

# 立体休闲翻耕降低土壤中氟磺胺草醚残留污染的研究

祖永平<sup>1</sup>, 白杰<sup>1</sup>, 张忠亮<sup>1</sup>, 焦梓洲<sup>2</sup>, 李相全<sup>1</sup>, 陶波<sup>1\*</sup>

(1.东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030; 2.吉林(市)出入境检验检疫局, 吉林 吉林 130062)

**摘要:**根据“土壤立体休闲原理”,通过现代化机械技术将氟磺胺草醚的残留土层与心土层进行位置转换,同时利用液相色谱结合生物测定的方法,系统研究不同耕作方法对氟磺胺草醚残留降解情况、土壤微生物变化和甜菜受害恢复情况的影响。结果表明,立体休闲翻耕处理对氟磺胺草醚残留的降解率明显好于常规翻耕处理,立体休闲翻耕后氟磺胺草醚的残留量降低了79%,而常规翻耕处理仅为46%;并且立体休闲翻耕处理对微生物的恢复效果好于常规翻耕处理,在0~10 cm土层中真菌、放线菌数目高于常规翻耕处理,10~20 cm和20~30 cm土层真菌数目均高于常规翻耕处理,各土层中细菌、真菌和放线菌总数恢复率分别可达到4%、29%和12%;生物测定结果表明,立体休闲翻耕提高了受药害甜菜的株高、出苗率、鲜重和叶绿素的恢复率,分别提高了12.89%、58.50%、72.29%和41.78%,效果好于常规翻耕处理。综上可以看出,与常规翻耕技术相比,立体休闲翻耕技术可更有效地降低土壤中氟磺胺草醚的残留量并减小氟磺胺草醚残留对土壤中微生物和敏感作物甜菜的影响。

**关键词:**立体休闲翻耕;氟磺胺草醚;土壤;残留

中图分类号:X171.5 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2014)04-0715-06 doi:10.11654/jaes.2014.04.014

## Soil Layer Replacement Reduced Fomesafen Residue in Soil

ZU Yong-ping<sup>1</sup>, BAI Jie<sup>1</sup>, ZHANG Zhong-liang<sup>1</sup>, JIAO Zi-zhou<sup>2</sup>, LI Xiang-quan<sup>1</sup>, TAO Bo<sup>1\*</sup>

(1.Northeast Agricultural University, Agronomy College, Harbin 150030, China; 2.Jilin Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Jilin 130062, China)

**Abstract:** Replacing surface with subsoil could enhance degradation of organic pollutants in soils. In this study, fomesafen degradation, microbial dynamics and sugar beet damages were investigated under different tillage methods using high performance liquid chromatography and biological assay. Residue of fomesafen in soil decreased by 79% under soil layer replacement, whereas by 46% under the conventional tillage. Compared with the conventional tillage, the number of fungi in 0 cm to 10 cm, 10 cm to 20 cm, and 20 cm to 30 cm soil layers and actinomycetes in 0 cm to 10 cm soil layer were greater under soil layer replacement. The recovery rates of soil bacteria, fungi and actinomycetes were 4%, 29% and 12%, respectively. In soil layer replacement treatment, the emergence rate, plant height, chlorophyll and fresh weight of sugar beet increased by 12.89%, 58.50%, 72.29% and 41.78%, respectively, compared with the conventional tillage. These results suggest that soil layer replacement could be an effective way to remediate soils contaminated with fomesafen.

**Keywords:** soil layer replacement; fomesafen; soil; residue

随着我国农业现代化的发展,农药施用已经成为提高作物产量不可缺少的重要措施,其中除草剂的应用逐年增加,成为目前保护农作物免受杂草危害最有效的途径<sup>[1]</sup>。黑龙江省是中国大豆主要生产基地,在大豆生产中,化学除草已经成为不可缺少的治理手段,特

别长残留除草剂氟磺胺草醚的应用,其作为大豆田苗后除草剂<sup>[2]</sup>,自从被引进中国,因为其防效高、见效快,迅速扩展到整个大豆种植地区<sup>[4]</sup>。但由于氟磺胺草醚不易降解,经常残留在土壤、水体、空气以及农产品中<sup>[2]</sup>,土壤中残留的氟磺胺草醚经常导致下茬甜菜、马铃薯、玉米等敏感性作物出现药害<sup>[5]</sup>,破坏了正常的农业种植结构<sup>[6]</sup>,影响我国农业经济发展与环境安全。

