

王启龙, 卢楠, 魏样. 不同改良措施对定边盐碱地土壤理化性质、黑麦草生长及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(11): 282–286.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.11.063

# 不同改良措施对定边盐碱地土壤理化性质、黑麦草生长及产量的影响

王启龙<sup>1,2,3</sup>, 卢楠<sup>1,2,3</sup>, 魏样<sup>1,2,3</sup>

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西西安 710075; 2. 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西西安 710075;  
3. 国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西西安 710075)

**摘要:**为探究不同改良措施改良盐碱地效果, 采用田间试验和室内分析相结合的方法, 以牧草和绿肥兼用型黑麦草作为供试作物, 研究覆沙、覆秸秆和施加改良剂 3 种处理措施对重度盐碱地土壤结构、理化性质、黑麦草生长和产量的影响, 以及施用脱硫石膏对 0~20 cm 土层土壤和黑麦草中重金属含量的影响。结果表明, 与对照相比, 通过改良措施 0~20 cm 土壤含盐量降低 1.16~2.22 g/kg, pH 值下降 0.05~0.94, 容重降低 0.06~0.12 g/cm<sup>3</sup>, 土壤理化性状得到改善; 黑麦草出苗率提高 43.35%~69.95%, 3 茬黑麦草鲜草总产量提高 34.24%~92.04%; 施用脱硫石膏会显著增加土壤中汞(Hg)、铅(Pb)、砷(As)和铬(Cr)的含量和黑麦草叶片中 Pb、As、Cr 的含量, 但土壤重金属含量未超过 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》规定的二级土壤使用标准, 黑麦草中重金属含量检测符合 GB 13078—2001《饲料卫生标准》的规定。此外, 本研究还表明, 对于定边县盐碱地 3 种盐碱地改良措施以施加脱硫石膏效果最好, 可在同类型盐碱地大力推广应用。

**关键词:**脱硫石膏; 盐碱地; 黑麦草; 土壤理化性质; 重金属

**中图分类号:** S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)11-0282-04

近年来, 随着我国社会和经济的高速发展, 工业化、城市化的进程不断加快以及人口的持续增长, 我国耕地数量和质量不断下降, 粮食安全面临巨大风险。盐碱土作为我国目前资源量最大的后备土地资源, 根据第二次全国土壤普查资料, 我国现有盐土 1 600 万 hm<sup>2</sup>, 碱土 81.99 万 hm<sup>2</sup>, 各类盐渍化土壤 1 800 万 hm<sup>2</sup>。迄今为止, 尚有 80% 左右的盐渍土尚未得到有效的开发利用, 有着巨大的开发潜力<sup>[1]</sup>。陕西省目前仍有盐碱地面积约 14 万 hm<sup>2</sup>, 其中耕地占 79.7%, 林地、园地、牧草地共占 16.9%, 未利用地占 3.4%; 且盐碱化程度趋于严重, 中、重度盐碱地占 75% 左右, 万亩(1 hm<sup>2</sup> = 15 亩)以上集中连片的盐碱地超过 300 个<sup>[2]</sup>。不断加大盐碱地治理力度, 对增加农民收入、保障重要农产品有效供给、保护生态安全等具有重要意义。

近几年国内对陕北盐碱地研究较多, 并取得了一定的成就, 陕西省农业科学院通过实地调研发现, 覆沙压盐措施在榆林市多个县区的盐碱地改良中得到广泛应用, 尤其是在温度较低、地下水位高和土壤盐渍化较重的地区, 改良效果尤为显著, 根据土壤的盐碱程度确定覆沙厚度, 中、重度盐碱地一般取 5~10 cm 比较合适<sup>[3]</sup>。李芙蓉等通过田间微区试验研究表明, 秸秆表层覆盖可以有效降低潜水层蒸发量, 增加土壤蓄水空间和入渗能力, 提高水分利用率, 具有明显的保墒和抑盐效果, 有利于作物生长<sup>[4]</sup>。肖国举等通过田间试验研究得

出, 施用脱硫石膏可以显著改善中、重度盐碱地土壤含盐量、碱化度、总碱度和 pH 值, 且脱硫石膏最佳施用量为 20 000 kg/hm<sup>2</sup><sup>[5]</sup>。

