

除草剂对莲草直胸跳甲存活与繁殖的影响

傅建伟^{1,2*}, 马明勇^{1,3*}, 郭建英², 李彦宁³, 罗源华³

¹ 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; ² 福建省农业科学院植物保护研究所, 福建 福州 350013; ³ 湖南省农业科学院植物保护研究所, 湖南 长沙 410125

摘要:【背景】除草剂应用是目前防治空心莲子草的主要措施之一,但其可能对空心莲子草的重要天敌昆虫莲草直胸跳甲的存活、发育和繁殖产生不利影响;为了协调应用化学除草剂和莲草直胸跳甲联合控制空心莲子草的防治措施,本研究探讨了除草剂对莲草直胸跳甲的安全性。【方法】采用空心莲子草叶片喷施除草剂后饲喂莲草直胸跳甲的方法,测定了使它隆、农达和稻杰 3 种除草剂对莲草直胸跳甲成虫和 3 龄幼虫的取食和存活、幼虫化蛹和成虫产卵的影响。【结果】使它隆对莲草直胸跳甲成虫产卵量的影响较小,喷施农达则显著降低莲草直胸跳甲的产卵量,稻杰的影响居中。连续取食除草剂处理的叶片 5 d,莲草直胸跳甲成虫取食量均显著降低,3 种除草剂的影响为使它隆 > 农达 > 稻杰。农达对莲草直胸跳甲幼虫的取食量影响较大,取食高浓度农达处理的叶片 3 d 后,其幼虫停止取食;稻杰影响较小。除草剂对莲草直胸跳甲雌虫影响较小,存活率较高。【结论与意义】3 种供试除草剂中,稻杰对莲草直胸跳甲最安全,以 0.9 L · ha⁻¹ 浓度最佳,在空心莲子草的综合治理中可与莲草直胸跳甲协同应用。

关键词: 莲草直胸跳甲; 空心莲子草; 除草剂; 安全性评价

Effects of herbicides on the survival and fecundity of flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae)

Jian-wei FU^{1,2*}, Ming-yong MA^{1,3*}, Jian-ying GUO², Yan-ning LI³, Yuan-hua LUO³

¹ State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; ¹ Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China; ³ Institute of Plant Protection, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410125, China

Abstract: 【Background】The herbicide application is one of mainly methods to control the alligator weed *Alternanthera philoxeroides*. However, biological control by the beetle *Agasicles hygrophila* was also attempted in China. A safe use of the herbicides requires knowledge of their impact on the biological control agent. 【Method】*A. hygrophila* adults and third instar larvae were fed on *A. philoxeroides* leaves that were sprayed with fluroxypyr, glyphosate and penoxsulam at various concentrations. Leaf consumption and survival of *A. hygrophila* adults and larvae, pupation rate, and female fecundity were compared. 【Result】Female fecundity was suppressed significantly by glyphosate, whereas fluroxypyr had no significant impacts on female fecundity, the impacts of penoxsulam was in-between. After feeding on herbicides-treated leaves for five consecutive days, leaf consumption of *A. hygrophila* adults decreased significantly mostly on fluroxypyr, followed by glyphosate and penoxsulam. Leaf consumption of *A. hygrophila* larvae were also significantly affected by glyphosate. When the larvae fed on host plant leaves treated by high concentrations of glyphosate for three days, larvae stopped feeding. Penoxsulam had no significant impacts on larval feeding. The tested herbicides had little impacts on female survival rates. 【Conclusion and significance】These results indicated that among the tested herbicides, penoxsulam was relatively safe for *A. hygrophila*, and its optimal concentration for the integrated management strategy of *A. philoxeroides* with *A. hygrophila* was 0.9 L · ha⁻¹.

