

刘 朋, 黄小宇, 杨大力, 等. 东南景天玉米轮作体系中黑网或黑膜覆盖对植物生长和镉锌含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(7): 1545–1550.

LIU Peng, HUANG Xiao-yu, YANG Da-li, et al. Effect of black-net or black-film coverage on plant growth and Cd and Zn contents in *Sedum alfredii* and corn rotation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(7): 1545–1550.

东南景天玉米轮作体系中黑网或黑膜覆盖对植物生长和镉锌含量的影响

刘 朋, 黄小宇, 杨大力, 唐 莹, 林韵深, 蒋成爱, 吴启堂*

(广东省高校土壤环境与废物资源农业利用重点实验室, 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘 要:通过小区试验对比黑网覆盖、黑膜覆盖以及空白对照的杂草控制率、作物产量以及重金属镉锌含量, 衡量覆盖黑网控草的效果。结果表明: 在东南景天小区试验中覆盖黑网对杂草的控制率3次分别为93.08%、93.12%、77.99%, 覆盖黑膜对杂草的控制率3次分别为100%、98.39%、87.39%, 两种控草方法均对杂草具有较好的控制效果; 低Cd玉米小区试验的结果与之相似。与空白相比, 覆盖黑网能显著增加东南景天产量、Cd含量和提取率; 覆盖黑网的玉米小区追施喇叭口肥后地表径流营养元素(N、P、K)浓度低于覆盖黑膜, 与对照相当。因此, 覆盖黑网能够实现有效控制杂草, 且施用化肥时不用掀开, 适合在Cd污染土壤上应用。

关键词:覆盖黑网; 控草率; 增产效果; 营养元素流失

中图分类号: X53 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2018)07-1545-06 doi:10.11654/jaes.2018-0137

Effect of black-net or black-film coverage on plant growth and Cd and Zn contents in *Sedum alfredii* and corn rotation

LIU Peng, HUANG Xiao-yu, YANG Da-li, TANG Ying, LIN Yun-shen, JIANG Cheng-ai, WU Qi-tang*

(Key Laboratory of Soil Environment and Waste Reuse in Agriculture of Guangdong High Education Institutes, College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The effects of black-net coverage, black-film coverage, and control (CK), i.e., without coverage, on weed control were studied in order to reduce the labor cost. Weed control rate, crop yield, and Cd and Zn contents of crops were measured. Field experiments were conducted with Cd-contaminated soil. Results showed that, for *Sedum alfredii* Hance plantings in field plots, the rates of weed control by black-net coverage were 93.08%, 93.12%, and 77.99% for three harvest times of weeds after cropping, whereas those by black-film coverage were 100%, 98.39%, and 87.39%, meaning both methods controlled the weeds well. In the second experiment, with low-Cd corn plantings, the results obtained were rather similar. Compared to CK, black-net coverage increased the yield of *S. alfredii*, Cd content in plants, and total Cd phytoextraction. The nutrient (nitrogen, phosphorus, and potassium) concentrations in runoff water following additional chemical fertilization after the corn flowering with the treatment of black-net coverage were lower than those of black-film coverage and similar to those of CK. Hence, black-net coverage could not only effectively control weeds, but also had advantages of permeating the rainwater through the nets and no need for opening the nets during chemical fertilization. This method is particularly suitable for application in phytoremediation of Cd-contaminated soils.

Keywords: black-net coverage; weed control; plant yields; runoff of nutrient elements

收稿日期: 2018-01-24 录用日期: 2018-04-11

作者简介: 刘 朋(1992—), 男, 湖北鄂州人, 硕士研究生, 从事土壤重金属污染治理研究。E-mail: 1031893029@qq.com

*通信作者: 吴启堂 E-mail: wuqitang@scau.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0800903); 广州市科技计划项目(201604020076); 广东省科技计划项目(2014A020216033)

Project supported: The National Key Research and Development Program of China(2017YFD0800903); The Science and Technology Project of Guangzhou City, China(201604020076); The Science and Technology Project of Guangdong Province, China(2014A020216033)

覆盖在农业种植领域应用广泛,通过改变土壤与大气相交面状况,在土壤表面形成具有缓冲作用的物理阻隔层,使土壤中水、肥、热等状况得以改善,具有保温保湿、抗虫防病、抑制杂草等功效^[1-2],此外地表进行覆盖处理可显著降低土壤温度,缓解土壤高温的出现,温差变化较小有利于作物根系的生长发育^[3-4]。水是植物生长的必要条件,植物对水分的吸收通过根系作用实现,种植区土壤的覆盖有利于减少土壤水分的蒸发,改变土壤水分在不同土层的分布,长期干旱地区覆盖处理可减少表层土壤水分的蒸发,保持土壤水分^[5]。