近年来,氟磺胺草醚残留带来的危害已经引起国际上广泛关注。Rauch<sup>[7]</sup>调查发现氟磺胺草醚的残留造成了甜玉米的药害,甜玉米的产量减少5%~60%,对

收稿日期:2013-08-09

基金项目:国家自然科学基金(2013ZX08004001-007)

作者简介:祖永平(1989—),男,硕士研究生,主要从事农药学研究。

E-mail: zuyongping513@163.com

\*通信作者:陶波 E-mail: botaol@163.com

美国农业经济发展产生了不利影响。Potter 等<sup>[8]</sup>也报道称在美国氟磺胺草醚的残留对居民地下水和河水的安全性造成威胁。

目前降解氟磺胺草醚残留的方法主要是生物修复<sup>[9]</sup>,而物理降解研究较少<sup>[10]</sup>。生物修复筛选出的降解菌因种类少<sup>[11]</sup>,易受到温度、水分、生存环境以及微生物的适应性等因素的影响,所以并未得到大范围推广使用<sup>[12-15]</sup>。而物理降解主要是通过翻耕的手段加速表层氟磺胺草醚的降解<sup>[16]</sup>,增大氟磺胺草醚与空气的接触面积,加快氟磺胺草醚的降解。另外国际上有报道称通过保护性的耕作和合理的灌溉可以降低氟磺胺草醚在土壤中的残留<sup>[17-18]</sup>,减少氟磺胺草醚造成的河水污染<sup>[8]</sup>。但利用立体休闲翻耕技术降低氟磺胺草醚残留造成的环境污染的研究尚未见报道。

本文通过立体休闲翻耕技术将氟磺胺草醚残留土层与心土层进行位置转换,系统地研究立体休闲翻耕对氟磺胺草醚残留土壤中残留量、微生物群落在不同深度土层区系变化及敏感作物生长情况的影响,对解决氟磺胺草醚残留引起的环境污染具有重大意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与试剂

25%氟磺胺草醚水剂(先正达公司)

甜菜:kws0149(德国 KWS 种子股份有限公司)

牛肉膏蛋白胨培养基(细菌计数),马丁氏培养基(真菌计数),改良高氏一号培养基(放线菌计数)<sup>[20]</sup>

### 1.2 主要仪器设备

Waters 1525 型高效液相色谱仪配 2487 紫外检测器(美国 Waters 公司)

CCM-300 叶绿素含量测定仪(北京渠道科学器材有限公司)

土层置换犁:黑龙江省农业科学院提供

浅翻深松犁:黑龙江省农业科学院提供

### 1.3 机械工作原理

土层置换犁:作业时,第一铧卸下前面大桦式犁,由拖拉机牵引小桦式犁开铧(深度:0~20 cm),然后安装大桦式犁,翻动土壤深度为 10 cm。后面的小桦式犁将耕层土壤(0~20 cm)翻入大桦式犁的犁沟之中,然后卸下大桦式犁,每次作业均是大桦式犁作业位置在小桦式犁作业位置部位之上,如此往复,完成改土作业<sup>[19-20]</sup>。

### 1.4 试验方法

本试验是 2011 年 5 月在东北农业大学香坊试验

站进行,年平均气温 3.0~3.5 ℃,>10 ℃活动积温为 2500~2700 ℃,无霜期 140~150 d,年日照时数 2550~2700 h,年降雨量 550~600 mm,土壤类型为黑钙土。选取土壤结构与类型相似的氟磺胺草醚残留地块和无残留地块,残留地块划分为 9 个 15×3 m<sup>2</sup> 区域,采用随机分配方式,设置残留对照、常规翻耕、立体休闲翻耕 3 个处理,同时,在无残留地块,划分 3 个 15×3 m<sup>2</sup> 区域,设置 CK(无残留对照),所有处理均设 3 次重复。其中浅翻深松犁工作深度为 20 cm,将 0~20 cm 土层均匀混合;土层置换犁工作深度 30 cm,将 20~30 cm 土层翻至表层,0~20 cm 土层翻至表层以下。待一个月之后,播种甜菜种子,每穴 2 粒,播种深度 5 cm,间距 15 cm。

