

# 森草净杀灭薇甘菊 (*Mikania micrantha*) 及其安全性

詹启杰<sup>1,2</sup>, 孙延军<sup>2</sup>, 廖文波<sup>2,\*</sup>, 李鸣光<sup>2</sup>, 王伯荪<sup>2</sup>

(1. 深圳市羊台山森林公园管理处, 深圳 518033 2. 中山大学生命科学学院, 有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广州 510275)

**摘要** 在深圳市内伶仃岛薇甘菊危害的不同群落生境中, 设立 9 块样地 81 个小样方, 用森草净 (即 70% 噁磺隆水溶性粉剂) 杀灭样地中的薇甘菊施量为 0.0001 ~ 0.02 g·m<sup>-2</sup>。结果表明: 各浓度的森草净杀灭效果均较好, 杀灭率随着用药量的增加而提高; 在坡地和溪谷生境中, 森草净用药量分别为 0.05 ~ 0.1 g·m<sup>-2</sup>、>0.2 g·m<sup>-2</sup> 能较彻底地杀灭薇甘菊。应用 HPLC 法检测样地土壤中噁磺隆残留量, 溪谷土壤中噁磺隆半衰期  $C = C_0 \cdot e^{-0.0837T}$ ,  $T_{1/2} = 8.4$  d, 施药后 37 d 消解 95.9%, 坡地高浓度级半衰期  $C = C_0 \cdot e^{-0.0467T}$ ,  $T_{1/2} = 15.1$  d, 施药后 37 d 消解 85.0%, 坡地低浓度级半衰期  $C = C_0 \cdot e^{-0.0907T}$ ,  $T_{1/2} = 7.7$  d, 施药后 15 d 消解 74.2%。不同浓度森草净处理样地, 施药后 7、15、37 d 均可检测到噁磺隆, 并且含量越来越小, 但施药后 68 d 的土样, 均未检测到噁磺隆的存在。

**关键词** 薇甘菊, 森草净, 噁磺隆, 残留量, 内伶仃岛

文章编号: 1000-0933 (2007) 08-3407-10 中图分类号: S452 文献标识码: A

## Chemical herbicide sulfometuron-Ethyl to controll *Mikania micrantha* and its residue in the soil

ZAN Qi-Jie<sup>1,2</sup>, SUN Yan-Jun<sup>2</sup>, LIAO Wen-Bo<sup>2,\*</sup>, LI Ming-Guang<sup>2</sup>, WANG Bo-Sun<sup>2</sup>

1 Yangtai Mountain Forest Park Administration of Shenzhen City, Shenzhen 518033, China

2 State Key Laboratory of Biocontrol, School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (8) 3407 ~ 3416.

**Abstract**: The *Mikania micrantha* H. B. K., a native to Central and South America, has becoming a noxious exotic invasive weed in the seashore areas in Guangdong Province and its neighbor Hong Kong, south China, especially in the Neilingding Island of Shenzhen City. In this paper, 9 plots and 81 sub-plots were selected as examples to study and control the invasive of *Mikania micrantha* in the different habitats and communities in the Neilingding Island. The test result shows that between concentration in 0.0001 ~ 0.2 g·m<sup>-2</sup> of chemical herbicide sulfometuron-ethyl, the best result could be obtained in controlling *Mikania Micrantha*; Moreover, the effect of controlling *Mikania Micrantha* will be much strengthened as the increase of the dosage of chemical herbicide sulfometuron-ethyl. For instance, the sulfometuron-ethyl with the concentration at 0.05 ~ 0.1 g·m<sup>-2</sup> and 0.2 g·m<sup>-2</sup> in the sloping and valley examples could show an effective result. In addition, a new method of distilling sulfometuron-methyl from the soil samples has been excogitated, and it has been used to determine the remnants of sulfometuron-methyl in the examples with *Mikania Micrantha* in Neilingding Island. Through the testing, it shows that half-life in the valley examples is  $C = C_0 \cdot e^{-0.0837T}$ ,  $T_{1/2} = 8.4$  d, after 37d medicine used, however, it has

基金项目: 深圳市科技和信息局资助项目 (2003-K3-133); 中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室资助项目

收稿日期: 2006-12-19; 修订日期: 2007-06-11

作者简介: 詹启杰 (1968 ~ ) 男, 湖北房县人, 博士, 副研究员, 主要从事入侵生态学和湿地生态学研究。E-mail: zqjmangrove@126.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lsslwb@mail.sysu.edu.cn

**Foundation item**: The project was financially supported by the Shenzhen Science and Technology and Information Administration Fund (No. 2003-K3-133), and by State Key Laboratory of Biocontrol, Sun Yat-sen University Fund

**Received date** 2006-12-19; **Accepted date** 2007-06-11

**Biography** ZAN Qi-Jie, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in invasion ecology and wetlands ecology. E-mail: zqjmangrove@126.com

decompounded 95.9%. In sloping examples, its half-life of the higher concentration group is  $C = C_0 \cdot e^{-0.0467t}$ ,  $T_{1/2} = 15.1$  d, after 37 d, it has decomposed 85.0%; and its half-life of lower concentration group is  $C = C_0 \cdot e^{-0.0907t}$ ,  $T_{1/2} = 7.70$  d, after 15 d, it has decomposed 74.2%. From these samples, we found that the decomposing speed of sulfometuron-ethyl are very fast and quick, and it could be determined after using medicine for 7, 15 d, and 37 d, since its content became smaller than it was before. However, with HPLC examination in the different concentration and condition, there is no any sulfometuron-ethyl in the soil samples after using medicine for 68 d.