不同材料的覆盖效果存在极显著差异,秸秆类材料的覆盖通过它感作用及物理屏障作用可以显著抑制茶园杂草的生长,而有机酸类物质的分泌可抑制杂草种子的萌芽^[6],还可增加土壤肥力,为动植物及微生物提供所需营养^[7-8]。但是,秸秆类材料的覆盖会随着时间的延长而逐渐腐烂变薄,控草效果随之变差^[9],前期试验还表明,稻草覆盖控草效果不理想。黑膜覆盖控制杂草生长是现在流行的一种生态控草模式,黑膜覆盖调节土壤面层状况,不会出现温度剧烈变化,对植物根系生长有利^[1,2,5,11]。有研究表明黑膜覆盖能完全抑制玉米种植期田间杂草的生长,且能显著提高作物产量^[10]。但是膜材料的覆盖不利于雨水的进入,在干旱地区不利于作物生长,且不利于肥料的渗入,施肥时需要掀开黑膜,或者直接逐棵施到作物的根部,增加人工成本。所以找到一种既可以控制杂草生长,又能透水透肥的材料至关重要。无纺布及某些特殊处理的纸类物质虽可以达到控草效果且方便雨水的渗入,但是这类材料价格较昂贵,容易腐烂,控草成本较高。因此本次试验尝试化纤黑网覆盖抑制杂草,并与黑膜覆盖控草措施对比,进行作物种植,通过测定杂草生物量、作物产量等衡量措施的效果。

1 材料与方法

1.1 供试材料

抗老化特级黑色8针黑网(奥峰遮阳网编织有限公司);农用黑地膜(东莞市硕泰实业有限公司);镉/

锌超富集植物——东南景天(采自浙江衢州古老铅锌矿山)^[12];甜玉米重金属低累积品种(JZY,本课题组研究发现)^[13]。

土壤来自于华南农业大学生态试验农场某地块,基本理化性质见表1。

1.2 试验设计

1.2.1 不同控草模式种植超富集植物东南景天

本试验选址在华南农业大学某农场污染土地上,比较当下流行控草技术黑膜覆盖,本次新加入控草技术黑网覆盖以及无覆盖空白对照,种植东南景天。试验开始时间为2016年11月7日,土地平整完成后均匀划分为14个1 m×1 m的正方形地块。取经过皇竹草干化后的污泥,用木锤敲碎,然后混匀并均匀平铺在每块试验地上,施加量3 kg·m⁻²,与土壤拌匀后将14块地进行随机分布(2块地备用)。在确定土地处理方式后,按随机等量原则用竹筒在每个小区取一个样,作为试验初期土壤样品。取样完成后,进行相应的土壤处理,然后用模具进行挖孔扦插种植东南景天,种植密度为5株×5株。

试验期间月平均气温19.57℃,月平均降水95.10 mm。试验开始后,分别于2017年4月7日、5月7日以及6月7日测定了3次杂草生物量,并计算杂草控制率:杂草控制率=(空白处理杂草生物量均值-控草措施杂草生物量均值)/空白处理杂草生物量均值×100%。最后一次收集杂草的同时,收集东南景天,并取一定量的东南景天作为植物样,测定相关指标。超富集植物东南景天对重金属的提取率计算方法:植物对重金属的提取率=植物地上部分干重×干重条件测定的重金属浓度/(单位体积×修复前土壤重金属浓度×土壤容重)×100%,其中单位体积指长、宽各为1 m,厚度为20 cm,土壤容重在此取值为1.3 g·cm⁻³。

1.2.2 不同控草模式种植低Cd玉米

试验为期70 d,开始时间为2017年6月27日,试验期间月平均气温29.25℃,月平均降水249.62 mm。上一个试验结束后翻耕平整土地,原有处理不变,利用原有黑网以及新的黑膜(黑膜从地里取出后被拉伸以及缺口过大所以更换),玉米种植方式为3株×2株,每穴播3粒种子,玉米植株长到20 cm后间苗一次,每

