

外来入侵恶性杂草牛筋草的化学防除药剂评价筛选

李 涛¹, 袁国徽¹, 钱振官¹, 杨伟萍², 范洁群^{1*}

(1. 上海市农业科学院, 上海 201403; 2. 上海市金山区张堰镇农业技术推广服务站, 上海 201514)

摘要 牛筋草是全球危害最严重的5种杂草之一,为了筛选防除牛筋草的高效除草剂品种,采用温室盆栽法和田间小区试验测定了10种苗后除草剂对牛筋草的除草活性及防除效果。盆栽试验结果表明,30%苯唑草酮 SC和40 g/L烟嘧磺隆 OD对牛筋草防效优异,ED₉₀分别为8.7 g/hm²和19.4 g/hm²(有效成分,下同),约为各自登记低剂量的1/3和1/2。100 g/L氟氟草酯 EC、10%噁唑草胺 EC、69 g/L精噁唑禾草灵 EW、120 g/L烯草酮 EC和10%精喹禾灵 EC对牛筋草具有较好的防效,ED₉₀分别为68.9、80.5、50.0、54.2 g/hm²和48.6 g/hm²,与各自的登记低剂量相当或略低。25%啶嘧磺隆 WG和11%三氟啶磺隆 OD对牛筋草的防效较差,ED₉₀分别为115.0 g/hm²和112.4 g/hm²,约为各自登记高剂量的1.5倍和2.3倍。75%硝磺草酮 WG对牛筋草的防效很差,ED₉₀为742.6 g/hm²,是其登记高剂量的3.3倍。田间试验结果表明,40 g/L烟嘧磺隆 OD 40.2 g/hm²、30%苯唑草酮 SC 22.5 g/hm²、100 g/L氟氟草酯 EC 75 g/hm²、10%噁唑草胺 EC 90 g/hm²、69 g/L精噁唑禾草灵 EW 51.75 g/hm²、120 g/L烯草酮 EC 63 g/hm²和10%精喹禾灵 EC 60 g/hm²对牛筋草的鲜重抑制率均大于90%,且对供试作物生长安全。综上,玉米田牛筋草防除可选择30%苯唑草酮 SC或40 g/L烟嘧磺隆 OD;稻田牛筋草防除可选择100 g/L氟氟草酯 EC或10%噁唑草胺 EC;草坪绿地中的牛筋草可根据草坪草种类选择69 g/L精噁唑禾草灵 EW防除,选择25%啶嘧磺隆 WG或11%三氟啶磺隆 OD防除草坪上的牛筋草时,需大幅提高使用剂量才能获得理想的防效;蔬菜、花生、棉花以及果树等阔叶作物田牛筋草的防除可选择120 g/L烯草酮 EC、10%精喹禾灵 EC或69 g/L精噁唑禾草灵 EW。

关键词 杂草防除; 外来入侵杂草; 牛筋草; 茎叶处理除草剂

中图分类号: S482.4 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021063

Evaluation and screening of herbicides for controlling exotic invasive weed *Eleusine indica*

LI Tao¹, YUAN Guohui¹, QIAN Zhenguan¹, YANG Weiping², FAN Jiequn^{1*}

(1. Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; 2. Agricultural Technology Extension Service Station of Zhangyan Town, Jinshan District, Shanghai 201514, China)

Abstract *Eleusine indica* is one of the five most harmful weeds in the world. Experiments were conducted to determine the control efficacy of 10 post-emergence herbicides against *E. indica*. Greenhouse experiments showed that topamezone 30% SC and nicosulfuron 40 g/L OD had excellent control effects on *E. indica*, with the ED₉₀ values of 8.7 g/hm² and 19.4 g/hm² (active ingredient, the same below), respectively, which were about 1/3 and 1/2 of the low dose recommended on their respective labels. Cyhalofop-butyl 100 g/L EC, metamifop 10% EC, fenoxaprop-*P*-ethyl 69 g/L EW, clethodim 120 g/L EC, and quizalofop-*P*-ethyl 10% EC had good control effects on *E. indica*, and the ED₉₀ values were 68.9, 80.5, 50.0, 54.2 g/hm² and 48.6 g/hm², respectively, which was equivalent to or slightly lower than the low dose recommended on their respective labels. Flazasulfuron 25% WG and trifloxysulfuron sodium 11% OD had poor control effects on *E. indica*, and the ED₉₀ values were 115.0 g/hm² and 112.4 g/hm², respectively, which were about 1.5 and 2.3 times of the high dose recommended on their respective labels. Mesotrione 75% WG had a very poor control effect on *E. indica*, with the ED₉₀ value of 742.6 g/hm², which was about 3.3 times of the high dose recommended on its label. Field trials showed that the control efficacies of nicosulfuron 40 g/L OD 40.2 g/hm², topamezone 30% SC 22.5 g/hm², cyhalofop-butyl 100 g/L EC 75 g/hm², metamifop 10% EC 90 g/hm², fenoxaprop-*P*-ethyl 69 g/L EW 51.75 g/hm², clethodim

收稿日期: 2021-01-29

修订日期: 2021-02-09

基金项目: 上海市科技兴农推广项目[沪农科推字(2018)第4-14号];上海市农业科学院卓越团队建设计划[沪农科卓(2022)009,017];国家重点研发计划(2018YFD0200500)

* 通信作者 E-mail: 18201791220@163.com

120 g/L EC 63 g/hm², and quizalofop-*P*-ethyl 10% EC 60 g/hm² were all greater than 90%. In summary, topramezone 30% SC or nicosulfuron 40 g/L OD can be applied to control *E. indica* in corn field, cyhalofop-butyl 100 g/L EC or metamifop 10% EC can be selected for control of *E. indica* in paddy field, and fenoxaprop-*P*-ethyl 69 g/L EW can be selected to control *E. indica* in the lawn. When flazasulfuron 25% WG or trifloxysulfuron sodium 11% OD were applied to control *E. indica* in the lawn, it is necessary to greatly increase the dosage to obtain the ideal control effect. *E. indica* in broad-leaved crop fields, such as vegetables, peanuts, cotton and fruit trees, can be controlled by clethodim 120 g/L EC, quizalofop-*P*-ethyl 10% EC or fenoxaprop-*P*-ethyl 69 g/L EW.