## 1.5 测定项目与方法

### 1.5.1 土壤样品采集

播种时,在 CK、残留土壤、常规翻耕处理土壤和立体休闲翻耕土壤处理的地块,用土钻取耕作层 0~10 cm,10~20 cm,20~30 cm 土壤,随机采取 5 点土壤,混合后分为两份,一份过 2 mm 筛,捡去可见有机物,放入-20 ℃冰箱内保存,用于土壤中氟磺胺草醚残留检测;另一份新鲜土样过 2 mm 筛,用于测定土壤中微生物含量变化。

### 1.5.2 氟磺胺草醚残留的液相色谱检测方法

根据参考文献[21]的方法,将有氟磺胺草醚残留的土壤经有机相提取,旋转蒸发后,浓缩定容,通过有机膜过滤用 HPLC 分析。工作条件:色谱柱:Sunfire C18-ODS 150 mm×4.6 mm 不锈钢柱,柱温:30 ℃,进样量:20 μL,检测波长:290 nm,流动相:甲醇/水 3:1, pH 值:3.0,流速:1 mL·min<sup>-1</sup>,出峰时间:2.5~4 min。

### 1.5.3 土壤中微生物含量测定方法

将筛好的土样用四分法平均分成四份,取其中 3 份,每份中 10 g 土壤,用无菌水稀释 100 倍,并逐级稀释成 10<sup>-3</sup>、10<sup>-4</sup>、10<sup>-5</sup>,采用平板计数法分别对土壤中真菌、细菌、放线菌数量进行统计。

### 1.5.4 生物测定方法

记录苗期各叶龄期甜菜株高情况,并在甜菜出苗 8~9 叶期时,调查甜菜出苗率,同时用 CCM-300 叶绿素含量测定仪测定甜菜叶片叶绿素含量,并用电子称称量甜菜地上部分鲜重。

## 1.6 数据统计

试验原始数据的整理采用 Excel 软件完成,应用 DPS 统计软件对试验数据进行方差分析,差异显著性比较采用 Duncan's 氏新复极差法。

$$\text{恢复率}(\%) = 100 \times \frac{(\text{CK} - \text{处理})}{\text{CK}}$$

## 2 结果

### 2.1 立体休闲翻耕对氟磺胺草醚土壤残留量的分布影响

利用液相色谱对各处理 0~10 cm 土层中氟磺胺草醚残留量的分析结果如下:

图 1、图 2、图 3 为不同处理 0~10 cm 土层范围内的氟磺胺草醚残留量的液相色谱图。通过观察液相色谱图可以看出,本文所选择的流动相分离效果较好,液相色谱仪分析结果真实可靠,在 2.5~4 min 内显示的为氟磺胺草醚的残留峰,左右对称性好,4 min 时略有拖尾,可能是由于土壤中杂质太多所致,但并不影响结果分析。通过对比各处理的峰面积,可以看出立体休闲翻耕处理后氟磺胺草醚的残留量明显降低。同时本文还对不同深度土层结构中的氟磺胺草醚进行了检测,通过结合标准曲线(图 4),绘制出各处理不同深度土层氟磺胺草醚残留量图(图 5)。