**Key Words:** *Mikania micrantha*; sulfometuron-methyl; residue; Neilingding Island

原产中南美洲的薇甘菊 *Mikania micrantha* H. B. K, 自 20 世纪 80 年代蔓延到广东沿海后, 对该地区生态环境造成了严重危害<sup>[1~3]</sup>。薇甘菊的迅速蔓延和严重危害, 引起了政府和学者的高度重视, 对薇甘菊危害的防治研究也掀起热潮。目前, 在薇甘菊危害特别严重的区域一般采用化学防除技术进行治疗, 其中, 除草剂森草净能有效地用于防治薇甘菊的危害<sup>[4,5]</sup>, 且对生物多样性的影响较小<sup>[6]</sup>, 杀灭林地上薇甘菊的效率可达 95%~100%<sup>[4,7]</sup>。但是, 在不同生境中, 薇甘菊所在的植物群落类型、微生境 (如: 群落土壤水分和 pH 值、坡向、湿度等) 不同, 所需森草净最低用量及其在土壤中的残留时间和残留数量可能不同, 而这方面的研究尚未见报道。本研究旨在探讨杀灭不同群落生境中薇甘菊所需森草净的最低用量及其土壤残留问题, 为该除草剂的安全使用和推广应用提供科学依据。

## 1 研究地与研究方法

### 1.1 研究地概况及样地设置

#### 1.1.1 研究地概况

广东内伶仃岛国家级自然保护区位于深圳市西南部的珠江口, 处于香港、澳门、珠海、深圳之间 (22°23'49"~22°25'35"N, 113°46'18"~113°49'49"E), 面积 544 hm<sup>2</sup>, 最高峰尖峰山海拔 340.9 m, 全岛地貌类型相对简单, 90.3% 为丘陵, 由北湾、东湾、蕉坑湾、东角湾、黑沙湾、水湾、南湾等部分组成。内伶仃岛的主体土壤为赤红壤, 气候属于亚热带季风气候区, 主要植被是以马尾松、台湾相思为主的人工林经过 60 多年演替而成的亚热带常绿阔叶林和常绿阔叶林<sup>[8]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来, 内伶仃岛受外来害草薇甘菊入侵, 大部分植被受到破坏, 60% 以上的林地遭受薇甘菊危害, 少量次生林已逆向演替为灌丛或草丛<sup>[1]</sup>。

内伶仃岛的东湾和蕉坑湾是较早受到薇甘菊入侵的区域, 其次生林约占林地面积的 40%, 灌木林占 40%, 草丛占 12%, 农田丢弃地占 4%, 其它裸地占 4%, 主要植被为次生常绿阔叶林, 群落组成以热带亚热带科属植物为主, 如潺槁 (*Litsea glutinosa*)、华润楠 (*Machilus chinensis*)、假萍婆 (*Sterculia lanceolata*)、布渣叶 (*Microcos paniculata*)、香港大沙叶 (*Pavetta hongkongensis*)、豺皮樟 (*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*) 等。薇甘菊生长繁茂, 盖度 30%~70%, 厚度 10~25 cm。该区域土壤理化性质见表 1。

表 1 土壤理化性质

Table 1 Physicochemical properties of soils

地点 Site	土壤水分 (%) Soil water	pH 值 pH value	电导率 Electrical conductivity	有机质 (g·kg <sup>-1</sup> ) Organic matter	全 N (g·kg <sup>-1</sup> ) Total N	全 P (g·kg <sup>-1</sup> ) Total P	全 K (g·kg <sup>-1</sup> ) Total K
蕉坑湾 Jiaokeng bay	10.7	6.3	62.4	52.4	2.6	0.6	18.7
东湾 East bay	12.8	4.9	95.7	55.8	3.1	1.3	22.1

#### 1.1.2 样地设置与施药

选择能代表内伶仃岛国家级自然保护区受薇甘菊危害情况的东湾、蕉坑湾两地, 分别选取山脚向阳坡地

和背阳坡地、溪谷、水泽地等不同生境,以及疏林(天然次生林)、灌木林、草丛等不同类型群落的薇甘菊危害区域,设置9块样地,81个小样方,总面积5400 m<sup>2</sup>。灌木林、草丛的小样方面积取5 m×5 m,疏林或人工次生林的小样方面积取10 m×10 m。样地生境见表2,每个样地不同小样方施用不同浓度的除草剂森草净,每个浓度级森草净重复3个小样方。

表2 样地面积和生境特征

Table 2 The habitat characteristics and areas of the sample plots

样地号 Plot No.	地点 Site	生境 Habitat	样方数(个) Number (Unit)	样地面积(m <sup>2</sup> ) Plot area	海拔(m) Altitude	群落类型 Community type
S1	东湾 East bay	向阳坡地 Sloping field with a sunny exposure	12	300	6	草丛 Grassland
S2	东湾	水泽地 Damp	12	300	5	草丛
S3	东湾	向阳坡地	12	1200	15	疏林 Woodland
S4	东湾	背阳坡地 Sloping field in the shade	6	600	145	疏林
S5	东湾	向阳坡地	6	600	136	疏林
S6	焦坑湾 Jiaokeng bay	溪谷 Valley	6	150	10	草丛
S7	焦坑湾	溪谷	12	1200	35	疏林
S8	焦坑湾	溪谷	9	900	39	灌木林 Shrubland
S9	焦坑湾	溪谷	6	150	32	草丛

根据前人实验结果<sup>[4,7]</sup>和本试验研究目的,确定试验样地的用药浓度和浓度级。为进一步研究杀灭薇甘菊的更低浓度及不同群落生境的用药量,选择0.001~0.2 g·m<sup>-2</sup>的浓度梯度,用工农背负式125型喷雾器定向喷洒药液至薇甘菊叶面、茎干上。

### 1.1.3 样地调查

样地设置后,于2003年10月施药前,第1次调查各样地小样方内的薇甘菊盖度和危害情况,并在施药后43、165、365 d,对薇甘菊的盖度及重新萌发后的盖度情况进行再次调查,统计薇甘菊受药后死亡情况及尚未死亡部分重新恢复的盖度。

用恢复率作为判定森草净杀灭薇甘菊效果优劣的指标,恢复率=施用森草净一段时间后薇甘菊的盖度/未施用森草净前的薇甘菊盖度×100%,薇甘菊被杀灭越彻底,恢复率越低,防除效果越好,最优杀灭效果的恢复率为零。