盐渍化土壤的形成是一个长期且复杂的过程, 由于不同区域的盐碱土成土母质、自然环境等因素存在较大差异, 各改良措施间盐碱化改良效果相差较大<sup>[6-7]</sup>。本研究以耐寒、耐旱、耐盐碱的绿肥兼饲草——黑麦草为供试作物, 在陕北定边干旱区进行重度盐碱地改良试验, 对比分析不同改良措施下土壤理化性质动态变化及作物生长状况, 以期对陕北地区盐渍化土壤改良利用提供理论参考与技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于陕西省西北部榆林市定边县(107°15′~108°22′E、36°49′~37°53′N), 平均海拔 1 605 m, 属于温带半干旱大陆性季风气候, 年平均气温 7.9℃, 年平均降水量 316.9 mm, 年平均无霜期 141 d 左右, 年平均日照 2 600 h, 能完全满足作物对光热的需要, 是全国最佳的黑麦草适生区之一。定边县有 19.20 万 hm<sup>2</sup> 耕地, 7.33 万 hm<sup>2</sup> 盐碱地, 其中重度盐碱地 4.27 万 hm<sup>2</sup>、中度盐碱地 1.93 万 hm<sup>2</sup>、轻度盐碱地 1.13 万 hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。2016 年试验开始前测定土壤基本理化性状, 测定结果见表 1。

### 1.2 试验材料与设计

试验共设 4 个处理, 分别为空白对照、覆沙、覆秸秆(玉米秸秆)、施加盐碱地改良剂(脱硫石膏)。覆沙厚度、覆秸秆量和施加脱硫石膏量均参考中、重度盐碱地的田间最佳施用量, 分别为 10 cm、7 500 kg/hm<sup>2</sup> 和 20 000 kg/hm<sup>2</sup>。试验采用

收稿日期: 2018-01-30

基金项目: 陕西省重点科技创新团队计划(编号: 2016KCT-23)。

作者简介: 王启龙(1990—), 男, 山东潍坊人, 硕士, 主要从事土地整治工程技术研究。E-mail: wql199008@126.com。

表 1 试验地基本土壤理化性质

土层 (cm)	pH 值	水溶性总盐含量 (g/kg)	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (%)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
0~20	9.21 ± 0.14	6.84 ± 0.12	2.47 ± 0.05	0.25 ± 0.05	0.25 ± 0.04	32.77 ± 3.02
20~30	9.19 ± 0.09	7.06 ± 0.10	2.28 ± 0.03	0.46 ± 0.04	0.34 ± 0.02	33.02 ± 2.14
30~50	9.01 ± 0.21	7.11 ± 0.11	4.47 ± 0.03	0.32 ± 0.04	0.39 ± 0.03	38.75 ± 2.03
50~70	9.14 ± 0.12	6.98 ± 0.07	2.53 ± 0.05	0.31 ± 0.05	0.43 ± 0.07	19.56 ± 1.14

随机区组设计,每个处理设置 3 个重复,试验小区面积为 3 m × 5 m。种植黑麦草品种为中国农业科学院草原研究所研制的伊犁特。

2016 年 9 月 10 日人工开沟等距离条播,黑麦草用种量为 20 kg/hm<sup>2</sup>,基本苗种植密度为 350 万~400 万株/hm<sup>2</sup>。采用底肥与追肥相结合的方式施肥,播种时一次性施入磷酸二胺 200 kg/hm<sup>2</sup>。分蘖期施入尿素 50 kg/hm<sup>2</sup>、氯化钾 35 kg/hm<sup>2</sup>。黑麦草刈割后第 2 天,采用尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>、氯化钾 10 kg/hm<sup>2</sup> 兑水浇灌 1 次,并及时除虫和杂草。

### 1.3 样品采集与处理

1.3.1 土壤与植株样品的采集与处理 2016 年 9 月 10 日至 2017 年 10 月 23 日,在黑麦草不同时期,从每个小区采集 0~20 cm 土层样品测定土壤水溶性盐总量、pH 值、容重。2017 年 10 月黑麦草鲜草收割后,在对照和施加脱硫石膏 2 个处理区采集 0~20 cm 混合土样 9 个,测定施用脱硫石膏后土壤中镉(Cd)、汞(Hg)、铅(Pb)、硒(Se)、砷(As)、铬(Cr)等重金属含量。

