

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2017)01-0011-07

栽培生理

## 深耕修复除草剂污染土壤提高马铃薯的产量

高中超<sup>1,2</sup>, 王秋菊<sup>1,2\*</sup>, 张劲松<sup>1</sup>, 刘峰<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086;

2. 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:** 土壤污染是导致生态环境质量下降、限制土壤生产力发挥, 制约农业发展的瓶颈问题。为了修复被除草剂污染的土壤, 试验通过深耕的方式开展被除草剂污染土壤的改土研究, 采用自主研发的土层置换犁、心土耕作犁深耕改土并与常规耕作进行对比试验。结果表明, 土层置换犁分层深耕方法可以消除土壤残留氯嘧磺隆对马铃薯敏感期生育的影响。改土后表层土壤的农药残留量较对照降低84.2%~86.7%; 深耕及心土耕可以改善土壤物理性质, 降低土壤硬度, 改变土壤三相; 深耕处理后马铃薯出苗率较对照提高7.8~10.6个百分点, 心土耕较对照提高3.1~6.1个百分点; 深耕和心土耕可以提高马铃薯干物质积累量; 深耕马铃薯总产量较对照、心土耕分别提高12.7%~22.1%、11.6%~16.9%, 商品薯产量分别提高18.0%~32.5%、13.8%~23.0%, 差异达到显著水平, 深耕效果好于心土耕。应用土层置换犁深耕法可有效消除土壤中残留除草剂对马铃薯的药害, 为促进农业种植结构调整提供技术支持。

**关键词:** 深耕; 除草剂; 残留; 污染土壤; 马铃薯; 产量

## Potato Yield of Herbicide-contaminated Soil Modified by Deep Tillage

GAO Zhongchao<sup>1,2</sup>, WANG Qiujun<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Jinsong<sup>1</sup>, LIU Feng<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086,

China; 2. Key Laboratory of Heilongjiang Soil Environment and Plant Nutrient, Harbin, Heilongjiang 150086, China)

**Abstract:** Soil pollution is considered as the bottleneck issue that often causes quality degradation of ecological environments, restriction of soil productivity and agriculture development. In order to modify herbicide-contaminated soils, deep tillage was operated on the soils to eliminate the issue, which might significantly impact the yield of sensitive after crops. Three treatments including self-developed soil-layer reverse plough, subsoil plough and conventional tillage were made to compare the effect. During potato sensitive period, deep tillage with the soil-layer reverse plough could eliminate the influence of residual herbicides, and its residual amount of herbicide on the surface soil was reduced by 84.2%-86.7% when compared with that of the conventional tillage. In both deep tillage treatments, soil physical properties were improved, soil hardness was decreased and soil three phases percentage were changed positively. Meanwhile, the potato emergence percentage of the soil-layer reverse plough treatment was 7.8-10.6 percentage point higher than that of the conventional tillage, and the subsoil plough treatment was 3.1-6.1 percentage point higher than that of the conventional tillage. The dry matter weight of potato in both deep tillage treatments were increased, and the total potato yields of the soil-layer reverse plough were increased by 12.7%-22.1% and 11.6%-16.9%, respectively, compared with the conventional tillage and subsoil tillage. In addition, the marketable tuber yields

收稿日期: 2016-09-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD06B02, 2013BAD07B01)。

作者简介: 高中超(1977-), 男, 副研究员, 硕士, 研究方向为土壤改良。

\*通信作者(Corresponding author): 王秋菊, 副研究员, 博士, 从事土壤改良研究, E-mail: bqjwang@126.com。

were increased by 18.0%-32.5% and 13.8%-23.0%, respectively, the differences being highly significant. Among the deep tillage treatments, the effect produced by the soil-layer reverse plough was better than that of the subsoil plough. Therefore, through deep tillage, phytotoxicity of residual herbicide on potato can be effectively eliminated, and the technique by using deep tillage is helpful for the agricultural planting structure adjustment.