## 1.2 材料与方法

### 1.2.2 材料与试剂、仪器

森草净:即70%噁磺隆水溶性粉剂(通用名 sulfmeturon-methyl, SM),其他名称有DPX-5648 (Du Pont)、Oust等,化学名是2- {[ (4-β-二甲基嘧啶-2-基)氨基羧基]氨基磺酰基}苯甲酸甲酯<sup>[9]</sup>。噁磺隆属磺酰脲类内吸式除草剂,它通过抑制乙酰乳酸合成酶的活性,而使植物体内支链氨基酸合成受阻,蛋白质合成停止。原药为无色固体,水悬浮液对水解(pH 7~9)稳定,亚氨基呈弱酸,DT<sub>50</sub>约18 d (pH 5),土壤DT<sub>50</sub>约28 d<sup>[10]</sup>。

试剂:噁磺隆标样(纯度99.5%,西安近现代化学研究所提供)、CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>(分析纯,广州东红化工厂产)、CHCl<sub>3</sub>(分析纯,广州东红化工厂产)、(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(分析纯)、CH<sub>3</sub>CN(分析纯)、H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>(分析纯)。

主要仪器:高效液相色谱仪、离心机、旋转蒸发仪、振荡器、电子天平(精度0.0001 g)等。

### 1.2.3 土壤中森草净(噁磺隆)的提取方法

根据参考文献<sup>[11~17]</sup>,进行多次预试验,再经过多次试验,研究出检测土壤中噁磺隆的分析方法。

#### (1) 取样

2004年5月15日,对内伶仃岛东湾、焦坑湾的薇甘菊化防样地施药,在施药前取样地内的土样作对照样,施药后第7天、15天、37天、68天采土样。采样时选取薇甘菊均匀分布区域的土壤,分别在焦坑湾溪谷样

地中挖取施药量  $0.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  的样地的土样, 在东湾坡地样地中挖取施药量  $0.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $0.01 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  的样地的土壤, 用采样铲取  $0 \sim 15 \text{ cm}$  的表土, 将土壤捣碎混匀, 取大约  $500 \text{ g}$  土于样品袋中, 将土样带回实验室, 自然风干, 装入磨口瓶中置于  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  低温冷藏待测, 每个样品测 3 次。

### (2) 提取与净化

取土壤样品用研钵研碎, 过 200 目筛, 土壤粉末用四分法选取, 然后称取  $20 \text{ g}$  于  $250 \text{ ml}$  具塞锥形瓶中, 加入  $40 \text{ ml}$   $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  溶液 ( $\text{pH} = 9$ ) 浸泡约  $12 \text{ h}$ , 振荡器振荡  $0.5 \text{ h}$ , 将  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  与土样的混溶液放入离心管, 在  $5000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  的速度下离心  $10 \text{ min}$ , 将上层  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  溶液移入分液漏斗中, 下层泥土和锥形瓶中的泥土再用  $40 \text{ ml}$   $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  溶液洗涤、离心, 将离心后的上层溶液移入  $250 \text{ ml}$  分液漏斗中, 弃去泥土。向分液漏斗中加入  $2 \times 30 \text{ ml}$   $\text{CHCl}_3$ , 摇动萃取  $5 \text{ min}$ , 静置分层  $30 \text{ min}$ , 下层有机相  $5000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  高速离心, 回收离心后的上层  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  相于原分液漏斗中, 弃去有机相; 用  $1:9$  的  $\text{H}_3\text{PO}_3$  调节  $\text{pH} = 3$ , 加入  $2 \times 30 \text{ ml}$   $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  萃取  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  溶液, 萃取后高速离心, 下层转移入蒸馏烧瓶中, 在  $38 \sim 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$  的条件下用旋转蒸发器蒸发浓缩至干, 用  $1 \text{ ml}$   $\text{CH}_3\text{CN}$  在超声波条件下溶解浓缩物, 将  $\text{CH}_3\text{CN}$  溶液转移入离心试管, 在  $13000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  条件下高速离心, 离心后上层  $\text{CH}_3\text{CN}$  溶液待 HPLC 分析。

### (3) 高效液相色谱<sup>[13, 18]</sup>

HPLC 检测噻磺隆残留量条件为: 色谱柱 C18 填料预柱, 紫外检测波长  $254 \text{ nm}$ , 流动相为甲醇: 水 =  $55:45$  (其中水用  $\text{H}_3\text{PO}_3$  调节  $\text{pH} = 3$ ) , 进样体积  $3 \sim 8 \text{ } \mu\text{l}$ 。

添加回收率试验: 在一定量的空白土壤中加入不同浓度标准的噻磺隆 (纯度  $99.5\%$ ) 溶液, 进行样品的提取和净化, 在液相色谱条件下进行测定, 计算回收率。

### (4) 森草净半衰期计算公式

根据动力学一级反应方程式<sup>[11]</sup>:

$$C = C_0 \cdot e^{-kT}$$

式中,  $C$  为时间  $T$  时的森草净残留量 ( $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ),  $C_0$  为施药后原始沉积量,  $k$  为消解系数,  $T$  为施药后天数。

按上述公式计算森草净的半衰期。

## 2 结果与分析

### 2.1 森草净对薇甘菊的杀灭

#### 2.1.1 不同浓度森草净对薇甘菊的杀灭

用森草净喷洒薇甘菊后, 其吸收到药液的各个器官 (如叶、茎、根、花等) 就会死亡, 特别是薇甘菊地上部分死亡后盖度明显减小。但是由于薇甘菊无性生殖发达, 茎和茎节均可遇土生根, 长出新枝, 所以如果薇甘菊的根和茎不能被全部杀灭, 就会重新萌生出新个体。因此, 应用森草净防除薇甘菊  $365 \text{ d}$ , 施药区内薇甘菊的恢复率是判别森草净杀灭薇甘菊效果最重要的指标。

不同森草净用药量防除薇甘菊的结果见表 3。施用森草净后  $43 \text{ d}$ , 薇甘菊盖度较施药前大幅减少,  $\geq 0.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  的用药量样地 (如 S2、S3、S4、S5 样地) 上的薇甘菊盖度降至  $0 \sim 1\%$ , 表明杀灭薇甘菊的效果好。  $0.025 \sim 0.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  的低用药量的样地 (如 S2、S4、S5 样地) 上的薇甘菊需要比  $43 \text{ d}$  更长的时间, 才能彻底被杀灭, 这表明低用量 ( $< 0.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) 的森草净杀灭薇甘菊需要较长时间, 而高用量 ( $> 0.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) 的森草净杀灭薇甘菊所需要时间较短。

