

王海娟,马红娜,姜海波. 秸秆覆盖对塔里木盆地南缘绿洲农田土壤水盐运移的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(17):281-285.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.072

秸秆覆盖对塔里木盆地南缘绿洲农田土壤水盐运移的影响

王海娟,马红娜,姜海波

(石河子大学水利建筑工程学院,新疆石河子 832003)

摘要:采用室内土柱模拟的方式,设置 5 个处理,即无秸秆覆盖的对照(CK)、表层覆盖玉米秸秆(T_1)、土表下 40 cm 处玉米秸秆(T_2)、土表与土表下 40 cm 处秸秆量比为 1:1(T_3)、土表与土表下 40 cm 处秸秆量之比为 2:1(T_4),研究秸秆覆盖对盐碱土的改良效应及机制,以期对盐碱地改良提供理论依据。结果表明,与对照相比,不同的秸秆覆盖模式均能降低土壤水分的累积蒸发量, T_4 处理在 45 d 内土壤水分累积蒸发量比 CK 低,并且土壤水分抑蒸率最大;相同土层夏季含水率最低,冬季含水率最高,从土壤剖面来看,CK、 T_1 、 T_2 、 T_3 含水率均随着土层深度的增加逐渐增加,相同土层含水率基本表现为 $T_3 > T_2 > T_1 > CK$,说明秸秆覆盖对土壤含水率的垂直分布产生了明显的影响;秸秆处理均在不同程度上抑制了土壤返盐,其中 T_4 处理返盐率最小;相同土层夏季盐分最高,冬季盐分最低;从土壤剖面来看,盐分均随着土层深度的增加逐渐降低,相同土层盐分基本表现为 $T_4 < T_3 < T_2 < T_1 < CK$,秸秆覆盖能产生盐分表聚;土壤水分累积蒸发量与土壤累积含盐量存在极显著正相关关系,这种相关性在夏季最大。综合分析可知,秸秆覆盖对土壤水分蒸发和土壤返盐的抑制效果较好,并且在不同秸秆双层覆盖的处理中, T_4 处理的控盐保水效果最好,是一种较好的改良盐碱土的方法。

关键词:秸秆覆盖;塔里木盆地;农田;水盐运移

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)17-0281-04

土壤次生盐渍问题是由土壤的盐渍化灌溉引发的,这是导致农业发展的最主要问题,也是生态环境能否保持稳定的重要原因^[1-2]。国内外对于揭盖覆盖效果已有大量的研究^[3]。覆盖不仅能够抑制土壤水分无效蒸发并且成本低,这对于防止土壤返盐,提高作物水分利用率非常有效。这种覆盖无需覆膜技术能将浅层的干燥土壤润湿并且与干燥空气隔离,最终达到抑制蒸发的目的,其研发和推广对于农业可持续发展有着重要意义^[4-6]。

土壤含盐量过高,引起土壤化学和物理性质发生改变,导致绝大部分作物的生长环境退化^[7]。根据水可以带来盐也可以带走盐的原理,适当减少土壤水分的流失就可以在一定程度上减缓土壤盐分表聚^[8],进而降低土壤盐害对作物的影响。秸秆来源广泛,数量多,揭盖覆盖是一种能有效降低土壤水分蒸发的方式^[9-10]。以往的研究发现,土壤盐渍化的主要原因是土壤中盐分表聚性,秸秆表层覆盖不仅能抑制盐分表聚也能减缓土壤盐渍化,抑制水分蒸发,最终达到改善盐碱地的目的。秸秆覆盖不仅有利于作物生长,也会影响土壤盐分的分布^[11-12]。很多专家学者已明确肯定秸秆覆盖能够避免

