

崔士友, 张 蛟. 秸秆和植被覆盖对江苏滨海盐土土壤盐分变化的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(6): 509-516.

CUI Shi-you, ZHANG Jiao. Effects of Straw Mulching and Vegetative Covering on Soil Salinity Dynamics of Salt Affected Soils in Jiangsu Coastal Region, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(6): 509-516.

秸秆和植被覆盖对江苏滨海盐土土壤盐分变化的影响

崔士友, 张 蛟

(江苏沿江地区农科所, 江苏 南通 226541)

摘 要:研究秸秆覆盖和植被(田菁)覆盖条件下滨海盐土土壤水盐的动态变化规律,为沿海滩涂盐碱地脱盐改良提供依据。本研究以含盐量 $6.98 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的滨海盐土为研究对象,设置秸秆覆盖和种植田菁 2 种覆盖处理,以裸地为对照,研究不同覆盖处理对滨海盐土土壤含水量和土壤盐分动态变化的影响。结果表明:秸秆覆盖下的土壤含水量(27.58%)显著高于田菁覆盖(26.70%)和裸地(26.61%),后两者差异未达显著水平。处理 1 年后 0~20、20~40 cm 土层的秸秆覆盖、田菁覆盖和裸地不同处理间土壤含盐量的差异均达显著或极显著水平;秸秆覆盖处理的脱盐率为田菁覆盖处理的 2 倍。回归分析表明裸地和田菁覆盖下土壤盐分含量与累积降雨量的关系可用二次多项式拟合,田菁覆盖下的淋洗方程(EC_e/EC_i 与 D_w/D_s 间的关系)可用三次多项式拟合;而秸秆覆盖条件下土壤盐分含量与累积降雨量的关系、淋洗方程均表现为指数函数关系 $y=ae^{bx}$ ($P<0.01$)。秸秆覆盖条件下滨海滩涂 0~40 cm 土层脱盐 80%需要 386.8 mm 的累积降雨量。结果表明秸秆和植被覆盖技术在江苏滨海盐土可获得较好的脱盐效果,具有较好的应用前景。

关键词:滨海盐土;秸秆覆盖;植被覆盖;土壤盐分;脱盐率

中图分类号:S156.4

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2017)06-0509-08

doi: 10.13254/j.jare.2017.0112

Effects of Straw Mulching and Vegetative Covering on Soil Salinity Dynamics of Salt Affected Soils in Jiangsu Coastal Region, China

CUI Shi-you, ZHANG Jiao

(Jiangsu Yanjiang Institute of Agricultural Sciences, Nantong 226541, China)

Abstract: The dynamic changes of water and soil salinity in coastal saline soil under the conditions of straw mulching and vegetation covering were investigated in order to provide the basis for soil amelioration in coastal saline soil. Salt content of experimental field plot was $6.98 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil, straw mulching and vegetative covering (*Sesbania cannabina*) were designed as two treatments of desalinization measures, while bare saline land as the control, in order to investigate the effects of different mulching/covering treatments on dynamics of soil moisture and salinity of coastal saline soil. The results demonstrated soil moisture under conditions of straw mulching (27.58%) was significantly higher than that under the conditions of vegetative covering (26.70%) and bare land (26.61%), while the difference of soil moisture between vegetative covering and bare land did not reach the significant level. After one year of treatments, soil salinity of straw mulching, *Sesbania cannabina* covering and bare land in soil depth of 0~20 cm and 20~40 cm showed significant or highly significant difference with each other, desalinization rate under straw mulching was two times of that under *Sesbania cannabina* covering. Regression analysis indicated that the relationship between soil salinity and accumulated rainfall under the conditions of *Sesbania cannabina* covering and bare land could be fitted by quadratic polynomial, leaching equation (relationship between EC_e/EC_i and D_w/D_s) under *Sesbania cannabina* covering could be fitted by cubic polynomial. However, under straw mulching the relationship between soil salinity and accumulated rainfall, and leaching equation could be fitted by exponential function ($y=ae^{bx}$, $P<0.01$). Based on the calculation by leaching curves under straw mulching, 386.8 mm of accumulative rainfall was required for removing 80% salt from soil depth of 0~40 cm. It was concluded that straw mulching and *Sesbania cannabina* covering technology could achieve better desalting effect in Jiangsu coastal saline soil, and had a better application prospect.