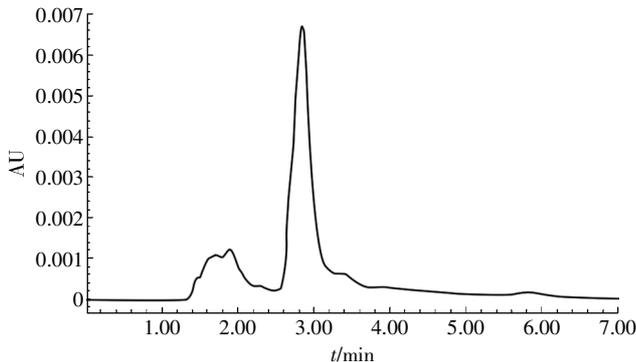


图 1 未处理 0~10 cm 土层的氟磺胺草醚残留液相色谱图

Figure 1 Chromatogram of HPLC for fomesafen in 0~10 cm soil with no treatment

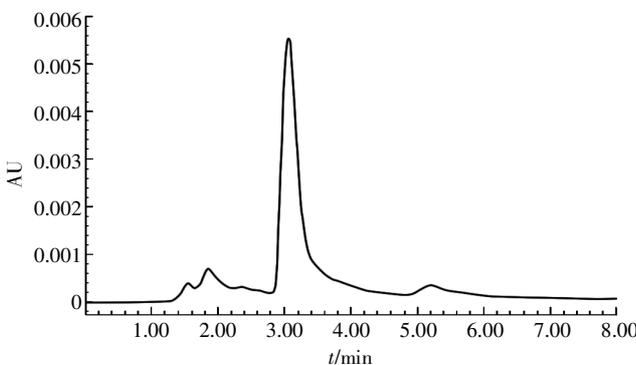


图 2 常规翻耕处理 0~10 cm 土层的氟磺胺草醚残留液相色谱图

Figure 2 Chromatogram of HPLC for fomesafen in 0~10 cm soil with conventional tillage

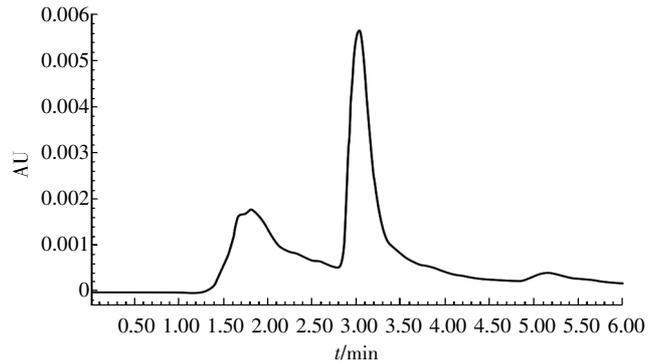


图 3 立体休闲翻耕处理 0~10 cm 土层的氟磺胺草醚残留液相色谱图

Figure 3 Chromatogram of HPLC for fomesafen in 0~10 cm soil with soil layer replacement treatment

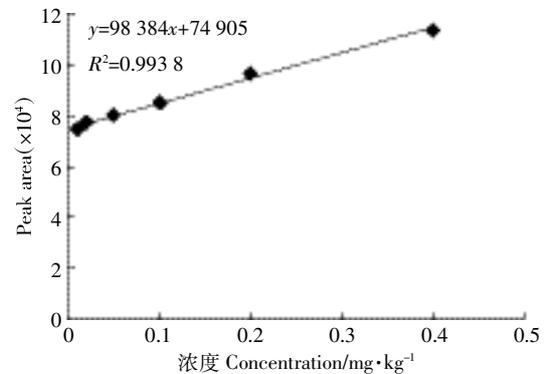
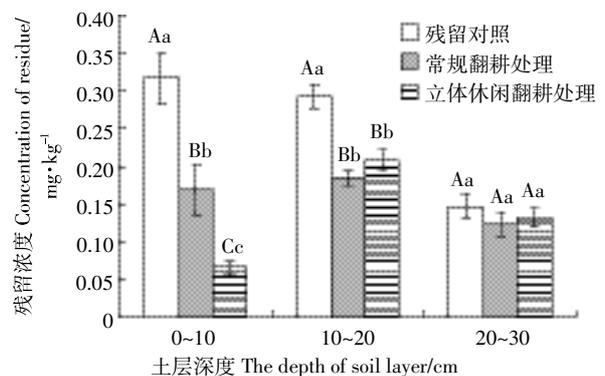


图 4 氟磺胺草醚土壤残留液相色谱分析标准曲线

Figure 4 Standard curve of fomesafen analyzed by HPLC



不同字母表示处理间差异显著,大写字母代表 0.01 显著水平,小写字母代表 0.05 显著水平。下同

Different letters indicate significant difference between treatments.

Uppercase letters stand for 0.01 level, lower case letters stand for

0.05 level. The same below

图 5 不同翻种处理对氟磺胺草醚残留分布影响

Figure 5 Concentrations of fomesafen in soil profile under different tillage methods

氟磺胺草醚在土壤中的残留变化呈明显的层次分布,随着土壤深度的增加氟磺胺草醚残留量逐渐降低,而且不同的机械翻耕技术处理,对氟磺胺草醚的

残留量分布均有明显影响。立体休闲翻耕技术处理后,表层土壤中氟磺胺草醚残留量明显降低,且与常规翻耕处理间差异达到了极显著水平,10~20 cm和20~30 cm土层中立体休闲翻耕残留量略高于常规翻耕技术,但并无明显差异。在表层土壤中氟磺胺草醚残留量降低79%,常规翻耕技术降低46%,说明立体休闲翻耕技术较常规翻耕技术提高了氟磺胺草醚的降解率,更有利于氟磺胺草醚在土壤中的降解。