**Key Words:** deep tillage; herbicide; residual; contaminated soil; potato; yield

除草剂污染问题是制约农业生产的关键问题之一, 黑龙江省作为全国农业大省和国家重要的商品粮生产基地, 由于长期应用除草剂, 耕地土壤面临着除草剂残留、污染等问题。2015年黑龙江省耕地面积约1 187.1万hm<sup>2</sup>, 占全国农业耕地面积12.6%<sup>[1]</sup>。农业人口平均占有耕地0.8hm<sup>2</sup>, 为全国人均占有耕地面积的4.7倍, 是全国农业生产集约化、规模化最高的省份<sup>[2]</sup>。农作物病虫草害常年发生面积约在1 000hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。特殊的农业生产条件和病虫草害发生特点决定了除草剂在农业生产中占有重要的地位, 2011年全省农药总用量(商品量)约达5.2万t, 其中除草剂约4.4万t, 占84.6%<sup>[4]</sup>。据统计, 农药使用在黑龙江省农业病虫草害鼠防控中的贡献率达到70%~80%, 投入产出比为1:12, 年平均挽回粮食损失在1 000万t以上<sup>[5]</sup>。农药在黑龙江省农业生产中对有效防治病虫草害, 提高粮食产量、加快农村劳动力转移, 推动现代农业生产集约化、规模化等都发挥了重大作用。但农药的大量应用、尤其是一些药效好高残留除草剂的使用, 以及农民缺乏对除草剂残留方面的认识和宏观技术指导, 药剂污染问题日益突出。某些地块土壤中除草剂不断积累, 导致后茬作物受害减产甚至绝产, 土壤环境受到破坏, 生态环境受到威胁<sup>[6-9]</sup>。各地在治理农药污染土壤方面做了大量工作, 相继开展了物理修复、化学修复和生物修复相关技术研究<sup>[10-12]</sup>, 并取

得一定效果。在物理修复技术中, 其中一项是工程措施, 主要包括客土、换土和深耕翻土等。客土和换土是重污染区的常用方法, 但费用高, 工作量大。对于轻度污染土壤, 原位改土是经济有效的措施。课题组前期对改良除草剂残留问题进行了相关研究, 通过土层置换深耕技术明确了改土效果及对甜菜、大豆产量的影响<sup>[13]</sup>。本研究在此基础上, 进一步调查农药污染土壤空间分布特点, 应用相应的“分层转置”深耕改土技术, 明确特殊深耕技术改良农药污染土壤的作用效果及其改土后对马铃薯生育、产量的影响, 为改良除草剂污染土壤提出有效的改土技术, 推动马铃薯产业发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2014~2015年设在黑龙江省嫩江县海江镇(N 48°32', E 125°26')和海伦市长发镇长发村(N 46°58', E 47°52'), 选择前茬应用除草剂为氯嘧磺隆75%WDG, 其施入量为75g/hm<sup>2</sup>的大豆田上进行。试验区年平均降水量550mm左右, 均属于中温带大陆性气候, 无霜期120d左右, 有效积温2 200~2 400℃。

供试土壤: 嫩江试验区土壤为中厚层黑土, 黑土层厚度30~40cm; 海伦试验区土壤为厚层黑土, 黑土层厚度40~50cm(表1)。

表1 供试土壤化学性质  
Table 1 Chemical characteristics of tested soil

地点 Site	全氮(mg/kg) Total nitrogen	全磷(mg/kg) Total phosphorus	全钾(mg/kg) Total potassium	速效氮(mg/kg) Available nitrogen	速效磷(mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Available potassium	有机质(g/kg) Organic matter	pH
嫩江 Nenjiang	230.3	51.6	172.2	191.0	12.1	87.7	34.4	6.1
海伦 Hailun	218.9	55.6	169.5	202.3	16.3	61.7	31.5	6.3

## 1.2 试验设计与方法

试验设以下3个处理:

处理1: 对照区。土壤上层0~15 cm进行翻地, 深松钩深松到土体25 cm。

处理2: 深耕区。采用自主研发的土层置换犁<sup>[14]</sup>进行分层转置(0~20和20~40 cm)深耕技术, 具体耕作方法参照高中超等<sup>[15]</sup>的方法。

