

李永丰, 张自常, 杨霞, 等. 稻田稗属杂草对芳氧苯氧丙酸酯类除草剂的差异敏感性及其机理[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3): 543-551.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.03.013

## 稻田稗属杂草对芳氧苯氧丙酸酯类除草剂的差异敏感性及其机理

李永丰<sup>1</sup>, 张自常<sup>1</sup>, 杨霞<sup>1</sup>, 董明超<sup>1</sup>, 张彬<sup>1</sup>, 韩建勇<sup>2</sup>

(1. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 江苏 南京 210014; 2. 美国 FMC 公司, 江苏 淮安 223001)

**摘要:** 采用整株生物测定法研究了 8 个稗草种对芳氧苯氧丙酸酯类除草剂噁唑酰草胺和氰氟草酯的敏感性, 并分析了其生理基础。基于药后 25 d 干质量  $GR_{50}$  (抑制杂草干质量 50% 所需药剂剂量) 的聚类结果显示: 对噁唑酰草胺来说, 稗草为敏感种群, 无芒稗为不敏感种群; 对氰氟草酯来说, 西来稗为敏感种群, 而无芒稗为不敏感种群。稗属不同种群间对 2 种芳氧苯氧丙酸酯类除草剂存在明显的差异敏感性。从保护酶活性分析, 随着噁唑酰草胺或氰氟草酯处理剂量的增加和时间的延长, 无芒稗、西来稗和稗茎叶中的丙二醛 (MDA) 含量增加, 相同剂量下敏感种群的丙二醛含量高于不敏感种群。2 种除草剂处理后, 过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 活性随剂量的增加呈先上升后下降的趋势, 不敏感种群上升或下降幅度均低于敏感种群, 至处理结束时, 不敏感种群的酶活总体高于敏感种群。2 种除草剂处理后不敏感稗草种群膜脂过氧化酶活性变化幅度小、活性高, 丙二醛含量低, 可能是其对芳氧苯氧丙酸酯类除草剂耐药的原因。

**关键词:** 稗草; 芳氧苯氧丙酸酯类除草剂; 噁唑酰草胺; 氰氟草酯; 抗氧化酶活性; MDA 含量

**中图分类号:** S451.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)03-0543-09

## Susceptibility of weeds in *Echinochloa* to aryloxyphenoxypropionate herbicides and the mechanism

LI Yong-feng<sup>1</sup>, ZHANG Zi-chang<sup>1</sup>, YANG Xia<sup>1</sup>, DONG Ming-chao<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>1</sup>, HAN Jian-yong<sup>2</sup>

(1. Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. American FMC Corporation, Huaian 223001, China)

**Abstract:** *Echinochloa* (barnyardgrass) has long been considered as one of the most troublesome weeds, causing significant yield loss due to its superiority to rice in competition. The *Echinochloa* could be classified to eight geographic species in Jiangsu province of China. To date, however, limited information is available on susceptibility of eight *Echinochloa* species to aryloxyphenoxypropionate herbicides. Therefore, the aim of this study was to investigate the susceptibility differences of eight *Echinochloa* species to aryloxyphenoxypropionate herbicides using whole-plant bioassay, and their physiological bases was also explored. The results, based on clustering analysis of  $GR_{50}$  in dry matter after 25-day treatment, showed that *E. crusgalli* (L.) Beauv., and *E. crusgalli* Beauv. var. *zelayensis* (H. B. K.) Hitchc. were respectively susceptible to metamifop and cyhalofopbutyl, while *E. crusgalli* Beauv. var. *zelayensis* (H. B. K.) Schult.

收稿日期: 2014-11-17

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX(13)3063]; 公益性行业 (农业) 科研专项项目 (201303031)

作者简介: 李永丰 (1965-), 男, 江西寻乌人, 硕士, 研究员, 主要从事作物田间恶性杂草的成灾机制与防控研究。 (Tel) 025-84390821; (E-mail) liyongfeng\_2010@163.com

was tolerant to both herbicides. The susceptible difference also existed in different populations of *Echinochloa* to two types of aryloxyphenoxypropionate herbicides. The analyses of the protective enzyme activities revealed that the content of malondialdehyde (MDA) increased in the stem and leaves of *E. crusgallii* (H. B. K.) Schult, *E. crusgallii* (L.) Beauv var. *zelayensis* (H. B. K.) Hitchc and *E. crusgallii* (L.) Beauv with the increased doses of aryloxyphenoxypropionate herbicides over time of the application of metamifop or cyhalofopbutyl, and the content of MDA in susceptible population was higher than that in tolerant population in the same dose treatment. The activities of peroxidase (POD), catalase (CAT), and superoxide dismutase (SOD) ascended at first and descended afterwards after two herbicides treatment. The increases in the protective enzymes activities of susceptible populations were lower than that in tolerant one. At the end of the treatment, three kinds of enzymes activities in the susceptible population were lower than that in tolerant one. The results indicated that the slight change and higher activities in membrane lipid peroxidase and lower content of MDA in aryloxyphenoxypropionate herbicides-tolerant population of *Echinochloa* might be responsible for the tolerance.