Key words: *Agasicles hygrophila*; *Alternanthera philoxeroides*; herbicide; biosafety assessment

空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) 2005; Holm *et al.*, 1997; Julien, 1995; Julie *et al.*, 1998; Griseb 又名水花生、喜旱莲子草、螃蜞菊等,起源于南 Julien *et al.*, 1995)。20 世纪 50 年代,该草被作为猪、美洲,是一种世界性的恶性入侵杂草(马瑞燕和王韧, 马饲料引入我国长江流域及南方各省,80 年代后期逸

为野生(马瑞燕,2005)。因其阻塞水上交通、封闭河塘水面、降低作物产量、影响农田排灌、危及生物多样性及破坏生态平衡,被列为我国首批 16 种重要外来入侵物种之一(中国国家环境保护总局和中国科学院,2003)。目前,该草已广泛分布于我国 18 个省(市、自治区),其中,长江中下游地区的四川、重庆、湖南、湖北、江西、安徽、上海、江苏和浙江等省(市)发生较为严重(马瑞燕,2005)。空心莲子草的防除方法以机械人工防除(林冠伦等,1990;王远和王韧,1988;王韧和王远,1987)和化学防除(黄建中等,1995;Coulson,1977;Julien,1999)最为常用。

莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* Selma & Vogt 是空心莲子草的一种重要天敌,对空心莲子草有较好的控制效果(Julien,1981)。我国于 1986 年引入该虫后,对其生物学、生态学、风险性评估、寄主专一性等开展了系统研究,并进行了野外大面积释放,取得了显著成效(林冠伦等,1988;王韧等,1988;李宏科和王韧,1994;张格成等,1997)。

化学除草剂的使用是夏季时节和旱地环境下空心莲子草防控过程中必不可少的一种措施,但化学除草剂可能对天敌昆虫莲草直胸跳甲的存活、发育和繁殖产生不利影响。为了明确除草剂对莲草直胸跳甲的安全性,本研究测定了使它隆、农达和稻杰 3 种常用除草剂对莲草直胸跳甲成虫和 3 龄幼虫的取食量和存活率、成虫产卵量和幼虫化蛹率的影响,研究结果可为协调应用化学除草剂和莲草直胸跳甲联合控制空心莲子草的防治措施提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 供试植物及昆虫

空心莲子草:用塑料盆(25 cm × 35 cm × 45 cm)栽培于湖南省农业科学院植物保护研究所玻璃温室内,每盆内新生植株 25 ~ 40 株,自然光照和温湿度条件。

莲草直胸跳甲:采自湖南省农业科学院植物保护研究所天敌繁育室[(25 ± 2) °C, RH (85 ± 5)%, 12 h 光照]。

1.2 供试药剂及浓度

20% 使它隆乳油(氯氟吡氧乙酸, fluroxypyr)、2.5% 稻杰悬浮剂(五氟磺草胺油, penoxsulam)、美

国陶氏益农公司生产;41% 农达水剂(草甘膦异丙胺盐, glyphosate),美国孟山都公司生产。每种药剂分别设置 3 个浓度,使它隆为 0.375、0.750、1.125 L · ha⁻¹,稻杰为 0.45、0.90、1.35 L · ha⁻¹,农达为 3.0、4.5、6.0 L · ha⁻¹;以相同剂量的清水处理为对照。

1.3 试验方法

试验于 2008 年 5 月进行。采用 3WPSH-500E 喷雾塔(南京农业机械化研究所)进行定量喷雾,将不同处理药剂均匀喷洒到供试植株上,每盆(25 ~ 40 株)喷施 40 mL 药液,自然晾干后,将莲草直胸跳甲成虫接到盆栽空心莲子草植株上,每盆接虫量为 10 对,然后用网笼(65 cm × 50 cm × 50 cm, 纱网密度 80 目)罩好后置于室外。逐日调查莲草直胸跳甲成虫的死亡数、产卵量和取食量,持续 5 d。每天摘取被取食的空心莲子草叶片,采用坐标纸对照测量法计算取食量(Guo *et al.*, 2011)。每个处理浓度设置 3 个重复。

采用同样的方法,在不同处理的植株上接入 3 龄幼虫,接虫量为每盆 20 头幼虫,逐日调查幼虫的死亡数和取食量直至幼虫死亡或化蛹。每个处理浓度设置 3 个重复。

1.4 数据处理

采用统计软件 SAS v8 和 EXCEL 2003 进行数据分析,不同处理间取食量、存活率、产卵量等的差异显著性采用邓肯氏新复极差检验法(Duncan's multiple ranger test, DMRT)进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 除草剂对莲草直胸跳甲取食量的影响