处理3: 心土耕作区。土壤上层0~20 cm进行翻地, 采用自主研发的新型前置式心土耕作犁深耕到土体30~40 cm<sup>[16]</sup>。

试验于2013年秋季进行土壤耕作处理后, 耙地2次后起垄, 垄距为65 cm, 待下一年播种。小区宽13 m、长20 m, 3次重复。

供试品种为‘克新13号’, 播种密度为60 000株/hm<sup>2</sup>。化肥施用量尿素(N 46%)235 kg/hm<sup>2</sup>、磷酸二铵(N 18%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%)130 kg/hm<sup>2</sup>、硫酸钾(K<sub>2</sub>O 50%)360 kg/hm<sup>2</sup>。全部的磷肥和钾肥及1/3的氮肥作基肥, 剩余的2/3氮肥作追肥在马铃薯开花初期追施。试验区人工除草3次, 培土2次, 同正常管理。2014~2015年连续调查土层置换改土后消除药害的效果。

## 1.3 测定项目

### 1.3.1 土壤中除草剂残留量

土壤取样: 第1年秋季收获后, 采用S型5点取样法, 应用专业取土钻分层(0~10, 10~20, 20~30和30~40 cm)取土, 混合后保鲜, 带回实验室分析。

土样前处理: 100 mg土样加入100 mL 0.1 mol/L NaHCO<sub>3</sub>溶液, 搅拌, 超声振荡3 min, 在3 000 r/min离心机上离心分离10 min, 分离提取液, 重复2

次, 合并提取液约300 mL, 用盐酸酸化使pH = 2, 加2 mL甲醇, 用Empore C18固相萃取柱净化样品, 柱预先用10 mL乙酸乙酯, 10 mL甲醇, 2 × 10 mL去离子水淋洗, 并用含有样品的C18干燥柱干燥30 min, 用10 mL乙酸乙酯淋洗数次, 混合淋洗液, 用无水硫酸钠干燥, 旋转蒸发仪上浓缩, 用乙酸乙酯定容至1 L, 与重氮甲烷衍生, 用甲苯定容, 进行气相色谱分析<sup>[17]</sup>。

### 1.3.2 马铃薯生长指标调查

在马铃薯现蕾期取植株样, 每区随机选取3个有代表性的点, 每点选连续5株, 测定株高和结薯数(马铃薯薯块直径> 20 mm的个数)。植株株高采用茎基部到生长点的距离; 植株地上部干物质包括地上部茎、叶的总和, 地下部干物质包括块茎及根系总重量。

### 1.3.3 马铃薯产量调查

在马铃薯成熟期, 每区选3点, 每点面积5 m<sup>2</sup>, 实测产量, 分别记录大薯(> 150 g)、中薯(75 g < 中薯 ≤ 150 g)、小薯(50 g < 小薯 ≤ 75 g)、特小薯(≤ 50 g), 并计算大、中、小、特小薯公顷产量。商品薯定义为单个薯重量> 50 g。

## 1.4 数据分析

采用Excel 2007制图和DPS(v3.01专业版)软件进行数据分析和制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 深耕对残留除草剂空间分布影响

不同处理残留除草剂在土壤中分布特点如表2所示, 深耕改变了残留除草剂在土层(0~40 cm)中的垂直分布, 由于深耕将上下土层置换翻转, 表层

表2 残留除草剂在土壤中含量的垂直分布(mg/kg)(2014)

Table 2 Vertical distribution of herbicide-contaminated soils (mg/kg) (2014)

地点 Site	处理 Treatment	土层深度(cm) Soil depth			
		0~10	10~20	20~30	30~40
嫩江 Nenjiang	对照	0.019	0.028	0.015	0.004
	深耕	0.003	0.016	0.027	0.018
	心土耕	0.018	0.027	0.016	0.003
海伦 Hailun	对照	0.015	0.023	0.016	0.003
	深耕	0.002	0.015	0.021	0.014
	心土耕	0.018	0.027	0.014	0.002

土壤中除草剂含量较对照低 84.2%~86.7%, 对其生育不构成毒害, 随着马铃薯生长和发育, 其抗性增强, 即使根系下扎到下层土壤, 此时土壤中除草剂的量对马铃薯生育已不能产生药害。

