水剂的施用剂量设置为 0(对照)、0.615 kg/hm^2 、1.230 kg/hm^2 、1.845 kg/hm^2 、2.460 kg/hm^2 ,18% 草铵膦可溶液的施用剂量设置为 0(对照)、0.135 kg/hm^2 、0.270 kg/hm^2 、0.405 kg/hm^2 、0.540 kg/hm^2 ,兑水量为 450 kg/hm^2 。

1.3 施药方法

施药时间为 8 月 19 日。采用 1.5 L 手持式喷雾器(中国市下控股有限公司产品,喷头型号为 sv-1 伞式喷头)均匀喷雾,喷雾压力约为 0.2 MPa。不同除草剂使用单独喷雾器,以防止相互干扰。施药时天气晴朗,无风,于上午 9:00-11:00 进行喷雾处理,待叶面药液自然落干后移至温室内,当时气温为 34~37 $^{\circ}\text{C}$ 。设清水空白对照,每个处理重复 4 次。

表 1 供试杂草
Table 1 Weeds for experiment

纲	科属	杂草种类	叶片数	株高 (cm)
单子叶 Monocots	禾本科稗属 Gramineae <i>Echinochloa</i>	稗草(二氯喹啉酸抗性生物型) <i>Echinochloa crusgalli</i> L. (Resistant biotype to quinclorac)	6	40~50
		稗草(二氯喹啉酸敏感生物型) <i>E. crusgalli</i> L. (Sensitive biotype to quinclorac)	5	45~52
		硬稗稗(二氯喹啉酸抗性生物型) <i>E. glabrescens</i> Munro ex Hook f. (Resistant biotype to quinclorac)	5~7	45~50
		硬稗稗(二氯喹啉酸敏感生物型) <i>E. glabrescens</i> Munro ex Hook f. (Sensitive biotype to quinclorac)	5~7	45~50
		光头稗 <i>E. colonum</i> L.	5	40~50
		无芒稗 <i>E. crusgalli</i> var. <i>mitis</i>	5	45~55
		长芒稗 <i>E. caudata</i> Roshev.	6	50~55
		千金子 <i>Leptochloa chinensis</i> L.	5~7	45
	禾本科稻属 Gramineae <i>Oryza</i>	杂草稻(泰州生物型 Taizhou) <i>Oryza sativa</i> f. <i>spontanea</i> (Taizhou biotype)	6	38~45
		杂草稻(益阳生物型) <i>Oryza sativa</i> f. <i>spontanea</i> (Yiyang biotype)	6	38~45
		杂草稻(茂名生物型) <i>Oryza sativa</i> f. <i>pontanea</i> (Maoming biotype)	6	50~60
	莎草科莎草属 Cyperaceae <i>Cyperus</i>	异型莎草 <i>Cyperus difformis</i> L.	4~5	20~25
		碎米莎草 <i>C. iria</i> L.	5	30~35
	雨久花科雨久花属 Pontederiaceae <i>Monochoria</i>	鸭舌草 <i>Monochoria vaginalis</i> Burm. f.	5	6~10
双子叶 Dicots	菊科鳢肠属 Asteraceae <i>Eclipta</i>	鳢肠 <i>Eclipta prostrate</i> L.	6~8	6~8
	柳叶菜科丁香蓼属 Onagraceae <i>Ludwigia</i>	丁香蓼 <i>Ludwigia prostrate</i> Roxb.	12~14	15~20
	千屈菜科水苋菜属 Lythraceae <i>Ammannia</i>	耳叶水苋 <i>Ammannia arenaria</i> H. B. K.	10~12	6~10
		多花水苋 <i>A. multiflora</i> Roxb.	10~12	6~10