Key words weed control; exotic invasive weed; *Eleusine indica*; post-emergence herbicide

杂草与作物竞争光照、空间和养分,降低作物产量和品质,是制约作物丰产和增收的重要生物因子^[1]。尽管全球每年化学除草剂的销售总额高达 250 亿美元,但是每年因杂草危害而导致的经济损失仍高达 1 000 亿美元^[2]。我国在每年投入 235 亿元杂草防治费用的情况下,粮食仍然减产 5 000 万 t,直接经济损失近千亿元^[3]。杂草对经济作物造成的危害也十分严重,例如杂草防除不及时或防除方法不当可导致棉花产量降低 10%~90%^[4]。

牛筋草 *Eleusine indica* (L.) Gaertn. 为稗属一年生禾本科杂草,是一种生长快速的 C₄ 植物。单株牛筋草平均可产生 40 000 粒种子,最高的可以产生 140 000 粒以上的种子,繁殖能力极强,几乎遍布全球所有的热带和亚热带地区^[5]。据报道,牛筋草是全球危害最严重的 5 种杂草之一,是 60 多个国家 46 种作物田的主要危害杂草,其中包括玉米、水稻、草坪、棉花、蔬菜、甘蔗及果树等^[6]。据 Fischer 等报道,在哥伦比亚直播水稻中,如果不控制牛筋草,几乎可以造成作物全部损失^[7]。Eke 等研究发现,20 株/m² 牛筋草可导致玉米减产 15%^[8]。据 Zagonel 等报道,牛筋草在巴西造成马铃薯和胡萝卜分别减产 57%和 76%^[9]。Ma 等研究发现,棉花田牛筋草密度 5 株/m²,导致棉花产量损失 20%~27%^[10]。此外,牛筋草还是玉米、花生、甘蔗以及水稻病害、线虫的次生宿主^[11]。牛筋草在我国属外来入侵植物,现广布全国各地,是我国玉米、蔬菜、水稻、草坪绿地、棉花、甘蔗以及果树等作物田的主要危害杂草,对我国农业生产和生态环境都造成了严重的影响^[12-13]。

化学除草因具有高效、经济、省工等优点,是当前应用最为广泛的杂草治理技术^[14]。2016 年,我国除草剂销售额 19.72 亿美元,占农药销售额的 40.9%,超过杀虫剂和杀菌剂,位居首位^[15]。随着城镇化进程的加快以及用工成本的增加,化学除草剂的用量还将进一步上升。查阅中国知网数据库,有关苗后除草剂防除牛筋草的研究报道很少,郭成林等研究了草甘膦异丙胺盐、精喹禾灵和高效氟吡甲禾灵对火龙果园牛筋草的除草效果^[16],郭文磊等

研究了氰氟草酯和噁唑酰草胺对牛筋草的除草活性^[17],宗涛等测定了精喹禾灵对棉花田不同生物型牛筋草的除草活性^[18],除此以外,公开发表的文献资料相当有限。筛选对牛筋草高效的除草剂品种是有效控制牛筋草的关键。本研究的主要目标是,通过室内盆栽和田间小区试验,评价玉米、水稻、蔬菜、草坪、果园等主要作物田常用除草剂对牛筋草的除草活性及防除效果,为牛筋草的高效治理提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试药剂:40 g/L 烟嘧磺隆(nicosulfuron)可分散油悬浮剂(OD),25% 啶嘧磺隆(flazasulfuron)水分散粒剂(WG),日本石原产业株式会社;75% 硝磺草酮(mesotrione)水分散粒剂(WG),安徽圣丰生化有限公司;11% 三氟啶磺隆(trifloxysulfuron sodium)可分散油悬浮剂(OD),瑞士先正达作物保护有限公司;30% 苯唑草酮(topramezone)悬浮剂(SC),巴斯夫欧洲公司;69 g/L 精噁唑禾草灵(fenoxaprop-*P*-ethyl)水乳剂(EW),拜耳作物科学(中国)有限公司;10% 精喹禾灵(quizalofop-*P*-ethyl)乳油(EC),京博农化科技有限公司;120 g/L 烯草酮(clethodim)乳油(EC),合肥星宇化学有限责任公司;10% 噁唑酰草胺(metamifop)乳油(EC),苏州富美实植物保护剂有限公司;100 g/L 氰氟草酯(cyhalofop-butyl)乳油(EC),美国陶氏益农公司。所有供试除草剂均从市场购得。

供试杂草:牛筋草 *Eleusine indica* (L.) Gaertn.,种子于 2019 年 10 月采自上海市郊,种子采集后置于阴凉处风干,然后装袋并保存在 4℃ 的冰箱中备用。