2016 年黑麦草鲜草收获时,分别在对照、施加脱硫石膏 2 个处理区各采集 16 份黑麦草叶片,用于测定施用脱硫石膏后黑麦草叶片中 Cd、Hg、Pb、As、Cr 等重金属的含量变化。采集的样品在室内用自来水和去离子水冲洗干净,在鼓风烘箱内 90 ℃ 杀青 30 min,后于 90 ℃ 烘至恒质量,粉碎过筛后装瓶备用。

1.3.2 测定方法 质量法测定水溶性总盐含量;电位法测定土壤 pH 值(水:土=5:1,质量比);环刀法测定土壤容重;土壤和黑麦草叶片中的重金属 Cd、Hg、Pb、As、Cr 含量采用电感耦合等离子体质谱法(GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》)测定<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同改良措施对盐碱地土壤理化性质的影响

2.1.1 土壤含盐量 盐碱地土壤中的盐分具有“盐随水走”的运动规律,土壤含盐量受降水和灌溉的影响较大<sup>[9]</sup>。由图 1 可知,覆沙、覆秸秆、施加脱硫石膏 3 种处理 2016—2017 年土壤耕层盐分含量总体呈先升高后缓慢降低趋势,2016 年平均盐分含量分别为 4.68、4.21、3.85 g/kg,3 种处理相比天然对照区 0~20 cm 土层土壤的含盐量平均值分别降低 0.56、1.03、1.39 g/kg。2016 年各处理耕层土壤含盐量略有增加,一方面是因为第 1 年开垦农田土壤理化性质差,透水性不好,盐分背景值较高,耕种、灌溉过程中淋洗效果不明显,地表多处出现积水现象;另一方面是由于 2016 年研究区地下水位较高、矿化度高、蒸发量大,深层土壤盐分受地表强烈蒸发随水上移到耕层。

2017 年度各个处理 0~20 cm 土层土壤含盐量明显低于

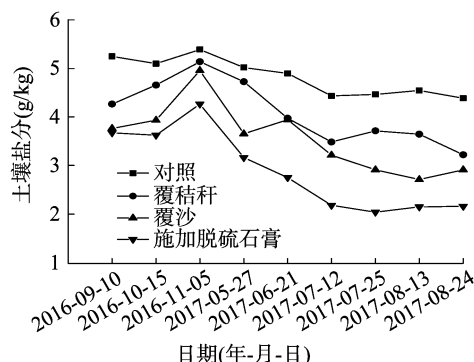


图 1 不同改良措施 2016—2017 年 0~20 cm 土层土壤含盐量变化

2016 年,一方面农田耕作措施以及盐碱地改良措施增加了 0~20 cm 土层土壤各种养分含量,改善了土壤结构和理化性状,灌溉时能够有效地将土壤盐分淋洗到更深层;另一方面 2017 年 5—8 月研究区地下水位低,高矿化度地下水对 0~20 cm 土层土壤的含盐量影响较小。

从 2 年的土壤含盐量的监测结果综合来看,覆沙、覆秸秆、施加脱硫石膏 3 种改良措施均有助于降低土壤盐分,不同改良措施降低土壤盐分的顺序为施用脱硫石膏 > 覆沙 > 覆秸秆。

2.1.2 土壤 pH 值 从表 2 可以看出,不同改良措施下的耕层土壤 pH 值在 2016 年和 2017 年黑麦草生长期均比对照低。2017 年 8 月 24 日,覆秸秆、覆沙和施加脱硫石膏的耕层土壤 pH 值分别比对照降低 0.05、0.18 和 0.94。方差分析结果显示,在耕层土壤 pH 值的相同监测期内,覆秸秆处理和覆沙处理的土壤 pH 值与对照之间总体不存在显著差异。施加脱硫石膏处理的耕层土壤 pH 值比对照显著降低,2016 年平均比对照降低 0.63,2017 年平均比对照降低 0.96,说明通过施加脱硫石膏进行盐碱地改良,对第 2 年的土壤仍有影响。