表 2 供试除草剂
Table 2 Herbicides for experiment

除草剂	剂型	品牌	生产单位
41%草甘膦异丙胺盐	水剂	农达	孟山都(美国)有限公司
18%草铵膦	可溶液	保试达	拜尔作物科学公司

1.4 药害症状调查

于施药后 2 d、4 d、5 d、6 d、7 d、9 d、11 d、13 d 观察记录(拍照)杂草的药害症状,并进行药害分级,分级标准见表 3。

1.5 药害综合指数计算及分析

当最高剂量下杂草药害症状达到 5 级时,根据 Song 等^[24]的方法,计算药害综合指数,药害综合指数 = $\sum [(\text{每处理各受害级别株数} \times \text{级别}) / (\text{每处理株数} \times \text{最高级别})] \times 100\%$ 。用 Origin8 分析软件进行剂量和药害综合指数的 Logistic 回归分析,得出回归方程及 ED_{50} (除草剂对杂草的药害综合指数达到 50%时的剂量)和 ED_{90} (除草剂对杂草的药害综合指数达到 90%时的剂量)。根据杂草的 ED_{50} 及 ED_{90} 分析不同杂草对供试除草剂的敏感性。

表 3 41%草甘膦异丙胺盐水剂和 18%草铵膦可溶液药害分级标准
Table 3 Scoring criteria of 41% glyphosate isopropylamine salt AS and 18% glufosinate ammonium SL injury levels

除草剂	药害症状	药害级别
41%草甘膦异丙胺盐水剂	植株生长缓慢,心叶失绿,老叶叶片有 1%~20%枯黄死亡	1
	植株基本失去生长能力,心叶失绿黄化程度较重,老叶叶片有 21%~40%枯黄死亡	2
	植株停止生长,心叶黄化严重,老叶叶片有 41%~60%枯黄死亡	3
	植株心叶枯黄死亡,老叶叶片有 61%~80%枯黄死亡,整株接近死亡	4
	植株心叶枯黄死亡,老叶叶片有 81%~100%枯黄死亡,整株基本死亡	5
18%草铵膦可溶液	植株生长缓慢,老叶上部有 1%~20%枯黄死亡	1
	植株基本失去生长能力,老叶上部有 21%~40%枯黄死亡	2
	植株停止生长,老叶上部有 41%~60%枯黄死亡	3
	植株接近死亡,老叶上部有 61%~80%枯黄死亡	4
	植株基本死亡,老叶上部有 81%~100%枯黄死亡	5

2 结果与分析

2.1 供试杂草对草甘膦的敏感性差异

供试杂草对 41% 草甘膦异丙胺盐水剂的药害反应见表 4。从最高剂量下达到药害 5 级所需时间,即杂草在最高施药剂量下死亡的速度来看,千金子对 41% 草甘膦异丙胺盐水剂最为敏感,第 5 d 就达到药害级别 5 级,其次为稗草(抗)、稗草(感)、光

头稗、无芒稗、长芒稗、鸭舌草和鳢肠,第 6 d 达到药害级别 5 级,接着是硬稗稗(抗)、硬稗稗(感)、耳叶水苋和多花水苋,第 7 d 达到药害级别 5 级,再接着是异型莎草和碎米莎草,第 9 d 达到药害级别 5 级,最后是 3 个地区的杂草稻(泰州、益阳、茂名)和丁香蓼,它们对 41% 草甘膦异丙胺盐水剂敏感性最差,均在第 13 d 才达到药害级别 5 级。

表 4 供试杂草对 41%草甘膦异丙胺盐水剂的敏感性
Table 4 Sensitivity of weeds to 41% glyphosate isopropylamine salt AS