Keywords: coastal saline soil; straw mulching; vegetative covering; soil salinity; desalinization rate

收稿日期:2017-04-29 录用日期:2017-08-02

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金(CX(14)5096)

作者简介:崔士友(1964—),男,江苏海安人,博士,研究员,主要从事盐土改良与耐盐作物方面的研究。E-mail: cuisy198@163.com

江苏省沿海滩涂面积占全国滩涂面积的 1/4 以上^[1],是非常重要的后备土地资源,也是江苏省社会经济可持续发展的主要保证。随着人口的持续增加和国民经济的快速发展,沿海滩涂盐碱地作为本省重要的土地后备资源,其开发、利用和保护日益引起人们的高度重视。而开发利用滩涂盐碱地,尤其是在农业和生态应用方面,滨海盐土的脱盐改良至关重要^[2-3]。秸秆覆盖是农业生产中常用的一种农艺措施,在改善土壤水分状况、减少土壤侵蚀和紧实性、维持最优的土壤温度、增加土壤营养、改善植物立苗和生长、减少病害和杂草为害、减轻土壤盐分和减少农药用量等方面均有较多的研究^[4]。有关秸秆覆盖改良盐碱地尤其是土壤脱盐的研究在 20 世纪 60 年代就有报道,如 Fanning 等^[5]在 1963 年就报道了利用棉铃壳促进了降雨对土壤盐分的淋洗,使 76.2 cm 的表层土壤盐分降至适宜作物的生长。此后,有关秸秆覆盖在盐土脱盐改良中的应用就有了较多的报道^[6-13],大多数研究一致认为秸秆覆盖具有拦蓄雨水和减少地表蒸发,抑制地表返盐、促进降雨淋盐的作用。与秸秆覆盖相比,利用植被覆盖改良盐土的系统性研究较少,该技术的实施首先要求覆盖植物具有较强的耐盐性。田菁具有较强的耐盐性^[14-15],耐盐能力在 $6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右,耐盐极限为 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。很早就被作为盐土改良的先锋植物而得到广泛的应用^[16],现有的报道均表明田菁作为盐土的覆盖植物具有很好的脱盐效果^[15-18]。作为植被覆盖技术的延伸,林草模式对改良盐碱地的效果也有报道^[19]。尽管秸秆覆盖和植被覆盖均具有较好的脱盐作用,但两者脱盐效果的比较研究目前尚无报道。此外,有关通过雨水淋洗进行盐碱地脱盐所需的累积降雨量的报道不多。本研究以含盐量 $6.98\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的滨海盐土为研究对象,以滩涂裸地为对照,研究秸秆覆盖和田菁覆盖 2 种方式对土壤含水量的影响,分析秸秆和田菁覆盖条件下土壤盐分含量与累积降雨量的关系,以及淋洗曲线(EC_a/EC_i 与 D_w/D_s 间的关系),以此探

明获得一定的脱盐效果所需的累积降雨量,为沿海滩涂的大规模开发提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验区位于江苏省如东县东凌垦区($32^{\circ}20'33''\text{N}$, $121^{\circ}25'7''\text{E}$),为 2007 年新围垦滩涂。该地区属于亚热带和暖温带的过渡区,雨热同步,年降雨量 1 042 mm,雨季(6—9 月)占 55%~80%,年平均气温 $15.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,全年无霜期 225 d,年平均日照 2 136 h。土壤类型为滨海盐土,土壤有机质含量低,盐分含量在 0.2%~2.0%之间。2014 年 3—4 月在对垦区充分调查的基础上,选择一块试验地,土壤盐分较高(0~40 cm 土层为 $6.98\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土, EC_{15} 为 $2.13\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$)。试验区有少量杂草、野生田菁、芦苇、碱蓬等耐盐或盐生植物的生长。试验开始前利用五点法取土样测定土壤理化性状(表 1)。

