

典型重金属污染农田能源植物示范种植研究

余海波^{1,2}, 宋静^{1,3*}, 骆永明^{1,3,4}, 周守标², 吴龙华^{1,3}

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室, 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008

2 安徽师范大学生命科学学院, 安徽 芜湖 241000; 3 中国科学院研究生院, 北京 100049;

4 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要: 为探索安全经济利用重金属中度-重度污染农田的模式, 在浙江某典型重金属复合污染农田开展了能源植物(甜高粱 *Sweet sorghum*、甘蔗 *Saccharum sinensis Roxb.*、香根草 *Vetiveria* 和盐肤木 *Rhus chinensis*)种植示范研究。结果表明, 经施加 0.1% 的石灰和 0.2% 的磷矿粉改良后, 土壤 pH 值升高, 有效态重金属含量显著降低。甜高粱、甘蔗和香根草的生物量受到土壤有效态重金属的一定影响。甘蔗、甜高粱汁液总糖和还原糖的含量并没有受到不同处理的显著影响。汁液的单位面积产量, 甜高粱是甘蔗的 2 倍多。研究结果说明, 在重金属污染农田施加适量的改良剂(石灰和磷矿粉)后可以进行甘蔗、甜高粱、香根草等能源植物的生产。

关键词: 土壤改良剂; 能源植物; 重金属污染; 农田

中图分类号: X53 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2011)03-0071-06

Field Demonstration of Energy Plants Production on Heavy Metal Contaminated Farmland

YU Hai-bo^{1,2}, SONG Jing^{1,3*}, LUO Yong-ming^{1,3,4}, ZHOU Shou-biao², WU Long-hua^{1,3}

(1. Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 2. Key Laboratory of Biological Resources Conservation and

Utilization, College of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China; 3. Graduate

University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Yantai Institute of Coastal Zone

Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264003, China)

Abstract To explore the possibility of safe and beneficial use of farmland moderately to heavily contaminated by heavy metals, a field demonstration of energy crop production was carried out on a heavy metal contaminated farmland in Zhejiang Province. The results showed the soil pH increased and available heavy metal contents significantly reduced after the addition of 0.1% lime and 0.2% phosphate rock. The biomass of sweet sorghum, sugar cane and vetiver was affected by available heavy metals in the soil. The total sugar and reductive sugar content of the juice from sweet sorghum and sugar cane were not significantly affected by the treatments. Sweet sorghum produced more than twice juice per unit area than sugar cane. The results showed that addition of soil amendments enabled energy crop production on farmland contaminated by heavy metals.

Key words Soil amendment; Energy plants; Heavy metal contamination; Farmland

由于工业“三废”排放、生活垃圾堆放、污水灌溉、污泥农用、长期施用化肥和厩肥等原因, 重金属不断进入农田并在土壤中积累, 导致生态环境质量逐渐恶化。表现为局部地区农产品品质下降, 可食部分污染物超标, 严重的导致农作物减产乃至绝

收稿日期: 2011-04-25

基金项目: 国家环境保护公益性基金资助项目(2010467016); 科技部国际科技合作基金资助项目(2010DFA92360)

作者简介: 余海波(1978-), 男, 安徽池州人, 硕士, 主要从事污染场地生态评价和边际土地经济再利用研究工作。

* 通讯作者: 宋静 Email: jingsong@issas.ac.cn

收, 污染区生物多样性指数减少等, 不但生态系统健康受损, 更可能通过直接或间接暴露途径威胁人体健康^[1-3]。

对于重金属轻度污染的农田, 仍可能通过土壤重金属钝化并改种非敏感品种作物来实现食用农产品的安全生产。然而, 对于重金属中度-重度污染的农田, 通过土壤重金属钝化并种植非食用农作物(如能源植物)是安全经济利用的途径之一。