土壤盐分表聚和抑制土壤水分蒸发,只有裸地土壤在蒸发下会有表层积盐现象^[13]。近期也有不少专家学者认为,秸秆覆盖可以将盐分移到耕层底部,让盐分聚集,随着水分上升和蒸发的作用,盐分上移导致土壤盐碱化。也有一部分研究认为,秸秆覆盖以后土壤盐分含量降低,但是耕作层的盐分会渐渐增加。随着覆盖时间延长,农田土壤盐含量也会增加^[14]。虽然目前对于秸秆覆盖效应的争议不大,但是秸秆深层覆盖的具体技术还需要更加深入的研究。

新疆属于干旱内陆河灌区,该地区常用大水漫灌的方式进行灌溉,久而久之导致地下水位不断上调^[15-17]。受自然气候影响,由于灌溉水具有下渗、蒸发等作用,土壤中的水盐运移相对频繁,排水系统有待完善,造成了农田地土壤的次生盐渍化。目前新疆已有 1 亿 hm^2 灌区发生不同程度的次生盐渍化现象,约占灌溉面积的 30% 左右。新疆绿洲灌溉面积占土地总面积的 3.57%,其中 1/3 的耕地土壤已经发生不同程度的土壤次生盐渍化,约为 400 万 hm^2 ^[15-17]。当下土壤次生盐渍化成为阻碍干旱地灌区农业生产可持续发展的一大阻碍。可见,研究秸秆覆盖下水分、盐分在时间和空间上的运移规律,对于干旱区盐碱地农业生产具有重要作用。而秸秆覆盖下的土壤盐分的运移具有一定的复杂性,土壤水盐迁移的变化规律尚不清楚。因此,本试验提出上盖下隔一体化的盐渍土改方式,通过室内土柱模拟试验,研究双层秸秆覆盖还田对盐渍土的改良效应和机制,研究秸秆覆盖下土壤盐分运移的特征,以期对盐渍土改良提供理论依据。

收稿日期:2017-12-05

基金项目:石河子大学科技攻关计划(编号:shz023615)。

作者简介:王海娟(1984—),女,宁夏青铜峡人,硕士,主要研究领域为水利工程。Email:XJwanghj@163.com。

通信作者:姜海波,博士,副教授,主要从事水利工程研究。E-mail:Jhaibo67@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2015 年 9 月 15 日至 2016 年 3 月进行试验,试验使用直径 30 cm、高 1 m 的聚氯乙烯(PVC)管做土柱试验。装土前,先在土柱底部装填干净的砂石层作为反滤层,厚度约 10 cm,

表 1 土壤理化性质及肥力特征

pH 值	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	全盐量 (g/kg)	有机碳含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	有效氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)
8.62 ± 1.03	1.56 ± 0.14	42.10 ± 3.25	6.41 ± 1.47	6.53 ± 0.88	1.13 ± 0.36	28.45 ± 3.17	75.02 ± 8.25

1.2 试验设计

将采集的盐化潮土混均匀后装入土柱中,试验设置 5 个处理,分别是表层覆盖玉米秸秆(T₁)、土表下 40 cm 处玉米秸秆(T₂)、土表与土表下 40 cm 处覆盖秸秆量之比为 1 : 1 (T₃)、土表与土表下 40 cm 处覆盖秸秆量的比例为 2 : 1 (T₄)、无秸秆覆盖参考(CK)。其中秸秆覆盖总量为 900 g/m²。试验时,将土柱安置于遮雨棚下,已避免降雨的不利影响。

在进行试验的最初准备阶段,通过 200 mm 淡水定额进行洗盐,待水完全渗透后,在土柱侧面上通过土钻取土;在试验最初阶段用 1 个空的 PVC 管做对照,为测定试验时水分蒸发的强度,每隔 5 d 对土柱称质量,通过计算得出土壤水分的实际蒸发量;同时每隔 10 d 对土柱进行采样,采样位置分别距离土表 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm,用来测量各土层中的含盐量。试验时,定期向土柱底部灌入 10 g/L 盐水,确保土柱底部一直处于盐水状态。取样后,将土壤烘干、磨碎,之后过 2 mm 筛,以 1 : 5 的土水比浸提土壤溶液,烘干法测定土壤含盐量。