**Key words:** *Echinochloa*; aryloxyphenoxypropionate herbicide; metamifop; cyhalofopbutyl; antioxidant enzyme activity; MDA content

稗草(*Echinochloa*)是一年生禾本科稗属植物的总称,目前全世界已发现约有 15 种稗草,中国有 8 种<sup>[1-2]</sup>。稗草是世界恶性杂草之一,同时也是中国农田 15 种恶性杂草之一,对水稻、棉花等多种作物生产危害尤为严重,仅稻田危害面积就达  $6.7 \times 10^7$  hm<sup>2</sup><sup>[3-6]</sup>。江苏省稻田稗属杂草共 5 个种和 3 个变种:无芒稗 [*Echinochloa crusgallii* (H. B. K.) Schult]、西来稗 [*E. crusgallii* (L.) Beauv var. *zelayensis* (H. B. K.) Hitchc]、稗 [*E. crusgallii* (L.) Beauv.]、光头稗 [*E. colonum* (Linn.) Link]、短芒稗 [*E. crusgallii* (L.) Beauv. var. *brevisetula* (Doell) Neill.]、长芒稗 [*E. caudata* Rochev.]、孔雀稗 [*E. crusgallii* (H. B. K.) Schult] 和硬稗稗 [*E. glabrescens* Munro ex Hook. F.]。由于稗属杂草形态相似,在生产中往往将其作为一个草种防除,重复盲目地使用除草剂,加速了稻田杂草种群演替与抗性杂草产生,而稗属杂草间对芳氧苯氧丙酸类除草剂的敏感差异性,目前未见研究报道。

噁唑酰草胺(韩秋好)和氰氟草酯属于芳氧苯氧丙酸类除草剂,其高效、低毒、低残留,是近年来广泛应用于防控稻田稗草的常用茎叶除草剂。其作用机理表现为杂草叶片和叶鞘吸收除草剂,韧皮部传导,除草剂积累于杂草的分生组织区,使脂肪酸合成停止,细胞的生长分裂不能正常进行,膜系统等含脂结构破坏,最后导致杂草死亡。通常植物在遭受胁迫时,植物体内也有一套复杂的活性氧(ROS)清除系统来保护植物细胞免受活性氧的损伤<sup>[7]</sup>。本研究将以江苏省稻田中普遍发生的 8 种稗草为供试材料,采用整株生物测定的方法,通过测定施药后 25 d

供试稗草对芳氧苯氧丙酸酯类除草剂(噁唑酰草胺和氰氟草酯)的  $GR_{50}$  值,发现稗属不同种群对供试药剂的敏感差异性;进一步分析经供试药剂处理后,供试稗属草种的丙二醛含量,过氧化物酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶的活性变化,阐明稗属草种对芳氧苯氧丙酸类除草剂敏感差异性的生理基础,以期对稻田稗属杂草的绿色治理、农田生态环境保护提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

无芒稗、西来稗、稗、光头稗、短芒稗、长芒稗、孔雀稗和硬稗稗均于 2012 年采自江苏省稻田;供试药剂分别为苏中富美实植物保护有限公司提供的 10% 的噁唑酰草胺和浙江天一农化有限公司提供的 25% 氰氟草酯。

### 1.2 试验准备与试验设计

参照 Yang 等的方法<sup>[8]</sup>稍加改进。将底部打孔的直径为 9 cm 的塑料盆钵装满土,底部吸水至土壤水分饱和,播种已解除休眠的上述 5 个种和 3 个变种,每个种或变种播 48 钵,每钵播种 30 粒种子,待出苗后定苗 20 株。稗草长至三叶期喷施药剂。噁唑酰草胺所设剂量为 0(清水)、22.5 g/hm<sup>2</sup>, a. i.、45.0 g/hm<sup>2</sup>, a. i.、90.0 g/hm<sup>2</sup>, a. i.(常用推荐剂量)、180.0 g/hm<sup>2</sup>, a. i.、360.0 g/hm<sup>2</sup>, a. i.;氰氟草酯所设剂量为 0(清水)、18.75 g/hm<sup>2</sup>, a. i.、37.50 g/hm<sup>2</sup>, a. i.、75.00 g/hm<sup>2</sup>, a. i.(常用推荐剂量)、150.00 g/hm<sup>2</sup>, a. i.、300.00 g/hm<sup>2</sup>, a. i.,每个种或变种处理 4 钵,筛选出对 2 种除草剂敏感、较敏感和

不敏感的稗草种群,在此基础上分别在敏感种群、较敏感种群和不敏感种群选择一个种或变种再次按上述剂量分别喷施除草剂,测定保护酶活性。每个剂量处理6钵。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,喷雾压力0.3 MPa,雾滴直径100  $\mu\text{m}$ ,喷头流量90 ml/min。

### 1.3 指标测定与数据处理

1.3.1 数据处理 药后25 d,调查各处理稗草残存植株数,并在105  $^{\circ}\text{C}$ 杀青15 min,75  $^{\circ}\text{C}$ 烘至恒质量,称干质量。以对照(不施药)处理的干质量为标准,分别计算供试药剂不同剂量处理稗草的植株干质量抑制率,用SPSS统计软件分别求出供试药剂对8种稗草种群的毒力回归方程式、 $GR_{50}$ (抑制稗草干质量50%所需要的药剂剂量)等,并以供试材料 $GR_{50}$ 值进行聚类分析,得到敏感、较敏感与不敏感的供试稗草种群。

1.3.2 保护酶活性测定 分别于处理后的第1 d、3 d和5 d用硫代巴比妥酸比色法<sup>[9]</sup>测定敏感种群、较敏感种群和不敏感种群整株中的丙二醛(MDA)

含量、用比色法<sup>[10]</sup>测定过氧化物酶(POD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性,用NBT光化还原法<sup>[11]</sup>测定超氧化物歧化酶(SOD)活性。