1.2 试验方法

1.2.1 试材培养

在直径 10 cm,高 8 cm 的黑色塑料盆钵内装入 6 cm 深的消毒细土,土质为黄泥头,有机质含量 2.1%,然后将盆钵放入装有水的塑料托盘中,让水逐渐渗入,待土吸足水分,每盆定量播种牛筋草种子 20

粒,覆薄土 0.2 cm,置于温室内培养,温度 25~30℃,相对湿度 60%~75%,待牛筋草长至 3~5 叶期进行喷药处理。喷药前间去弱小苗,每盆定苗至 5 株。

1.2.2 除草剂对牛筋草的室内除草活性测定试验

选择玉米、蔬菜、水稻、草坪等主要作物田常用的且对禾本科杂草具有较好防效的除草剂品种开展评价试验。根据预试验结果,各供试除草剂及剂量设置如下:40 g/L 烟嘧磺隆 OD 3.75、7.5、15、30、60 g/hm² (有效成分,下同);75% 硝磺草酮 WG 37.5、75、150、300、600 g/hm²;30% 苯唑草酮 SC 1.687 5、3.375、6.75、13.5、27 g/hm² + 专用助剂 MSO(喷液量的 0.5%);69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 7.762 5、15.525、31.05、62.1、124.2 g/hm²;25% 啶嘧磺隆 WG 9.375、18.75、37.5、75、150 g/hm²;11% 三氟啶磺隆 OD 8.4375、16.875、33.75、67.5、135 g/hm²;10% 精喹禾灵 EC 7.5、15、30、60、120 g/hm²;100 g/L 氰氟草酯 EC 9.375、18.75、37.5、75、150 g/hm²;10% 噁唑酰草胺 EC 22.5、45、90、180、360 g/hm²;120 g/L 烯草酮 EC 9、18、36、72、144 g/hm²。另设清水对照,每个处理重复 4 次。喷药工具为北京农业信息技术研究中心生产的 ASS-4 型自动控制喷雾台,扇形喷头,喷雾压力 275 kPa,喷液量 450 L/hm²。将供试盆钵放置在喷雾台上,调整喷头与盆钵顶部的距离为 50 cm,按照设置的剂量均匀喷雾。喷药后不定期观察并记录杂草受害症状,如生长抑制、失绿、畸形等。喷药后 28 d 取样并称量牛筋草地上部鲜重,按公式(1)计算鲜重抑制率。

$$E = [(W_{CK} - W_t) / W_{CK}] \times 100\% \quad (1)$$

式中: E 为鲜重抑制率; W_{CK} 为对照组牛筋草地上部鲜重; W_t 为施药组牛筋草地上部鲜重。

1.2.3 除草剂防除牛筋草田间药效试验

根据室内盆栽试验的结果,选择对牛筋草具有较好除草活性的除草剂品种开展田间小区验证试验。试验在上海市农业科学院庄行综合试验站内进行,试验田土质为黄泥头,有机质含量 2.1%,pH 7.1。供试除草剂品种及剂量如下:40 g/L 烟嘧磺隆 OD 40.2 g/hm² 和 30% 苯唑草酮 SC 22.5 g/hm² (供试作物玉米)、100 g/L 氰氟草酯 EC 75 g/hm² 和 10% 噁唑酰草胺 EC 90 g/hm² (供试作物水稻)、69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 51.75 g/hm²、120 g/L 烯草酮 EC 63 g/hm² 和 10% 精喹禾灵 EC 60 g/hm² (供试作物甘蓝),供试剂量均为各自标签推荐剂量的低剂量,另设清水对照处理。小区面积 20 m²,每个处理重复 4 次,小区随机区组排列。玉米品种‘沪

玉糯 3 号’,水稻品种‘南粳 46’,甘蓝品种‘京丰一号’。试验时,每个小区定量播种牛筋草种子若干,以确保田间牛筋草基数。施药时牛筋草为 2~3 叶期。施药工具为新加坡利农私人有限公司生产的 HD 400 背负式喷雾器,单个扇形喷头,压力 1 kgf/cm²,喷液量 450 L/hm²。参照《农药田间药效试验准则(一)除草剂防治水稻田杂草、除草剂防治玉米地杂草、除草剂防治叶菜类作物地杂草》,施药后不定期观察并记录供试作物受害症状,如生长抑制、褪绿、畸形等,并按照药害分级标准,对每个小区药害定级打分(1~5 级,1 级:作物生长正常,无任何药害症状;5 级:作物药害严重,不能恢复,造成明显减产和绝产)。施药后 28 d 每个小区随机取样调查 4 个样方,每个样方 0.25 m²,称量并记录样方内牛筋草地上部鲜重,按公式(1)计算鲜重抑制率。

1.3 数据处理

室内除草活性测定试验所得数据采用 DPS 7.05 统计软件,以供试剂量的对数值及鲜重抑制率的几率值进行回归分析,建立回归方程,计算各供试除草剂对牛筋草地上部鲜重抑制 90% 的有效剂量 ED₉₀、95% 置信限和相关系数。利用 SPSS for Windows 20 统计软件,采用 Duncan 氏新复极差法,在 0.05 水平对牛筋草的鲜重抑制率进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 除草剂对牛筋草的室内除草活性

2.1.1 30% 苯唑草酮 SC 对牛筋草的除草活性

苯唑草酮属苯甲酰吡唑酮类除草剂,是对羟基苯基丙酮酸双氧化酶(HPPD)抑制剂。测定结果表明,30% 苯唑草酮 SC 对牛筋草活性优异。喷药后 3 d 牛筋草叶片即表现出白化症状,且剂量越高,症状越明显。喷药后 28 d 取样调查,30% 苯唑草酮 SC 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为 39.85%~98.30%。回归分析计算结果表明,30% 苯唑草酮 SC 对牛筋草的 ED₉₀ 为 8.7 g/hm²,明显低于其登记剂量,约为登记低剂量的 1/3(表 1)。