根据其使用功能和转化为替代能源的化学成分, 能源植物可分为: (1)富含类石油成分的植物, 如续随子、绿玉树、油桐树等; (2)富含碳水化合物的植物, 如甜高粱、甘蔗、玉米、木薯等, 用于生产生物乙醇; (3)富含油脂的植物, 如光皮树、麻疯树、黄连木、盐肤木等, 用于生产生物柴油; (4)用于提供薪柴和木炭的植物, 如旱柳、杨树、梧桐、香根草、芒、荻等。

现以浙江某铜冶炼厂周边重金属复合污染农田为示范基地, 通过施用土壤改良剂钝化有效态重金属并进行不同类型能源植物示范种植, 为安全经济利用重金属中度-重度污染农田提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验场地概况

示范基地位于浙江某地, 属亚热带季风气候, 年平均降雨量为 1 441 mm, 年平均气温为 16.1℃, 主要土壤类型为水耕人为土和粘化湿润富铁土^[4]。自 20 世纪 50 年代起该地金属冶炼厂周围的农田受到冶炼厂废水、粉尘的污染, 土壤重金属含量严重超标^[5]。自 20 世纪 80 年代金属冶炼厂搬迁后, 该地区出现了数十家小型铜冶炼厂, 至今已有近 30 多年冶炼历史。示范基地位于某铜冶炼厂附近, 面积约 0.287 hm²。

1.2 试验材料

选用适合当地气候和土壤条件的香根草、盐肤木、甜高粱和甘蔗 4 种不同类型的能源植物。其中, 香根草苗和盐肤木种子购于江西, 雅津 1#甜高粱种子购于北京, 甘蔗苗、土壤改良剂(石灰和磷矿粉)购于当地。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

通过室内大麦根伸长毒性试验结合土壤有效态重金属分析进行了土壤改良剂筛选, 结果表明石灰是最有效的重金属钝化剂, 考虑到磷矿粉具有沉

淀重金属以及供磷的双重作用, 大田试验同时考虑石灰和磷矿粉两种处理。根据场地 pH 值和有效态重金属空间分布特征, 将示范基地分为 4 个区域, 见图 1。A 区施加 0.1% 石灰, B 区施加 0.1% 石灰和 0.2% 磷矿粉, C 区施加 0.2% 磷矿粉, D 区作为对照区, 不施加任何改良剂。石灰、磷矿粉均匀撒施于相应区域后, 翻耕耙匀。每个区域分为约 30 个小区, 小区面积 20 m² (4 m × 5 m)。每个区域每种植物种七八个小区, 相邻小区植物不同。

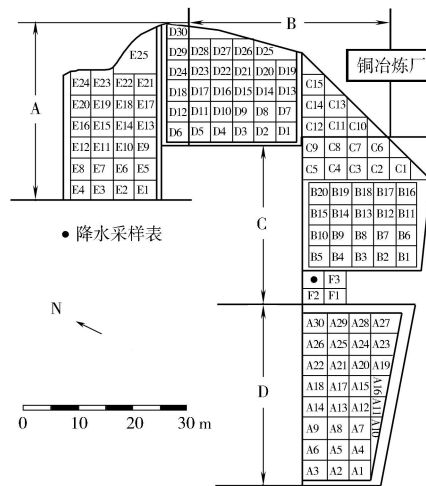


图 1 能源植物示范种植基地示意

Fig 1 Layout of the energy cropping demonstration site

1.3.2 育苗、移栽及田间管理

2008 年 4 月甘蔗和香根草移栽大田, 甜高粱、盐肤木种子于 5 月播于苗床。甘蔗的行距为 0.9 m, 香根草的行株距为 0.9 m × 0.9 m, 甜高粱的行株距为 0.65 m × 0.2 m。由专业技术人员负责田间管理, 进行必要的施肥、灌溉, 病虫害防治和除草。