## 2 结果与分析

### 2.1 噁唑酰草胺和氰氟草酯对供试稗草毒力差异

由表1可见,喷施芳氧苯氧丙酸酯类除草剂后25 d,不同处理间的稗草干质量 $GR_{50}$ 值存在显著差异,其中稗草种群对噁唑酰草胺最敏感,其 $GR_{50}$ 值仅为21.37 g/hm<sup>2</sup>, a. i.;无芒稗种群的 $GR_{50}$ 值为稗草种群的5.84倍。供试材料对噁唑酰草胺的敏感强弱次序为稗、长芒稗、短芒稗、西来稗、孔雀稗、硬稗、光头稗与无芒稗。但是对供试药剂氰氟草酯而言,西来稗种群最敏感,其 $GR_{50}$ 值仅为最不敏感种群无芒稗的1/3。供试材料对氰氟草酯的敏感性强弱依次为西来稗、长芒稗、孔雀稗、短芒稗、光头稗、硬稗、稗和无芒稗。

表1 噁唑酰草胺和氰氟草酯对8种稗草的干质量毒力差异

Table 1 Toxicity difference of eight barnyardgrass species to metamifop and cyhalofopbutyl based on  $GR_{50}$  in dry matter

除草剂	稗草种	毒力方程	相关系数	$GR_{50}$ (g/hm <sup>2</sup> , a. i.)	置信区间
噁唑酰草胺	稗	$Y=8.806x-6.710$	1.000	21.37A	21.37~21.37
	长芒稗	$Y=4.840x-2.478$	0.997	35.09B	29.90~40.28
	短芒稗	$Y=1.622x+2.283$	0.985	47.38BC	39.66~55.10
	西来稗	$Y=1.685x+2.077$	0.984	54.32C	47.42~61.22
	孔雀稗	$Y=1.371x+2.389$	0.991	80.39D	66.72~94.06
	硬稗	$Y=2.523x+0.002$	0.986	96.14E	78.45~113.83
	光头稗	$Y=2.273x-0.476$	0.985	97.67E	83.70~111.64
	无芒稗	$Y=3.339x-1.996$	0.982	124.58F	103.40~145.76
氰氟草酯	西来稗	$Y=0.770x+3.933$	0.988	24.29A	20.84~27.74
	长芒稗	$Y=3.101x+0.485$	0.990	28.56A	23.56~33.56
	孔雀稗	$Y=2.181x+1.836$	0.985	28.21A	22.96~33.46
	短芒稗	$Y=2.275x+1.486$	0.979	35.02AB	31.31~38.73
	光头稗	$Y=1.960x+1.712$	0.984	47.65B	38.50~56.80
	硬稗	$Y=2.396x+0.752$	0.981	59.35C	51.22~67.48
	稗	$Y=3.389x-1.080$	0.986	62.26C	52.11~72.41
	无芒稗	$Y=1.537x+2.101$	0.992	76.97D	68.66~85.28

不同大写字母表示同一除草剂在不同稗草种之间差异达0.01显著水平。

对稗草各种群  $GR_{50}$  值作聚类分析, 2 种供试药剂对 8 种稗草种群均可分为 3 类, 噁唑酰草胺处理为: (a) 稗和长芒稗, 其  $GR_{50}$  值为  $21.37 \sim 35.09 \text{ g/hm}^2$ , a. i., 为敏感种群; (b) 短芒稗、西来稗和孔雀稗, 其  $GR_{50}$  值为  $47.38 \sim 80.39 \text{ g/hm}^2$ , a. i.; (c) 硬稗稗、光头稗和无芒稗, 其  $GR_{50}$  值为  $96.14 \sim 124.58 \text{ g/hm}^2$ , a. i., 为不敏感种群 (图 1); 氰氟草酯处理为: (a) 西来稗、长芒稗、孔雀稗、短芒稗和光头稗, 其  $GR_{50}$  值为  $24.29 \sim 47.65 \text{ g/hm}^2$ , a. i., 为敏感种群; (b) 硬稗稗和稗, 其  $GR_{50}$  值为  $59.35 \sim 62.26 \text{ g/hm}^2$ , a. i.; (c) 无芒稗, 其  $GR_{50}$  值是  $76.97 \text{ g/hm}^2$ , a. i., 为不敏感种群 (图 2)。由此可见, 稗属不同稗草种群间对芳氧苯氧丙酸酯类除草剂不同药剂的敏感性存在明显的差异性。

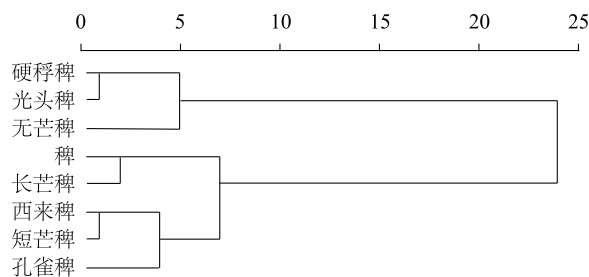


图 1 噁唑酰草胺处理对 8 种稗草种群干质量  $GR_{50}$  值的聚类分析

Fig. 1 Clustering analysis of eight barnyardgrass species based on the  $GR_{50}$  in dry matter weight to metamifop

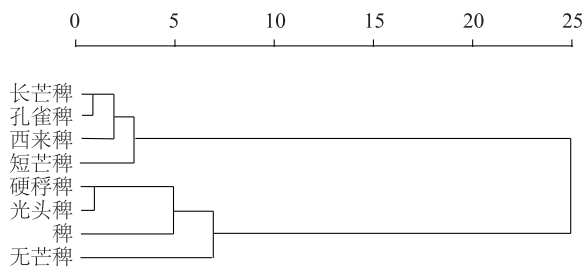


图 2 氰氟草酯处理对 8 种稗草干质量  $GR_{50}$  值的聚类分析

Fig. 2 Clustering analysis of eight barnyardgrass species based on the  $GR_{50}$  in dry matter weight to cyhalofopbutyl