2.1.2 40 g/L 烟嘧磺隆 OD 对牛筋草的除草活性

烟嘧磺隆属磺酰脲类除草剂,是乙酰乳酸合酶(ALS)抑制剂。测定结果表明,40 g/L 烟嘧磺隆 OD 对牛筋草活性优异。喷药后 7 d 牛筋草叶片发黄,生长受到严重抑制。喷药后 28 d 取样调查,40 g/L 烟嘧磺隆 OD 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为 42.28%~99.20%。回归分析计算结果表明,40 g/L 烟嘧磺隆 OD 对牛筋草的 ED₉₀ 为 19.4 g/hm²,明显

低于其登记剂量,约为登记低剂量的 1/2(表 2)。

2.1.3 75%硝磺草酮 WG 对牛筋草的除草活性

硝磺草酮属三酮类除草剂,是 HPPD 抑制剂。测定结果表明,75%硝磺草酮 WG 对牛筋草活性很差。喷药后 28 d 取样调查,75%硝磺草酮 WG 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为 3.47%~90.26%。回归分析计算结果表明,75%硝磺草酮 WG 对牛筋草的 ED₉₀ 为 742.6 g/hm²,远高于其登记剂量,约为登记高剂量的 3.3 倍(表 3)。

表 1 30%苯唑草酮 SC 对牛筋草的除草活性¹⁾

Table 1 Control efficacy of topramezone 30% SC against <i>Eleusine indica</i>					
剂量/g·(hm ²) ⁻¹	鲜重抑制率/%	回归方程	ED ₉₀ (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹
Dose	Reduction rate in biomass	Regression equation		Correlation coefficient	Label dose
1.687 5	(39.85±1.71)d	y=4.481 4+1.920 2x	8.7 (7.2~10.4)	0.987 7	22.5~27
3.375	(75.35±0.87)c				
6.75	(86.64±1.32)b				
13.5	(95.65±2.54)a				
27	(98.30±0.98)a				

1) 表中数据为平均值±标准误,同列数据后不同字母表示在 0.05 水平差异显著,下同。
The data in the table are mean ± SE, the different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 40 g/L 烟嘧磺隆 OD 对牛筋草的除草活性

Table 2 Control efficacy of nicosulfuron 40 g/L OD against <i>Eleusine indica</i>					
剂量/g·(hm ²) ⁻¹	鲜重抑制率/%	回归方程	ED ₉₀ (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹
Dose	Reduction rate in biomass	Regression equation		Correlation coefficient	Label dose
3.75	(42.28±0.96)d	y=3.448 1+2.201 5x	19.4 (17.8~21.1)	0.997 2	40.2~60
7.5	(60.17±1.90)c				
15	(85.01±1.56)b				
30	(95.33±2.70)a				
60	(99.20±0.80)a				

表 3 75%硝磺草酮 WG 对牛筋草的除草活性

Table 3 Control efficacy of mesotrione 75% WG against <i>Eleusine indica</i>					
剂量/g·(hm ²) ⁻¹	鲜重抑制率/%	回归方程	ED ₉₀ (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹
Dose	Reduction rate in biomass	Regression equation		Correlation coefficient	Label dose
37.5	(3.47±0.62)d	y=-1.115 1+2.576 5x	742.6 (481.4~1 145.7)	0.979 8	168.75~225
75	(6.35±0.58)d				
150	(30.79±4.45)c				
300	(50.22±1.68)b				
600	(90.26±1.29)a				

表 4 100 g/L 氰氟草酯 EC 对牛筋草的除草活性

Table 4 Control efficacy of cyhalofop-butyl 100 g/L EC against <i>Eleusine indica</i>					
剂量/g·(hm ²) ⁻¹	鲜重抑制率/%	回归方程	ED ₉₀ (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹
Dose	Reduction rate in biomass	Regression equation		Correlation coefficient	Label dose
9.375	(24.95±4.98)d	y=2.128 2+2.259 2x	68.9 (59.8~79.5)	0.994 1	75~105
18.75	(45.08±1.72)c				
37.5	(80.12±1.17)b				
75	(92.30±0.61)a				
150	(97.44±2.56)a				

2.1.5 10%噁唑酰草胺 EC 对牛筋草的除草活性

噁唑酰草胺属芳氧苯氧丙酸酯类除草剂,是 ACCase 抑制剂。测定结果表明,10%噁唑酰草胺

2.1.4 100 g/L 氰氟草酯 EC 对牛筋草的除草活性

氰氟草酯属芳氧苯氧基丙酸酯类除草剂,是乙酰辅酶 A 羧化酶(ACCase)抑制剂。测定结果表明,100 g/L 氰氟草酯 EC 对牛筋草具有较好的活性。喷药后 7 d 牛筋草叶片褪绿发黄。喷药后 28 d 取样调查,100 g/L 氰氟草酯 EC 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为 24.95%~97.44%。回归分析计算结果表明,100 g/L 氰氟草酯 EC 对牛筋草的 ED₉₀ 为 68.9 g/hm²,略低于其登记低剂量(表 4)。

EC 对牛筋草具有较好的活性。喷药后 7 d 牛筋草叶片褪绿发黄。喷药后 28 d 取样调查,10%噁唑酰草胺 EC 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为