经不同浓度的 3 种除草剂处理后,莲草直胸跳甲成虫的取食量均显著低于对照(表 1)。随着取食时间延长,莲草直胸跳甲成虫对经不同浓度除草剂处理的空心莲子草的取食量均急剧减少。3 种除草剂中,莲草直胸跳甲成虫对农达的拒食作用最强烈,其次为稻杰,对使它隆的拒食作用自第 3 天开始也极其显著。

3 种除草剂对莲草直胸跳甲幼虫也具有显著的拒食作用(表 2)。其中,以农达处理最为明显,药后 3 ~ 4 d,幼虫基本不取食。稻杰和使它隆对莲草直胸跳甲幼虫的拒食作用相近。

表1 除草剂对莲草直胸跳甲成虫取食量的影响

Table 1 Effects of different herbicides, concentrations and treatment periods on the leaf consumption by *A. hygrophila* adults

除草剂 Herbicides	浓度 Concentration (L·ha ⁻¹)	取食量 Leaf consumption/mg				
		药后 1 d After spraying herbicide for 1 d	药后 2 d After spraying herbicide for 2 d	药后 3 d After spraying herbicide for 3 d	药后 4 d After spraying herbicide for 4 d	药后 5 d After spraying herbicide for 5 d
使它隆	0.375	276.8 ± 10.4b	140.5 ± 8.2b	27.3 ± 2.7cd	7.1 ± 1.7d	2.7 ± 0.6cd
Fluroxypyr	0.750	160.8 ± 9.8c	103.5 ± 6.3c	23.7 ± 2.0d	6.4 ± 1.0d	0.9 ± 0.9d
	1.125	100.8 ± 5.1e	65.6 ± 7.0de	27.7 ± 5.73cd	4.2 ± 0.7d	0.6 ± 0.4d
稻杰	0.45	143.7 ± 12.0cd	80.6 ± 7.8d	44.4 ± 5.9b	20.8 ± 1.5b	8.7 ± 0.2b
	0.90	138.0 ± 7.2bde	80.5 ± 6.3d	37.8 ± 4.5be	15.6 ± 1.3c	5.6 ± 1.2c
Penoxsulam	1.35	144.3 ± 22.4cd	66.9 ± 8.2de	25.1 ± 1.6d	7.7 ± 2.2d	3.8 ± 0.4c
	3.00	162.4 ± 13.7c	49.0 ± 7.2e	9.1 ± 1.3e	6.9 ± 1.1d	5.6 ± 1.8c
Glyphosate	4.50	121.0 ± 7.1de	41.4 ± 7.2f	7.1 ± 1.0e	5.2 ± 0.9d	4.8 ± 1.3c
	6.00	104.6 ± 8.8c	30.6 ± 5.6f	2.0 ± 0.2e	5.2 ± 1.0d	3.8 ± 0.3c
CK		393.5 ± 12.3a	331.1 ± 6.5a	318.9 ± 10.8a	314.8 ± 9.9a	320.4 ± 14.5a
<i>F</i>		35.54	86.31	167.19	209.83	218.34
<i>df</i>		9,20	9,20	9,20	9,20	9,20
<i>P</i>		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

表中部分数据为平均值 ± 标准误;同列数据后附不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
The part datas are Mean ± SE in the table; Different small letters in the same row indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

表2 除草剂对莲草直胸跳甲幼虫取食量的影响

Table 2 Effects of different herbicides, concentrations and treatment periods on the leaf consumption by *A. hygrophila* larvae