杂 草	时间 (d)	ED ₅₀ (商品量) (kg/hm ²)	ED ₅₀ (有效剂量) (kg/hm ²)	ED ₉₀ (商品量) (kg/hm ²)	ED ₉₀ (有效剂量) (kg/hm ²)
稗草(抗) <i>Echinochloa crusgalli</i> L.	6	2.57(2.45~2.81)	1.05(0.90~1.09)	6.05(6.00~6.09)	2.48(2.41~2.54)
稗草(感) <i>E. crusgalli</i> L.	6	2.55(2.41~2.59)	1.05(1.02~1.11)	5.75(5.71~5.80)	2.36(2.34~2.45)
硬稗稗(抗) <i>E. glabrescens</i> Munro ex Hook f.	7	2.52(2.41~2.67)	1.03(0.97~1.10)	5.43(5.40~5.50)	2.23(2.18~2.28)
硬稗稗(感) <i>E. glabrescens</i> Munro ex Hook f.	7	2.26(2.21~2.34)	0.93(0.90~1.04)	5.52(5.45~5.56)	2.26(2.21~2.35)
光头稗 <i>E. colonum</i> L.	6	1.39(1.30~1.46)	0.57(0.49~0.64)	5.72(5.64~5.80)	2.34(2.31~2.41)
无芒稗 <i>E. crusgalli</i> var. <i>mitis</i>	6	2.27(2.16~2.37)	0.93(0.89~0.98)	5.62(5.54~5.70)	2.30(2.24~2.36)
长芒稗 <i>E. caudata</i> Roshev.	6	1.27(1.14~1.34)	0.52(0.43~0.60)	5.58(5.54~5.64)	2.29(2.21~2.34)
千金子 <i>Leptochloa chinensis</i> L.	5	1.68(1.64~1.76)	0.69(0.64~0.75)	5.58(5.56~5.62)	2.29(2.25~2.32)
杂草稻(泰州) <i>Oryza sativa</i> f. <i>spontanea</i> (Taizhou)	13	1.61(1.54~1.68)	0.60(0.54~0.63)	5.28(5.24~5.31)	2.16(2.11~2.19)
杂草稻(益阳) <i>O. sativa</i> f. <i>spontanea</i> (Yiyang)	13	1.24(1.14~1.30)	0.51(0.45~0.58)	5.12(5.10~5.20)	2.10(2.05~2.14)
杂草稻(茂名) <i>O. sativa</i> f. <i>spontanea</i> (Maoming)	13	1.62(1.54~1.70)	0.66(0.60~0.74)	5.24(5.20~5.30)	2.15(2.08~2.20)
异型莎草 <i>Cyperus difformis</i> L.	9	2.10(2.01~2.21)	0.86(0.81~0.90)	5.57(5.51~5.61)	2.28(2.21~2.34)
碎米莎草 <i>C. iria</i> L.	9	1.99(1.84~2.06)	0.81(0.77~0.86)	5.70(5.64~5.71)	2.34(2.31~2.40)
鸭舌草 <i>Monochoria vaginalis</i> Burm. f.	6	1.56(1.48~1.68)	0.64(0.61~0.68)	5.31(5.26~5.36)	2.18(2.13~2.21)
鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i> L.	6	1.11(0.97~1.18)	0.46(0.44~0.52)	5.31(5.24~5.34)	2.18(2.15~2.20)
丁香蓼 <i>Ludwigia prostrate</i> Roxb.	13	1.41(1.34~1.49)	0.58(0.52~0.62)	5.19(5.16~5.24)	2.13(2.06~2.20)
耳叶水苋 <i>Ammannia arenaria</i> H. B. K.	7	2.05(1.99~2.12)	0.84(0.80~0.90)	5.43(5.36~5.48)	2.23(2.20~2.30)
多花水苋 <i>A. multiflora</i> Roxb.	7	1.34(1.30~1.46)	0.55(0.50~0.58)	5.24(5.21~5.30)	2.15(2.12~2.18)

时间表示最高剂量下达到 5 级药害的时间。括弧内的数值表示的是 95% 的置信区间。

根据 ED_{50} (商品量), 光头稗、长芒稗、杂草稻 (益阳)、鳢肠、丁香蓼和多花水苋的 ED_{50} 介于 1.11 kg/hm² 至 1.41 kg/hm² 之间, 千金子、杂草稻 (泰州)、杂草稻 (茂名) 和鸭舌草的 ED_{50} 介于 1.56 kg/hm² 至 1.68 kg/hm² 之间, 稗草 (抗)、稗草 (感)、硬稗草 (抗)、硬稗草 (感)、无芒稗, 以及异型莎草、碎米莎草、耳叶水苋的 ED_{50} 介于 1.99 kg/hm² 至 2.57 kg/hm² 之间。