表 3 显示, 随着森草净施用量的增大, 施药后  $43$ 、 $165 \text{ d}$  的薇甘菊盖度减小, 表明森草净用量越大, 杀灭薇甘菊的效果越好。森草净用量在  $0.005 \sim 0.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 施药后  $165 \text{ d}$ , 薇甘菊盖度为  $0 \sim 5\%$ ,  $365 \text{ d}$  后薇甘菊盖度恢复到  $0 \sim 15\%$ , 而  $< 0.005 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  的用药量的样地 (如 S1、S3 样地), 施药后  $165 \text{ d}$  薇甘菊的盖度都  $< 19\%$ , 但  $365 \text{ d}$  后薇甘菊又重新复生, 盖度  $> 20\%$ 。因此, 森草净用量在  $0.001 \sim 0.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  范围内, 随着用药量增大, 施药后  $365 \text{ d}$  内薇甘菊盖度基本上呈递减趋势, 这表明随着用药量越大, 杀灭薇甘菊的效果越好。如果用  $365 \text{ d}$  内薇甘菊盖度  $\leq 5\%$  作为杀灭指标, S1 和 S4 样地最低用药量为  $0.01 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , S2 样地最低用药量为  $0.1$

$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , S3 样地最低用药量为  $0.005 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , S5、S7、S8 样地最低用药量为  $0.05 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , S4 样地则  $>0.2 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。如果 1a 内薇甘菊 100% 被防除, 则薇甘菊的用量一般为  $0.05 \sim 0.1 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 如 S2、S3、S5 样地, 薇甘菊 100% 被防除的用药量为  $0.1 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

表 3 不同浓度森草净对薇甘菊的杀灭情况

Table 3 The results of killing on *Mikania micrantha* by different concentration SM

样地号 Plot No.	浓度 ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) Concentration	薇甘菊盖度 Coverage of <i>M. micrantha</i> (%)				365 d 后恢 复率 <sup>⑤</sup> (%)
		施药前 <sup>①</sup>	施药后 43 d <sup>②</sup>	施药后 165 d <sup>③</sup>	施药后 365 d <sup>④</sup>	
S1	0.001	45.0 ± 7.1	8.3 ± 2.4	18.0 ± 4.2	27.7 ± 2.5	61.7
	0.005	50.0 ± 32.4	11.7 ± 4.6	2.0 ± 1.8	13.3 ± 8.7	26.6
	0.01	63.3 ± 12.5	5.0 ± 2.4	1.0 ± 0.6	2.7 ± 1.3	4.3
	0.025	65.0 ± 4.1	0.7 ± 0.9	0.7 ± 0.5	3.0 ± 0.8	4.6
S2	0.025	81.7 ± 2.4	18.0 ± 8.6	0	11.7 ± 2.4	14.3
	0.05	81.7 ± 2.4	2.7 ± 2.5	0	6.7 ± 2.4	8.2
	0.1	80.0 ± 0	0	0	5.0 ± 0	6.3
S3	0.001	50.0 ± 16.3	16.7 ± 8.5	18.3 ± 10.3	24.3 ± 11.3	48.6
	0.005	65.0 ± 10.8	8.3 ± 2.4	4.7 ± 1.1	5.0 ± 0.8	7.7
	0.1	40.0 ± 16.7	8.0 ± 1.6	0	0	0
	0.2	35.0 ± 4.4	0	0	0	0
S4	0.01	18.3 ± 2.4	1.3 ± 0.5	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.2	1.6
	0.1	18.3 ± 2.4	1.0 ± 0.6	0	0	0
S5	0.05	15.0 ± 4.1	4.0 ± 0	0	0	0
	0.1	30.0 ± 0	0	0	0	0
S6	0.025	51.7 ± 6.2	7.3 ± 2.1	6.0 ± 2.4	15.3 ± 0.8	29.6
	0.05	63.3 ± 12.5	5.3 ± 1.3	4.7 ± 0.5	10.3 ± 3.7	16.3
	0.1	92.0 ± 4.3	7.3 ± 2.7	1.3 ± 0.5	10.0 ± 1.6	10.9
	0.2	96.0 ± 0.8	0.7 ± 0.9	1.7 ± 0.9	6.0 ± 1.4	6.3
S7	0.01	53.3 ± 6.2	1.3 ± 0.5	2.9 ± 0.5	10.0 ± 1.6	18.8
	0.05	61.7 ± 15.5	0	1.3 ± 0.5	3.3 ± 0.5	5.4
S8	0.01	51.7 ± 6.2	1.7 ± 1.2	6.7 ± 3.4	14.0 ± 5.1	27.1
	0.05	45.0 ± 18.7	1.0 ± 0.6	3.0 ± 1.6	5.0 ± 2.2	11.1
	0.1	48.3 ± 21.5	1.0 ± 0.6	3.0 ± 1.3	5.0 ± 4.1	10.4
S9	0.001	30.0 ± 10.8	6.3 ± 2.4	10.0 ± 0	23.6 ± 4.5	90.0
	0.005	25.0 ± 4.1	1.3 ± 1.2	4.0 ± 2.2	6.0 ± 1.4	24.0

① Coverage of *M. micrantha* before killing by SM ; ② Coverage of *M. micrantha* Killed by SM for 43 days ; ③ Coverage of *M. micrantha* Killed by SM for 165 days ; ④ Coverage of *M. micrantha* Killed by SM for 365 days ; ⑤ Restorable rate after one year ; 数值为平均值 ± 标准误差 The values are means ± SE