表1 土壤基本理化性质

Table 1 Main characteristics of experimental soil

指标	pH	全氮/g·kg ⁻¹	全磷/g·kg ⁻¹	阳离子交换量/cmol·kg ⁻¹	有机质/g·kg ⁻¹	Cd/mg·kg ⁻¹	Zn/mg·kg ⁻¹
数值	4.56	0.663	0.529	7.33	18.83	0.787	54.71

穴最后留一株苗继续生长。7月26日,试验期间第一次除草并收集杂草生物量。玉米生长期间追加大喇叭口肥,施用量为 $22.5\text{ g}\cdot\text{m}^{-2[14]}$,并对每块试验小区用聚乙烯塑料板进行封挡,在小区低洼处设置两个集水器,收集每个小区的地表径流,并分析径流中氨态氮、硝态氮、磷及钾的浓度。2017年9月6日最后一次收集杂草,同时收集玉米籽粒以及茎叶并将其制作成样品备测。另外采集试验结束后的土壤,测定土壤重金属镉、锌含量。

1.3 样品的采集与测定

1.3.1 样品的采集与制备

土壤样品的采集与制备:土地平整完成后用竹筒在每个小区取一个样(取样深度0~20 cm,取3点混合成一个样),作为试验初期土壤。玉米收获后每个小区再次取一个样,取样方法同上。土壤样品取回后自然风干,剔除植物残体,磨碎过20目筛,取其中一部分土壤磨碎再过100目筛。样品均保存在自封袋中备用。

植物样品的采集与制备:新鲜的植物样收获后经过自来水冲洗干净后再用蒸馏水洗3次,切碎晾干表面水分,然后装在信封袋内,记录烘干前重量。将样品置于烘箱内105℃杀青30 min,完成后转移至65℃烘箱内烘干至恒重,记录信封袋加干样质量,两次差值为水分质量。将烘干至恒重的植物样用植物粉碎机粉碎,置于封口袋内备用。

水样的采集与制备:采集回来的水样经过离心、过滤后测定相关指标。

1.3.2 样品的测定

重金属的测定参照相关国家标准,其余指标参考《土壤农业化学分析方法》^[15](表2)。

1.4 数据处理

数据处理以及作图采用Excel 2016辅助完成,统计分析采用IBM SPSS Statistics 22中的单因素方差分析方法(One-way ANOVA),处理间的差异显著性水平设定为0.05。

表2 不同指标测定方法	
Table 2 Different indexes measurements	
指标	测定方法
水样pH	pH计电位法
水样氨氮	纳氏试剂分光光度法
水样硝酸盐	紫外分光光度法
水样总磷	过硫酸钾消解紫外分光光度法
水样总钾	原子吸收分光光度法
水样镉、锌	原子吸收分光光度法
植物含水率	常压恒温干燥法(105℃杀青0.5 h,65℃烘干至恒重)
植物重金属	GB 5009.15—2014 微波消解,原子吸收分光光度计
土壤全氮	半微量开氏法
土壤全磷	酸溶-钼锑抗比色法
土壤有机质	重铬酸钾-外加热法
土壤阳离子交换量	乙酸铵法
土壤pH	水土比2.5:1,pH计电位法
土壤镉、锌	GB/T 17138—1997,原子吸收分光光度计

2 结果与分析

2.1 轮作体系中植物生物量

2.1.1 东南景天及杂草生物量

表3是3次杂草以及东南景天生物量,可以看出覆盖黑膜与覆盖黑网对于杂草控制差异性并不显著,但是两种处理与空白对照相比差异显著,说明黑网与黑膜对杂草控制均能取得显著效果。对东南景天生物量进行统计分析可以看出,空白对照与覆盖黑膜、覆盖黑网处理之间生物量存在显著差异,但是覆盖黑膜与覆盖黑网两个处理间无显著差异,与空白对照相比均有较好的增产效果。试验进行7个月内,覆盖黑网对杂草的控制率3次分别为93.08%、93.12%、77.99%;覆盖黑膜对杂草的控制率3次分别为100%、98.39%、87.39%,表明两种覆盖处理均对杂草具有较好的控制效果。

2.1.2 玉米和杂草生物量

8月底连续数次台风侵袭导致玉米倒伏甚至折断,所以籽粒严重减产,茎叶被吹断导致茎叶产量也

表3 不同处理杂草以及东南景天生物量(kg·m ⁻²)				
Table 3 The weed and <i>Sedum alfredii</i> Hance biomass between different treatments(kg·m ⁻²)				
处理	杂草			东南景天
	第一次	第二次	第三次	
空白对照	0.795±0.313a	1.638±0.561a	1.156±0.310a	0.662±0.080b
覆盖黑网	0.055±0.040b	0.113±0.057b	0.254±0.109b	1.472±0.051a
覆盖黑膜	0	0.026±0.027b	0.146±0.099b	1.470±0.245a

注:根据Duncan法分析结果,带有不同字母的各处理平均值之间差异显著(P<0.05)。下同。
Note: Different letters indicate significant differences among treatments(P<0.05). The same below.