根据 ED_{90} (商品量), 硬稗草 (抗)、3 个地区的杂草稻 (泰州、益阳、茂名)、鸭舌草、鳢肠、丁香蓼、耳叶水苋和多花水苋的 ED_{90} 介于 5.12 kg/hm² 至 5.43 kg/hm² 之间, 稗草 (抗)、稗草 (感)、硬稗草 (感)、光头稗、无芒稗、长芒稗、千金子、异型莎草和碎米莎草的 ED_{90} 介于 5.52 kg/hm² 至 6.05 kg/hm² 之间。

根据在 41% 草甘膦异丙胺盐水剂最高剂量下杂草达到药害 5 级所需的时间和 ED_{90} (商品量) 可知, 较为不敏感的杂草是 3 个地区的杂草稻 (泰州、益阳、茂名)、丁香蓼、异型莎草、碎米莎草以及稗草 (感) 和稗草 (抗)。其中 3 个地区的杂草稻和丁香蓼在 41% 草甘膦异丙胺盐水剂最高剂量下达到药

害 5 级所需时间最长, 为 13 d; 异型莎草和碎米莎草所需时间次之, 为 9 d, 且这些杂草的 ED_{90} (商品量) 介于 5.12 kg/hm² 至 5.70 kg/hm² 之间, 折算成 666.67 m² 用量为 341.30~380.00 g。稗草 (感) 和稗草 (抗) 虽然达到药害 5 级所需时间为 6 d, 但 ED_{90} (商品量) 分别为 5.75 kg/hm² 和 6.05 kg/hm², 在所有测试的杂草中最高, 折算成 666.67 m² 用量, 接近该除草剂在水稻田埂的最高推荐剂量 (每 666.67 m² 为 400.00 g)。

2.2 供试杂草对草铵膦的敏感性差异

供试杂草对 18% 草铵膦可溶液的药害反应见表 5。从最高剂量下达到药害 5 级所需时间来看, 千金子和丁香蓼对 18% 草铵膦可溶液较为敏感, 分别在第 4 d 和 5 d 达到药害级别 5 级; 其次为稗草 (抗)、稗草 (感)、光头稗、无芒稗、鸭舌草和鳢肠, 均在第 6 d 达到药害级别 5 级; 硬稗草 (抗)、硬稗草 (感)、长芒稗和 3 个地区的杂草稻 (泰州、益阳、茂名) 对 18% 草铵膦可溶液的药害反应速度一致, 均在第 7 d 达到药害级别 5 级; 异型莎草、碎米莎草、耳叶水苋和多花水苋对 18% 草铵膦可溶液的药害反应速度一致, 均在第 9 d 达到药害级别 5 级。