### 2.1.2 森草净对不同群落生境中薇甘菊的杀灭

表 2、表 3 显示, 用森草净杀灭坡地上薇甘菊 365 d 后, 薇甘菊盖度  $<5\%$  的坡地上森草净最低用量为  $0.01 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 365 d 后薇甘菊盖度为 0, 即薇甘菊被 100% 控制住的森草净最低用量为  $0.05 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。相同森草净用量对于坡地上的疏林 (天然次生林) 和草丛中薇甘菊的杀灭效果不同, 防除时间达 365 d 时, 草丛中薇甘菊盖度比疏林中的要高, 如  $0.001 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$  森草净用量杀灭薇甘菊达 365 d, 疏林中薇甘菊盖度为 48.3%, 草丛则是 54%。  $0.005 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$  森草净用量杀灭薇甘菊达 365 d, 疏林中薇甘菊盖度为 8.0%, 草丛则是 25.7%, 这表明坡地上疏林中的薇甘菊较草丛中的薇甘菊易于被杀灭。

从表 2、3 可看出, 在坡地群落中, 用不同用量森草净杀灭薇甘菊后, 样地中薇甘菊的盖度随着森草净用量的增大而减少。在用药量为  $0.01 \sim 0.025 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$  范围内, 防除 365 d 后, 薇甘菊盖度可控制在 5% 以内; 用药量

在  $\geq 0.05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  时, 防除 365 d 后的薇甘菊可以 100% 被杀灭而不复生, 这表明杀灭坡地上薇甘菊的森草净用量可低至  $0.05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

在溪谷的疏林、灌木林、草丛群落中, 采用高剂量  $0.1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  和  $0.2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  森草净杀灭薇甘菊 365 d 后, 薇甘菊盖度仍可达  $\geq 5\%$ 。这表明森草净杀灭溪谷的不同类型群落中的薇甘菊的效果不好, 若要达到较好的杀灭效果, 森林净的用药量应  $>0.2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

### 2.1.3 薇甘菊被杀灭 365 d 后的恢复情况

用森草净杀灭薇甘菊 365 d 后, 薇甘菊恢复率越高, 说明杀灭效果越差, 反之则越好。从图 1 可以看出, 薇甘菊的恢复率随着森草净的浓度升高而降低。在相同浓度的森草净用量下, 坡地比溪谷中薇甘菊的恢复率低, 说明相同浓度用量下森草净杀灭坡地上薇甘菊的效果比溪谷中的好, 其主要原因是溪谷中的小环境较为湿润, 使得森草净在这样的环境中容易被稀释, 达不到杀灭的药效剂量, 而不能彻底杀灭薇甘菊。在坡地上, 森草净用量为  $0.01 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  时, 365 d 后薇甘菊的恢复率很低 ( $<5\%$ ), 防除效果较好; 在溪谷中, 森草净用量达到  $0.1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  时, 恢复率 5% 左右, 对薇甘菊的控制效果较好 (图 1)。

图 2 显示, 薇甘菊在同一森草净用量下, 在灌木林、草丛中的恢复率高于在疏林中的恢复率, 这说明森草净对于疏林中薇甘菊的杀灭效果好于灌木林和草丛中的, 在坡地疏林中, 森草净用量达到  $0.005 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  时, 对薇甘菊有很好的控制效果; 在灌木林中, 浓度为  $0.01 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  才能达到很好的杀灭效果。主要原因是在疏林中, 薇甘菊的茎和叶被树枝撑起, 暴露在空中, 容易受药, 而在灌木林和草丛中, 茂密的灌木和杂草覆盖了部分薇甘菊茎叶, 使得药液无法完全喷洒到薇甘菊的植株上, 所以杀灭效果较差。

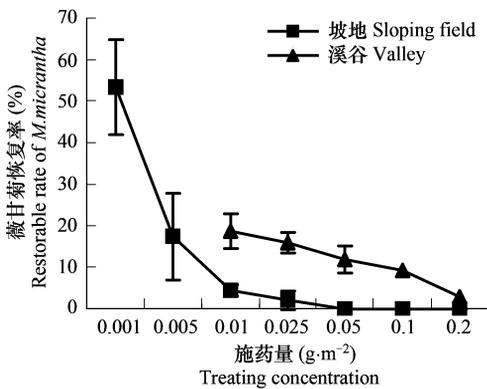


图 1 不同生境施药 365 d 后薇甘菊的盖度

Fig. 1 Coverage of *Mikania micrantha* treated by different concentration SM for 365 days

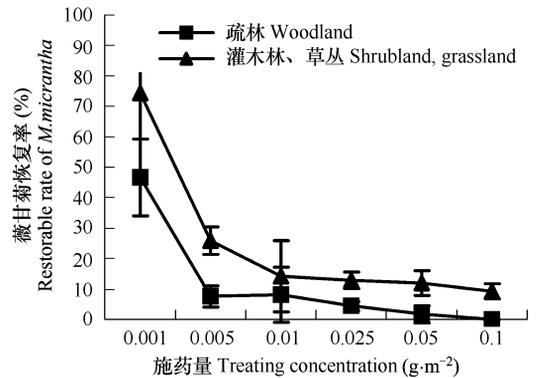


图 2 不同群落施药 365 d 后薇甘菊的盖度

Fig. 2 Coverage of *Mikania micrantha* treated for 365 days in different communities

## 2.2 噁磺隆 (森草净主要成分) 在土壤中残留量与半衰期

### 2.2.1 噁磺隆 (森草净主要成分) 在土壤中残留量

噁磺隆属于磺酰胺类除草剂, 易于在土壤中流动, 大多数残留在土壤表层并能降解<sup>[19]</sup>。经过分析, 噁磺隆在内伶仃岛样地土壤中的残留量见表 4。从表 4 看, 噁磺隆在土壤中的残留量随时间延长而减少, 施药后 68 d 检测不到噁磺隆。同一浓度用量、同一时间东湾坡地土壤中残留量较溪谷中的要高 (图 3), 高浓度用量 ( $0.1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 的样地土壤中残留量比低浓度用量 ( $0.01 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 的要高 (图 4)。

### 2.2.2 噁磺隆在内伶仃岛土壤的半衰期

从内伶仃岛取回没有受到噁磺隆污染的土壤, 在空白土壤中加入噁磺隆标样, 用相同的提取方法测试, 平均回收率在 86% ~ 98% 之间, 本研究测定的噁磺隆在土壤中最低检出浓度为  $5 \text{ ng/g}$ 。