### 2.2 深耕对土壤物理性质的影响

#### 2.2.1 深耕对土壤硬度的影响

嫩江试验区 2014 年不同耕作处理对土壤硬度

影响如图 1 所示, 深耕和心土耕作处理与对照相比, 0~50 cm 土层土壤硬度减小, 结构较疏松, 利于水气在土壤中扩散, 从而促进残留除草剂在土壤中降解。而对照处理土壤硬度大, 特别是 10~25 cm 土层大于 2 000 kpa, 透水透气较差, 不利于残留除草剂在土壤中降解。由于 0~10 cm 耕层受中耕培土影响, 不同处理间土壤硬度差异不明显。

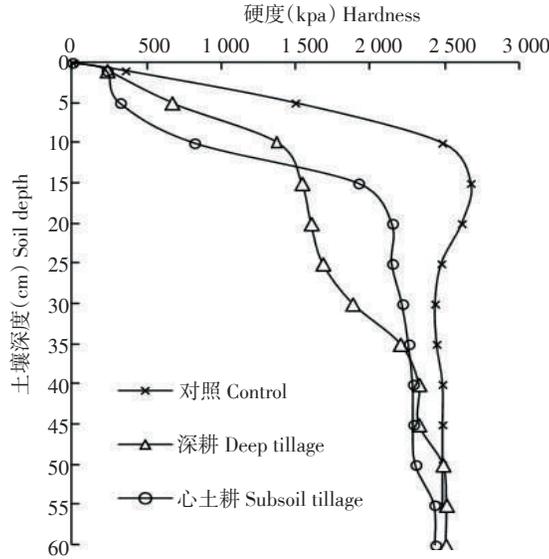


图 1 不同耕作处理对土壤硬度影响(2014年, 嫩江)

Figure 1 Soil hardness in different tillage treatments (Nenjiang in 2014)

#### 2.2.2 深耕对土壤三相的影响

不同耕作处理对土壤三相分布影响如图 2 所示, 深耕区、心土耕作区的处理与对照相比, 固相率降低, 液相、气相有所增加, 通透性增强, 特别

是 10~40 cm 土层范围内, 土壤三相比更趋于合理化, 利于土壤中水肥气热的传导, 更有利于残留除草剂在土壤中淋溶、降解, 同时土壤疏松, 利于块茎膨大。

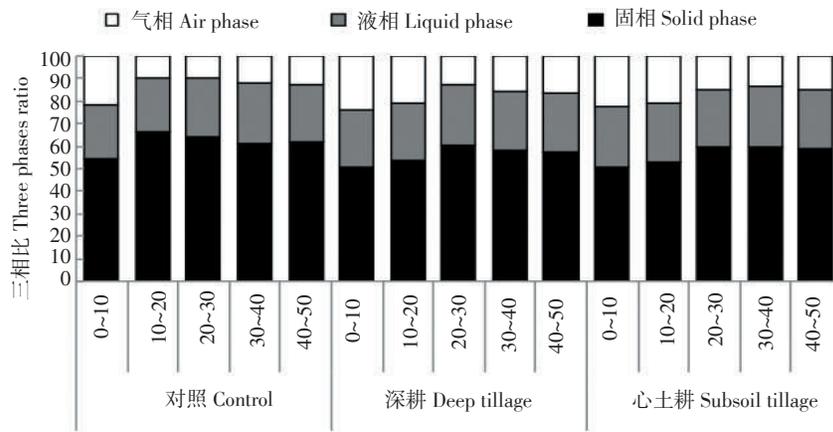


图 2 不同耕作处理对土壤三相分布影响(2014年, 嫩江)

Figure 2 Soil three-phase distribution in different tillage treatments (Nenjiang in 2014)

### 2.3 深耕对马铃薯生育的影响

#### 2.3.1 深耕对马铃薯出苗率的影响

2个试验点, 耕作方式对出苗率的影响如表3所示, 3种耕作方式对马铃薯出苗率影响差异较大。2014年的出苗率: 深耕为93.2%~94.1%、心土耕为88.7%~89.4%、对照为82.6%~86.3%; 2015年的出苗率: 深耕为91.1%~92.4%、心土耕为