2.1.3 土壤容重 盐渍土的容重一般偏大、结构紧实、土壤团粒结构少、透水透气性较差,改良与利用较为困难<sup>[10-11]</sup>。2017 年第 2 茬黑麦草收获后各层土壤容重测定结果(表 3)表明,通过改良措施可有效降低土壤容重、改善土壤物理性质。3 种改良措施以施用脱硫石膏对土壤物理性状的改善效果最好。从 2016 年的数据可以看出,覆秸秆对 0~60 cm 土层土壤容重无显著性影响,覆沙和施加脱硫石膏显著降低了 0~20 cm 土层土壤容重,但对更深层的土壤容重无显著性影响。另外,从 2017 年数据可以看出,3 种改良措施对土壤容重均有显著的改善作用。

### 2.2 不同改良措施对黑麦草鲜草产量的影响

由表 4 可以看出,3 种不同改良措施均可显著提高黑麦草的出苗率,覆沙、覆秸秆和施用脱硫石膏的出苗率分别比对照提高 54.19%、43.35%、69.95%,2016 年黑麦草鲜草产量

表 2 不同改良措施对耕层土壤 pH 值的影响

处理	2016 年耕层土壤 pH 值			2017 年耕层土壤 pH 值					
	09-10	10-15	11-05	05-27	06-21	07-12	07-25	08-13	08-24
对照	9.13±0.12a	9.12±0.11a	9.11±0.12a	9.22±0.11a	9.18±0.13a	9.11±0.09a	9.09±0.18a	9.14±0.16a	9.01±0.21a
覆秸秆	9.13±0.08a	9.05±0.15a	9.07±0.07a	9.12±0.08b	9.11±0.17a	9.03±0.24a	9.01±0.12a	8.98±0.13b	8.96±0.23a
覆沙	9.11±0.21a	9.07±0.16a	9.15±0.13a	9.09±0.15b	9.11±0.15a	9.03±0.07a	8.98±0.13a	8.87±0.14b	8.83±0.15a
脱硫石膏	8.62±0.11b	8.51±0.09b	8.35±0.13b	8.32±0.13c	8.21±0.15b	8.11±0.08b	8.20±0.13b	8.05±0.18c	8.07±0.14b

注:同列数据后不同小写字母表示同一时间不同处理在 0.05 水平差异显著,下表同。

表 3 不同改良措施下的土壤容重

年份	处理	不同土层土壤容重(g/cm <sup>3</sup> )			
		0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
2016 年	对照	1.46±0.05a	1.54±0.04a	1.43±0.03a	1.45±0.06a
	覆秸秆	1.45±0.03a	1.52±0.11a	1.43±0.05a	1.46±0.04a
	覆沙	1.39±0.21b	1.46±0.05b	1.43±0.02a	1.43±0.02a
	施加脱硫石膏	1.37±0.11b	1.47±0.03b	1.44±0.09a	1.44±0.05a
2017 年	对照	1.45±0.09a	1.52±0.01a	1.45±0.06a	1.45±0.11a
	覆秸秆	1.42±0.03b	1.43±0.08b	1.41±0.07b	1.43±0.09b
	覆沙	1.39±0.05c	1.42±0.11b	1.41±0.06b	1.42±0.03b
	施加脱硫石膏	1.35±0.07d	1.38±0.09c	1.39±0.03c	1.41±0.07c

表 4 不同改良措施对黑麦草鲜草产量的影响

处理	出苗率		2016 年第 1 次刈割		2017 年第 2 次刈割		2017 年第 3 次刈割	
	平均值 (%)	增加百分率 (%)	平均值 (kg/hm <sup>2</sup> )	增加百分率 (%)	平均值 (kg/hm <sup>2</sup> )	增加百分率 (%)	平均值 (kg/hm <sup>2</sup> )	增加百分率 (%)
对照	50.75c	—	5 120c	—	5 652c	—	5 256c	—
覆秸秆	78.25b	54.18	8 235b	60.84	9 023ab	59.64	8 387b	59.57
覆沙	72.75b	43.35	7 129bc	39.24	7 253b	28.33	7 135bc	35.75
施加脱硫石膏	86.25a	69.95	10 879a	112.48	10 115a	78.96	9 786a	86.19