不够准确,但是杂草生物量几乎不受台风影响,可以正常统计。表4再次证明覆盖黑网与覆盖黑膜对杂草的控制效果均较好,且两处理间差异不显著。

2.2 轮作体系中作物的镉锌含量

2.2.1 东南景天镉锌含量及提取率

如表5所示,覆盖黑网处理的超富集植物东南景天镉含量均值达45.49 mg·kg⁻¹,显著高于覆盖黑膜和空白对照处理。覆盖黑膜处理与空白对照相比差异不显著,均值在30~40 mg·kg⁻¹之间。与覆盖黑膜相比,覆盖黑网的东南景天锌含量也显著升高。镉、锌提取率与东南景天重金属含量以及生物量相关,覆盖黑网处理镉、锌提取率最高,而空白对照东南景天受杂草影响生物量较低,所以重金属提取率也最低。

2.2.2 玉米植株和土壤镉锌含量

表6和表7为玉米籽粒、茎叶及试验结束后土壤重金属镉、锌含量,Duncan 法分析 $P>0.05$,表明各处

理不存在显著差异。由于试验中覆盖黑网处理的初期土壤重金属含量较其他两个处理稍低,所以生长的玉米茎叶及籽粒重金属含量也相对偏低,但总体并无显著差异。3种处理玉米籽粒镉含量低于国家食品安全标准限值,镉含量 $\leq 0.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (GB 2762—2017 食品安全国家标准食品中污染物限量)。试验后土壤重金属镉、锌浓度较试验前虽略有降低,但不同处理间不存在显著差异。

2.3 玉米追肥后地表径流营养元素浓度

表8为玉米追施喇叭口肥后3次地表径流水样营养元素的测定结果,取平均值后覆盖黑膜处理的无机氮、磷以及钾均大于其余两个处理,覆盖黑网和空白对照浓度相当。

3 讨论

有研究采用其他覆盖处理对恶性杂草的综合防效达85 %以上^[16-17]。本试验结果表明,覆盖黑网对杂草有相似的显著的控制效果。与无覆盖空白相比,覆盖能控制杂草的原因首先是覆盖物的物理屏障作用,其次是覆盖物对光照的阻隔作用,非透明材料覆盖能显著抑制杂草的发生,杂草生长受到抑制则有足够的空间和光照等供给目标作物,从而实现增产^[17]。本试验表明在黑网密度合适的情况下,通

表4 玉米茎叶生物量和玉米种植期间杂草生物量(g·m⁻²)
Table 4 Maize stem and leaf and weeds biomass during planting(g·m⁻²)

处理	玉米茎叶	第一次杂草	第二次杂草
空白对照	1314±455a	703±233a	573±311a
覆盖黑网	1255±290a	8±6b	18±16b
覆盖黑膜	1439±393a	3±4b	9±9b

表5 东南景天镉、锌含量及提取率
Table 5 The concentration and extraction rate of Cd, Zn in *Sedum alfredii* Hance

处理	植物镉/mg·kg ⁻¹	植物锌/mg·kg ⁻¹	镉提取率/%	锌提取率/%
空白对照	35.00±1.15b	9923±331a	0.751±0.076c	2.908±0.453c
覆盖黑网	45.49±4.60a	6061±806b	2.980±0.159a	5.888±0.876a
覆盖黑膜	38.09±3.82b	4889±320c	2.289±0.067b	4.562±0.291b

表6 玉米籽粒及茎叶重金属镉、锌浓度(mg·kg⁻¹)
Table 6 The contents of Cd, Zn in maize grains and stem leaf mixture(mg·kg⁻¹)

处理	籽粒镉	籽粒锌	茎叶镉	茎叶锌
空白对照	0.09±0.02	33.44±0.11	0.46±0.11	63.94±8.09
覆盖黑网	0.07±0.02	32.24±1.64	0.38±0.12	51.15±13.32
覆盖黑膜	0.09±0.03	40.06±8.05	0.64±0.25	58.86±12.07