1.3 测定方法

土壤总含盐量通过残渣烘干法测定。按照土水比 1 : 5 将蒸馏水缓缓加入土样中,再将 20 mL 滤液倒入 1 个已知质量的干燥蒸发皿中,于 200 °C 电热板上加热直到干燥结束。若蒸发皿当中发现黄色物质,加入适量 30% 过氧化氢氧化样品,直至黄色消失。然后将器皿放进 105 °C 烘箱中 4 h。随后将蒸发皿取出,放进干燥器中冷却至室温,称质量并记录。

1.4 数据分析

用 Excel 2003、SPSS 18.0 对数据进行分析,采用 Origin 7.5 作图。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆覆盖对土壤水分日蒸发量的影响

由图 1 可以看出,各处理的土壤水分日蒸发量变化幅度有差异,但变化趋势基本一致。试验初期,各处理土壤水分日蒸发量较大,5 d 后 CK 日蒸发量最高,不同秸秆覆盖方式下土壤水分日蒸发量由小到大排序为 T₄ < T₃ < T₂ < T₁ < CK。

2.2 不同秸秆覆盖对土壤水分累积蒸发量的影响

由图 2 可知,不同秸秆覆盖方式下土壤水分的累积蒸发量均低于无秸秆覆盖的 CK。蒸发 5 d 时 CK、T₁、T₂、T₃、T₄ 处理的累积蒸发量分别为 6.3、4.8、5.2、4.3、4.2 mm,不同秸秆覆盖方式对土壤水分蒸发的抑制作用表现为 T₄ > T₃ > T₁ >

以提供 1 个气流顺畅的入渗环境。土柱底部用纱布封闭,放置于盛有 10 g/L 盐水的塑料盆中,用以模拟地下水环境。室内试验的土壤取自塔里木盆地西北部的阿拉尔灌区农垦九团一连的棉田地,从表层至地下 1 m 深度混合取土。土样经风干、碾压、筛分、均匀混合后制备成室内试验土样。土壤的基本物理化学属性见表 1。