分别比对照增加 60.84%、39.24%、112.48%,表明 3 种不同改良措施均有提高黑麦草出苗率和产量的效果。2016 年施用脱硫石膏鲜草产量最高,收获了 1 茬黑麦草后,2017 年鲜草产量仍以脱硫石膏试验小区的最高,结果表明,第 1 年的改良措施对第 2 年的鲜草产量仍有显著的增产效果。施用脱硫石膏的 3 茬黑麦草产量分别比对照平均提高 5 759、4 463、4 530 kg/hm<sup>2</sup>,平均增产 112.48%、78.96%、86.19%。

2.3 施用脱硫石膏对耕层土壤和黑麦草重金属含量的影响  
作为燃煤电厂的废弃物,脱硫石膏含有一些重金属元素,这些重金属元素随着施用脱硫石膏改良盐碱地而进入土壤

中,为了探明施用脱硫石膏对土壤环境、黑麦草、饲草安全性的影响,对施用脱硫石膏的 0~20 cm 土层土壤和 2017 年收获的黑麦草叶片中 Cd、Hg、Pb、As、Cr 含量进行检测。测定结果(表 5)表明,施用脱硫石膏会显著增加土壤中 Hg、Pb、As、Cr 的含量和黑麦草叶片中 Pb、As、Cr 的含量。其中土壤中 Hg、As、Pb 和 Cr 含量分别比对照增加 0.02、0.48、0.92、0.77 mg/kg。黑麦草叶片中未检测到 Cd 含量,Hg 含量较对照未增加,Pb、As 和 Cr 含量随着脱硫石膏施加比对照显著增加。0~20 cm 土层土壤和黑麦草叶片中 Cr 含量最高,其次是 Pb、Hg 和 Cd 的含量较少。

表 5 施加脱硫石膏对 0~20 cm 土层土壤和黑麦草叶片中重金属含量的影响

样品	处理	Cd 含量 (mg/kg)	Hg 含量 (mg/kg)	Pb 含量 (mg/kg)	As 含量 (mg/kg)	Cr 含量 (mg/kg)
土壤	对照	0.03±0.00a	0.11±0.00b	1.19±0.02b	1.43±0.00b	1.58±0.03b
	施加脱硫石膏	0.03±0.00a	0.13±0.00a	2.11±0.01a	1.91±0.01a	2.35±0.02a
黑麦草	对照	ND	0.03±0.00a	0.89±0.00b	0.01±0.00b	1.21±0.01b
	施加脱硫石膏	ND	0.03±0.00a	1.21±0.00a	0.21±0.00a	1.51±0.01a

注:ND 表示低于检出限,Cd 检出限为 0.02 mg/kg。

3 讨论

土壤盐渍化的根本问题是矿化度较高的水在土体中运动,所以控制地下水位上升或降低地下水位、减少土壤水分蒸发是解决土壤盐渍化的关键<sup>[12-13]</sup>。地表覆盖措施可隔断土壤与大气的联系以降低土壤水分散失,有效减少地面蒸发,抑

制地表返盐,调节土壤水热过程,使盐分向地表聚集的过程逐渐减弱,促进养分循环及作物生长,从而能使盐渍土壤生态过程向良性转化<sup>[14]</sup>。陕北地区是陕西省乃至全国玉米和小麦适生区之一,玉米和小麦等农作物种植面积较大,植物秸秆资源量较为丰富<sup>[15]</sup>,文献资料表明,覆盖秸秆可以有效降低土面蒸发量,同时改善土壤结构,降低土壤容重,提高土壤通透

性,对盐渍土有非常明显的保墒保温、抑制盐分表聚、促进降水淋盐等作用,促进作物生长和发育及提高作物产量<sup>[16]</sup>。另外,作物秸秆中含有大量的碳、氮、磷、钾及微量元素等营养元素,是土壤养分的重要补给源。