1.3.3 分析测定方法

改良剂施加 1 个月后, 在每个小区采集土壤样品, 分析 pH 值和有效态重金属 (0.1 mol/L NaNO₃ 提取态) 含量, 以考察土壤改良的效果。

大田收获能源植物产量测定: 现场统计每个小区每种能源植物有效株数, 随机抽取 15%, 现场测定其产量, 然后按照比例折算出每种处理各种能源植物的鲜重产量。

甘蔗、甜高粱汁液分析: 甘蔗、甜高粱取样后蒸馏水洗净, 采用立式甘蔗榨汁机 (ZJ-300L) 榨汁,

测定每根所能产生汁液的体积, 汁液密度以及汁液还原糖和总糖含量。

1.3.4 数据处理

数据处理采用 Excel 数理统计分析采用 SPSS

13.0 空间分布采用 GIS 软件 ArcGIS 9.0

2 结果与分析

2.1 土壤改良剂的改良效果

在土壤改良剂施入大田一个月后采集土壤样品, 分析土壤 pH 值和有效态重金属 (0.1 mol/L NaNO_3 提取态) 含量。结果表明施加土壤改良剂后, 土壤 pH 值升高, 见图 2(a)(b), 有效态重金属含量明显降低, 见图 3(a)(b)(c)(d)(e)(f), 改良效果明显。

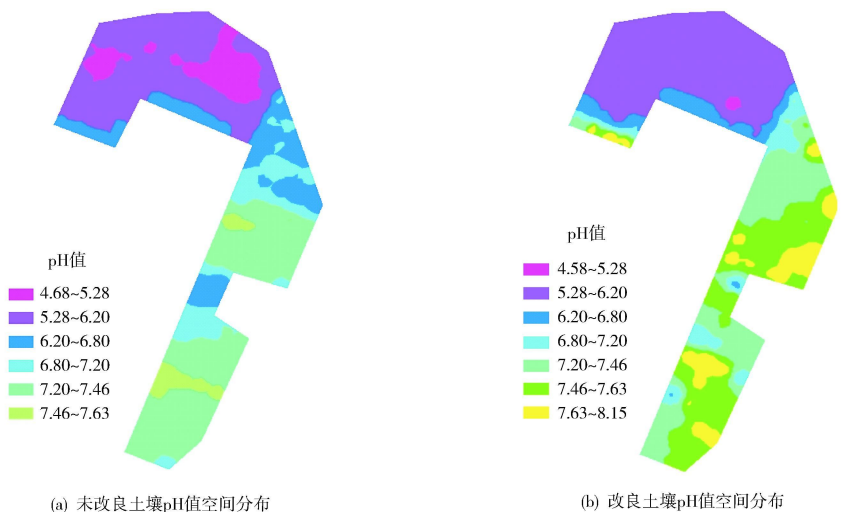
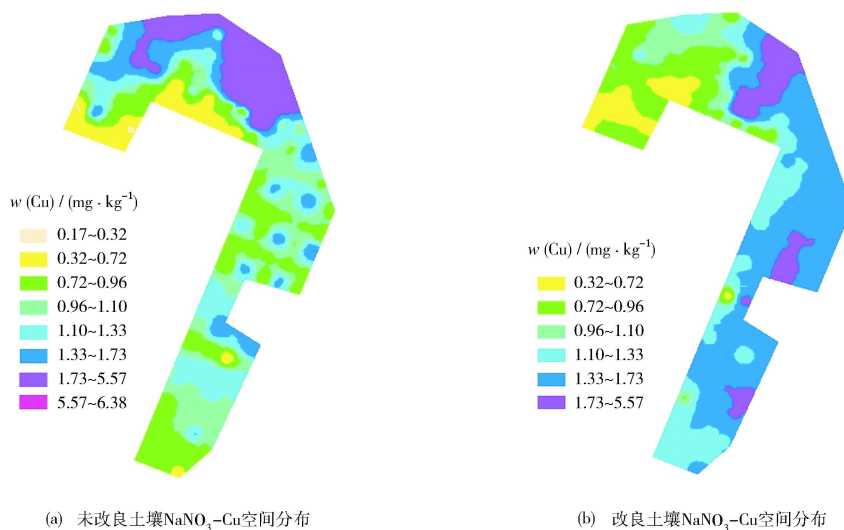