T₂;同时,随蒸发的进行,各处理的累积蒸发量差异更加明显。但是,在试验开始时,T₂ 累积蒸发量低于 T₁,随着时间的推移,T₃ 处理的累积蒸发量逐渐低于 T₂。

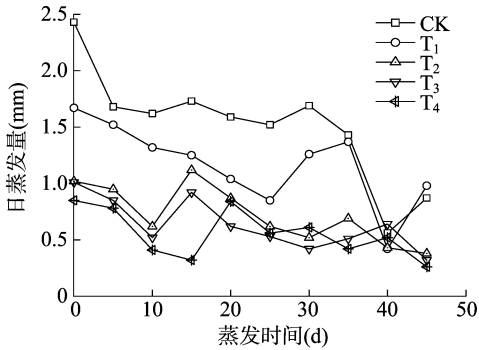


图 1 不同处理下土壤水分日蒸发量随时间的变化

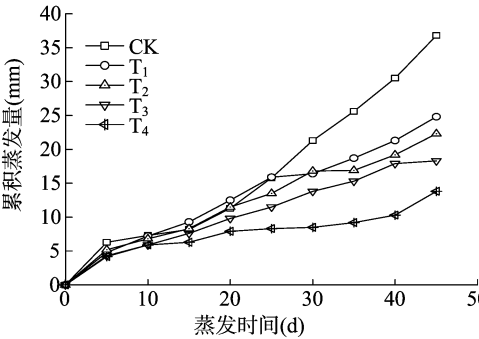


图 2 不同处理的累积蒸发量随时间的变化

2.3 不同秸秆覆盖对土壤水分的影响

由图 3 可知,相同土层夏季的含水率最低,冬季含水率最高;从土壤剖面来看,CK、T₁、T₂、T₃ 处理土壤的含水率均随着土层深度的增加而增加,相同土层的含水率基本表现为 T₃ 最高,CK 最低;对于 T₄ 处理,0 ~ 20 cm 土层含水率较高,在 20 ~ 40 cm 最低,而 40 ~ 60 cm 土层含水率有所增加;深层土壤含水率相差不大,随着秸秆覆盖的增加,表聚性逐渐减弱。说明秸秆覆盖对土壤含水率的垂直分布产生了明显的影响。不同秸秆覆盖时,由于覆盖方式的受限,水分快速进入空隙较大的土壤层(40 ~ 60 cm),而在表层的水分迅速蒸发,导致表层土壤含水率较低,而由于冬季蒸发量较小,因此冬季土壤含水率比夏季高。此外,土壤水分运移至土层深处,在深层土壤聚积,表层没有形成大量的积水。

2.4 不同秸秆覆盖对土壤盐分的影响

在蒸发作用下,底层土壤和盐分可随水分向上迁移,使各

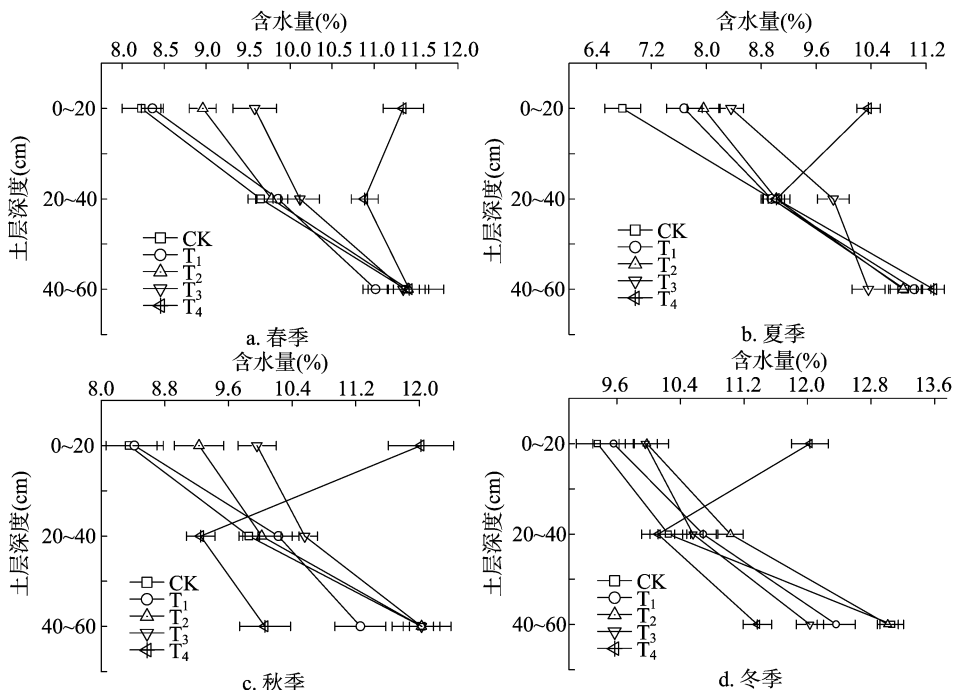


图3 不同季节各处理对土壤水分的影响

土壤盐分不断累积,不同措施的控盐抑盐效果差异明显。由图4可知,相同土层夏季盐分含量较高,而冬季盐分较低;从土壤剖面来看,各处理的土壤盐分均随着土层深度的增加逐渐降低,0~20 cm 土层盐分较高,在20~40 cm 降低,而40~60 cm 土层盐分又有所降低,盐分在土壤表层聚集,随着秸秆覆盖的增加,表聚性逐渐减弱。说明秸秆覆盖对土壤盐分

垂直分布产生了明显的影响。与土壤含水率相比,土壤盐分表现出相反的变化趋势,主要是由于土壤水分的蒸发造成了盐分的累积。不同秸秆覆盖时,由于覆盖方式的受限,水分在表层迅速蒸发,导致表层土壤含水率较低,盐分在表层大量累积,而冬季蒸发量较小,因此,从季节变化上考虑,冬季土壤表层盐分较夏季低。