1.2 试验设计

本试验设置 2 种覆盖方式:秸秆覆盖($1.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 小麦秸秆)、植被覆盖(种植田菁,5 月 3 日播种,条播,行距 0.5 m,播种量 $7.5\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$),以裸地作对照。随机区组设计,重复 5 次,小区面积为 100 m^2 ($5\text{ m}\times 20\text{ m}$)。2014 年 5 月 3 日完成本试验处理的田间实施,其后开展不同处理脱盐效果的监测工作,每月 2 次(每月 1 日和 15 日前后),间隔期 15 d 左右,上午 8:00—10:00 采样,时间 1 年。

1.3 数据采集

1.3.1 土壤盐分

采用“S”型多点取样法,采集 0~20 cm 和 20~40 cm 土层的样品,然后将土壤混合样品装入样品袋带回实验室进行土壤水分和电导率测定。土壤水分测定采用烘干法。剩余的样品室内自然风干,研磨过 1 mm 筛备用。土壤盐分测定采用电导率方法,称取 10 g 土样,加 50 mL 去离子水,以土水比 1:5 的比例浸提土

表 1 试验区土壤的理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of tested saline soils

性状	土壤剖面/cm		性状	土壤剖面/cm	
	0~20	20~40		0~20	20~40
容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1.37±0.01	1.47±0.03	全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.502±0.079	0.389±0.057
土壤颗粒组成/%			碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	31.07±1.99	20.58±1.54
砂粒	23.7±1.7	23.5±1.4	有效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	8.46±0.56	5.89±0.76
粉粒	55.2±1.6	55.2±1.3	有效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	207.0±8.5	211.4±8.2
粘粒	21.1±0.5	21.3±0.2	$EC_{15}/\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$	1.86±0.36	2.58±0.29
有机质含量/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	5.63±0.48	4.97±0.38	pH ₁₅	8.67±0.10	8.66±0.04

壤,连续搅拌2次,每次1 min,静置30 min后得土壤浸提液;取上清液测定土壤浸提液电导率 $EC_{1:5}$ 。 $EC_{1:5}$ 的测定采用STARTER 3100C电导率仪(美国奥豪斯仪器(上海)有限公司生产)。

为比较不同处理的脱盐效果,使用脱盐率,计算公式如下:

$$\text{脱盐率}(\%) = \frac{\text{处理前土壤盐分} - \text{处理后盐分}}{\text{处理前土壤盐分}} \times 100$$

1.3.2 气象数据

试验期间(2014年5月—2015年5月)的气象数据来自江苏省如东县气象台,包括逐日的平均温度和降雨量,其不同月份的变化情况见图1。

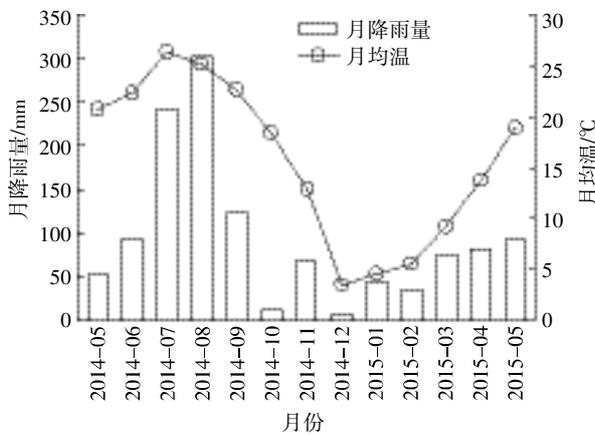


图1 试验区月平均温度和降雨量的动态变化

Figure 1 Monthly cumulative rainfall and monthly average air temperature during the experimental period