图 2 改良前后土壤 pH 值的空间分布

Fig 2 The spatial distribution of soil pH before and after the addition of an endments



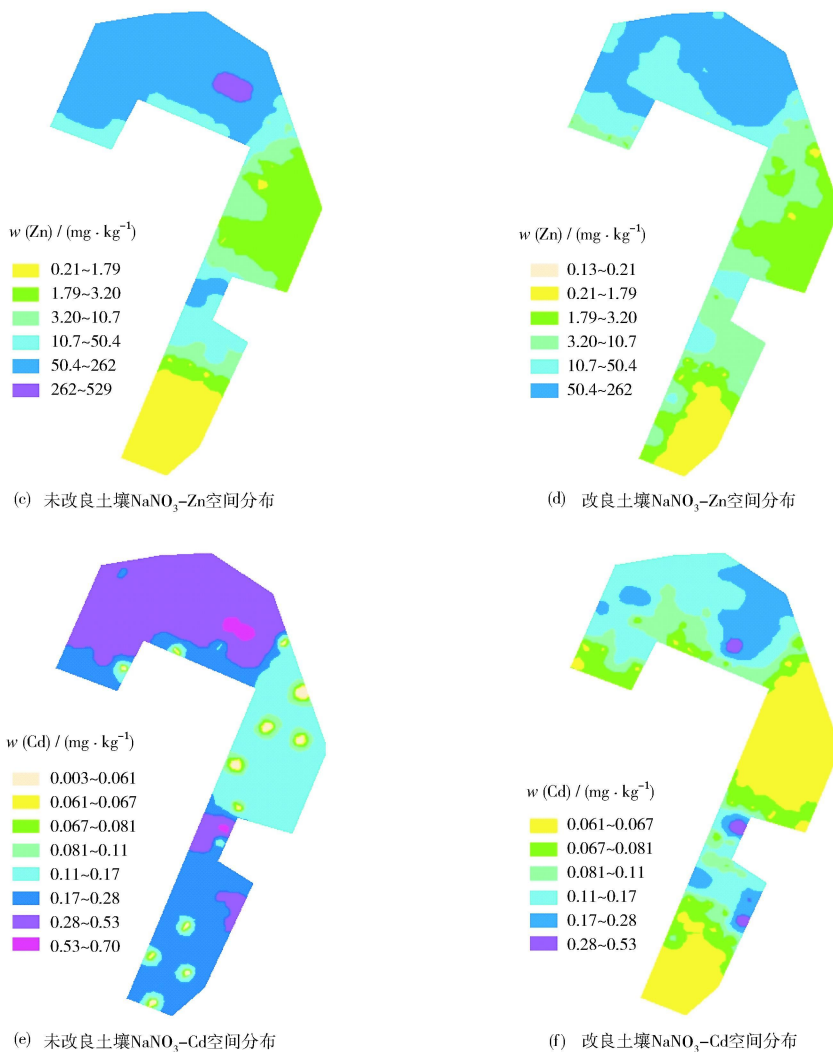


图 3 改良前后土壤 0.1 mol/L NaNO₃ 提取态 Cu, Zn, Cd 的空间分布

Fig 3 The spatial distribution of soil available Cu, Zn, Cd by 0.1 mol/L NaNO₃ extraction before and after the addition of an endments