## 2.2 立体休闲翻耕处理对氟磺胺草醚残留土壤微生物数量影响

采用平板计数法分别对土壤中真菌、细菌、放线菌数量进行统计,分析结果如下:

所有处理各土层细菌数目的变化(图6),在0~10 cm土层,CK>常规翻耕处理>立体休闲翻耕处理>残留对照;在10~20 cm土层,CK>常规翻耕处理>立体休闲翻耕处理>残留对照;在20~30 cm土层,CK>常规翻耕处理>立体休闲翻耕处理>残留对照。在10~20 cm土层立体休闲翻耕处理与常规翻耕处理差异不显著,而在0~10 cm和20~30 cm土层范围内细菌数量与残留对照差距达到了显著水平( $P<0.05$ ),通过累加不同土层细菌数量,可以计算出细菌总数恢复率可达到4%。

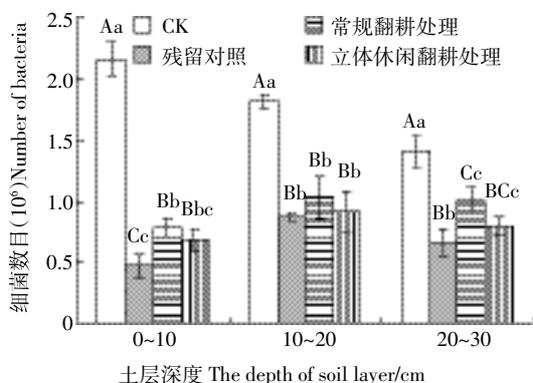


图6 不同翻耕处理对氟磺胺草醚残留土壤细菌数量影响  
Figure 6 Number of bacteria in soil profile under different tillage methods

所有处理各土层真菌数目的变化(图7),在0~10 cm土层,CK>立体休闲翻耕处理>常规翻耕处理>残留对照;在10~20 cm土层,CK>立体休闲翻耕处理>常规翻耕处理>残留对照;在20~30 cm土层,CK>立体休闲翻耕处理>常规翻耕处理>残留对照。在0~10 cm土层立体休闲翻耕处理真菌数量与残留对照及常规翻耕处理真菌数量差异均达到了极显著水平( $P<0.01$ ),在20~30 cm土层立体休闲翻耕处理真菌数量与残留对照差异达到了显著水平( $P<0.05$ ),通过累加不同土层

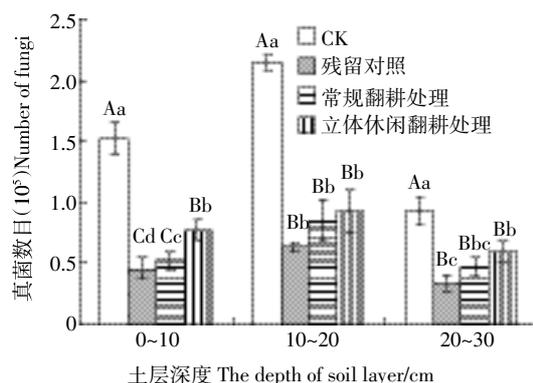


图7 不同翻耕处理对氟磺胺草醚残留土壤真菌数量影响  
Figure 7 Number of fungi in soil profile under different tillage methods

真菌数量,可以计算出真菌总数恢复率可达到29%。

所有处理各土层放线菌数目的变化(图8),在0~10 cm土层,CK>立体休闲翻耕处理>常规翻耕处理>残留对照;在10~20 cm土层,CK>常规翻耕处理>立体休闲翻耕处理>残留对照;在20~30 cm土层,CK>常规翻耕处理>立体休闲翻耕处理>残留对照,在0~10 cm土层范围内立体休闲翻耕处理放线菌数量与残留对照差异显著( $P<0.05$ ),通过累加不同土层放线菌数量,可以计算出放线菌总数恢复率达到12%。