覆沙压盐是改良土壤次生盐渍化的重要措施之一,也是目前陕北盐碱地开发利用的常用方法之一。覆沙压盐能改变土壤的理化性状,提高地温,防止盐分上升,有利于作物的生长发育进而提高作物产量,故有“沙压碱、赛金板”。在中、重度盐碱土上覆盖风沙土可以起到“沙压碱、沙压盐”的作用,即通过沙地土壤毛管空隙大、不能形成毛管吸力的作用,限制下层盐碱土的盐分向上移动,使之分布于立地土壤的某一深层下面,实现上面覆沙层发展耕作层的目的;或由于覆盖的风沙土与下面的盐碱土发生一定程度的混合,能够调节土壤黏沙比例,降低容重,改善土壤结构,降低盐分效果<sup>[17]</sup>。

石膏作为一种传统的化学改良剂,国内外学者已指出其改良作用机制在于降低了土壤 pH 值、碱化度和容重,同时提高了土壤的渗透速度、孔隙度及脱盐率,土表不易结壳<sup>[18]</sup>,石膏改良碱土成功的经验已经被国内外众多学者认同。一般对 pH 值偏高的土壤采用石膏进行改良,用石膏中的钙离子置换出吸附在土壤胶体上的钠离子,并在灌水淋洗的作用下,将钠离子淋洗到作物根层以外,从而减轻钠离子对土壤颗粒的分散程度,并降低土壤 pH 值,为作物生长创造良好的土壤水盐环境<sup>[19]</sup>。脱硫石膏的主要成分为  $\text{CaSO}_3$ 、 $\text{CaSO}_4$ ,性质与天然石膏类似,并含有丰富的 Ca、S、Si 等植物必需的矿质营养,能够替代天然石膏改良盐碱土壤<sup>[20]</sup>。研究表明,采用脱硫石膏进行盐碱土改良并种植油菜时,脱硫石膏改良的深度一般设为 20~30 cm,建议采用犁翻后再旋耕的方法,有利于提高改良效果并促进作物的生长发育<sup>[21]</sup>。

#### 4 结论

试验结果表明,在中、重度盐碱地覆沙、覆秸秆和施加脱硫石膏,与对照相比,2017 年第 2 茬黑麦草收获后 0~20 cm 土层土壤含盐量降低 1.16~2.22 g/kg, pH 值下降 0.05~0.94,容重降低 0.06~0.12 g/cm<sup>3</sup>,土壤理化性质得到了有效改善,黑麦草生长状况得到了显著提高,黑麦草的出苗率提高 43.35%~69.95%,3 茬鲜草总产量提高 34.24%~92.04%。总体而言,3 种措施均有助于陕西省定边县盐渍土的改良,且以施用脱硫石膏效果最好。

施用脱硫石膏改良盐碱地,其所含有害元素虽然没有形成直接污染,但有害元素在黑麦草各部位的含量已相对增加,形成了对生物链的潜在危害。检测结果表明,施用脱硫石膏改良盐碱地虽然会显著增加耕层土壤和黑麦草中的重金属含量,但土壤和黑麦草中 Cd、Hg、Pb、As、Cr 等重金属的含量远低于 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》和国家饲料卫生指标 GB 13078—2001《饲料卫生标准》规定值,因此合理施加脱硫石膏改良盐碱地后的农用土壤和生产的黑麦草是安全的。

黑麦草是我国陕北地区广泛种植的耐旱耐盐碱的优质饲草兼绿肥作物,扩大中、重度盐碱地改良规模和黑麦草的种植,对建立“改良盐碱地—种植牧草—发展畜牧业—有机肥还田—盐碱地改善”的循环农业经济模式具有重要的参考价值<sup>[22]</sup>。

盐渍化土壤的形成是一个长期而复杂的过程,盐渍土改良也是一个复杂的系统性工程。任何单一的措施,都有其自身适用条件和技术优势及局限性。针对定边县盐碱地的现状,建议采用综合措施进行改良,耕作前可大面积采用石膏、过磷酸钙等生理酸性化肥进行改良,在补充土壤养分的同时中和土壤碱性。此外,可以在表层覆秸秆或者覆沙,进一步改善土壤理化结构、抑制土壤返盐。