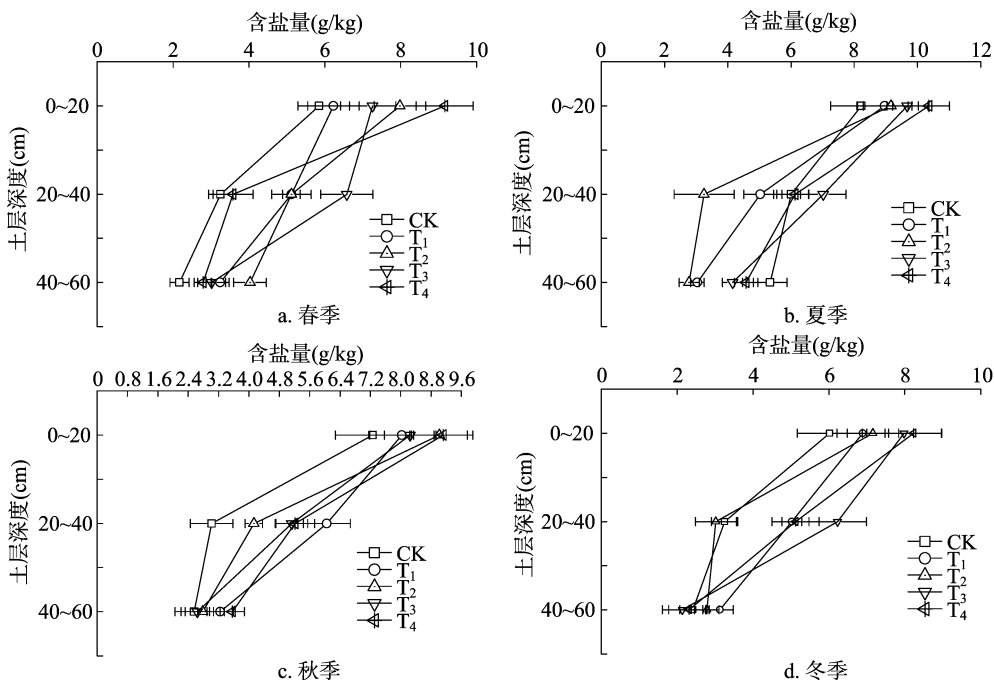


图4 不同秸秆覆盖对土壤盐分的影响

2.5 土壤水分累积蒸发量与土壤累积含盐量的关系

本试验对土壤水分累积蒸发量与土壤含盐量进行了相关性分析。由表1可以看出,土壤水分累积蒸发量与土壤累积

含盐量具有显著或极显著的相关性。在春季,累积蒸发量与累积含盐量显著相关($P < 0.05$),相关系数为0.542;夏季累积蒸发量与累积含盐量极显著相关($P < 0.01$),相关系数为

表 1 土壤水分累积蒸发量与土壤盐累积量相关性

季节	项目	累积蒸发量			累积含盐量		
		相关系数	协方差	F 值	相关系数	协方差	F 值
春季	累积蒸发量	1.000	92.360	132.020	0.542 *	98.030	163.280
	累积含盐量	0.542 *	21.580	152.140	1.000	35.140	169.540
夏季	累积蒸发量	1.000	86.310	98.020	0.915 **	75.030	152.370
	累积含盐量	0.915 **	54.130	156.240	1.000	29.870	142.380
秋季	累积蒸发量	1.000	89.020	142.780	0.756 **	85.240	145.770
	累积含盐量	0.756 **	46.780	163.250	1.000	34.150	132.060
冬季	累积蒸发量	1.000	75.290	178.950	0.652 *	65.480	159.870
	累积含盐量	0.652 *	26.740	125.060	1.000	23.450	144.310

注：“*”“**”分别表示相关性显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$)。

0.915;秋季累积蒸发量与累积含盐量极显著相关($P<0.01$),相关系数为 0.756;冬季累积蒸发量与累积含盐量显著相关($P<0.05$),相关系数为 0.652。由此可知,累积蒸发量与累积含盐量属于高度正相关关系,即土壤水分蒸发量越大,土壤累积含盐量越大,这种高度相关性在夏季最大。