## 2.2 供试药剂对稗、西来稗与无芒稗植株体内膜脂过氧化酶活性的影响

为进一步验证不同稗草种或变种对 2 种除草剂

的敏感差异性, 从敏感种群、较敏感种群和不敏感种群中分别选择稗、西来稗和无芒稗为材料, 从膜脂过氧化系统分析稗草种群植株中 MDA 含量、 $POD$ 、 $CAT$  和  $SOD$  活性的差异。

2.2.1 MDA 含量 图 3 显示, 随着除草剂处理剂量的增加和时间的延长, 稗、西来稗与无芒稗植株 MDA 含量呈不断增加的趋势, 表明细胞膜质过氧化作用加剧。药后 5 d, 以供试药剂最高剂量处理 (噁唑酰草胺,  $360 \text{ g/hm}^2$ , a. i.; 氰氟草酯,  $300 \text{ g/hm}^2$ , a. i.) 为例, 经噁唑酰草胺处理的无芒稗 MDA 含量是敏感稗的 0.68 倍; 经氰氟草酯处理的无芒稗 MDA 含量为敏感西来稗的 0.65 倍, 敏感稗草种群受到的伤害较不敏感大, 说明稗属杂草种群间抵抗胁迫的能力存在差异。

2.2.2  $POD$  活性 由图 4 可知, 3 种稗草喷施不同剂量的除草剂后  $POD$  活性表现不同。喷施噁唑酰草胺 1 d 后各处理随着除草剂剂量的增加  $POD$  活性较对照 (不施药清水处理) 增加, 但增加幅度因稗草种群和除草剂剂量的差异而不同。在 1/4 推荐剂量、1/2 推荐剂量、推荐剂量、2 倍推荐剂量和 4 倍推荐剂量下, 稗植株内  $POD$  较对照分别增加了 14.99%、20.20%、22.21%、13.82% 和 6.43%; 西来稗分别增加了 13.34%、19.76%、17.23%、10.74% 和 7.84%; 无芒稗分别增加了 2.85%、6.27%、10.88%、17.23% 和 5.56%, 可以看出, 敏感种群  $POD$  活性增加幅度较大, 不敏感种群增加较为缓慢。随着处理时间的延长, 不同剂量下  $POD$  活性呈降低的趋势。施药 5 d 后, 在 1/4 推荐剂量、1/2 推荐剂量、推荐剂量、2 倍推荐剂量和 4 倍推荐剂量下, 稗的  $POD$  活性较对照分别下降 14.80%、25.42%、21.29%、32.46% 和 53.18%; 西来稗的  $POD$  活性分别下降了 3.24%、18.43%、26.60%、35.98% 和 45.49%; 无芒稗分别下降了 6.78%、15.03%、16.94%、23.18% 和 32.50%, 敏感种群下降幅度较大, 不敏感种群下降幅度相对较小。3 种稗草喷施不同剂量的氰氟草酯后也表现相似的变化趋势。

2.2.3  $CAT$  活性 3 种稗草处理后 1 d,  $CAT$  活性随着除草剂剂量的增加呈先增加后降低的趋势; 随着处理天数的延长, 相同剂量下  $CAT$  活性逐渐降低 (图 5)。喷施噁唑酰草胺后敏感种群稗草