根据所得的数据进行分析得如下关系, 内伶仃岛溪谷土壤中:  $C = C_0 \cdot e^{-0.083T}$ ,  $T_{1/2} = 8.4 \text{ d}$ , 施药后 37 d 已经消解了 95.9%; 内伶仃岛坡地高浓度组:  $C = C_0 \cdot e^{-0.046T}$ ,  $T_{1/2} = 15.1 \text{ d}$ , 施药后 37 d 已经消解了 85.0% ;

内伶仃岛坡地低浓度组  $C = C_0 \cdot e^{-0.0907T}$ ,  $T_{1/2} = 7.7$  d, 施药后 15 d 已经消解了 74.2%。

表 4 啞磺隆在样地土壤中残留量 (ng/g)

Table 4 The residue of SM in the plot soils

采样点 Sampling site	生境 Habitate	浓度 (g·m <sup>-2</sup> ) Concentration	施药 7 d 检出 含量 <sup>③</sup>	施药 15 d 检出 含量 <sup>④</sup>	施药 37 d 检出 含量 <sup>⑤</sup>	施药 68 d 检出 含量 <sup>⑥</sup>
焦坑湾 <sup>②</sup> 1	溪谷	0.1	150a ± 4.1	47a ± 5.9	7a ± 0.8	未检出 No detected
焦坑湾 <sup>②</sup> 2			203b ± 5.1	65b ± 3.7	9b ± 2.5	未检出 No detected
焦坑湾 <sup>②</sup> 3			168a ± 7.3	47a ± 5.7	6a ± 0.8	未检出 No detected
平均值 (ng/g) Average value			174 ± 22.0	53 ± 8.5	7.3 ± 1.3	未检出 No detected
东湾 <sup>①</sup> 1	坡地	0.1	245a ± 21.7	136a ± 9.8	45a ± 3.6	未检出 No detected
东湾 <sup>①</sup> 2	Sloping field		205b ± 19.8	109b ± 10.1	37a ± 2.5	未检出 No detected
东湾 <sup>①</sup> 3			188b ± 10.3	102b ± 9.3	15b ± 2.5	未检出 No detected
平均值 (ng/g) Average value			212.6 ± 23.9	115.7 ± 14.7	32.3 ± 12.7	未检出 No detected
东湾 <sup>①</sup> 4	坡地	0.01	38a ± 4.9	10a ± 1.4	未检出 No detected	未检出 No detected
东湾 <sup>①</sup> 5	Sloping field		26b ± 2.5	8b ± 1.3	未检出 No detected	未检出 No detected
东湾 <sup>①</sup> 6			30b ± 4.1	6b ± 1.3	未检出 No detected	未检出 No detected
平均值 (ng/g) Average value			31.3 ± 5.0	8 ± 1.6	未检出 No detected	未检出 No detected

① East bay ; ② Jiaokeng bay ; ③ SM content in soil treated for 7 days ; ④ SM content in soil treated for 15 days ; ⑤ SM content in soil treated for 37 days ; ⑥ SM content in soil treated for 68 days ; 数值为平均值 ± 标准误差 The values are means ± SE ; 同列数字后面英文字母相同者 , 表示多重检验结果差异不显著 ,  $\alpha < 0.05$  same scripts within columns indicate which means were no significant difference at  $\alpha$  probability level of 0.05

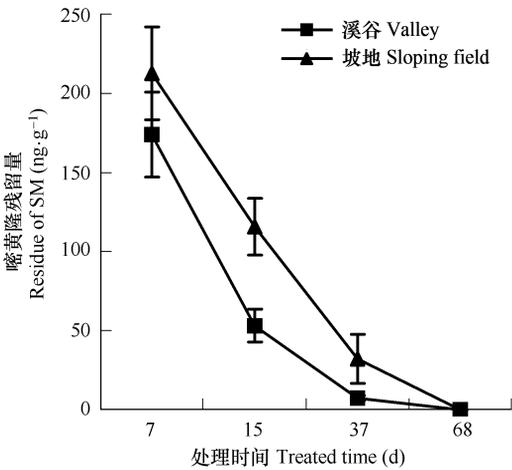


图 3 啞磺隆在坡地和溪谷的消解动态

Fig. 3 Decomposable dynamic of SM in sloping field and valley

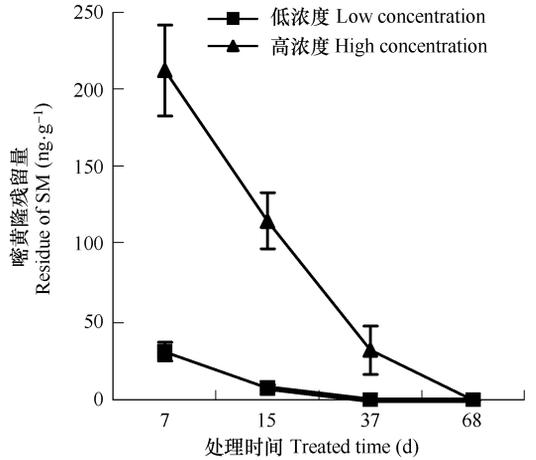


图 4 不同浓度啞磺隆在土壤中的消解动态

Fig. 4 Decomposable dynamic of different concentration SM in soil

磺酰脲类在土壤中主要发生化学水解与微生物降解作用,在弱酸条件下水解成无除草活性的芳基磺胺与氨基杂环,一些细菌、真菌、放线菌等能够代谢磺酰尿类除草剂<sup>[10,20]</sup>。啞磺隆在土壤中的降解除了与本身的结构有关外,还决定于土壤的 pH 值、土壤类型等性质和土壤理化参数以及温度和湿度等环境因素<sup>[11,15]</sup>。土壤类型一般通过对除草剂的吸附和淋溶而对降解速率产生影响,土壤有机质含量在正常范围内不是影响除草剂降解的主要因素,但是,降雨量对磺酰尿类除草剂的降解影响很重要,降雨量增加,半衰期变短<sup>[15]</sup>。