3 讨论与结论

本试验结果显示,秸秆覆盖能明显抑制土壤水分蒸发,且 T₄ 处理的抑制效果最好。这主要是由于秸秆覆盖情况下,形成了复杂的毛管系统,为水分运移提供了通道,使土壤表层水分含量改变^[18]。在地表下约 40 cm 处埋设秸秆隔断层,秸秆层以大空隙居多^[19],地表覆盖的秸秆切断了空气和土表的接触,使土壤水的蒸发量降低^[20]。表面秸秆的覆盖量越大,对土壤水分蒸发的抑制效果越明显。

孙博等研究表明随着秸秆覆盖量的增加,土壤水分的蒸发量逐渐减少^[21]。张金珠等研究发现,表层覆盖的秸秆能够抑制水分蒸发,且随着秸秆的覆盖量的增多,蒸发强度逐渐减小^[22]。乔海龙等研究表明,在自然蒸发条件下,秸秆层能使深层土壤水分减少,但是表层土壤水分散失较严重^[23]。

目前,许多学者认为秸秆覆盖的方式能够保证作物生长的水土环境,有利于作物生长。但由于秸秆覆盖会影响土壤盐分,相关研究尚无定论,甚至还存在一些分歧^[24-25]。本试验发现,在地表下 40 cm 处进行秸秆隔层处理,有助于抑制土壤返盐。由于秸秆的隔层将土壤的毛细通道切断,对土壤土体的连续性造成了破坏,所以有效抑制了盐分的表层聚集,降低了土壤盐分含量^[22-23]。不过要达到理想的抑盐效果仅使用单一的秸秆隔层方式是不够的,虽然秸秆的深层覆盖可以在一定程度上降低土壤返盐现象,但是并不能影响土壤的表层盐分聚集^[26]。土壤表层的盐分聚集主要是由盐分表聚造成的。所以只有在土壤表层和深层同时覆盖秸秆,才能有效控制土壤盐分的形成,降低土壤的含盐量。学者封晓辉等通过研究发现,土壤在具有秸秆层覆盖的情况下,同时进行地膜覆盖能够很好的抑制土壤盐分;但是这种方式容易导致土壤污染,所以秸秆双层覆盖的方式相更适用于盐渍土改良^[26]。在本试验中,由于秸秆覆盖方式存的局限性,土壤水分在表层快速蒸发,土壤表层含水率降低,土壤盐分在表层大量累计后,冬季蒸发量会大大减少。因此,冬天土壤盐分会明显低于夏季。目前关于秸秆双层覆盖降低土壤盐分的研究尚不成熟,相关研究多集中于室内试验,在实际应用中存在质疑。未

来的研究应侧重于开展田间试验,深入地分析盐渍地土壤改良的科学途径。

本试验主要研究了土壤水分和盐分的关系。研究发现,土壤水分累积蒸发量和累积含盐量的相关性较高,即土壤水分蒸发量越高,累计的含盐量会越大,这种高度相关性主要体现在夏季。土壤水分和盐分的运移具有较为明显的规律,在两者运动中,水分具有决定性的主导作用。因此,抑制土壤水分的蒸发能够有效减少土壤盐分的积累。

参考文献:

[1] 范晓梅,刘高焕,刘红光. 基于 Kriging 和 Cokriging 方法的黄河三角洲土壤盐渍化评价[J]. 资源科学,2014,36(2):321-327.

[2] 周洪华,陈亚宁,李卫红. 新疆铁干里克绿洲水文过程对土壤盐渍化的影响[J]. 地理学报,2008,63(7):714-724.

[3] 李 彬,史海滨,闫建文,等. 节水改造后盐渍化灌区区域地下水埋深与土壤水盐的关系[J]. 水土保持学报,2014,28(1):117-122.