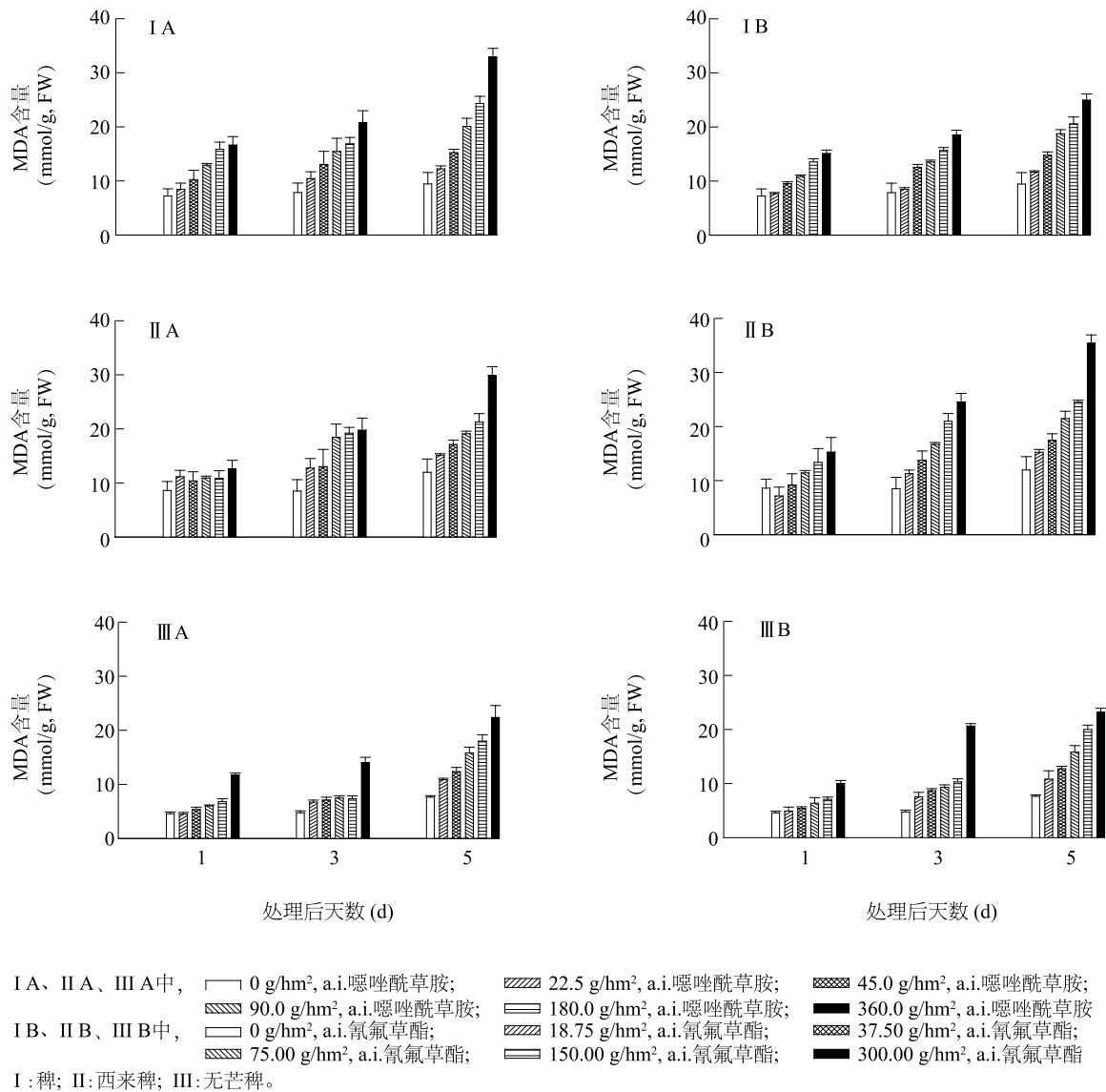


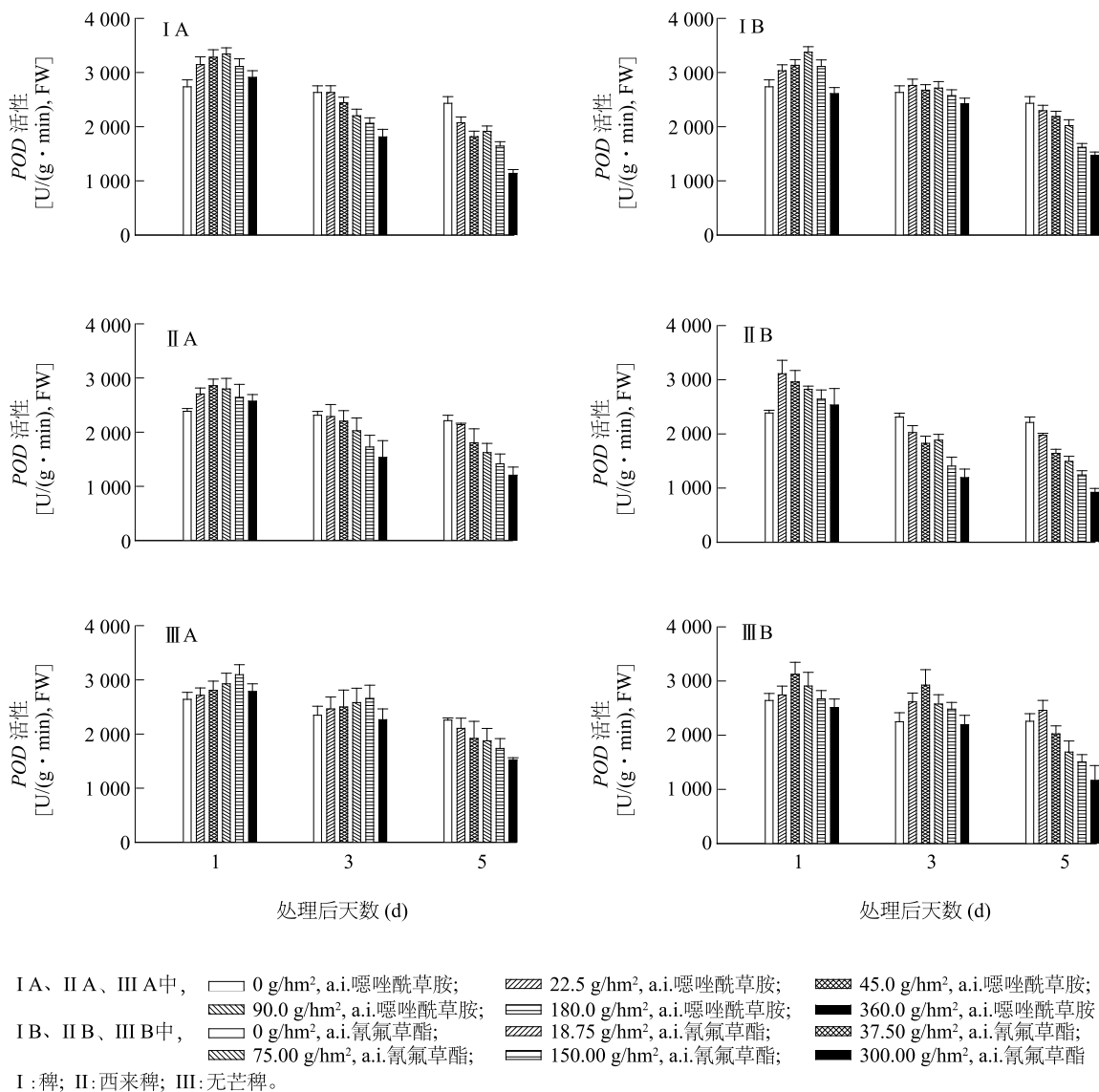
图3 2种除草剂对不同稗草种群中MDA含量的影响

Fig.3 MDA contents in the stem and leaves of three barnyardgrass species affected by two herbicides