在本研究中,影响嘧磺隆降解的主要因素是土壤湿度和降雨量。在内伶仃岛,施药后 7 d 到 15 d 之间,嘧磺隆的消解速度比较快,其主要原因是这个时段,内伶仃岛降雨较多,使得嘧磺隆的含量迅速变少。第 15 天到第 37 天之间消解速度变得相对较慢,主要是降雨较少的缘故。到第 68 天完全检测不到嘧磺隆。从表 4、图 3 可以看出溪谷土壤中的嘧磺隆的消解速度比坡地快,主要是因为溪谷中的土壤湿度相对较大,加速了嘧磺隆的降解。从表 4 可以看出,施药半个月后无论用药量多少,都可以检测到嘧磺隆的含量,施药后 37 d,低浓度的用药量已经检测不到嘧磺隆的存在,高浓度的嘧磺隆要到施药后 68 d 才检测不到含量,说明低浓度的用药量在土壤中消解较快,高浓度的用药量在土壤中消解相对较慢。

嘧磺隆在土壤中的提取和检测问题,目前国内未见相关报道,关于磺酰尿类的其他除草剂,如:单嘧磺隆、苄嘧磺隆的报道比较多,单嘧磺隆和苄嘧磺隆与嘧磺隆的分子结构相似,物理化学性质相近,具有一定的可比性<sup>[11,16,21]</sup>。

表 5 嘧磺隆与其他磺酰尿类除草剂的半衰期比较

Table 5 The comparison of half life between sulfmeturon methyl and other sulfonylurea herbicide

种类 Species	嘧磺隆 Sulfmeturon methyl	单嘧磺隆 <sup>[11]</sup> Monosulfuron methyl		苄嘧磺隆 <sup>[16]</sup> Bensulfuron methyl	绿磺隆 <sup>[21]</sup> Chlorsulfuron	
地点 Site	内伶仃岛 Neilingding island	北京 Peking	山东 Shandong	杭州、北京 Hangzhou, Peking	江苏 Jiangsu	河北 Hebei
pH	—	6.7	6.6	—	6.5	7.9
半衰期 Half life	7.7 ~ 15.1	9.2	13.6	17.6 ~ 2.1	22.8	33.0

在深圳内伶仃岛的土壤中,测得嘧磺隆在溪谷土壤、高浓度用量的坡地土壤、低浓度用量的坡地土壤中的半衰期分别为: $T_{1/2} = 8.4$  d,  $T_{1/2} = 15.1$  d,  $T_{1/2} = 7.7$  d,与其他磺酰尿类除草剂(表 5)的相比,半衰期略短,除了与除草剂本身的物理化学性质相关外,还与深圳地区的多雨气候有关系,低 pH 土壤环境、高降雨量都会加速嘧磺隆的消解速度。

### 3 结论

#### 3.1 森草净杀灭薇甘菊的效果

森草净对薇甘菊具有较好的杀灭效果,杀灭效果随着森草净浓度用量显著增加。相同森草净浓度用量下,在坡地环境下对薇甘菊的杀灭效果较溪谷中的要好,主要因为坡地环境中,小环境较为干燥,森草净在土壤以及植物的表面的消解速度较慢,所以药效较为持久,相同森草净浓度用量下,在疏林中比在灌木林、草丛中的杀灭效果好,产生差异的主要原因是疏林的薇甘菊的茎叶都暴露在空旷环境中,施药时,药液可以充分的接触到薇甘菊的根茎,吸收药液面积大,效果较好,而在灌木林和草丛中,由于其他灌木、禾草枝叶的阻挡,药液不能充分的接触到薇甘菊的茎叶,致使薇甘菊吸药面积小,根茎不能全部彻底死亡,所以效果较差。因此,杀灭坡地上疏林或天然次生林中的薇甘菊,施用  $0.01 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  森草净可以较好的杀灭薇甘菊,当群落为灌木林或草丛时森草净的用量则需要  $0.05 \sim 0.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  才可以较好地杀灭薇甘菊。在溪谷群落中,杀灭薇甘菊的森草净在用量  $0.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  以上才可以对薇甘菊有很好的防除效果。

#### 3.2 嘧磺隆在土壤中的残留量

嘧磺隆在深圳内伶仃岛的土壤中的消解速度较快,用 HPLC 方法检测施药后 68 d 的土样,各种浓度和环境条件下,均未检测到嘧磺隆的存在,主要原因是内伶仃岛地处南亚热带季风性气候,土壤低 pH 土壤环境、高温多雨,热量、降水和风力资源丰富<sup>[8]</sup>,嘧磺隆在这样的气候条件下,在土壤中的消解速度会加快,半衰期变短。在  $0.01 \sim 0.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  浓度用量的样地土壤中,施用森草净杀灭薇甘菊后,嘧磺隆消解速度比单嘧磺隆、苄嘧磺隆、绿磺隆在北方地区的消解速度要快,目前较大面积推广应用于杀灭薇甘菊的森草净用药浓度是较安全的。