[4] 丁建丽,姚 远,王 飞. 干旱区土壤盐渍化特征空间建模[J]. 生态学报,2014,34(16):4620-4631.

[5] 谢文军,张衍鹏,张 森,等. 滨海盐渍化土壤理化性质与小麦生产间的关系[J]. 土壤学报,2015,52(2):461-466.

[6] 赖 宁,李新国,梁 东. 开都河流域下游绿洲盐渍化土壤高光谱特征[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(2):151-156.

[7] 王秀丽,张凤荣,王跃朋,等. 农田水利工程治理天津市土壤盐渍化的效果[J]. 农业工程学报,2013,29(20):82-88.

[8] 牛文全,吕 望,古 君,等. 微润管理深与间距对日光温室番茄土壤水盐运移的影响[J]. 农业工程学报,2017,33(19):131-140.

[9] 彭 杰,刘焕军,史 舟,等. 盐渍化土壤光谱特征的区域异质性及盐分反演[J]. 农业工程学报,2014,30(17):167-174.

[10] 王 军,顿耀龙,郭义强,等. 松嫩平原西部土地整理对盐渍化土壤的改良效果[J]. 农业工程学报,2014,30(18):266-275.

[11] 郝 敏,孔范龙,李 悦,等. 胶州湾滨海湿地土壤的盐渍化特征[J]. 水土保持通报,2016,36(6):288-292.

[12] 王 燕,赵哈林,潘成臣. 土地利用方式对盐渍化农田土壤理化特性的影响[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(2):149-155.

[13] 马成霞,丁建丽,杨爱霞,等. 绿洲区域土壤盐渍化主要参数的空间异质性分析[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(2):144-150.

[14] 陈 实,徐 斌,金云翔,等. 新疆绿洲农区土壤盐渍化遥感监测方法的比较研究[J]. 绿洲农业科学与工程,2015(1):36-41.

陈铭孙,李择桂,林贤柯,等.低镉铅甜玉米品种筛选及在间套种修复污染土壤中的应用[J].江苏农业科学,2018,46(17):285-289.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.073

低镉铅甜玉米品种筛选及在间套种 修复污染土壤中的应用

陈铭孙,李择桂,林贤柯,刘朋,卫泽斌,吴启堂

(华南农业大学资源环境学院/土壤环境与废物资源农业利用广东高校重点实验室,广东广州 510642)

摘要:在酸性矿山废水造成的镉铅复合污染农田土壤中,筛选出经济价值更高的甜玉米低积累镉铅的品种,而后应用在间套种修复污染土壤中。秋季田间试验结果表明,8个甜玉米品种中,JZY和CN-6品种重金属含量符合食用卫生标准,而且产量较高,在重金属污染地区推广较为合适。渗滤池中另一种中性污染土壤上JZY甜玉米与东南景天套种试验表明,JZY甜玉米籽粒重金属镉(Cd)和铅(Pb)含量符合食用卫生标准;无淋洗套种东南景天对Cd的提取率为2.74%,土壤Cd含量下降10.3%;混合螯合剂(mix chelant,MC)淋洗处理的土壤玉米籽粒Cd、Pb含量比未淋洗土壤进一步下降3.8%和6.9%,土壤Cd、Pb下降分别达到23.6%和22.5%。因此,甜玉米低镉铅品种及其间套种修复污染土壤具有应用潜力。

关键词:甜玉米;品种筛选;土壤修复;化学淋洗;重金属;食用卫生标准;产量;提取率

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)17-0285-05

我国农田土壤重金属污染问题严重^[1],对农产品的安全生产构成了严重威胁^[2],广东省是我国农田土壤重金属污染较严重的区域。张金莲等调查了广东省清远市农田土壤重金属污染情况,结果表明,与广东省土壤背景值相比,农田表层0~20 cm土壤中铅(Pb)、铜(Cu)、镉(Cd)、锌(Zn)、镍(Ni)和铬(Cr)元素含量表现出不同程度的富集。从单项污染指数来看,72.7%的表层土壤样品存在1种或几种重金属超标,以Cd、Cu、Pb和Zn污染为主,其中Cd污染比例最高,其次是Cu,最后是污染比例相当的Pb和Zn^[3]。李结雯等对广东省广州市番禺区农田土壤中砷(As)、汞(Hg)、Cu、Zn、Ni、Pb、