(图5I A)增加幅度较大,1/4推荐剂量、1/2推荐剂量、推荐剂量、2倍推荐剂量和4倍推荐剂量下分别较对照增加了22.08%、26.90%、34.08%、24.78%和2.15%,但下降的幅度也较大,处理后5 d分别下降了9.18%、19.60%、31.14%、38.14%和54.54%;不敏感种群无芒稗(图5III A)CAT活性增加幅度较小,降低幅度也较小。处理后1 d,1/4推荐剂量、1/2推荐剂量、推荐剂量、2倍推荐剂量和4倍推荐剂量下分别增加了7.17%、9.08%、10.22%、12.94%和5.80%;处理后5 d分别降低了7.75%、14.84%、17.70%、

27.99%和40.76%。喷施氰氟草酯后3种稗草表现了相似的趋势。

2.2.4 SOD活性 与上述2种酶活性一样,喷施2种除草剂1 d后SOD活性随着剂量的增加呈先增加后降低的趋势,敏感种群增加幅度大,不敏感种群增加幅度小;处理后5 d随着剂量的增加3种稗草种群SOD活性均呈降低的趋势,且剂量越大降低幅度也大。喷施噁唑酰草胺后稗草SOD活性变化幅度较大,不敏感种群无芒稗变化幅度较小。喷施氰氟草酯后西来稗变化幅度较大,无芒稗变化幅度较小(图6)。

图 4 2 种除草剂对不同稗草种群中 *POD* 活性的影响Fig. 4 *POD* activities in the stem and leaves of three barnyardgrass species affected by two herbicides

### 3 讨论

本研究表明,不同稗草种对芳氧苯氧丙酸酯类型不同除草剂存在明显的敏感差异性,稗和长芒稗对噁唑酰草胺为敏感种群,短芒稗、西来稗和孔雀稗为较敏感种群,硬稗稗、光头稗和无芒稗为不敏感种群;对氰氟草酯而言,西来稗、长芒稗、孔雀稗、短芒稗和光头稗为敏感种群,硬稗稗和稗为较敏感种群,无芒稗为不敏感种群。乔丽雅对江苏省稻田稗草发生情况的调查显示,无芒稗、西来稗和稗在全省均有发生<sup>[12]</sup>,本研究发现

这 3 种稗草对噁唑酰草胺和氰氟草酯存在差异敏感性。无芒稗对 2 种除草剂均不敏感,稗对噁唑酰草胺敏感,西来稗对氰氟草酯敏感。因此,对于耐药性较强的无芒稗建议使用其他类型的除草剂替换噁唑酰草胺和氰氟草酯。

植物体在受到胁迫过程中,会产生大量活性氧,导致植物体内膜脂过氧化末端产物 MDA 含量增加和细胞膜结构完整性变差,但植物体内也存在 *POD*、*CAT* 及 *SOD* 等保护酶类能够清除过量的活性氧,维持活性氧的代谢平衡,保护膜结构,从而使植物在一定程度上忍耐、减缓或