除草剂 Herbicides	浓度 Concentration (L·ha ⁻¹)	取食量 Leaf consumption/mg				
		药后 1 d After spraying herbicide for 1 d	药后 2 d After spraying herbicide for 2 d	药后 3 d After spraying herbicide for 3 d	药后 4 d After spraying herbicide for 4 d	药后 5 d After spraying herbicide for 5 d
使它隆	0.375	99.1 ± 13.1d	23.1 ± 3.3b	10.1 ± 1.1b	4.2 ± 0.7d	1.6 ± 0.8cd
Fluroxypyr	0.750	104.5 ± 11.1ab	20.9 ± 2.1b	10.1 ± 0. b	3.8 ± 0.7de	0.9 ± 0.9cd
	1.125	102.2 ± 6.0cd	18.1 ± 2.2bc	9.2 ± 2.6b	2.0 ± 1.1ef	0d
稻杰	0.45	146.1 ± 6.2d	23.7 ± 1.6b	8.3 ± 1.2b	6.9 ± 0.5c	5.0 ± 0.7b
	0.90	97.0 ± 9.7cd	24.5 ± 1.5b	6.5 ± 0.8b	8.9 ± 0.6b	2.8 ± 0.8c
Penoxsulam	1.35	79.1 ± 7.8d	23.5 ± 2.2b	7.1 ± 1.1b	4.4 ± 1.1d	2.7 ± 1.4c
	3.00	157.2 ± 4.2a	13.9 ± 1.5cd	0.7 ± 0.7c	0f	0d
Glyphosate	4.50	127.9 ± 5.6bc	9.9 ± 2.1d	0c	0f	0d
	6.00	139.3 ± 8.9ab	7.9 ± 1.5d	0c	0f	0d
CK		178.5 ± 13.27a	172.0 ± 4.8a	160.7 ± 2.7a	169.9 ± 1.5a	162.0 ± 4.8a
<i>F</i>		15.33	678.30	2461.11	7684.73	6946.09
<i>df</i>		9,20	9,20	9,20	9,20	9,20
<i>P</i>		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

表中部分数据为平均值 ± 标准误;同列数据后附不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
The part datas are Mean ± SE in the table; Different small letters in the same row indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

2.2 除草剂对莲草直胸跳甲成虫存活率的影响

不同浓度的3种除草剂对莲草直胸跳甲雌、雄成虫存活率的影响不同(表3)。稻杰对莲草直胸跳甲雌、雄成虫的存活率基本没有影响,低浓度的使它隆对莲草直胸跳甲雌、雄成虫存活率的影响均较小,农达的影响则较大。随着浓度的升高,使它隆和农达对莲草直胸跳甲雌、雄成虫的影响加剧,并在药后3 d更加明显。

2.3 除草剂对莲草直胸跳甲产卵量的影响

取食不同浓度除草剂处理的空心莲子草后,莲草直胸跳甲成虫的产卵量均显著降低,但下降程度不同。其中,使它隆处理下的产卵量较多,而农达处理下的产卵最少。经6.00 L·ha⁻¹农达药液处理的第3天,莲草直胸跳甲成虫即停止产卵,药后5 d,各处理浓度下的莲草直胸跳甲成虫均不产卵(表4)。

表 3 除草剂对莲草直胸跳甲成虫存活率的影响

Table 3 Effects of different herbicides, concentrations and treatment periods on the survival rate of *A. hygrophila* adults

除草剂 Herbicides	浓度 Concentration /(L·ha ⁻¹)	雌虫存活率 Survival rate of female/%			雄虫存活率 Survival rate of male/%		
		药后 1 d	药后 2 d	药后 3 d	药后 1 d	药后 2 d	药后 3 d
		After spraying herbicide for 1 d	After spraying herbicide for 2 d	After spraying herbicide for 3 d	After spraying herbicide for 1 d	After spraying herbicide for 2 d	After spraying herbicide for 3 d
使它隆	0.375	100a	100a	100a	100a	90.0 ± 0.0ab	86.7 ± 3.3ab
Fluroxypyr	0.750	100a	100a	86.7 ± 3.3b	100a	96.7 ± 3.3a	96.7 ± 3.3a
	1.125	100a	90.0 ± 5.8b	80.0 ± 5.8b	96.7 ± 3.3a	83.3 ± 3.3b	70.0 ± 0.0cd
稻杰	0.45	100a	100a	100a	100a	100a	93.3 ± 3.3a
Penoxsulam	0.90	100a	100a	100a	100a	100a	100a
	1.35	100a	100a	100a	100a	100a	100a
农达	3.00	100a	93.3 ± 3.3ab	66.7 ± 6.7c	96.7 ± 3.3a	83.3 ± 6.7b	56.7 ± 8.8d
Glyphosate	4.50	100a	90.0 ± 0.0b	80.0 ± 5.8b	100a	83.3 ± 3.3b	76.7 ± 3.3bc
	6.00	100a	70.0 ± 5.8c	53.3 ± 3.3d	100a	90.0 ± 5.8ab	66.7 ± 8.8cd
CK		100a	100a	100a	100a	100a	100a
<i>F</i>		–	11.76	20.74	0.89	5.07	12.86
<i>df</i>		–	9,20	9,20	9,20	9,20	9,20
<i>P</i>		–	<0.0001	<0.0001	0.5516	0.0012	<0.0001