88.3%~89.3%、对照为86.9%~88.2%。2014年深耕处理马铃薯出苗率较对照提高7.8~10.6个百分点, 心土耕较对照提高3.1~6.1个百分点。深耕与对照相比, 嫩江试验点连续2年均达到差异极显著水平; 海伦试验点2014年差异显著, 2015年不显著, 这可能与不同试验点土壤受残留农药污染程度有关, 心土耕与对照差异不显著。

表3 不同耕作处理对马铃薯出苗率的影响(%)

Table 3 Emergence percentage of potato in different tillage treatments

地点 Site	处理 Treatment	出苗率 Emergence percentage	
		2014	2015
嫩江 Nenjiang	对照	82.6 bB	86.9 bB
	深耕	93.2 aA	92.4 aA
	心土耕	88.7 abAB	89.3 abAB
海伦 Hailun	对照	86.3 bA	88.2 aA
	深耕	94.1 aA	91.1 aA
	心土耕	89.4 abA	88.3 aA

注: 采用LSD法进行平均数多重比较, 不同小写字母和大写字母分别表示0.05和0.01水平差异显著。下同。

Note: Treatment means are separated using LSD. Different small and capital letters indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels of probability, respectively. The same below.

#### 2.3.2 深耕对马铃薯生育指标的影响

在始花期分别在嫩江、海伦调查不同耕作处理马铃薯生育指标, 结果如表4所示。在嫩江, 2014年不同处理间株高差异显著, 其中深耕与对照相比差异极显著; 地上部分干物质重量, 心土耕处理高于深耕和对照, 差异分别达到显著和极显著水平; 地下部分干物质重量表现深耕处理分别高于心土耕和对照, 达到差异极显著水平; 结薯数表现深耕处理高于心土耕和对照, 其中深耕与对照相比差异达显著水平。2015年不同耕作处理对马铃薯的株高、结薯数影响小, 差异不显著; 但对干物质的影响, 深耕、心土耕与对照相比, 地上、地下干物质重量差异均达到极显著水平。

海伦试验点, 不同耕作处理对马铃薯株高影响, 2014年深耕与对照相比差异达到显著水平, 其他各处理间对株高影响差异不显著; 地上部分干物质重量深耕与心土耕、对照相比差异极显著, 而

心土耕与对照间差异不显著; 地下部分干物质重量受耕作措施影响最大, 各处理间差异达到极显著水平; 结薯数各耕作处理间差异不显著。2015年马铃薯干物质重量不同处理间存在差异, 地上部分干物质重量深耕与对照和心土耕间差异极显著, 地下部分干物质重量各处理间差异极显著。2年调查结果表明, 深耕利于马铃薯地下干物质积累。

#### 2.4 深耕对马铃薯产量的影响

2年的试验结果(表5)表明, 深耕处理产量较心土耕、对照处理增产明显, 分别较心土耕、对照处理增产11.6%~16.9%、12.7%~22.1%, 产量差异达到显著水平。心土耕处理较对照增产0.6%~4.3%, 但差异不显著。马铃薯商品薯产量表现深耕处理较心土耕、对照处理提高13.8%~23.0%、18.0%~32.5%, 差异达到极显著水平。心土耕与对照相比, 除嫩江试验点2014年差异显著外, 其他差异不显著。

表4 深耕对始花期马铃薯生育指标影响  
Table 4 Effects of deep tillage on potato growth at beginning of flowering period