## References :

- [1] Zan Q J, Wang Y J, Wang B S, Liao W B, Li M G. The distribution and harm of the exotic weed *Mikania micrantha*. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19 (6) : 58 - 61.
- [2] Kong G H, Wu Q G, Hu Q M. Exotic weed *Mikania micrantha* H. B. K. appeared in south China. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2000, 8 : 27 - 28.
- [3] Wang B S, Liao W B, Zan Q J, Li M G, Zhou XY, Gao S H. The Spreads of *Mikania micrantha* in China. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyantseni, 2003, 42 (4) : 47 - 54.
- [4] Wang Y J, Liao W B, Zan Q J, Wang B S, Wang Z J, Guo H R. Effects of the herbicides sulfometron methyl killing *Mikania micrantha* and their influence on plant diversity. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyantseni, 2003, 42 (Supplement) : 181 - 186.
- [5] Zan Q J, Wang Y J, Liang Q Y, Wang B S, Liao W B. Effectiveness of four herbicides on the Harmful Weeds *Mikania micrantha*. Ecologic Science, 2001, 20 (1, 2) : 32 - 36.
- [6] Wang Y J, Zan Q J, Wang Z J, Guo H R, Liao W B, Ding X L. The research on chemical prevention on the invaded weed — *Mikania micrantha* H. B. K. Ecologic Science, 2003, 22 (1) : 58 - 62.
- [7] Wang Y J, Wang Z J, Zan Q J. The primary report of the chemical prevention of *Mikania micrantha*. China Forestry, 2000 : supplement : 41.
- [8] Lan C Y, Wang Y J. Research of natural resources and ecology of Neilingding island, Guangdong, China. Beijing : China Forestry Publishing House, 2001. 1 - 142.
- [9] Farm produce imports and exports corporation of China. The collection of chemical methods of killing weeds. Shanghai : Science and Technology Press, 1992. 1 - 1255.
- [10] Sha J J, Zhang M H, Jiang Y J. The hand-book of the abroad new kinds of Pesticide. Beijing : Chemical Industry Publishing House. 1992. 468 - 470.
- [11] Hu J Y, Qian C F, Fan Z J. Study on residue analysis and degradation of monosulfuron in soil. Chinese Journal of Pesticide Science, 2000, 4 (2) : 60 - 65.
- [12] Powley R, Patrica A. Screening method for nine sulfonylurea herbicides in soil and water by liquid chromatography with ultraviolet detection. J. Agric. Food Chem., 1998, 46 : 514 - 519.
- [13] Huang C H, Zhao Z M. Determination of sulfometron methyl in water samples by high pressure liquid chromatography. Environmental Monitoring in China, 1996, 12 (4) : 14 - 16.
- [14] Wu J Y, Jiang G Q, Jia C H. Leaching of Sulfometuron and Effect on Fruit Seedlings. Pesticides, 1998, 37 (3) : 19 - 21.
- [15] Yao D P, Chen J, Song X L. The study process of residue and degradation of sulfonylurea herbicide. Pesticides, 1997, 36 (7) : 32 - 37.
- [16] Wu L Q, Hu L Y, Xu H, Zhu Y H. Study on residue analysis of bensulfuron methyl in paddy. Journal of Zhejiang Agricultural, 2000, 6 (12) : 393 - 396.
- [17] The group of pesticide residue study of the country. The applied manual of residue determination of pesticide. Chemical Industry Publishing House, 2001. 1 - 240.
- [18] Xu D F. The analysis of sulfometron methyl by high pressure liquid chromatography. Hubei Chemical Industry, 1996, 2 : 57 - 58.
- [19] Blair A M, Martin T D. The Activity, Trend and Mechanism of Action of the Sulfonylurea Pesticide. World Pesticide, 1988, 10 (6) : 63 - 70.
- [20] Chen S F, Xu R L, Wang Y J, Zan Q J, Liao W B. Effect of chemical prevention and cure of *Mikania micrantha* on soil protozoan community in Neilingding Island. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2003, 9 (4) : 422 - 428.
- [21] Shan Z J, Cai D J. Study on residue analysis of chlorsulfuron in soil. Pesticide, 1998, 37 (11) : 27 - 29.

## 参考文献 :

- [1] 管启杰, 王勇军, 王伯荪, 等. 外来杂草薇甘菊的分布及危害. 生态学杂志, 2000, 19 (6) : 58 ~ 61.
- [2] 孔国辉, 吴七根, 胡启明. 外来杂草薇甘菊 *Mikania micrantha* H. B. K. 在我国的出现. 热带亚热带植物学报, 2000, 8 (2) : 27 ~ 28.
- [3] 王伯荪, 廖文波, 管启杰, 等. 薇甘菊 *Mikania micrantha* 在中国的传播. 中山大学学报 (自然科学版), 2003, 42 (4) : 47 ~ 54.

- [4] 王勇军, 廖文波, 詹启杰, 等. 除秀剂森草净除薇甘菊的效果及其对植物多样性的影响. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(增刊): 181~186.
- [5] 詹启杰, 王勇军, 梁启英, 等. 几种除草剂对薇甘菊的杀灭试验. 生态科学, 2001, 20(1, 2): 32~36.
- [6] 王勇军, 詹启杰, 王彰九, 等. 入侵杂草薇甘菊的化学防除. 生态科学, 2003, 22(1): 58~62.
- [7] 王勇军, 王彰九, 詹启杰, 等. 薇甘菊化学防除试验初报. 中国林业, 2000, 增刊 #1.
- [8] 蓝崇钰, 王勇军. 广东内伶仃岛自然资源与生态研究. 北京: 中国林业出版社, 2001. 1~142.
- [9] 中国农垦进出口公司. 农田杂草化学防除大全. 上海: 上海科技出版社, 1992. 1~1255.
- [10] 沙家俊, 张敏恒, 姜雅君. 国外新农药品种手册. 北京: 化学工业出版社, 1992. 468~470.
- [11] 胡继业, 钱传范, 范志金. 单啶磺隆在土壤中的残留分析和消解动态研究. 农药学报, 2000, 4(2): 60~65.
- [13] 黄彩海, 赵泽民. 高效液相色谱法测定环境水样中啶磺隆. 中国环境监测, 1996, 12(4): 14~16.
- [14] 武菊英, 江国坚, 贾春虹. 啶磺隆的淋溶特性及其对果树幼苗安全性测定. 农药, 1998, 3(37): 19~21.
- [15] 姚东瑞, 陈杰, 宋小玲. 磺酰胺类除草剂残留与降解研究进展. 农药, 1997, 36(7): 32~37.
- [16] 吴俐勤, 胡连英, 徐浩, 等. 苄啶磺隆在水稻上的残留降解研究. 浙江农业学报, 2000, 6(12): 393~396.
- [17] 全国农药残留试验研究协作组. 农药残留量实用检测手册. 北京: 化学工业出版社, 2001. 1~240.
- [18] 徐德峰. 啶磺隆的高效液相色谱分析. 湖北化工, 1996, 2(1): 57~58.
- [19] Blair AM, Martin TD. 磺酰胺类除草剂的活性、趋势和作用方式. 农药译丛, 1988, 10(6): 63~70.
- [20] 陈素芳, 徐润林, 王勇军, 等. 化学防除薇甘菊对内伶仃岛土壤原生动植物群落的影响. 应用与环境生物学报, 2003, 9(4): 422~428.
- [21] 单正军, 蔡道基. 绿磺隆在土壤中的残留量研究. 农药, 1998, 37(11): 27~29.