表中部分数据为平均值 ± 标准误; 同列数据后附不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
The part datas are Mean ± SE in the table; Different small letters in the same row indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

表 4 除草剂对莲草直胸跳甲成虫产卵量的影响

Table 4 Effects of different herbicides, concentrations and treatment periods on the fecundity of *A. hygrophila* adults

除草剂 Herbicides	浓度 Concentration /(L·ha ⁻¹)	产卵量/粒 No. of eggs laid per female				
		药后 1 d	药后 2 d	药后 3 d	药后 4 d	药后 5 d
		After spraying herbicide for 1 d	After spraying herbicide for 2 d	After spraying herbicide for 3 d	After spraying herbicide for 4 d	After spraying herbicide for 5 d
使它隆	0.375	47.3 ± 9.8b	101.0 ± 9.5a	80.3 ± 0.3b	97.3 ± 9.1ab	20.7 ± 4.7b
Fluroxypyr	0.750	19.0 ± 9.5c	70.0 ± 9.1bc	49.0 ± 3.1c	81.0 ± 6.4b	23.0 ± 3.0b
	1.125	10.0 ± 3.4d	83.0 ± 5.2b	34.3 ± 1.9cd	23.7 ± 4.2c	24.0 ± 3.0b
稻杰	0.45	47.3 ± 7.4b	83.0 ± 9.7b	51.0 ± 9.5c	74.7 ± 6.4b	31.0 ± 6.9b
Penoxsulam	0.90	9.7 ± 9.7d	39.7 ± 5.8d	47.0 ± 8.1c	29.0 ± 7.1c	13.0 ± 6.6b
	1.35	17.3 ± 8.8c	29.3 ± 6.8e	40.7 ± 5.9cd	19.7 ± 6.0c	18.0 ± 4.6b
农达	3.00	17.7 ± 8.8c	40.0 ± 7.2d	33.3 ± 6.1cd	13.7 ± 6.8c	0c
Glyphosate	4.50	0e	27.0 ± 6.1e	10.3 ± 5.2d	0d	0c
	6.00	23.3 ± 2.8c	33.0 ± 7.6de	0d	0d	0c
CK		96.0 ± 3.2a	156.3 ± 8.2a	124.7 ± 4.8a	128.3 ± 7.1a	18.7 ± 3.5a
<i>F</i>		165.43	130.30	21.59	64.28	66.09
<i>df</i>		9,20	9,20	9,20	9,20	9,20
<i>P</i>		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

表中部分数据为平均值 ± 标准误; 同列数据后附不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
The part datas are Mean ± SE in the table; Different small letters in the same row indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

2.4 除草剂对空心莲子草幼虫存活率的影响

莲草直胸跳甲 3 龄幼虫取食不同浓度除草剂处理的空心莲子草 3 d, 其逐日存活率和化蛹率见表 5。0.375 和 0.75 L·ha⁻¹ 使它隆及 0.90 L·ha⁻¹ 稻杰对莲草直胸跳甲幼虫没有致死性, 而 1.125 L·ha⁻¹ 使它隆、0.45 和 1.35 L·ha⁻¹ 稻杰, 以及各试验浓度的

农达对莲草直胸跳甲幼虫则有不同程度的致死性。其中, 1.125 L·ha⁻¹ 使它隆和 6.00 L·ha⁻¹ 农达显著降低了莲草直胸跳甲幼虫的存活率。各浓度除草剂处理下, 莲草直胸跳甲幼虫的化蛹时间均较对照提前 1 d。