1.4 数据分析

利用描述性统计方法即平均数±标准差描述有关参数,采用Duncan新复极差法(LSR)进行处理间显著性检验,显著水平设定为 $\alpha=0.05$ 。利用回归和相分析方法确定不同处理(裸地、秸秆覆盖、植被覆盖)土壤含盐量与累积降雨量间的关系、以及淋洗方程即 EC_a/EC_i 与 D_w/D_s 的关系,其中 EC_a 即淋洗后的实际盐分, EC_i 为土壤剖面的初始盐分, D_w 为雨水入渗的深度, D_s 为需改良的土壤深度。

采用Excel 2010和DPS(v7.05)软件进行试验数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆覆盖和田菁覆盖下不同土层土壤含水量的动态

试验期间不同覆盖处理与裸地对照0~20 cm和

20~40 cm土层土壤含水量的动态变化见图2。0~20 cm土层不同处理的土壤含水量具有类似的变化特征,变幅较大;而20~40 cm土层土壤含水量的变化相对较为平缓。方差分析表明2个土层间土壤含水量差异不显著,不同覆盖处理间差异显著,而土层与覆盖处理间的互作不显著。就不同土层而言,0~20 cm土层土壤含水量较20~40 cm土层低0.14%,差异未达显著水平;就不同覆盖处理而言,秸秆覆盖的土壤含水量较田菁覆盖和裸地的高0.88%和0.97%,差异均达显著水平,而田菁覆盖与裸地间土壤含水量的差异未达显著水平,其中0~20 cm土层田菁覆盖土壤含水量略低于裸地,20~40 cm土层田菁覆盖土壤含水量略高于裸地(表2)。土壤含水量较高的秸秆覆盖处理,每次降雨后就有相对较多的雨水参与到洗盐过程,增强了雨水的洗盐效果。

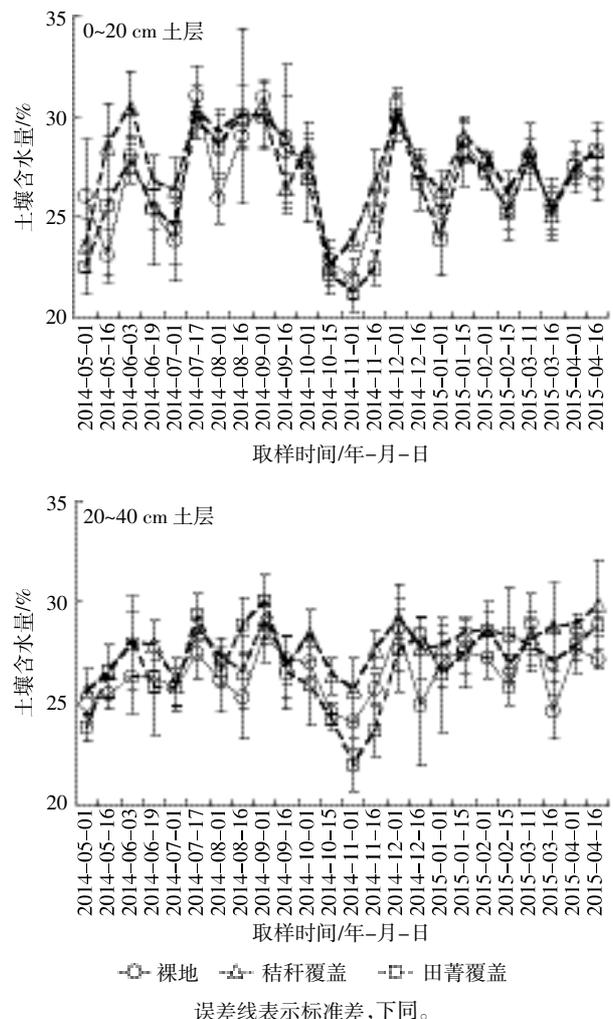


图2 秸秆和田菁覆盖下不同土层的土壤含水量

Figure 2 Soil moisture in soil depth of 0~20 cm and 20~40 cm under straw mulch and *Sesbania cannabina* covering