30.24%~100%。回归分析计算结果表明,10%噁唑酰草胺 EC 对牛筋草的 ED_{90} 为 80.5 g/hm²,低于其登记低剂量(表 5)。

2.1.6 25%啶嘧磺隆 WG 对牛筋草的除草活性

啶嘧磺隆属磺酰脲类除草剂,是 ALS 抑制剂。测定结果表明,25%啶嘧磺隆 WG 对牛筋草活性较差。喷药后 10 d 牛筋草叶片轻微褪绿。喷药后 28 d 取样调查,25%啶嘧磺隆 WG 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为 14.43%~91.51%。回归分析计算结果表明,25%啶嘧磺隆 WG 对牛筋草的 ED_{90} 为 115.0 g/hm²,约为其登记高剂量的 1.5 倍(表 6)。

2.1.7 11%三氟啶磺隆 OD 对牛筋草的除草活性

三氟啶磺隆属磺酰脲类除草剂,是 ALS 抑制剂。试验结果表明,11%三氟啶磺隆 OD 对牛筋草的活性较差。喷药后 10 d 牛筋草叶片轻微褪绿。

药后 28 d 取样调查,11%三氟啶磺隆 OD 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为 25.17%~90.37%。回归分析计算结果表明,11%三氟啶磺隆 OD 对牛筋草的 ED_{90} 为 112.4 g/hm²,约为其登记高剂量的 2.3 倍(表 7)。

2.1.8 69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 对牛筋草的除草活性

精噁唑禾草灵属芳氧苯氧基丙酸酯类除草剂,是 ACCase 抑制剂。试验结果表明,69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 对牛筋草具有较好的活性。喷药后 5 d 牛筋草叶片褪绿发黄。喷药后 28 d 取样调查,69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为 35.07%~98.16%。回归分析计算结果表明,69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 对牛筋草的 ED_{90} 为 50.0 g/hm²,与其登记低剂量相当(表 8)。

表 5 10%噁唑酰草胺 EC 对牛筋草的除草活性

Table 5 Control efficacy of metamifop 10% EC against *Eleusine indica*

剂量/g·(hm ²) ⁻¹	鲜重抑制率/%	回归方程	ED_{90} (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹
Dose	Reduction rate in biomass	Regression equation		Correlation coefficient	Label dose
22.5	(30.24±3.29)d	$y=-1.836\ 4+4.259\ 4x$	80.5 (51.9~124.9)	0.930 6	90~120
45	(45.17±1.12)c				
90	(92.08±0.60)b				
180	(95.21±0.12)b				
360	(100±0)a				

表 6 25%啶嘧磺隆 WG 对牛筋草的除草活性

Table 6 Control efficacy of flazasulfuron 25% WG against *Eleusine indica*

剂量/g·(hm ²) ⁻¹	鲜重抑制率/%	回归方程	ED_{90} (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹
Dose	Reduction rate in biomass	Regression equation		Correlation coefficient	Label dose
9.375	(14.43±2.71)e	$y=2.144\ 6+2.007\ 4x$	115.0 (82.3~160.7)	0.980 9	37.5~75
18.75	(38.52±2.30)d				
37.5	(73.20±2.47)c				
75	(81.14±1.70)b				
150	(91.51±0.44)a				

表 7 11%三氟啶磺隆 OD 对牛筋草的除草活性

Table 7 Control efficacy of trifloxysulfuron sodium 11% OD against *Eleusine indica*

剂量/g·(hm ²) ⁻¹	鲜重抑制率/%	回归方程	ED_{90} (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹
Dose	Reduction rate in biomass	Regression equation		Correlation coefficient	Label dose
8.437 5	(25.17±1.38)e	$y=2.883\ 5+1.657\ 1x$	112.4 (85.9~147.1)	0.988 5	33~49.5
16.875	(45.87±2.50)d				
33.75	(72.89±1.86)c				
67.5	(82.65±0.81)b				
135	(90.37±0.38)a				

表 8 69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 对牛筋草的除草活性

Table 8 Control efficacy of fenoxaprop-P-ethyl 69 g/L EW against *Eleusine indica*

剂量/g·(hm ²) ⁻¹	鲜重抑制率/%	回归方程	ED_{90} (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹
Dose	Reduction rate in biomass	Regression equation		Correlation coefficient	Label dose
7.762 5	(35.07±2.42)d	$y=2.732\ 4+2.089\ 1x$	50.0 (46.3~54.0)	0.998 1	51.75~62.1
15.525	(55.31±1.64)c				
31.05	(82.41±0.63)b				
62.1	(93.01±2.71)a				
124.2	(98.16±1.84)a				

2.1.9 120 g/L 烯草酮 EC 对牛筋草的除草活性
烯草酮属环己烯酮类除草剂,是 ACCase 抑制剂。试验结果表明,120 g/L 烯草酮 EC 对牛筋草具有较好的活性。喷药后 5 d 牛筋草叶片褪绿发黄。

喷药后 28 d 取样调查,120 g/L 烯草酮 EC 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为 33.39%~98.08%。回归分析计算结果表明,120 g/L 烯草酮 EC 对牛筋草的 ED₉₀ 为 54.2 g/hm²,低于其登记低剂量(表 9)。

表 9 120 g/L 烯草酮 EC 对牛筋草的除草活性
Table 9 Control efficacy of clethodim 12% EC against *Eleusine indica*

剂量/g·(hm ²) ⁻¹ Dose	鲜重抑制率/% Reduction rate in biomass	回归方程 Regression equation	ED ₉₀ (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数 Correlation coefficient	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹ Label dose
9	(33.39±2.26)d	y=1.733 6+2.169 6x	54.2 (46.5~63.1)	0.992 1	63~72
18	(55.09±2.06)c				
36	(85.43±0.53)b				
72	(95.15±0.68)a				
144	(98.08±1.92)a				