地点 Site	年 Year	处理 Treatment	株高(cm) Plant height	地上部分干物质重量(g/株) Dry matter weight aboveground (g/plant)	地下部分干物质重量(g/株) Dry matter weight underground (g/plant)	结薯数(个/株) Tuber number (No./plant)
嫩江 Nenjiang	2014	对照	23.0 cB	24.7 cB	53.5 cC	1.8 bA
		深耕	29.6 aA	46.6 bA	125.1 aA	2.8 aA
		心土耕	26.5 bAB	49.6 aA	67.1 bB	2.2 abA
	2015	对照	49.4 aA	25.5 bB	55.2 cC	2.3 aA
		深耕	52.8 aA	51.2 aA	115.2 aA	3.3 aA
		心土耕	51.0 aA	48.1 aA	69.3 bB	2.6 aA
海伦 Hailun	2014	对照	47.9 bA	62.4 bB	66.5 cC	2.7 aA
		深耕	51.2 aA	81.7 aA	106.9 aA	3.4 aA
		心土耕	49.4 abA	66.2 bB	83.2 bB	3.0 aA
	2015	对照	49.4 aA	64.3 bB	74.6 cC	2.9 aA
		深耕	52.8 aA	84.2 aA	110.3 aA	3.5 aA
		心土耕	51.0 aA	68.3 bB	92.3 bB	3.3 aA

表5 不同耕作处理对马铃薯产量影响  
Table 5 Effects of different tillage treatments on yield of potato

地点 Site	年 Year	处理 Treatment	总产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Total yield (kg/ha)	总产增产(%) Total yield increase percentage		商品薯产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Marketable tuber yield (kg/ha)	商品薯增产(%) Marketable tuber increase percentage	
嫩江 Nenjiang	2014	对照	22 554 bB	100.0	81.9	19 442 cB	100.0	92.3
		深耕	27 543 aA	122.1	116.9	25 752 aA	132.5	122.2
		心土耕	23 571 bAB	104.3	100.0	21 066 bB	108.3	100.0
	2015	对照	31 885 bA	100.0	88.7	29 457 bB	100.0	96.4
		深耕	35 931 aA	112.7	111.6	34 767 aA	118.0	113.8
		心土耕	32 189 bA	100.9	100.0	30 554 bB	103.7	100.0
海伦 Hailun	2014	对照	29 173 bB	100.0	83.9	25 282 bB	100.0	95.6
		深耕	34 756 aA	119.1	115.7	32 529 aA	128.7	123.0
		心土耕	30 041 bB	102.9	100.0	26 436 bB	104.6	100.0
	2015	对照	36 747 bA	100.0	87.4	33 712 bB	100.0	97.2
		深耕	42 035 aA	114.4	113.7	40 485 aA	120.1	116.8
		心土耕	36 973 bA	100.6	100.0	34 667 bB	102.8	100.0

### 3 讨论

除草剂长期应用污染土壤问题, 已引起社会

广泛的关注。特别是防阔叶杂草磺酰脲类除草剂, 残效期长, 易对下茬的马铃薯、甜菜和玉米等多种作物造成药害<sup>[18,19]</sup>, 研究认为氯嘧磺隆在土