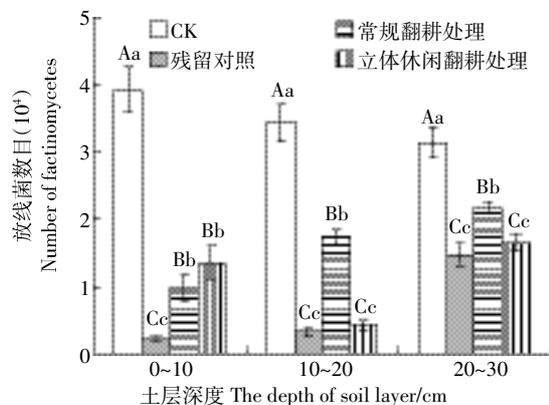


图8 不同翻耕处理对氟磺胺草醚残留土壤放线菌数量影响  
Figure 8 Number of actinomycete in soil profile under different tillage methods

根据图6、图7、图8所示,各个土层中微生物的数目变化具有明显的层次性。CK土壤中细菌和放线菌的数目随着土壤深度的增加而降低;氟磺胺草醚残留土壤处理中随着土壤深度的增加,细菌和真菌的数目先升高后减少,放线菌数目逐渐升高;常规翻耕处理后的残留土壤,随着土壤深度的增加,细菌和真菌数目先升高后降低,放线菌数目逐渐升高;立体休闲翻耕处理后的残留土壤,随着土壤深度的增加细菌和

真菌的数目先升高后减少,放线菌数目先减少后升高。

### 2.3 立体休闲翻耕处理氟磺胺草醚残留土壤后对作物敏感性的影响

甜菜易受到氟磺胺草醚残留的危害,受害的甜菜经常表现缺苗、株高矮小、失绿等症状,经立体休闲翻耕技术处理后,甜菜的受害程度明显降低,分析结果如下:

受氟磺胺草醚残留的影响,甜菜的株高受到了明显的抑制(图9)。立体休闲翻耕处理后,甜菜苗期的株高得到了明显恢复,而且恢复效果较好,与常规翻耕技术间差异显著。

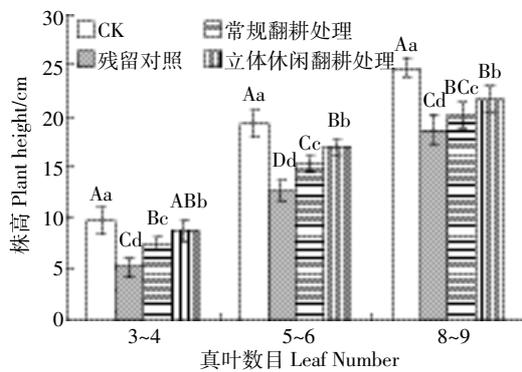


图9 不同翻耕处理对氟磺胺草醚残留土壤甜菜株高影响  
Figure 9 Plant height of sugar beet in soil profile under different tillage methods

氟磺胺草醚的残留对甜菜的出苗率、株鲜重和叶绿素含量具有较大影响(表1)。受害的甜菜出苗率、株鲜重和叶绿素含量均大幅度下降。但在立体休闲翻耕处理后,甜菜的出苗率、株鲜重和叶绿素含量均明显上升,且恢复效果较好,恢复率高于常规翻耕处理。综上所述,立体休闲翻耕技术可以缓解氟磺胺草醚残留对敏感植物影响,而且效果很好。

### 3 讨论

近些年农田杂草群落演替,难治杂草增多,氟磺

胺草醚在使用时存在随意增加用量<sup>[22]</sup>,以及喷药械不够标准、重复喷洒等问题,导致残留危害,严重影响了农业种植结构的调整和环境安全<sup>[6]</sup>。

本文利用立体休闲翻耕技术,降低了土壤中氟磺胺草醚的残留量,增大了氟磺胺草醚与空气的接触面积,促进了氟磺胺草醚的降解,表层土壤中氟磺胺草醚的降解率相对于常规翻耕技术提高了33%。根据液相色谱结果显示10~20 cm和20~30 cm土层残留量较常规翻耕技术的略高,但差异并不显著,原因可能是由于氟磺胺草醚的残留主要在表层土壤中,经立体休闲翻耕后被翻到10 cm土壤下面,导致在10~20 cm和20~30 cm这两个土层中残留量略高于常规翻耕技术,但与残留对照相比,这两个土层的残留量也大幅度降低,说明立体休闲翻耕可以提高氟磺胺草醚在土壤中的降解率。