2.1.10 10%精喹禾灵 EC 对牛筋草的除草活性
精喹禾灵属芳氧苯氧基丙酸酯类除草剂,是 AC-Case 抑制剂。试验结果表明,10%精喹禾灵 EC 对牛筋草具有较好的活性。喷药后 7 d 牛筋草叶片褪绿发

黄。喷药后 28 d 取样调查,10%精喹禾灵 EC 各供试剂量对牛筋草的鲜重抑制率为 20.29%~99.10%。回归分析计算结果表明,10%精喹禾灵 EC 对牛筋草的 ED₉₀ 为 48.6 g/hm²,低于其登记低剂量(表 10)。

表 10 10%精喹禾灵 EC 对牛筋草的除草活性
Table 10 Control efficacy of quizalofop-P-ethyl 10% EC against *Eleusine indica*

剂量/g·(hm ²) ⁻¹ Dose	鲜重抑制率/% Reduction rate in biomass	回归方程 Regression equation	ED ₉₀ (95%CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	相关系数 Correlation coefficient	登记剂量/g·(hm ²) ⁻¹ Label dose
7.5	(20.29±2.58)d	y=1.561 9+2.798 6x	48.6 (42.1~56.0)	0.993 5	60~75
15	(34.98±2.91)c				
30	(75.34±2.02)b				
60	(95.00±2.19)a				
120	(99.10±0.90)a				

2.2 除草剂防除牛筋草的田间药效

2.2.1 作用速度

施药后不定期目测观察结果表明,30%苯唑草酮 SC 作用速度最快,喷药后 3 d 牛筋草即表现出受药症状,具体表现为叶片白化;其次是 120 g/L 烯草酮 EC 和 69 g/L 精噁唑禾草灵 EW,喷药后 5 d 牛筋草叶片表现出褪绿、发黄症状;40 g/L 烟嘧磺隆 OD、100 g/L 氰氟草酯 EC、10%噁唑酰草胺 EC 和 10%精喹禾灵 EC 在施药后 7 d 表现出受药症状,具体表现为牛筋草叶片褪绿、黄化。这与室内盆栽试验观察结果一致。

2.2.2 对作物的安全性

施药后不定期目测调查结果表明,各供试除草剂及剂量对供试玉米‘沪玉糯 3 号’、水稻‘南粳 46’或甘蓝‘京丰一号’生长安全,试验期间未见药害症状,作物株高、叶色、分蘖等指标与各自的清水对照

处理相比没有明显差异。参照《农药田间药效试验准则(一)》中作物药害调查方法及分级标准,目测药害等级均为 1 级。

2.2.3 除草效果

施药后 28 d 取样调查,40 g/L 烟嘧磺隆 OD 40.2 g/hm² 和 30%苯唑草酮 SC 22.5 g/hm² 对玉米田牛筋草防效优异,鲜重抑制率分别为 95.74%和 98.66%;100 g/L 氰氟草酯 EC 75 g/hm² 和 10%噁唑酰草胺 EC 90 g/hm² 对水稻直播田牛筋草具有较好的防效,鲜重抑制率分别为 90.28%和 91.65%;69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 51.75 g/hm²、120 g/L 烯草酮 EC 63 g/hm² 和 10%精喹禾灵 EC 60 g/hm² 对甘蓝田牛筋草具有较好的防效,鲜重抑制率分别为 92.17%、93.86%和 93.88%。田间试验调查结果与室内盆栽试验趋势一致(表 11)。

表 11 除草剂防除牛筋草田间药效(28 d)

Table 11 Control efficacy of the herbicides against *Eleusine indica* in field (28 d)

除草剂 Herbicide		剂量/g·(hm ²) ⁻¹ Dose	供试作物 Crop	药害等级 Grade of phytotoxicity	鲜重抑制率/% Reduction in biomass
40 g/L 烟嘧磺隆 OD	nicosulfuron 40 g/L OD	40.2	玉米	1 级	(95.74±0.53)a
30% 苯唑草酮 SC	topramezone 30% SC	22.5	玉米	1 级	(98.66±0.62)a
100 g/L 氰氟草酯 EC	cyhalofop-butyl 100 g/L EC	75	水稻	1 级	(90.28±1.14)a
10% 噁唑酰草胺 EC	metamifop 10% EC	90	水稻	1 级	(91.65±0.85)a
69 g/L 精噁唑禾草灵 EW	fenoxaprop-P-ethyl 69 g/L EW	51.75	甘蓝	1 级	(92.17±0.85)a
120 g/L 烯草酮 EC	clethodim 120 g/L EC	63	甘蓝	1 级	(93.86±0.52)a
10% 精喹禾灵 EC	quizalofop-P-ethyl 10% EC	60	甘蓝	1 级	(93.88±0.82)a