表5 除草剂对莲草直胸跳甲幼虫存活率与化蛹率的影响

Table 5 Effect of different herbicides on , concentrations and treatment periods the survival and pupation of *A. hygrophila* larvae

除草剂 Herbicides	浓度 Concentration /(L·ha ⁻¹)	存活率 Survival rate/%			化蛹率 Pupation rate/%		
		药后 1 d After spraying herbicide for 1 d	药后 2 d After spraying herbicide for 2 d	药后 3 d After spraying herbicide for 3 d	药后 1 d After spraying herbicide for 1 d	药后 2 d After spraying herbicide for 2 d	药后 3 d After spraying herbicide for 3 d
使它隆	0.375	100a	100a	100a	0a	0a	0b
Fluroxypyr	0.750	100a	100a	100a	0a	3.3 ± 3.3a	3.3 ± 3.3b
	1.125	90.0 ± 5.8b	86.7 ± 3.3b	86.7 ± 3.3bc	0a	3.3 ± 3.3a	3.3 ± 3.3b
稻杰	0.45	96.7 ± 3.3a	93.3 ± 3.3ab	93.3 ± 3.3ab	0a	3.3 ± 3.3a	3.3 ± 3.3b
Penoxsulam	0.90	100a	100a	100a	0a	6.7 ± 6.7a	6.7 ± 6.7b
	1.35	100a	100a	93.3 ± 3.3ab	0a	6.7 ± 6.7a	6.7 ± 6.7b
农达	3.00	100a	86.7 ± 3.3b	83.3 ± 3.3c	0a	0a	10.0 ± 5.8b
Glyphosate	4.50	100a	93.3 ± 3.3ab	90.0 ± 0bc	0a	10.0 ± 10.0a	10 ± 10b
	6.00	100a	90.0 ± 5.8b	86.7 ± 3.3bc	0a	3.3 ± 3.3a	3.3 ± 3.3b
CK	—	100a	100a	100a	0a	0a	63.3 ± 0.0a
<i>F</i>		2.33	4.21	7.56	—	60.47	14.57
<i>df</i>		9,20	9,20	9,20	—	9,20	9,20
<i>P</i>		0.0550	0.0036	<0.0001	—	0.8770	<0.0001

表中部分数据为平均值 ± 标准误;同列数据后附不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
The part datas are Mean ± SE in the table; Different small letters in the same row indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

3 讨论

使它隆是一种低毒、有机杂环类选择性内吸传导型苗后除草剂,药后很快可被植物吸收,并可在土壤中迅速降解,不会对下茬阔叶作物产生影响;农达属有机磷类内吸传导型广谱灭生性除草剂,对天敌及有益生物较安全,以内吸传导性强而著称,对多年生深根杂草的地下组织破坏力很强;稻杰是一种新型水田除草剂,对哺乳动物、鸟类、鱼类和水生无脊椎动物具有安全性(农业部农药检定所,2008)。

田世尧等(1999)和曾扬等(2005)分别对莲草直胸跳甲幼虫和成虫进行了农药生物活性测定。吕丽丽等(2010)研究表明,草甘膦对莲草直胸跳甲3龄幼虫化蛹及羽化有刺激作用,随草甘膦浓度的增大,化蛹和羽化的时间显著缩短。丁建清等(1999)研究发现,选择既可有效抑制水葫芦植株生长和种群繁殖,又在短期内难以杀灭植株的药量,是维系象甲种群存在的关键。在防治初期,空心莲子草密度一般较高,喷施除草剂可迅速降低其繁殖量,随后释放莲草直胸跳甲维持或增加其种群密度,则可达到持续控制的目的。

为了协同应用生物防治和化学防治方法控制空心莲子草,达到上述防治效果,本研究分析了3种除草剂对莲草直胸跳甲的安全性,结果表明,在它隆、稻杰和农达3种除草剂中,使它隆对莲草直胸跳甲的安全性最高,使用浓度为0.750 L·ha⁻¹