2.2 能源植物种植示范产量分析

2008年 11月大田收获。由于盐肤木尚未结种子, 只收获甘蔗、甜高粱和香根草 3种能源植物, 现测定了 3种植物的产量, 见表 1。

2.2.1 甘蔗

由表 1可见, 选用当地的甘蔗品种, 在示范基地不同区域单产为 36 t/hm² ~ 66 t/hm²。而联合国粮农组织 (FAOSTAT) 的统计数据表明, 2002 年我国甘蔗生产的单产为 66.35 t/hm²^[6], 说明重金属污染农田具备种植甘蔗的可行性。近年来, 我国从国外引进了近百个高产、优质或具有特异性状的

甘蔗新品种 (系), 如 ROC16, ROC22, ROC25, Mex105 等, 示范区单产达 90 t/hm² ~ 130 t/hm², 大面积生产单产达 80 t/hm² ~ 90 t/hm²^[6]。如果改种高产、优质、多抗、宿根性强的甘蔗新品种, 可望进一步提高产量。由表 1 可见, 施加石灰的区域, 甘蔗单产显著高于其他 3 个区域, 说明施加石灰能够控制有效态重金属对甘蔗生长的影响。

试验中秸秆占甘蔗总重平均为 47%。据估算, 约 17 t 甘蔗 (茎秆) 可以生产 1 t 乙醇^[7]。按照此转化率计, 示范基地每公顷甘蔗可以产出生物乙醇 1.0 t ~ 1.8 t。

表 1 能源植物产量
Table 1 Energy plants yield

| 植物 | 处理 | 面积 A / m^2 | 株数 | 产量 m / kg | 单株平均产量 m / kg | 单产 $/(\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$ |
|-----|----------|---------------------|------|--------------------|------------------------|---|
| 甘蔗 | 对照 | 128 | 614 | 474 | 0.77 | 37 |
| | 磷矿粉 | 144 | 734 | 588 | 0.80 | 41 |
| | 磷矿粉 + 石灰 | 112 | 512 | 401 | 0.78 | 36 |
| | 石灰 | 112 | 778 | 735 | 0.94 | 66 |
| 甜高粱 | 对照 | 112 | 905 | 841 | 0.93 | 75 |
| | 磷矿粉 | 128 | 1108 | 983 | 0.89 | 77 |
| | 磷矿粉 + 石灰 | 112 | 813 | 481 | 0.59 | 43 |
| | 石灰 | 128 | 1054 | 755 | 0.72 | 59 |
| 香根草 | 对照 | 128 | 880 | 576 | 0.65 | 45 |
| | 磷矿粉 | 112 | 770 | 482 | 0.63 | 43 |
| | 磷矿粉 + 石灰 | 128 | 880 | 393 | 0.45 | 31 |
| | 石灰 | 112 | 770 | 364 | 0.47 | 32 |

2.2.2 甜高粱

示范基地中甜高粱在不同区域的单产为 $43 \text{ t}/\text{hm}^2 \sim 77 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。据报道^[8],我国甜高粱鲜茎秆生物量一般在 $60 \text{ t}/\text{hm}^2$,意大利北部的甜高粱年平均秸秆产量为 $56 \text{ t}/\text{hm}^2 \sim 70 \text{ t}/\text{hm}^2$ ^[9],说明重金属污染农田也具备种植甜高粱的可行性。由表 1 可见,施石灰和施磷矿粉 + 石灰区域单位面积产量分别为 $59 \text{ t}/\text{hm}^2$ 和 $43 \text{ t}/\text{hm}^2$,明显低于对照和施磷矿粉区域(平均为 $76 \text{ t}/\text{hm}^2$)。单株平均质量也有同样的规律,施石灰和施磷矿粉 + 石灰区域单株平均质量分别为 0.72 kg 和 0.59 kg 明显低于对照和施磷矿粉区域的单株平均质量(平均为 0.91 kg),这可能是甜高粱对土壤有效态重金属比较敏感。就整个示范区而言,甜高粱的平均单产为 $63.5 \text{ t}/\text{hm}^2$,甘蔗的平均单产为 $45 \text{ t}/\text{hm}^2$,甜高粱的平均单产要比甘蔗高 41%。