3 结论与讨论

牛筋草是我国玉米田的主要危害杂草^[19-20]。苯唑草酮、烟嘧磺隆和硝磺草酮是当今玉米田应用最为广泛的 3 个苗后除草剂品种。本研究结果表明,30% 苯唑草酮 SC 和 40 g/L 烟嘧磺隆 OD 对牛筋草防效优异,可作为玉米田防除牛筋草的首选药剂。75% 硝磺草酮 WG 对牛筋草的防效很差,不适合在以牛筋草为优势杂草种群的玉米田使用。随着水稻轻型栽培模式的推广,作为旱生杂草的牛筋草,近年来进入稻田危害水稻生产,并上升为优势种群^[1, 17]。氰氟草酯和噁唑酰草胺是当前稻田防除禾本科杂草的主流产品,本次测定结果表明,100 g/L 氰氟草酯 EC 和 10% 噁唑酰草胺 EC 对牛筋草具有较好的控制效果,ED₉₀ 值均低于各自的登记低剂量,是稻田防除牛筋草的有效药剂。草坪绿地也是受牛筋草危害的重灾区^[21]。啶嘧磺隆、三氟啶磺隆和精噁唑禾草灵是登记用于草坪的专用除草剂品种。啶嘧磺隆和三氟啶磺隆适用于结缕草类(马尼拉草等)和狗牙根类(百慕大草等)暖季型草坪防除杂草,精噁唑禾草灵对高羊茅和结缕草类草坪具有较高的安全性。本次测定,25% 啶嘧磺隆 WG 和 11% 三氟啶磺隆 OD 对牛筋草的防效均较差,ED₉₀ 值分别为各自登记高剂量的 1.5 倍和 2.3 倍,生产中选择啶嘧磺隆或三氟啶磺隆防除草坪上的牛筋草时,需大幅提高使用剂量,才能获得理想的除草效果。69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 对牛筋草具有较好防效,ED₉₀ 值与其登记低剂量相当,可用于高羊茅等冷季型草坪以及结缕草类暖季型草坪中防除牛筋草。牛筋草还是蔬菜、大豆、花生、棉花以及果树等阔叶作物田的优势杂草^[22-23]。烯草酮、精喹禾灵和精噁唑禾草灵是阔叶作物田防除禾本科杂草的高效除草剂。本次测定中,69 g/L 精噁唑禾草灵 EW、120 g/L 烯草酮 EC 和 10% 精喹禾灵 EC 对牛筋草均有较好的防效,ED₉₀ 值与各自的登记低剂量相当或略低,可用于阔

叶作物田防除牛筋草。除草剂对杂草的防效受温度、湿度以及气候等多种因素的影响,田间小区试验结果表明,40 g/L 烟嘧磺隆 OD 40.2 g/hm²、30% 苯唑草酮 SC 22.5 g/hm²、100 g/L 氰氟草酯 EC 75 g/hm²、10% 噁唑酰草胺 EC 90 g/hm²、69 g/L 精噁唑禾草灵 EW 51.75 g/hm²、120 g/L 烯草酮 EC 63 g/hm² 和 10% 精喹禾灵 EC 60 g/hm² 对玉米田、水稻田或甘蓝田牛筋草均有较好的防效,鲜重抑制率均大于 90%。田间试验调查结果与盆栽试验测定结果趋势一致。

杂草抗药性是当前农田杂草治理中面临的突出问题^[24]。当前已有较多关于牛筋草对灭生性除草剂草甘膦和百草枯产生抗性的文献报道,牛筋草对烟嘧磺隆和精喹禾灵产生抗性的研究报道也有一些^[25-26]。合理、交替使用不同作用机理的除草剂,是延缓牛筋草产生抗药性的有效措施。本研究结果对于不同作物田牛筋草的化学防除以及合理、交替使用除草剂具有指导意义。

参考文献

[1] 李香菊. 近年我国农田杂草防控中的突出问题与治理对策[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 77-84.

[2] APPLEBY A P, MULLER F, CARPY S. Weed control [M]. New York: Wiley, 1997.

[3] 强胜. 我国杂草学研究现状及其发展策略[J]. 植物保护, 2010, 36(4): 1-5.

[4] MANALIL S, COAST O, WERTH J, et al. Weed management in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) through weed-crop competition: A review [J]. Crop Protection, 2017, 95: 53-59.

[5] CHIN H F. Weed seed—A potential source of danger [C]// Plant Protection Seminar, September. Malaysian Plant Protection Society, 1979.

[6] HOLM L G, PLUCKNETT D L, PANCHO J V, et al. The world's worst weeds: distribution and biology [M]. Honolulu, Hawaii, USA: University Press of Hawaii, 1977.

[7] FISCHER A J, LOZANO J, RAMIREZ A, et al. Yield loss prediction for integrated weed management in direct-seeded rice [J]. International Journal of Pest Management, 1993, 39(2):

175–180.

- [8] EKE A C, OKEREKE O U. Goosegrass (*Eleusine indica*) and wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla*) interference in maize (*Zea mays*) [J]. Nigerian Journal of Weed Science, 1990, 3: 1–10.
- [9] ZAGONEL J, REGHIN M Y, VENGNCIO W S. Evaluation of herbicides on post-emergent weed control in potato crops [J]. Horticultura Brasileira, 1999, 17(1): 67–69.
- [10] MA Xiaoyan, WU Hanwen, JIANG Weili, et al. Goosegrass (*Eleusine indica*) density effects on cotton (*Gossypium hirsutum*) [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(9): 1778–1785.
- [11] BENDIXEN L E. Weed hosts of *Meloidogyne*, the root-knot nematodes [M]. Chiang Mai, Thailand: Asian-Pacific Weed Science Society, 1986.
- [12] 张燕. 几种外来入侵植物对关中地区主要作物的化感作用及风险评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [13] 马亚杰, 马小艳, 陈全家, 等. 环境因素对不同地区牛筋草种子萌发的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(17): 60–74.
- [14] CHAUHAN B S, JOHNSON D E. Germination ecology of Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis*) in the Philippines [J]. Weed Science, 2008, 56: 820–825.
- [15] The global sales of pesticides in 2016 [EB/OL]. [2021–01–29]. <https://phillipsmcdougall.com>.
- [16] 郭成林, 覃建林, 马永林, 等. 不同除草剂对火龙果安全性及

牛筋草除草活性[J]. 农药, 2018, 57(4): 305–308.