立体休闲翻耕技术不但可以提高土壤中氟磺胺草醚的降解率,还可以改善微生物的生存环境<sup>[20]</sup>,改变微生物群落的区系分布情况,有利于微生物的繁衍。立体休闲翻耕处理后,各土层中微生物的数目与残留对照相比得到显著提高,而且真菌与放线菌的恢复效果比常规翻耕技术效果好。立体休闲翻耕技术不但可以降低氟磺胺草醚对环境的污染,还可以促进微生物生长,促进氟磺胺草醚的微生物降解,降低了氟磺胺草醚的残留对动物、植物的危害。同时,立体休闲翻耕技术减小了氟磺胺草醚残留对甜菜的危害,提高了甜菜出苗率、株高、鲜重和叶绿素含量,减小了氟磺胺草醚残留的污染。

与传统翻耕技术相比,立体休闲翻耕技术受环境因素影响小、翻耕彻底,可以有效地增加土壤中氟磺胺草醚与空气、阳光的接触面积,促进氟磺胺草醚物理降解和光解,同时立体休闲翻耕处理后,土壤中微生物数量恢复率较高,微生物的生命活动旺盛,提高了微生物的代谢作用,加强了微生物对土壤中氟磺胺草醚的分

表1 不同翻耕处理氟磺胺草醚残留土壤后对甜菜生长的影响

Table 1 Sugar beet growth in fomesafen contaminated soil under different tillage methods

处理名称	生物测定结果					
	出苗率/%	恢复率/%	株鲜重/g	恢复率/%	叶绿素含量(SPAD)	恢复率/%
CK	72.67±2.52Aa	—	18.66±1.23Aa	—	13.04±0.55Aa	—
残留对照	23.67±3.51Dd	—	11.19±1.26Cd	—	8.07±1.21Ce	—
常规翻耕处理	42.33±2.08Cc	38.09	15.26±1.31Bc	54.48	9.03±1.13BbCc	19.44
立体休闲翻耕处理	52.33±2.08Bb	58.50	16.59±0.82Bb	72.29	10.14±1.56Bb	41.78

注:大写字母代表0.01显著水平,小写字母代表0.05显著水平。

Note:Uppercase letters stand for 0.01 level, lower case letters stand for 0.05 level.

解能力,从而促进氟磺胺草醚的生物降解,比传统的翻耕技术更能达到降低氟磺胺草醚残留的目的。

#### 4 结论

本文利用环保、实用性高的立体休闲翻耕技术,不仅提高了土壤中氟磺胺草醚的降解率,改善了微生物群落区系变化,而且比常规翻耕技术翻耕更彻底,修复效果更好,可以更加有效地减少氟磺胺草醚残留的污染,提高甜菜药害的恢复率,为降低氟磺胺草醚残留的污染提供了一个新途径。