示范基地秸秆占甜高粱总重平均为 78%。据

估算, $16 \sim 18 \text{ t}$ 甜高粱秸秆可生产 1 t 乙醇^[10],按此转化率计,示范基地每公顷甜高粱可以产生物乙醇 $2.0 \text{ t} \sim 3.5 \text{ t}$ 。在示范项目条件下,单位面积甜高粱产生的生物乙醇量是甘蔗的 2 倍。

2.2.3 香根草

香根草品种在示范基地的不同区域的单产为 $31 \text{ t}/\text{hm}^2 \sim 45 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。土壤施石灰和施磷矿粉 + 石灰区域单位面积平均产量为 $31.5 \text{ t}/\text{hm}^2$,明显低于对照和施磷矿粉区域(平均为 $44 \text{ t}/\text{hm}^2$)。单株平均质量也有同样的规律,施石灰和施磷矿粉 + 石灰区域单株平均质量为 0.46 kg 明显低于对照和施磷矿粉区域的单株平均质量(0.64 kg),这也可能是受到土壤有效态重金属影响的结果。

2.3 甘蔗、甜高粱汁液糖分分析

甘蔗和甜高粱汁液中总糖和还原糖质量分数见图 4 (a) (b)。不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

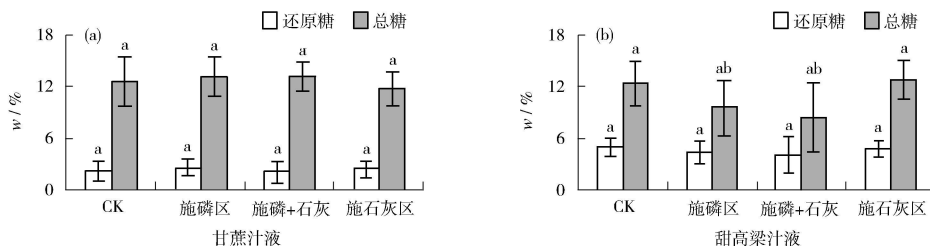


图 4 甘蔗和甜高粱汁液中总糖和还原糖质量分数

Fig 4 The percentage of total sugar and reductive sugar contents in sugarcane and sweet sorghum juice

由图 4 可见,甘蔗、甜高粱汁液总糖和还原糖的质量分数并没有受到外界环境(不同处理)的显

著影响,这与朱国辉等^[11]研究的重金属污染土壤对甘蔗糖分的影响不大相一致。甘蔗和甜高粱汁液、总糖和还原糖产出见表 2。

表 2 甘蔗和甜高粱汁液、总糖和还原糖产出

Table 2 The yield of sugarcane and sweet sorghum juice, total sugar and reducing sugar

| 甘蔗和甜高粱产出物 | 种植面积和产量 | 甘蔗 | 甜高粱 |
|-----------|--------------------------|-------|--------|
| 汁液 | 种植面积 A/m^2 | 496 | 480 |
| | 总产量 m/kg | 228 | 494 |
| | 单产 $/(kg \cdot hm^{-2})$ | 4 603 | 10 285 |
| 还原糖 | 汁液中还原糖质量分数 $\%$ | 2.4 | 4.7 |
| | 总产量 m/kg | 5.4 | 23.3 |
| | 单产 $/(kg \cdot hm^{-2})$ | 109 | 484 |
| 总糖 | 汁液中总糖质量分数 $\%$ | 12.8 | 11.0 |
| | 总产量 m/kg | 29.1 | 54.2 |
| | 单产 $/(kg \cdot hm^{-2})$ | 586 | 1 129 |

由表 2 可见,示范研究中甜高粱和甘蔗汁液中总糖的质量分数分别为 11.0% 和 12.8%,这与赵亚特^[12]等研究 12 个供试甜高粱品种(组合)茎秆总糖含量最高可达 11.26% 相一致。