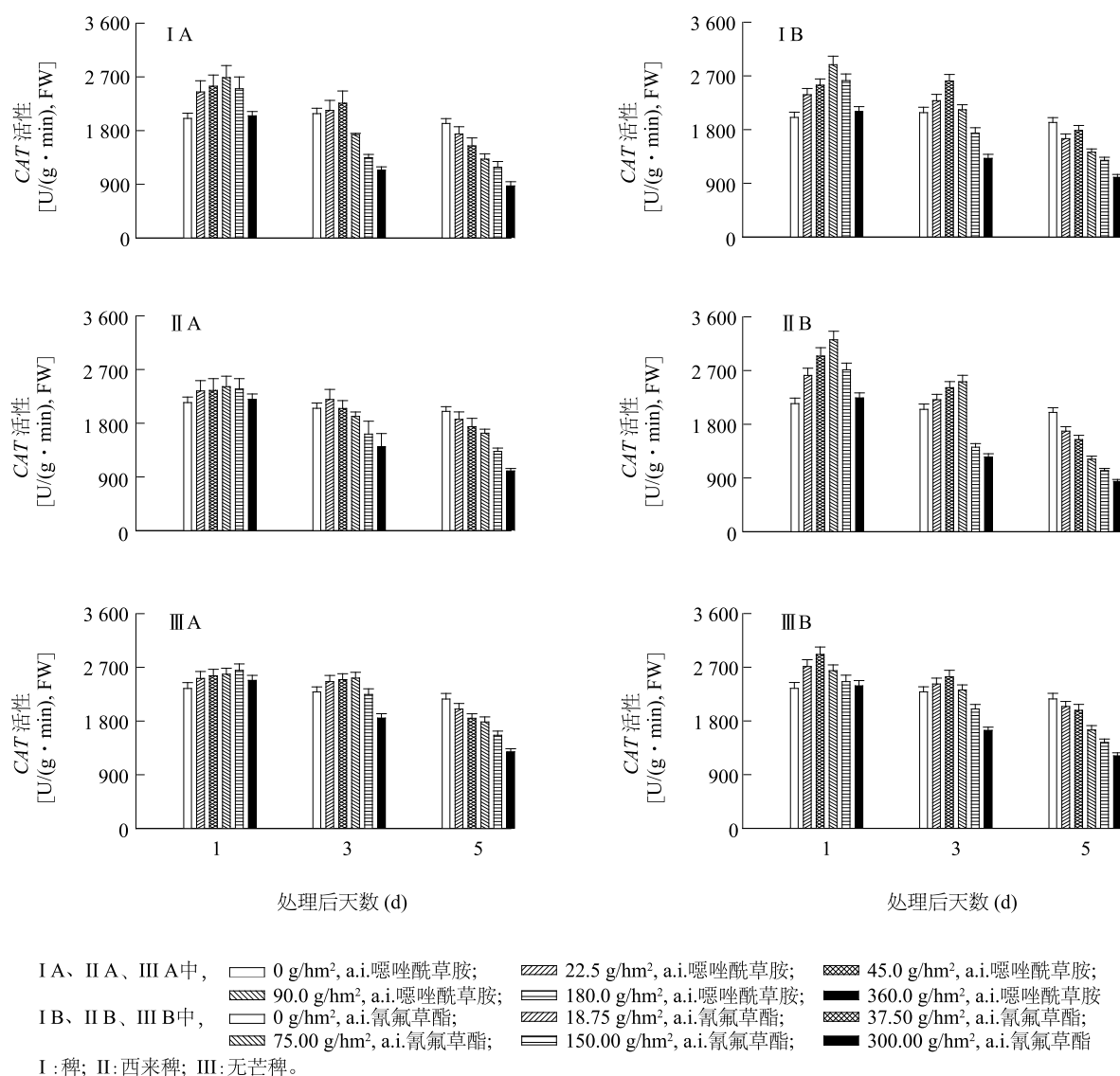


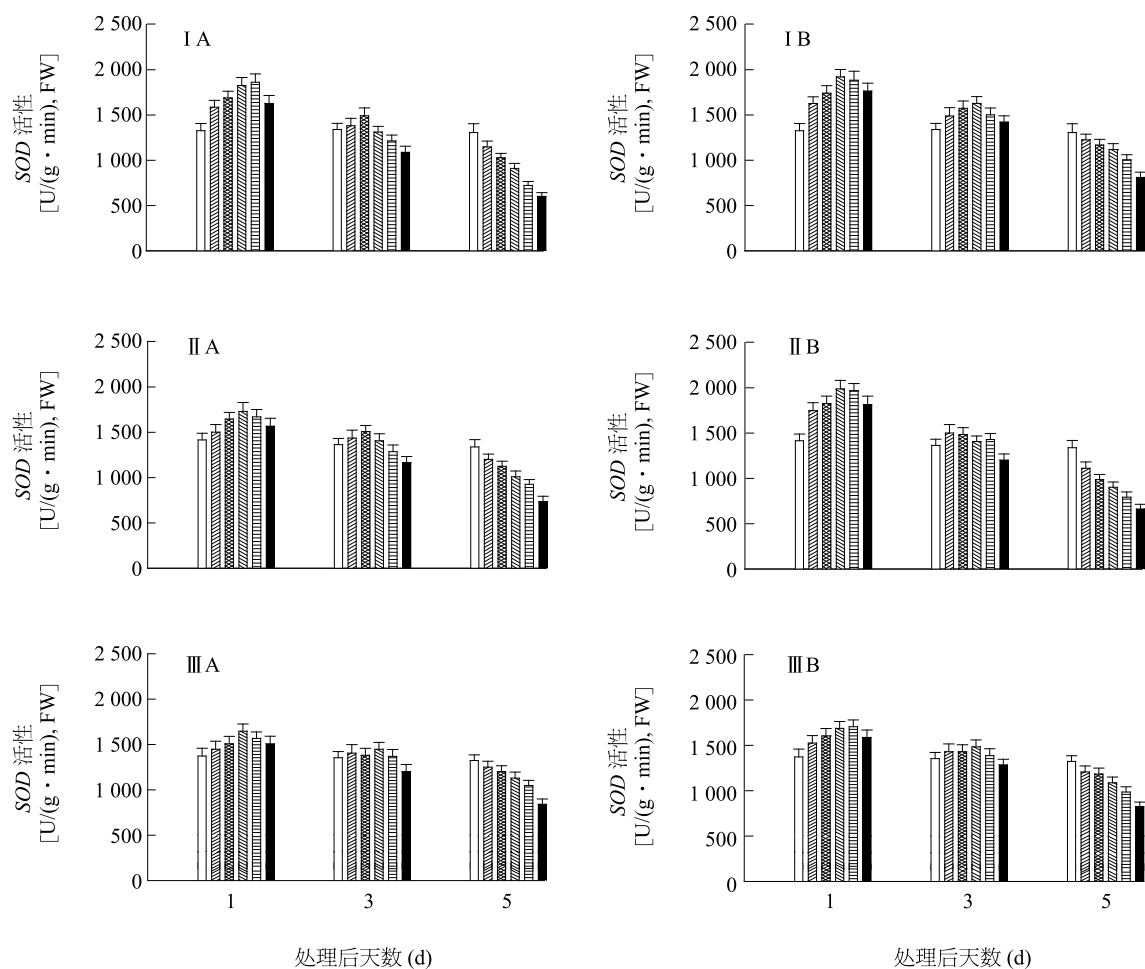
图5 2种除草剂对不同稗草种群茎叶中CAT活性的影响

Fig. 5 CAT activities in the stem and leaves of three barnyardgrass species affected by two herbicides