Cr、Cd等8种重金属的含量进行分析,结果表明,Cd的污染最普遍,其次是Hg^[4]。林荣誉等对广东省珠海市基本农田规划区的土壤样品进行测定分析,研究发现有7%的土壤处于中污染状态,53%的土壤处于轻污染状态^[5]。

目前,土壤重金属污染的修复途径主要有2种:(1)改变重金属在土壤中的存在形态,使其固定,降低其在环境中的迁移性和生物可利用性,即稳定化;(2)从土壤中去除重金属,使其存留浓度接近或达到背景值,即去(除)污化。方法包括客土、固定化、化学淋洗、电动修复、植物修复、微生物修复和动物修复,单独使用1种方法很难获得高效、低耗、低扰动的理想效果,对重金属污染土壤的治理应根据污染场地的实际情况采用最合理的方案^[6]。另外,采用抗污染低累积作物品种^[7]来减轻农作物可食部分重金属污染,这样能保持农业生产,对人体的危害降至最低,提高农民耕作的积极性,并且具有成本低的优点。目前,国内外正在兴起研究热潮,联合修复技术是目前的研究热点之一。其中,Wu等研究施加配制混合淋洗剂(mix chelant,MC)[柠檬酸:味精废液:乙二胺

收稿日期:2017-04-07

基金项目:国家自然科学基金(编号:21606092,41541012)。

作者简介:陈铭孙(1991—),男,广东肇庆人,硕士研究生,主要研究方向为污染土壤修复。E-mail:1225464608@qq.com。

通信作者:吴启堂,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为土壤污染防治、城市污水污泥的处理与利用、污染水体修复技术。

E-mail:wuqitang@scau.edu.cn。

[15]周洪华,陈亚宁,李卫红.新疆铁干里克绿洲水文过程对土壤盐渍化的影响[J].地理学报,2008,63(7):714-724.

[16]丁建丽,姚远,王飞.干旱区土壤盐渍化特征空间建模[J].生态学报,2014,34(16):4620-4631.

[17]马成霞,丁建丽,杨爱霞,等.绿洲区域土壤盐渍化主要参数的空间异质性分析[J].干旱区资源与环境,2015,29(2):144-150.

[18]梁建财,史海滨,李瑞平,等.不同覆盖方式对中度盐渍土壤的改良增产效应研究[J].中国生态农业学报,2015,23(4):416-424.

[19]张添佑,王玲,王辉,等.玛纳斯河流域盐渍化灌区生态环境遥感监测研究[J].生态学报,2017,37(9):3009-3018.

[20]梁建财,史海滨,李瑞平,等.秸秆覆盖秋浇后盐渍土壤冻融过程及水盐运移特征[J].水土保持学报,2017,31(5):145-151.

[21]孙博,解建仓,汪妮,等.秸秆覆盖对盐渍化土壤水盐影响的试验研究[J].水土保持通报,2011,31(3):48-51.

[22]张金珠,王振华,虎胆·吐马尔白.秸秆覆盖对土柱垂直一维水分传输与蒸发的影响[J].干旱区研究,2015,32(5):861-868.

[23]乔海龙,刘小京,李伟强,等.秸秆深层覆盖对水分入渗及蒸发的影响[J].中国水土保持科学,2006,4(2):34-38.

[24]李芙蓉,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.

[25]于舜章,陈雨海,周勋波,等.冬小麦期覆盖秸秆对夏玉米土壤水分动态变化及产量的影响[J].水土保持学报,2004,18(6):175-178.

[26]封晓辉,张秀梅,郭凯,等.覆盖措施对咸水结冰灌溉后土壤水盐动态和棉花生产的影响[J].棉花学报,2015,27(2):135-142.