甜高粱是甘蔗的近 2 倍(分别为 4.7% 和 2.4%)。从汁液的单位面积产量看,甜高粱也是甘蔗的 2 倍多(2.2 倍),这与前文甜高粱生物乙醇的单位面积产量是甘蔗的近 2 倍的结论是一致的。

3 结论

示范试验中收获的 3 种能源植物在重金属复合污染的农田土壤中生长受到有效态重金属的一定影响,施加土壤改良剂后,土壤 pH 值升高,有效态重金属含量明显降低,可以有效控制重金属对能源植物的毒害。所种甘蔗、甜高粱汁液总糖和还原糖的质量分数并没有受到外界环境(不同处理)的

显著影响,汁液的单位面积产量,甜高粱是甘蔗的 2 倍多。研究结果表明在重金属污染农田施加适量的改良剂石灰和磷矿粉可以进行甘蔗、甜高粱、香根草等能源植物的生产。

[参考文献]

- [1] 刘庆,王静,史衍玺,等. 绿色食品产地土壤重金属空间分布与污染评价[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 90-94.
- [2] MANTAA D S, BELLANCA M A A, NERIA R, et al Heavy metals in urban soils: A case study from the city of Palermo (Sicily), Italy[J]. The Science of the Total Environment 2002(300): 299-243.
- [3] 马往校,段敏,李岚. 西安市郊区蔬菜中重金属污染分析与评价[J]. 农业环境保护, 2000, 19(2): 96-98.
- [4] 姚春霞,尹雪斌,张长波,等. 浙江富阳金属冶炼厂周围水田土壤-水稻系统中 As, Se 含量特征[J]. 土壤, 2006, 38(5): 534-538.
- [5] 何勇,陆人武,濮孙伟. 富阳市小型炼铜厂周围土壤和稻谷中铜、锌、镉含量的检测[J]. 浙江预防医学, 2003, 15(12): 31-32.
- [6] 张华,陈如凯. 提升我国甘蔗核心技术竞争力的研究[J]. 甘蔗, 2003, 10(3): 49-54.
- [7] 蔡文燕,吴水金. 能源甘蔗—甘蔗糖业发展的新亮点[J]. 甘蔗糖业, 2006(3): 22-25.
- [8] 农业部科技教育司. 农业和农村节能减排十大技术手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [9] BELLETTIA, PETRNIC, M NGUZZIA, et al Yield potential and adaptability to italian conditions of sweet sorghum as biomass crop for energy-production[J]. Maydica, 1991, 36(3): 283-291.
- [10] 刘军. 燃料乙醇原料利用的比较分析[J]. 新西部, 2008(10): 40-41.
- [11] 朱国辉,罗思施,李守思,等. 重金属污染土壤能源甘蔗品种筛选及蔗汁发酵的研究[J]. 可再生能源, 2008, 26(2): 60-63.
- [12] 赵亚特,赵文婷,张启堂,等. 12 个甜高粱品种在重庆地区的生产力和总糖含量表现[J]. 杂粮作物, 2010, 30(4): 281-285.

• 简讯 •

全球禁用硫丹农药

人民网消息 《斯德哥尔摩公约》第五次缔约方大会已经在瑞士日内瓦落下帷幕。来自 127 个国家的代表们同意将硫丹列入联合国全球禁用黑名单。到 2012 年,这种被广泛使用的农药将退出全球市场。硫丹将成为第 22 个遵循《斯德哥尔摩公约》被列入清单的持久性有机污染物。

硫丹是一种用于农作物的有机氯农药,主要应用于棉花、咖啡和茶叶等农作物。研究显示硫丹可以摧毁人和动物的生殖发育系统。禁用硫丹的工作已经持续多年。

因其会对农业工作者和野生动植物造成不能接受的危险,并长期残留于环境中,2010 年 6 月,美国环保署决定全国禁用硫丹。

摘自 www. jshb.gov.cn 2011-05-23