壤中经过 155~160 d 降解, 降解率平均为 98.3%~98.7%<sup>[20]</sup>, 应用后 40~48 个月内不能种植马铃薯和甜菜等敏感作物<sup>[21]</sup>。近年来修复除草剂污染土壤的技术研究已取得一定进展, 如客土、换土和深耕翻土、植物修复等。客土、换土消耗人力、物力较大, 不计成本小面积可以实施, 但是在大面积应用有一定难度。植物修复具有操作简单、成本低等特点<sup>[22-28]</sup>。虽然经济、有效, 但农民不会放弃眼前利益去种植修复农药污染的植物。除草剂在土壤空间分布特点, 主要集中在土层深度 0~20 cm<sup>[29]</sup>, 所以应用自主研发的土层置换犁进行深耕修复便于大面积推广应用, 可以收到立竿见影的效果<sup>[13]</sup>。但深耕的前提条件是黑土层厚度大于 40 cm, 另外, 在实施深耕同时有必要配合增加肥料用量以避免表层土壤养分降低而导致减产<sup>[15]</sup>。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [2] 黑龙江省统计局. 黑龙江统计年鉴 [M]. 哈尔滨: 中国统计出版社, 2015.
- [3] 胡凡, 朴英, 王洪武, 等. 黑龙江省除草剂使用情况的调查研究 [J]. 农药学报, 2015, 5(1): 25-31.
- [4] 梁桂梅. 农民安全科学使用农药必读 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [5] 苏少泉. 长残留除草剂对后茬作物安全性问题 [J]. 农药, 1998, 37(12): 4-7.
- [6] 邱小燕. 农药污染与生态环境保护 [J]. 现代农业科学, 2008, 15(8): 53-54.
- [7] 侯梅芳, 潘栋宇, 黄赛花, 等. 微生物修复土壤多环芳烃污染的研究进展 [J]. 生态环境学报, 2014, 23(7): 1233-1238.
- [8] 谭亚军, 李少南, 孙利. 农药对水生态环境的影响 [J]. 农药, 2003, 42(12): 12-14.
- [9] 郭晨. 高危农药: 健康和环境的杀手 [J]. 生态经济, 2016, 32(7): 6-9.
- [10] 骆永明. 污染土壤修复技术研究现状与趋势 [J]. 化学进展, 2009, 21(2/3): 558-565.
- [11] 卢桂宁, 党志, 陶雪琴, 等. 农药污染土壤的植物修复研究进展 [J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 189-193.
- [12] 陈菊, 周青. 土壤农药污染的现状与生物修复 [J]. 生物学教学, 2006, 31(11): 3-6.
- [13] 高中超, 刘婷婷, 张喜林, 等. 土层置换犁改土大面积示范效果 [J]. 黑龙江农业科学, 2013(1): 33-35.
- [14] 刘峰, 新家宪, 张春峰, 等. 土层置换犁: 中国, ZL200910006575.3 [P]. 2009-02-19.
- [15] 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.
- [16] 刘峰, 新家宪, 张春峰, 等. 新型前置式心土耕作犁: 中国, ZL200920150679.7 [P]. 2009-05-18.
- [17] 张淑英. 气相色谱法测定土壤中豆磺隆残留方法研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2000.
- [18] 刘金胜, 寇俊杰, 刘桂龙. 磺酰脲类除草剂的应用研究进展 [J]. 农药, 2007, 46(3): 145-147.
- [19] 苏少泉. 长残留除草剂对后茬作物安全性问题 [J]. 农药, 1998, 37(12): 4-7.
- [20] 黄春艳, 陈铁宝, 王宇, 等. 氯嘧磺隆土壤中降解动态研究 [J]. 植物保护, 2001, 27(3): 15-17.
- [21] 王险峰, 关成宏, 辛明远. 我国长残效除草剂使用概况、问题及对策 [J]. 农药, 2003, 42(11): 5-10.
- [22] Alkortal G C. Phytoremediation of organic contaminants in soils [J]. Bioresource Technology, 2001, 79(3): 273-276.
- [23] Kruger E L, Anhalt J C, Sorenson D, *et al.* Atrazine degradation in pesticide-contaminated soils [M]//Kruger E L, Anderson T A. Phytoremediation of soil and water contaminants. Washington D C: American Chemical Society, 1997: 54-64.
- [24] Zhao S H, Arthur E L, Coats J R. The use of native prairie grasses to degrade atrazine and metolachlor in soil [J]. ACS Symposium Series, 2003, 853: 157-166.
- [25] Miller E K, Dyer W. Phytoremediation of pentachlorophenol in the crested wheatgrass rhizosphere [J]. International Journal of Phytoremediation, 2002, 4(3): 223-238.
- [26] Li H, Sheng G Y, Sheng W T, *et al.* Uptake of trifluralin and lindane from water by ryegrass [J]. Chemosphere, 2002, 48(3): 335-341.
- [27] 夏会龙, 吴良欢, 陶勤南. 凤眼莲植物修复几种农药的效应 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2002, 28(2): 165-168.
- [28] 夏会龙, 吴良欢, 陶勤南. 凤眼莲植物修复水溶液中甲基对硫磷的效果与机理研究 [J]. 环境科学学报, 2002, 22(3): 329-333.
- [29] 高中超, 匡恩俊, 黄春艳, 等. 豆田残留除草剂氯嘧磺隆在土壤空间分布的研究 [J]. 大豆科学, 2010, 29(1): 80-83.