#### 参考文献:

- [1] 夏 婷,杨建国,魏玉清. 早作盐碱农田洗盐措施效果评价[J]. 江苏农业科学,2017,45(9):228-231.
- [2] 宁松瑞,韩霁昌,郝起礼,等. 新增耕地土壤盐渍化调查及改良措施分析[J]. 北方园艺,2017(8):172-178.
- [3] Bezdieck D F, Beaver T, Granatstein D. Subsoil ridge tillage and lime effects on soil microbial activity, soil pH, erosion, and wheat and pea yield in the Pacific Northwest, USA[J]. Soil and Tillage Research, 2003,74(1):55-63.
- [4] 李美荣,杨劲松,吴亚坤,等. 不同秸秆埋深对苏北滩涂盐渍土水盐动态变化的影响[J]. 土壤,2013,45(6):1101-1107.
- [5] 肖国举,秦 萍,罗成科,等. 犁翻与旋耕施用脱硫石膏对改良碱化土壤的效果研究[J]. 生态环境学报,2010,19(2):433-437.
- [6] 王海江,石建初,张花玲,等. 不同改良措施下新疆重度盐渍土壤盐分变化与脱盐效果[J]. 农业工程学报,2014,30(22):102-111.
- [7] Brown T, Koenig R, Huggins D R, et al. Lime effects on soil acidity, crop yield, and aluminum chemistry in direct-seeded cropping systems[J]. Soil Science Society of America Journal, 2008,72(3):634-640.
- [8] 李凤霞,郭永忠,王学琴,等. 不同改良措施对宁夏盐碱地土壤微生物及苜蓿生物量的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(30):49-55.
- [9] 宋 日,吴春胜,牟金明,等. 深松土对玉米根系生长发育的影响[J]. 吉林农业大学学报,2000,22(4):73-75,80.
- [10] Stamford N P, Silva A J N, Freitas A D S, et al. Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on soil salinity and growth of tropical tree legumes[J]. Bioresource Technology, 2002,81(1):53-59.
- [11] 李常亮,张富仓. 保水剂与氮肥混施对土壤持水特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(2):172-176.
- [12] Hussain I, Olson K R, Siemens J C. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil[J]. Soil Science, 1998,163(12):970-981.
- [13] 范 富,张庆国,邵继承,等. 玉米秸秆夹层改善盐碱地土壤生物性状[J]. 农业工程学报,2015,31(8):133-139.
- [14] 蔡太义,贾志宽,黄耀威,等. 不同秸秆覆盖量对春玉米田蓄水保墒及节水效益的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(增刊1):238-243.
- [15] 唐旭日. 盐碱地改良模式现状及探索[J]. 江苏农业科学,2011,39(6):595-597.
- [16] 秦都林,王双磊,刘艳慧,等. 滨海盐碱地棉花秸秆还田对土壤理化性质及棉花产量的影响[J]. 作物学报,2017,43(7):1030-1042.
- [17] 周道玮,田 雨,王敏玲,等. 覆沙改良科尔沁沙地—松辽平原交错区盐碱地与造田技术研究[J]. 自然资源学报,2011(6):910-918.

王大凤,王思瑶,侯琨,等.夏填闲作物不同密度种植对设施土壤磷素的吸收与磷风险阻控[J].江苏农业科学,2019,47(11):286-289.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.11.064

# 夏填闲作物不同密度种植对设施土壤磷素的吸收与磷风险阻控

王大凤,王思瑶,侯琨,余晨,张宇,裴志强,卢树昌

(天津农学院农学与资源环境学院,天津 300384)

**摘要:**降低设施菜田磷面源污染对提升菜田土壤质量意义重大。以甜玉米为供试材料,设计常规密度(TZ)、高等密度(TG)、超高密度(TC)3个不同栽培密度处理,研究不同种植密度处理对设施菜田土壤磷素吸收与风险阻控的影响。试验结果表明,TC处理总生物量显著高于TZ处理,总生物量达24 485.50 kg/hm<sup>2</sup>。TC、TG处理的总吸磷量显著高于TZ处理,TC处理吸磷量最高,达92.56 kg/hm<sup>2</sup>。在0~30 cm土层,与种植前期相比,后期TG处理的表层土壤有效磷含量的降幅最大,为18.1%,且对下层土壤有效磷含量降低更为明显。在常规休闲期种植高密度填闲甜玉米可作为缓解和阻控设施菜田土壤磷面源污染的有效途径。