- [17] 郭文磊, 吴丹丹, 张纯, 等. 5种茎叶处理除草剂对直播稻田禾本科杂草的除草活性及田间防效[J]. 南方农业学报, 2019, 50(6): 1240–1246.
- [18] 宗涛, 李洁, 刘祥英, 等. 湖南省部分地区棉田牛筋草(*Eleusine indica*)对精喹禾灵的抗性[J]. 植物保护, 2015, 41(2): 58–63.
- [19] 李秉华, 张宏军, 段美生, 等. 河北省夏玉米田杂草群落数量分析[J]. 植物保护, 2014, 40(4): 60–64.
- [20] 代伟程, 高兴文, 马成立, 等. 泰安市夏玉米田杂草种类及群落构成研究[J]. 山东农业科学, 2013, 45(9): 96–98.
- [21] 马国胜, 毛安元, 陈娟. 不同区域优势草坪杂草及其防除[J]. 农药, 2006(11): 730–732.
- [22] 陈国奇, 冯莉, 田兴山. 广东中部地区高温季节蔬菜田杂草群落特征[J]. 生态科学, 2015, 34(5): 115–121.
- [23] 王新玲. 牛筋草与棉花的竞争作用及对草甘膦的抗药性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [24] 李丹, 李香菊, 于惠林, 等. 我国部分地区水稻田鳢肠对吡嘧磺隆的抗性测定[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 196–201.
- [25] 胡芳. 牛筋草对百草枯和草铵膦抗性监测及初步研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- [26] 吴翠霞, 张宏军, 张佳, 等. 玉米田主要杂草对烟嘧磺隆的抗性[J]. 植物保护, 2016, 42(3): 198–203.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 304 页)

- [4] IGHALO J O, ADENIYI A G, ADELODUN A A. Recent advances on the adsorption of herbicides and pesticides from polluted waters: performance evaluation via physical attributes [J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2021, 93: 117–137.
- [5] IGHALO J O, AJALA O J, ADENIYI A G, et al. Ecotoxicology of glyphosate and recent advances in its mitigation by adsorption [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(3): 2655–2668.
- [6] MOHAMAT-YUSUFF F, ZULKARNAIN Z, ANUAR N Z A, et al. Impact of diuron contamination on blood cockles (*Tegillarca granosa* Linnaeus, 1758) [J/OL]. Marine Pollution Bulletin, 2020, 161: 111698. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111698.
- [7] 董立尧, 高原, 房加鹏, 等. 我国水稻田杂草抗药性研究进展[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 69–76.
- [8] 谷涛, 李永丰, 张自常, 等. 杂草对激素类除草剂抗药性研究进展[J]. 植物保护, 2021, 47(1): 15–26.
- [9] 史骏, 湛江华, 汪峰, 等. 甬优 1540 机插田插-喷同步封草试验[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(7): 1392–1393.
- [10] 袁元荣, 袁骄艳, 顾永林, 等. 淹水有机栽培模式下水稻产量与品质特征[J]. 中国稻米, 2020, 26(6): 64–66.
- [11] ARMSTRONG W, BRANDLE R, JACKSON M B. Mechanisms of flood tolerance in plants [J]. Acta Botanica Neerlandica, 1994, 43(4): 307–358.
- [12] GIRSANG S S, CORREA T Q, QUILTY J R, et al. Soil aeration and relationship to inorganic nitrogen during aerobic cultivation of irrigated rice on a consolidated land parcel [J/OL].

Soil and Tillage Research, 2020, 202: 104647. DOI: 10.1016/j.still.2020.104647.

- [13] 刘高峰, 周雷茸. 土壤通气不良对作物的影响及改善措施[J]. 现代农业科技, 2015, 13: 272–274.
- [14] ISMAIL A M, ELLA E S, VERGARA G V, et al. Mechanisms associated with tolerance to flooding during germination and early seedling growth in rice (*Oryza sativa*) [J]. Annals of Botany, 2009, 103(2): 197–209.
- [15] 王卫, 谢小立, 谢永宏. 稻田土壤种子库研究进展[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2758–2763.
- [16] 潘俊峰, 万开元, 李祖章, 等. 施肥模式对晚稻田杂草群落的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 200–210.
- [17] 董春华, 曾希柏, 文石林, 等. 长期施肥对早稻产量和杂草群落的影响[J]. 生态学报, 2015, 34(11): 3079–3085.
- [18] 董春华, 曾希柏, 刘强, 等. 有机无机肥配施对晚稻产量和杂草群落的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(9): 1815–1823.
- [19] 田志慧, 袁得军, 袁国徽, 等. 双环磺草酮·双唑草腈对杂草稻的生物活性及对水稻的安全性[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 229–234.
- [20] 贾浩然, 张月, 李卫, 等. 噻草醚对双季稻田杂草的防效及后茬作物的安全性影响[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 242–247.
- [21] 马国兰, 刘都才, 刘雪源, 等. 五氟磺草胺等 6 种除草剂对直播稻田高龄稗草的生物活性及田间控制效果[J]. 植物保护, 2014, 40(3): 204–208.
- [22] 毕亚玲, 李君君, 戴玲玲, 等. 杂草对除草剂非靶标抗性机理研究进展[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 1–5.

(责任编辑: 田 喆)