表 5 供试杂草对 18% 草铵膦可溶液剂的敏感性

Table 5 Sensitivity of weeds to 18% glufosinate ammonium SL

杂 草	时间 (d)	ED_{50} (商品量) (kg/hm ²)	ED_{50} (有效剂量) (kg/hm ²)	ED_{90} (商品量) (kg/hm ²)	ED_{90} (有效剂量) (kg/hm ²)
稗草 (抗) <i>Echinochloa crusgalli</i> L.	6	0.81 (0.74~0.85)	0.15 (0.08~0.20)	2.87 (2.81~2.89)	0.52 (0.46~0.68)
稗草 (感) <i>E. crusgalli</i> L.	6	0.75 (0.71~0.80)	0.14 (0.12~0.19)	2.76 (2.71~2.84)	0.50 (0.45~0.57)
硬稗草 (抗) <i>E. glabrescens</i> Munro ex Hook f.	7	0.91 (0.87~0.93)	0.16 (0.14~0.19)	2.82 (2.74~2.89)	0.51 (0.48~0.54)
硬稗草 (感) <i>E. glabrescens</i> Munro ex Hook f.	7	0.62 (0.54~0.68)	0.11 (0.08~0.14)	2.57 (2.55~2.64)	0.46 (0.42~0.54)
光头稗 <i>E. colonum</i> L.	6	0.59 (0.56~0.62)	0.11 (0.09~0.15)	2.72 (2.64~2.84)	0.49 (0.48~0.54)
无芒稗 <i>E. crusgalli</i> var. <i>mitis</i>	6	0.74 (0.72~0.76)	0.13 (0.10~0.16)	2.51 (2.47~2.58)	0.45 (0.42~0.46)
长芒稗 <i>E. caudata</i> Roshev.	7	0.61 (0.58~0.65)	0.11 (0.08~0.14)	2.70 (2.68~2.84)	0.49 (0.42~0.54)
千金子 <i>Leptochloa chinensis</i> L.	4	0.83 (0.75~0.86)	0.15 (0.12~0.18)	2.49 (2.46~2.48)	0.45 (0.41~0.52)
杂草稻 (泰州) <i>Oryza sativa</i> f. <i>spontanea</i> (Taizhou)	7	0.74 (0.72~0.81)	0.13 (0.11~0.17)	2.60 (2.45~2.71)	0.47 (0.41~0.54)
杂草稻 (益阳) <i>O. sativa</i> (Yiyang)	7	0.68 (0.64~0.72)	0.12 (0.08~0.17)	2.66 (2.62~2.71)	0.48 (0.42~0.52)
杂草稻 (茂名) <i>O. sativa</i> (Maoming)	7	0.75 (0.72~0.80)	0.14 (0.08~0.19)	2.57 (2.55~2.64)	0.46 (0.42~0.54)
异型莎草 <i>C. difformis</i> L.	9	0.85 (0.81~0.89)	0.153 (0.147~0.164)	2.72 (2.70~2.73)	0.49 (0.46~0.52)
碎米莎草 <i>C. iria</i> L.	9	0.68 (0.64~0.72)	0.12 (0.08~0.14)	2.66 (2.65~2.71)	0.48 (0.45~0.54)
鸭舌草 <i>Monochoria vaginalis</i> Burm. f.	6	0.72 (0.68~0.75)	0.13 (0.10~0.16)	2.60 (2.48~2.71)	0.47 (0.42~0.54)
鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i> L.	6	0.71 (0.64~0.78)	0.13 (0.11~0.16)	2.49 (2.46~2.58)	0.45 (0.42~0.52)
丁香蓼 <i>Ludwigia prostrata</i> Roxb.	5	0.66 (0.62~0.76)	0.12 (0.08~0.21)	2.60 (2.56~2.67)	0.47 (0.43~0.52)
耳叶水苋 <i>Ammannia arenaria</i> H. B. K.	9	0.61 (0.54~0.68)	0.11 (0.07~0.15)	2.74 (2.71~2.84)	0.49 (0.42~0.53)
多花水苋 <i>A. multiflora</i> Roxb.	9	0.84 (0.77~0.89)	0.15 (0.08~0.21)	2.57 (2.54~2.64)	0.46 (0.42~0.53)

时间表示最高剂量下达到 5 级药害的时间。括弧内的数值表示的是 95% 的置信区间。

施用 18% 草铵膦可溶液后,供试杂草的 ED_{50} (商品量) 和 ED_{90} (商品量) 差异不大,分别在 0.59 kg/hm²至 0.91 kg/hm²之间和 2.49 kg/hm²至 2.87 kg/hm²之间(表 5)。