为宜,可以与莲草直胸跳甲协同控制空心莲子草。这样既可以保护利用这一针对性强、对环境无害、经济效益高的自然天敌,又可以持续控制空心莲子草和保护生物多样性。

参考文献

丁建清,王韧,付卫东,陈志群. 1999. 利用水葫芦象甲和农达综合控制水葫芦. 植物保护,25(4):4-7.
黄建中,陈月琴,周敏. 1995. 天然增效剂 SD 对草甘膦防除水花生等杂草的增效作用. 江苏农药,(3):22-25.
李宏科,王韧. 1994. 莲草直胸跳甲的越冬保护和大量繁殖释放研究. 生物防治通报,10(1):11-14.
林冠伦,孙进东,王远,王韧. 1988. 美国、澳大利亚喜旱莲子草的生物防治研究. 生物防治通报,4(2):94-96.
林冠伦,杨益众,胡进生. 1990. 空心莲子草生物学及防治研究. 江苏农学院学报,11(2):57-63.
吕丽丽,张国良,李永丹,高希武,付卫东. 2010. 草甘膦对空心莲子草叶甲生长发育的影响. 华南农业大学学报,31(1):22-25.
马瑞燕. 2005. 喜旱莲子草//万方浩,郑小波,郭建英. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制. 北京:科学出版社,715-739.
马瑞燕,王韧. 2005. 喜旱莲子草在中国的入侵机理及其生物防治. 应用与环境生物学报,11(2):246-250.
农业部农药检定所. 2008. 农药电子手册(企业版),3.0.36.
田世尧,王晓容. 1999. 10种杀虫剂对莲草直胸跳甲幼虫生物活性的测定. 仲恺农业技术学院学报,12(4):36-39.

- 王韧,王远. 1987. 我国南方生物防治空心莲子草的必要性评价. 农垦综防, (2): 32 – 44.
- 王韧,王远,张格成,李继祥. 1988. 莲草直胸跳甲的寄主专一性测验. 生物防治通报, 4(1): 14 – 17.
- 王远,王韧. 1988. 国外生物防治空心莲子草的研究进展. 生物防治通报, 4(2): 28 – 30.
- 曾扬,郑伟洁,田世尧,庄镇瑞. 2005. 16 种农药对莲草直胸跳甲成虫的生物活性测定. 农药, 44(12): 567 – 569.
- 张格成,李继祥,陈秀华. 1997. 曲纹叶甲防除空心莲子草的应用研究. 中国南方果树, 26(5): 47 – 49.
- 中国环境保护总局,中国科学院. 2003. 关于发布中国第一批外来入侵物种名单的通知. 环发. 第 11 号.
- Coulson J R. 1977. Biological control of alligatorweed, 1959 – 1972. A review and evaluation. *USDA Technical Bulletin*, 1547: 98.
- Guo J Y, Fu J W, Xian X Q, Ma M Y and Wan F H. 2011. Performance of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae), a biological control agent of invasive alligator weed, at low non-freezing temperatures. *Biological Invasions*, DOI 10.1007/s10530-010-9932-3.
- Holm L, Doll J, Holm E, Panco J and Herberger J. 1997. *World Weeds: Natural Histories and Distribution*. New York: John Wiley Sons Inc.
- Julien M H. 1995. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb // Groves R H, Shepherd R C and Richardson R C. *The Biology of Australian Weeds*. Frankston, 1 – 12.
- Julien M H. 1981. Control of aquatic *Alternanthera philoxeroides* in Australia: another success for *Agasicles hygrophila* // Julien M H, Sforza R, Bon M C, Evans H C, Hatcher P E, Hinz H L and Rector B G. *Proceedings of the 5th International Symposium of Biological Control of Weed*. UK: Cambridge Univexity Press, 583 – 588.
- Julien M H. 1999. The management of alligatorweed: a challenge for the new millennium // Ensby R, Blackmore P and Simpson A. *Proceedings of the 10th Biennial Noxious Weeds Conference*. Ballina, Australia, 2 – 13.
- Julien M H and Griffiths M W. 1998. *Biological Control of Weeds: A World Catalogue of Agents and Their Target Weeds*. Wallingford; 4th CABI Publishing.
- Julien M H, Skarratt B and Maywald G F. 1995. Potential geographical distribution of alligator weed and its biological control by *Agasicles hygrophila*. *Journal of Aquatic Plant Management*, 33: 55 – 60.

(责任编辑:彭露)