抵御逆境胁迫伤害<sup>[13-14]</sup>。本研究发现,不同稗草种经2种除草剂处理1d,稗草植株体内的POD、CAT和SOD活性均随着除草剂剂量的增加先升高然后降低,敏感种群变化幅度较大,不敏感种群变化较为平稳,随着处理时间的延长,POD、CAT和SOD活性进一步降低,MDA含量增加。POD、CAT和SOD活性先上升的原因可能是由于稗草生物型体内自由基生成过高,诱导植株体内POD、CAT和SOD活性提高;三者活性后下降可能是除草剂胁迫作用超过了稗草自身的应激限度,最终导致膜脂质氧化产物

MDA含量的增加、膜结构遭到破坏,使植物生长受抑制甚至死亡<sup>[15]</sup>。不敏感稗草较敏感稗草酶活性变化幅度小表明不敏感种群具有较强的自由基清除能力。

本研究还发现,处理后5d,耐药性较强的无芒稗植株体内的MDA含量低于其他敏感稗草种,POD、CAT、SOD酶活性总体均高于其他敏感稗草种,这与其他研究结果相似<sup>[16-17]</sup>。推测在芳氧苯氧丙酸酯类型除草剂的胁迫下,不敏感稗属杂草体内较高的SOD、POD和CAT活性是其产生耐药性的重要原因之一。稗草的种及变种间对



I A、II A、III A中,  $\square$  0 g/hm<sup>2</sup>, a.i.噻唑酰草胺;  $\square$  22.5 g/hm<sup>2</sup>, a.i.噻唑酰草胺;  $\square$  45.0 g/hm<sup>2</sup>, a.i.噻唑酰草胺;  
 I B、II B、III B中,  $\square$  0 g/hm<sup>2</sup>, a.i.噻唑酰草胺;  $\square$  180.0 g/hm<sup>2</sup>, a.i.噻唑酰草胺;  $\square$  360.0 g/hm<sup>2</sup>, a.i.噻唑酰草胺;  
 $\square$  0 g/hm<sup>2</sup>, a.i.氰氟草酯;  $\square$  18.75 g/hm<sup>2</sup>, a.i.氰氟草酯;  $\square$  37.50 g/hm<sup>2</sup>, a.i.氰氟草酯;  
 $\square$  75.00 g/hm<sup>2</sup>, a.i.氰氟草酯;  $\square$  150.00 g/hm<sup>2</sup>, a.i.氰氟草酯;  $\square$  300.00 g/hm<sup>2</sup>, a.i.氰氟草酯  
 I: 稗; II: 西来稗; III: 无芒稗。

图 6 2 种除草剂对不同稗草种茎叶中 SOD 活性的影响

Fig. 6 SOD activities in the stem and leaves of three barnyardgrass species affected by two herbicides

不同结构的除草剂存在耐药性差异,生产上应该根据不同生态区稗草种的分布,科学合理的选择除草剂及其施用浓度,经济有效地治理稻田稗草危害。

#### 参考文献:

- [1] 马凤霞,赵 权,姜 辉.3 种植物提取液对稗草生长发育的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(10):127-129.
- [2] 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.
- [3] 李海波,侯守贵,代贵金,等.水稻和稗草种间竞争关系研究现状[J]. 中国农学通报,2011,27(15):259-262.
- [4] 杨小育.世界性恶性杂草的危害[J]. 世界农业,1992(4):40-42.
- [5] 吴声敢,王 强,赵学平,等.稻田稗草生物学特性及其综合防治[J]. 杂草科学,2006(3):1-6.
- [6] 张朝贤,倪汉文,魏守辉,等.杂草抗药性研究进展[J]. 中国农业科学,2009,42(4):1274-1289.
- [7] SALIN M L. Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast[J]. Physiologia Plantarum, 1988, 72: 681-689.
- [8] YANG C, DONG L, LI J, et al. Identification of Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) resistant to haloxyfop using three different assay techniques[J]. Weed Science, 2007, 55: 537-540.



- [9] 赵世杰,许长成,邹琦,等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯,1994,30(3):207-210.
- [10] 王学奎. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006:167-170.
- [11] BERRY J, BJORKMAN O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1980, 31: 491-543.
- [12] 乔丽雅. 江苏省稻田稗属杂草生物学特性及其对扫氟特和乙草胺耐药性的研究[D]. 南京:南京农业大学. 2003.
- [13] LIANG Y C, HU F, YANG M C, et al. Antioxidative defenses and water deficit-induced oxidative damage in rice (*Oryza sativa* L.) growing non-flooded paddy soils with ground mulching[J]. Plant and Soil, 2003, 257:407-416.
- [14] LIANG Y C, CHEN Q, LIU Q, et al. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Journal of Physiology, 2003, 160: 1157-1164.
- [15] 路文静. 植物生理学[M]. 北京:中国林业出版社,2011.
- [16] SHAALTIEL Y, GRESSEL J. Multienzyme oxygen radical detoxifying system correlate with paraquat resistance in *Conyza bonariensis* [J]. Pesticide Biochemistry Physiology, 1986, 26: 22-28.
- [17] TURESANYI E, DARKO E, BORBELY G, et al. The activity of oxyradical-detoxifying enzymes is not correlated with paraquat resistance in *Conyza Canadensis* (L.) [J]. Pesticide Biochemistry Physiology, 1998, 60: 1-11.

(责任编辑:孙宁)