表 2 不同土层和覆盖处理的土壤含水量的比较(%)

Table 2 Comparison of soil moisture between various soil depth and among straw mulch, *Sesbania cannabina* covering and bare land (%)

处 理	平均值	处 理	平均值
不同土层间		0~20 cm 土层不同覆盖间	
0~20 cm	26.89a	秸秆覆盖	27.45a
20~40 cm	27.03a	田菁覆盖	26.48b
不同覆盖间		裸地	26.74b
秸秆覆盖	27.58a	20~40 cm 土层不同覆盖间	
田菁覆盖	26.70b	秸秆覆盖	27.72a
裸地	26.61b	田菁覆盖	26.91b
		裸地	26.47b

注:不同字母表示差异达显著水平,下同。

2.2 秸秆覆盖和田菁覆盖下 0~20 cm 土层的脱盐效果

裸地条件下,滨海盐土的盐分存在明显的季节性变化,不同土层的趋势基本类似。0~20 cm 土层(图 3)在 2014 年 10—12 月存在明显的积盐现象,其中 10 月中旬土壤盐分达到最大值(3.88 dS·m⁻¹),其余月份变化在 1.16~2.32 dS·m⁻¹,平均值为 1.89 dS·m⁻¹;20~40 cm 土层(图 4)在 2014 年 9 月—2015 年 1 月存在积盐现象,最高点(3.75 dS·m⁻¹)同样在 10 月中旬,其他月份在 1.76~2.64 dS·m⁻¹ 内波动,平均值 2.24 dS·m⁻¹。比较不同土层间的盐分动态,除 10 月中旬外,其余监测时间 0~20 cm 土层的含盐量均低于 20~40 cm 土层。

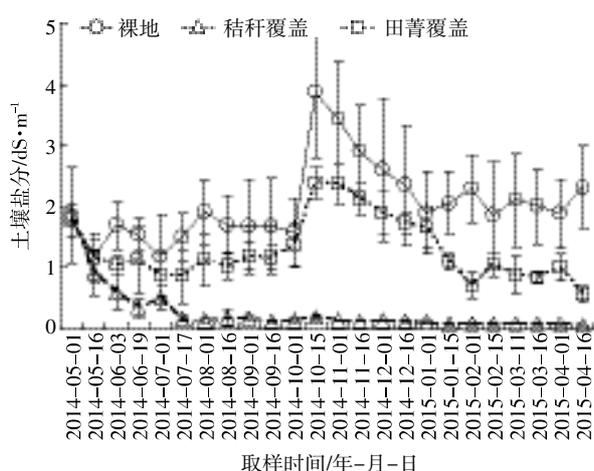


图 3 裸地、秸秆和田菁覆盖条件下滨海盐土 0~20 cm 土层土壤盐分的动态变化

Figure 3 Comparison of annual dynamics of soil salinity in 0~20 cm soil depth of coastal saline soil under straw mulching, *Sesbania cannabina* covering and bare land