表7 试验前后土壤镉、锌含量(mg·kg⁻¹)
Table 7 The contents of Cd, Zn in the soil before and after the experiment(mg·kg⁻¹)

处理	镉		锌	
	试验前	试验后	试验前	试验后
空白对照	0.76±0.17	0.72±0.29	67.28±11.63	69.44±14.60
覆盖黑网	0.58±0.27	0.49±0.25	54.84±21.09	60.20±22.88
覆盖黑膜	0.76±0.21	0.69±0.18	59.34±2.07	70.79±12.00

表8 3次地表径流营养元素浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)Table 8 Surface runoff nutrient elements concentrations three surface runoff collectes($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

项目	无机氮(硝态氮+铵态氮)			磷			钾		
	空白对照	覆盖黑网	覆盖黑膜	空白对照	覆盖黑网	覆盖黑膜	空白对照	覆盖黑网	覆盖黑膜
第一次	8.72	8.63	10.37	2.72	4.33	1.91	8.58	8.95	6.95
第二次	6.38	9.63	10.78	1.44	0.43	3.21	20.21	20.03	50.11
第三次	11.97	14.22	14.16	4.54	3.94	4.45	9.59	8.21	5.82
均值	9.02	10.83	11.77	2.90b	2.90b	3.19a	12.79	12.40	20.96

过对光照的阻隔作用,也能达到控制杂草生长的效果。而且覆盖处理与空白对照相比,东南景天生物量显著增加,说明杂草确实会影响作物产量,造成作物减产。

覆盖黑网处理的东南景天镉含量均值为 $45.49 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,覆盖黑膜处理在 $30\sim 40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,广州地区偏酸性雨水能够渗入黑网,覆盖可能活化土壤中的重金属^[18],有利于东南景天的吸收,但是该现象还有待更多的试验证实。覆盖黑膜虽然有助于控制杂草生长,但是黑膜的不透水性不利于追肥和保存水分,本试验结果也初步表明玉米追肥后地表径流营养元素氮、磷、钾浓度均存在覆盖黑网小于覆盖黑膜,而与无覆盖空白相当的现象。然而,本次试验中由于3次地表径流均较大,收集容器太小,未能全部准确收集地表径流,也没有全过程跟踪测定,因此还需要更完善的试验来准确测定。

黑网控草效果与黑膜相当,相比现有化学药物控草,该方法具有环境友好性。在经济方面,黑网价格为 $15\ 510 \text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$,本次使用的黑网在使用2年后仍然可以继续使用,按3年计算,年均控草材料成本为 $5175 \text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

4 结论

经过2次小区试验研究,得出以下初步结论:

(1)作物种植过程中覆盖黑网能有效抑制杂草生长,控草效果与覆盖黑膜相近。

(2)黑网覆盖除了能够实现有效控制杂草、节省除草人工成本外,施肥时不用掀开,玉米追肥后地表径流化肥养分浓度与无覆盖对照相当。

参考文献:

- [1] 陈远学,邓容成,方 瑾,等.不同覆盖栽培方式下四川盆地西缘玉米地土壤水温效应研究[J].土壤,2015,47(3):608-616.
CHEN Yuan-xue, DENG Rong-cheng, FANG Jin, et al. Effect of mulching and cultivation patterns on soil temperature and soil water of maize in western edge of Sichuan Basin, China[J]. Soils, 2015, 47(3): 608-