根据在 18% 草铵膦可溶液最高剂量下杂草达到药害 5 级所需时间和 ED_{90} (商品量) 可知,较为不敏感的杂草是稗草(抗)、稗草(感)、硬稗(抗)、光头稗、长芒稗、异型莎草、碎米莎草、耳叶水苋和多花水苋。其中异型莎草、碎米莎草、耳叶水苋和多花水苋在 18% 草铵膦可溶液最高剂量下达到药害 5 级所需时间最长,为 9 d;硬稗(抗)和长芒稗所需时间次之,为 7 d,且这些杂草的 ED_{90} (商品量) 介于 2.57 kg/hm²至 2.82 kg/hm²之间,折算成每 666.67 m²用量为 171.00~188.00 g。稗草(感)、稗草(抗)和光头稗虽然达到药害 5 级所需时间为 6 d,但 ED_{90} (商品量) 介于 2.72 kg/hm²至 2.87 kg/hm²之间,在所有测试的杂草中最高,折算成每 666.67 m²用量为 181.00~191.00 g。

2.3 杂草对 2 种除草剂的反应速度和敏感性差异的比较

在最高施药剂量下,从药害级别达到 5 级的时间来看,供试杂草施用 41% 草甘膦异丙胺盐水剂和 18% 草铵膦可溶液后所需的时间分别为 5~13 d 和 4~9 d,因此供试杂草对 18% 草铵膦可溶液的反应速度明显快于 41% 草甘膦异丙胺盐水剂。供试稗属杂草对 2 种除草剂的药害反应速度相差不大,都为 6~7 d;千金子对 2 种除草剂的药害反应速度只相差 1 d;异型莎草和碎米莎草对 2 种除草剂的反应速度也没有差异,都为 9 d;4 种阔叶杂草对 2 种除草剂的反应速度也相差不大,均为 6~9 d。但 3 个地区的杂草稻(泰州、益阳、茂名)和丁香蓼,对 41% 草甘膦异丙胺盐水剂的药害反应时间均为 13 d,而对 18% 草铵膦可溶液分别需要 7 d 和 5 d。

从 ED_{90} (商品量) 并结合反应速度来看,供试杂草中对 41% 草甘膦异丙胺盐水剂较为不敏感的杂草稻和丁香蓼却对 18% 草铵膦可溶液较为敏感,对 18% 草铵膦可溶液较为不敏感的硬稗(抗)、光头稗、长芒稗、耳叶水苋和多花水苋却对 41% 草甘膦异丙胺盐水剂较为敏感,对 41% 草甘膦异丙胺盐水剂和 18% 草铵膦可溶液都不敏感的杂草是稗草(抗)、稗草(感)、异型莎草和碎米莎草。

3 讨论

目前已经商业化种植的抗除草剂转基因作物主要是抗草甘膦和草铵膦转基因作物,但由于杂草对除草剂的敏感性存在差异,长期的除草剂选择压会推动杂草抗药性种群发展,加速杂草群落演替^[25-27]。目前全世界已有包括菊科、禾本科、苋科等 8 个科 40 种杂草对草甘膦产生了抗性^[28]。国内也先后报道了野芥菜(*B. juncea*)、小飞蓬(*Conyza canadensis*)、田旋花(*Convolvulus arvensis*)、打碗花(*Calystegia hederacea*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)、马齿苋(*Portulaca oleracea*)等对草甘膦的抗性^[4,29-30]。虽然目前国内还未见杂草对草铵膦的抗性报道,但在国外已有类似的报道^[31-32]。因此在抗草甘膦和草铵膦转基因水稻商业化释放前,了解水稻田杂草对这 2 种除草剂的敏感程度,将为合理利用转基因水稻种质资源,科学使用除草剂提供依据。