#### 参考文献:

- [1] Nougadère A, Reninger J C, Volatier J L, et al. Chronic dietary risk characterization for pesticide residues: A ranking and scoring method integrating agricultural uses and food contamination data[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2011, 49(7): 1484–1510.
- [2] Bamforth S M, Singleton I. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: Current knowledge and future directions[J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2005, 80(7): 723–736.
- [3] Soltani N, Shropshire C, Sikkema P H. Weed control in white bean with herbicide-insecticide tankmixes[J]. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 2012, 2(7): 276–285.
- [4] Liang B, Lu P, Li H, et al. Biodegradation of fomesafen by strain *Lysinibacillus* sp. ZB-1 isolated from soil[J]. *Chemosphere*, 2009, 77(11): 1614–1619.
- [5] Robinson D E, McNaughton K E. Saflufenacil carryover injury varies among rotational crops[J]. *Weed Technology*, 2012, 26(2): 177–182.
- [6] 刘友香, 王险峰. 氟磺胺草醚药害原因分析与处理[J]. *现代化农业*, 2010, 12: 8–9.  
LIU You-xiang, WANG Xian-feng. Analysis on causes of fomesafen hazard and counter measures[J]. *Modernizing Agriculture*, 2010, 12: 8–9.
- [7] Rauch B J, Bellinder R R, Brainard D C, et al. Dissipation of fomesafen in New York State soils and potential to cause carryover injury to sweet corn[J]. *Weed Technology*, 2007, 21(1): 206–212.
- [8] Potter T L, Truman C C, Webster T M, et al. Tillage, cover-crop residue management, and irrigation incorporation impact on fomesafen runoff[J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2011, 59(14): 7910–7915.
- [9] 战徊旭, 任洪雷, 蒋凌雪, 等. 氟磺胺草醚降解菌的分离鉴定及生长特性研究[J]. *作物杂志*, 2011, 2: 40–44.  
ZHAN Huai-xu, REN Hong-lei, JIANG Ling-xue, et al. Separation, identification and growth characters of herbicide fomesafen degrading-fungi[J]. *Crops*, 2011, 2: 40–44.
- [10] 李 艳, 张有林, 王 宏. 农药残留降解方法研究[J]. *食品研究与开发*, 2004, 25(6): 31–33.  
LI Yan, ZHANG You-lin, WANG Hong. Studies on the methods of degrading pesticide residues[J]. *Food Research and Development*, 2004, 25(6): 31–33.
- [11] LI Y, SUN Q, ZONG J, et al. Characteristics of fungus degeneration fomesafen[J]. *Agrochemicals*, 2009, 12: 878–882.
- [12] Yang F, Liu L, Liu C. Screening, characterization, and application of shigella flexneri FB5 in fomesafen-contaminated soil[J]. *Procedia Engineering*, 2011, 18: 277–284.
- [13] 刘建利. 农药残留生物降解的研究[J]. *长江蔬菜(学术版)*, 2008, 5b: 67–70.  
LIU J L. Progress of biodegradation of pesticides residues[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2008, 5b: 67–70.
- [14] Sikkema P H, Shropshire C, Soltani N. Response of dry bean to pre-plant incorporated and pre-emergence applications of S-metolachlor and fomesafen[J]. *Crop Protection*, 2009, 28(9): 744–748.
- [15] Zhang X X, Cheng S P, Zhu C J, et al. Microbial PAH-degradation in soil: Degradation pathways and contributing factors[J]. *Pedosphere*, 2006, 16(5): 555–565.
- [16] Cobucci T, Silva J B, Prates H T. Carryover effect of fomesafen, applied on edible bean, on successional maize[J]. *Planta Daninha*, 1997, 15(2): 180–189.
- [17] Scholtz M T, Bidleman T F. Modelling of the long term fate of pesticide residues in agricultural soils and their surface exchange with the atmosphere: Part I. Model description and evaluation[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 368(2): 823–838.
- [18] 孙绣华. 土壤中农药的降解机制探究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(31): 10036–10037.  
SUN Xiu-hua. Probe into the degradation mechanism of pesticides in soil[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(31): 10036–10037.
- [19] 高中超, 刘 峰, 张春峰, 等. 土层置换犁消除豆田残留除草剂药害的效果[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(20): 202–209.  
GAO Zhong-chao, LIU Feng, ZHANG Chun-feng, et al. Elimination of herbicide residue by soil displacing plough in soybean fields[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(20): 202–209.
- [20] 孟庆英, 贾会彬, 于忠和, 等. 土层置换对土壤微生物及土壤养分含量的影响[C]//面向未来的土壤科学(上册)——中国土壤学会第十二次全国会员代表大会暨第九届海峡两岸土壤肥科学术交流研讨会论文集. 成都, 2012.  
MENG Qing-ying, JIA Hui-bin, YU Zhong-he, et al. Effect of different sequences of soil layer disorders in a profile on soil microorganisms and nutrient status[C]//Proceedings soil science for the future(1): The soil science society of China twelfth national congress and the ninth cross-strait academic exchange conference of soil and fertilizer. Chengdu, 2012.
- [21] 郭江峰, 陆贻通, 孙锦荷. 氟磺胺草醚在花生和大豆田中的残留动态[J]. *农业环境保护*, 2000, 19(2): 82–84.  
GUO Jiang-feng, LU Yi-tong, SUN Jin-he. Residue dynamics of fomesafen in peanut and soybean field[J]. *Agro-Environment Protection*, 2000, 19(2): 82–84.
- [22] 陶 波, 李晓薇, 韩玉军. 不同吸附剂对土壤中氟磺胺草醚吸附/解吸的影响[J]. *土壤通报*, 2010, 41(4): 965–969.  
TAO Bo, LI Xiao-wei, HAN Yu-jun. Impact of different adsorbents on the sorption/desorption behavior of fomesafen on soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(4): 965–969.