**关键词:**填闲作物;栽培密度;设施;土壤磷;吸收与阻控

**中图分类号:** X53;S513.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)11-0286-04

随着农业产业结构不断调整,设施菜田面积不断增加。相应地,设施农田氮磷素投入量越来越高,进而土壤磷素积累日益明显<sup>[1]</sup>。研究表明,天津市集约化设施菜田土壤有效磷含量达到150 mg/kg,远超过农田磷素环境风险阈值<sup>[2-3]</sup>。设施农田磷素面源污染问题凸显,严重制约着设施农业可持续发展。近些年来,填闲作物成为控制设施菜田面源污染的一个有效生物途径<sup>[4]</sup>。填闲作物是指在设施蔬菜生产过程中,利用上茬蔬菜收获后的闲暇时间种植短季作物,以保持土壤质量,改善后茬作物的生长发育<sup>[5]</sup>。基于此,本研究通过在设施菜田休闲期间,种植不同栽培密度的填闲作物吸收土壤中的磷素,以降低土壤磷的环境负荷,阻控土壤磷向下运移,旨在为设施农田磷素污染控制提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况及供试材料

研究位于天津市武清区北部的设施蔬菜生产基地。该基

地的设施温室大棚建于2002年,棚室均为有后墙的设施大棚,大棚占地面积为666.7~1 333.4 m<sup>2</sup>。设施大棚生产模式以冬春茬种植果菜类、秋冬茬种植叶菜类为主,7—8月份为休闲季,歇棚。冬春茬蔬菜施肥量大,尤其是有机肥投入量较高,秋冬茬蔬菜施肥量较低。试验大棚土壤类型为潮土,质地为中壤,土壤地力较高,其中土壤有效磷含量为570 mg/kg,该土壤磷环境存在高风险。

填闲材料为超甜玉米,品种为夏王先锋,由北京中科裕丰种子有限公司生产,生育期为85 d,常规种植密度为45 000株/hm<sup>2</sup>。

### 1.2 试验处理与管理

本试验于冬春茬番茄收获后进行,同设3个不同种植密度处理:常规密度(TZ),株行距44 cm×50 cm,种植密度45 000株/hm<sup>2</sup>;高等密度(TG),株行距30 cm×50 cm,种植密度67 500株/hm<sup>2</sup>;超高密度(TC),株行距22 cm×50 cm,种植密度90 000株/hm<sup>2</sup>。每个处理3次重复,试验小区面积为63 m<sup>2</sup>(6.0 m×10.5 m)。

试验过程不施用任何肥料。2017年5月27日播种,次日灌水,6月18日定植。分别在生长过程的前期和后期进行2次长势调查,于9月9日收获,测定生物量,同时采集土样与植物样,以测定磷素等指标。

### 1.3 测试方法

1.3.1 长势的测定 在试验开始后分别在2017年7月9日(前期)、9月9日(后期)测定株高、茎粗、叶长、叶宽、叶绿素

收稿日期:2018-03-03

基金项目:天津市大学生创新训练计划(编号:201710061002);国家重点研发计划(编号:2016YFD0801006);天津市重点研发计划农业科技成果转化项目(编号:16YFNZNC00010)。

作者简介:王大凤(1995—),女,天津人,从事农田土壤与作物生长环境关系的研究。E-mail:1340005705@qq.com。

通信作者:卢树昌,博士,教授,从事农田土壤质量与植物营养的研究。E-mail:lsc9707@163.com。

[18]李小宁.定边县地膜玉米高产栽培技术的调研与探究[J].陕西农业科学,2012,58(6):177-178,230.

[19]杨明金,张勃,王海军,等.聚丙烯酰胺和磷石膏对土壤导水性能的影响研究[J].土壤通报,2009,40(4):747-750.

[20]王立志,陈明昌,张强,等.脱硫石膏及改良盐碱地效果研究[J].中国农学通报,2011,27(20):241-245.

[21]Baumhardt R L, Wendt C W, Moore J. Infiltration in response to water quality, tillage, and gypsum [J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(1): 261-266.

[22]郑普山,郝保平,冯悦晨,等.不同盐碱地改良剂对土壤理化性质、紫花苜蓿生长及产量的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(9):1216-1221.