本试验结果表明,41% 草甘膦异丙胺盐水剂在 5.12~6.05 kg/hm² 剂量下,18% 草铵膦可溶液在 2.49~2.87 kg/hm² 剂量下能有效控制供试的禾本科、莎草科和阔叶杂草,包括抗二氯喹啉酸稗草及杂草稻,即可以控制目前水稻田部分恶性杂草的危害。但 2 种灭生性除草剂对 14 种供试杂草的 ED_{50} 和 ED_{90} 以及反应速度均存在差异。根据除草剂最高剂量下药害级别达到 5 级的反应时间和 ED_{90} (商品量),14 种供试杂草对草甘膦较为不敏感的是稗草(抗)、稗草(感)、3 个地区的杂草稻(泰州、益阳、茂名)、异型莎草、碎米莎草和丁香蓼,对草铵膦较为不敏感的是稗草(抗)、稗草(感)、硬稗(抗)、光头稗、长芒稗、异型莎草、碎米莎草、耳叶水苋和多花水苋。稗草、异型莎草和碎米莎草对 2 种除草剂的敏感性都较差。抗草甘膦或草铵膦转基因水稻商业化生产中应该密切关注这些敏感性较差的杂草,特别是对 2 种除草剂敏感性都较差的杂草种群动态变化,防治过程中应结合土壤封闭和茎叶处理,化学措施和农艺措施,实施综合治理^[33]。

抗除草剂转基因作物田中的杂草群落在长期单一除草剂的选择压下会使杂草向单一化和优势种群方向发生演替^[34-36]。因此,抗除草剂转基因水稻规模化种植中建议 2 种抗性或多抗性转基因水稻轮换种植^[37],避免单一除草剂长期使用导致田间杂草种

群的快速变化及抗性水平的显著上升。

参考文献:

- [1] 中国海关. 2016年中国稻谷种植面积、产量、进口量及进口金额分析[EB/OL]. (2017-03-09) [2018-04-10]. <http://www.chyxx.com/industry/201703/502224.html>.
- [2] 强胜, 宋小玲, 戴伟民. 抗除草剂转基因作物面临的机遇与挑战及其发展策略[J]. 农业生物技术学报, 2010, 18(1): 114-125.
- [3] 吴声敢, 赵学平, 吴长兴, 等. 我国长江中下游稻区稗草对二氯喹啉酸的抗药性研究[J]. 杂草学报, 2007, 27(3): 25-26.
- [4] 杨彩宏, 田兴山, 冯莉, 等. 牛筋草对草甘膦的抗药性[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 2093-2098.
- [5] 刘洋. 水稻田耐抗性杂草发生趋势及防治策略[J]. 农药市场信息, 2014(18): 26-28.
- [6] 刘兴林, 孙涛, 付声蛟, 等. 水稻田除草剂的应用及杂草抗性现状[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(7): 115-126.
- [7] PATHER T S, DITOMASO J M, HOLT J S. History, mechanisms, and strategies for prevention and management of herbicide resistant weeds[J]. Proceedings of the California Weed Science Society, 2000, 52: 155-163.
- [8] 刘召华. 杂草稻的发生原因及防控措施[J]. 中国农业信息, 2015(1): 30.
- [9] 朱祯, 曲乐庆, 张磊. 转基因技术的应用研究-水稻转基因研究及新品种选育[J]. 生物产业技术, 2010, 3(3): 27-34.
- [10] 杨益善, 唐俐, 蔡卫青, 等. 不同草铵膦用量对耐除草剂水稻秧苗素质及产量的影响[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(6): 736-740.
- [11] 崔荣荣, 戴伟民, 强胜, 等. 抗草铵膦转基因杂交水稻Ⅱ优86B及其恢复系86B向杂草稻的基因漂移[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(4): 708-714.
- [12] 吴发强, 王世全, 李双成, 等. 抗除草剂转基因水稻的研究进展及其安全性问题[J]. 分子遗传育种, 2006, 4(6): 846-852.
- [13] 李黎红, 叶卫军, 郭龙彪. 我国转基因水稻研究进展和商业化前景分析[J]. 中国稻米, 2012, 18(6): 1-4.
- [14] 肖国樱, 陈芬, 孟秋成, 等. 我国转基因抗除草剂水稻的生态风险与控制[J]. 农业生物技术学报, 2015, 23(1): 1-11.
- [15] TANG W, CHEN H, XU C G, et al. Development of insect-resistant transgenic indica rice with a synthetic cry1C gene[J]. Mol Breed, 2006, 18: 1-10.
- [16] LU Z B, TIAN J C, HAN N S, et al. No direct effects of two transgenic Bt rice lines, T1C-19 and T2A-1, on the arthropod communities[J]. Environmental Entomology, 2014, 43(5): 1453.
- [17] SCHABENBERGER O. Response of annual weed species to glufosinate and glyphosate[J]. Weed Technology, 1999, 13(3): 542-547.
- [18] EVERMAN B, WESLEY J. Influence of environmental and physiological factors on glufosinate and glyphosate weed management[J]. Rural Society, 2014, 15(52): 915-918.
- [19] 刘小龙, 李香菊. 藜、铁苋菜和苘麻对草甘膦的耐受性及其与莽草酸含量的关系[J]. 杂草学报, 2016, 34(2): 34-37.
- [20] 孙光辉, 强胜, 戴伟民, 等. 抗草铵膦转基因水稻‘Y0003’直播田除草剂施用技术研究[J]. 植物保护, 2014, 40(5): 176-180.
- [21] 费云燕, 盖钧镒, 赵团结. 南京大豆田间耐草甘膦杂草的种类与特性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 154-156.
- [22] 陈景超, 张朝贤, 黄红娟, 等. 抗草甘膦杂草及其检测方法发展现状[J]. 植物保护, 2011, 37(6): 44-47.
- [23] 费云燕, 盖钧镒, 赵团结. 南京大豆田间耐草甘膦杂草的种类与特性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 154-156.
- [24] SONG X L, WU J J, ZHANG H J, et al. Occurrence of glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) population in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2011, 10(7): 1049-1055.
- [25] 余柳青, 渠开山, 周勇军, 等. 抗除草剂转基因水稻对稻田杂草种群的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(1): 68-73.
- [26] SCURSONI J A, FORCELLA F, GUNSOLUS J. Weed escapes and delayed emergence in glyphosate-resistant soybean[J]. Crop Protection, 2007, 26(3): 212-218.
- [27] NEVE P. Challenges for herbicide resistance evolution and management: 50 years after Harper[J]. Weed Research, 2007, 47(5): 365-369.
- [28] HEAP I. The international survey of herbicide resistant weeds[DB/OL]. (2018-04-13) [2018-04-13]. <http://www.weed-science.org>.
- [29] KUK Y I, BURGOS N R, SHIVRAIN V K. Natural tolerance to imazethapyr in red rice (*Oryza sativa*) [J]. Weed Science, 2008, 56: 1-11.
- [30] 杨浩娜, 柏连阳. 棉田反枝苋和马齿苋对草甘膦的抗药性[J]. 棉花学报, 2014, 26(6): 492-498.
- [31] JALALUDIN A, NGIM J, BAKAR B H J, et al. Preliminary findings of potentially resistant goosegrass (*Eleusine indica*) to glufosinate-ammonium in Malaysia[J]. Weed Biology and Management, 2010, 10(4): 256-260.
- [32] COLLAVO A, SATTIN M. First glyphosate-resistant *Lolium* spp. biotypes found in a European annual arable cropping system also affected by ACCase and ALS resistance[J]. Weed Research, 2014, 54(4): 325-334.
- [33] 王永崇. “一封二杀三补”已成我国稻田抗药性杂草防除技术的主推方案[J]. 农药市场信息, 2016(17): 61-63.
- [34] 余柳青, 渠开山, 周勇军, 等. 抗除草剂转基因水稻对稻田杂草种群的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(1): 68-73.
- [35] 张斌, 董立尧. 水稻田杂草群落演替原因及趋势浅析[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(2): 58-60.
- [36] GAINES T A, ZHANG W, WANG D, et al. Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010, 107: 1029-1034.
- [37] 凌进. 草铵膦、百草枯、草甘膦对非耕地杂草的防效比较[J]. 农药, 2014, 53(8): 613-615.

(责任编辑:张震林)