- 616.
- [2] 翟夏斐,李 强,李富翠,等.秸秆和地膜覆盖模式下土壤水热动态分析[J].土壤,2014,46(4):716-724.
ZHAI Xia-fei, LI Qiang, LI Fu-cui, et al. Soil water and heat dynamic analysis under straw and plastic film mulching modes[J]. Soils, 2014, 46(4): 716-724.
- [3] Altieri M A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1999, 74(1/2/3): 19-31.
- [4] Lagerlöf J, Wallin H. The abundance of arthropods along two field margins with different types of vegetation composition: An experimental study[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1993, 43(2): 141-154.
- [5] 郑旭霞,毛宇晓,吴嘉璠,等.盛夏覆盖对幼龄茶园土壤温湿度和杂草生长的影响[J].土壤,2016,48(5):918-923.
ZHENG Xu-xia, MAO Yu-xiao, WU Jia-fan, et al. Effects of different mulching materials on soil temperature, moisture and weed growth in new tea gardens during mid-summer[J]. Soils, 2016, 48(5): 918-923.
- [6] 韩 敏,李粉华,张海艳,等.不同控草措施对丘陵茶园杂草的防除技术研究[J].江西农业学报,2014,26(7):55-58.
HAN Min, LI Fen-hua, ZHANG Hai-yan, et al. Study on weed control with different control measures in tea garden in hilly[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2014, 26(7): 55-58.
- [7] 韩新忠,朱利群,杨敏芳,等.不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(11):2192-2199.
HAN Xin-zhong, ZHU Li-qun, YANG Min-fang, et al. Effects of different amount of wheat straw returning on rice growth, soil microbial biomass and enzyme activity[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(11): 2192-2199.
- [8] 张 星,刘杏认,张晴雯,等.生物炭和秸秆还田对华北农田玉米生育期土壤微生物量的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(10):1943-1950.
ZHANG Xing, LIU Xing-ren, ZHANG Qing-wen, et al. Effects of bio-char and straw direct return on soil microbial biomass during maize growth season in North China Plain[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2015, 34(10): 1943-1950.
- [9] 孙厚俊,赵永强,杨冬静,等.秸秆还田后麦田杂草发生规律及防治技术研究[J].广西农学报,2016,31(6):1-4.
SUN Hou-jun, ZHAO Yong-qiang, YANG Dong-jing, et al. Weeds emergence regulation and control technologies research in wheat field with straws returning[J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2016, 31(6): 1-4.
- [10] 杨彩宏,冯 莉,田兴山,等.移栽甜玉米田覆盖控草技术[J].杂草学报,2013,31(3):36-39.
YANG Cai-hong, FENG Li, TIAN Xing-shan, et al. Coverage of weed control technology in the transplanted sweet corn field[J]. Weed Sci-

- ence, 2013, 31(3):36-39.
- [11] 李 毅, 王文焰, 门 旗, 等. 宽地膜覆盖条件下土壤温度场特征[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3):33-36.
- LI Yi, WANG Wen-yan, MEN Qi, et al. Field characters of soil temperature under the wide plastic-mulch[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2001, 17(3):33-36.
- [12] Ye H B, Yang X E, He B, et al. Growth response and metal accumulation of *Sedum alfredii* to Cd/Zn complex: Polluted ion levels[J]. *Bulletin of Botany*, 2003, 45(9):1030-1035.
- [13] 谭 蒙. 化学淋洗联合植物修复处理重金属污染土壤研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- TAN Meng. Remediation of heavy metal contaminated soil by chemical leaching and phytoremediation combined technology[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
- [14] 中华人民共和国农业部种植业管理司. 2017年春季主要农作物科学施肥指导意见[EB/OL]. (2017-03-30). http://www.zzys.moa.gov.cn/gdyflgl/201703/t20170330_5546160.htm.
- Department of Plantation Management of Ministry of Agriculture, People's Republic of China. Scientific fertilization guidelines for main crops in spring 2017[EB/OL]. (2017-03-30). http://www.zzys.moa.gov.cn/gdyflgl/201703/t20170330_5546160.htm.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU Ru-kun. Soil and agro-chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Science & Technology Press, 2000.
- [16] 史双院, 黄 晓, 代侃韧, 等. 果园化学控草技术及其注意事项[J]. 西北园艺: 果树专刊, 2014(1):9-11.
- SHI Shuang-yuan, HUANG Xiao, DAI Kan-ren, et al. Chemical weed control technology and correlation matters needing attentions in orchard[J]. *Northwest Horticulture: Fruit Tree Special Issue*, 2014(1):9-11.
- [17] 朱文达, 张朝贤, 魏守辉. 农作措施对油菜田杂草的生态控制作用[J]. 华中农业大学学报: 自然科学版, 2005, 24(2):125-128.
- ZHU Wen-da, ZHANG Chao-xian, WEI Shou-hui. Ecological weed control by agronomic practices in rape fields[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Natural Science Edition*, 2005, 24(2):125-128.
- [18] 卫泽斌, 郭晓方, 吴启堂, 等. 混合螯合剂的不同施加方式对重金属污染土壤套种修复效果的影响[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(1):29-34.
- WEI Ze-bin, GUO Xiao-fang, WU Qi-tang, et al. Effects of different application methods of mixed chelators on remediation of heavy metal contaminated soil in interplanting system[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2016, 37(1):29-34.