与裸地相比,秸秆和田菁覆盖处理后,0~20 cm 土层的土壤盐分均表现出明显的下降趋势。其中,秸秆覆盖处理的下降趋势能持续的维持,经过雨季 6—7 月雨水的淋洗作用,7 月中旬后 0~20 cm 土层的土壤盐分稳定维持在 0.2 dS·m⁻¹ 以下,变幅为 0.06~0.20 dS·m⁻¹,平均值为 0.11 dS·m⁻¹。经过连续 9 个月的观测,秸秆覆盖后 0~20 cm 土层的含盐量比裸地大幅度下降,差异达极显著性(图 3),脱盐率达 94.1%。田菁覆盖处理 0~20 cm 土层的土壤盐分存在与裸地类似的明显的季节性变化规律,即 0~20 cm 土层的积盐期明显,最高点出现在 2014 年 10 月中旬—11 月初。2015 年 2—4 月的 6 次观测表明 0~20 cm 土层土壤盐分基本维持稳定,变幅为 0.57~1.04 dS·m⁻¹,平均值为 0.84 dS·m⁻¹,显著低于裸地,同时显著高于秸秆覆盖处理。田菁覆盖处理的脱盐率为 52.8%,具有较好的脱盐作用,但脱盐效果显著低于秸秆处理,为秸秆处理的 56.1%。

2.3 秸秆覆盖和田菁覆盖下 20~40 cm 土层的脱盐效果

秸秆覆盖处理 20~40 cm 土层经过雨季近 3 个月的淋洗,土壤盐分基本维持稳定,变化幅度为 0.08~0.45 dS·m⁻¹,平均值为 0.21 dS·m⁻¹。2014 年 10 月中旬也存在较为明显而短暂的积盐期,20~40 cm 土层比 0~20 cm 土层更明显,盐分增加 0.25 dS·m⁻¹ 左右。20~40 cm 土层的脱盐率为 89.8%,略低于 0~20 cm 土层。田菁覆盖处理 20~40 cm 土层同样存在与裸地类似的

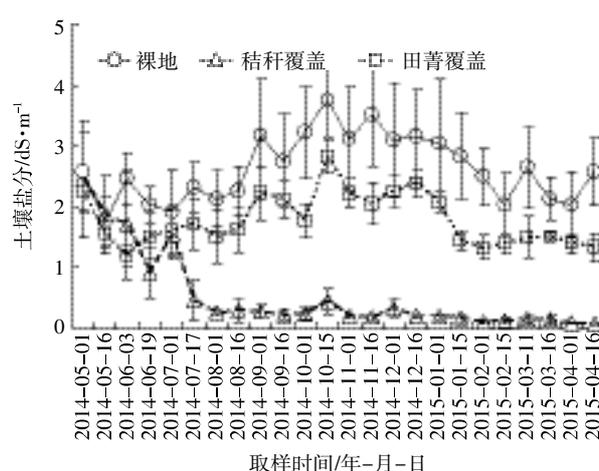


图 4 裸地、秸秆和田菁覆盖条件下滨海盐土 20~40 cm 土层土壤盐分的动态变化

Figure 4 Comparison of annual dynamics of soil salinity in 20~40 cm soil depth of coastal saline soil under straw mulching, *Sesbania cannabina* covering and bare land

明显的季节性变化特征,积盐期较为平缓,最高点仍为10月中旬。经过2015年1—4月连续7次的观测,20~40 cm土层土壤盐分基本维持稳定,变幅为1.33~1.52 dS·m⁻¹,平均值为1.42 dS·m⁻¹,显著低于裸地,同时显著高于秸秆覆盖处理。脱盐率为45.0%,田菁覆盖具有较好的脱盐作用,脱盐效果为秸秆处理的50.1%。

表3是试验实施前和实施1年后不同覆盖处理和裸地0~20 cm和20~40 cm土层土壤盐分的变化,实施前不同处理小区土壤盐分间的差异均不显著,覆盖处理1年不同土层3个处理间的差异均达显著水平,且土壤盐分的排序均为裸地>田菁覆盖>秸秆覆盖。另外,就裸地盐分而言,0~20 cm土层是增加的,但差异未达显著水平($P>0.05$);20~40 cm土层的土壤盐分没有变化,因此,滨海盐土自然脱盐的过程是缓慢的,甚至存在轻微的增加,因为试验区蒸降比较高,2001—2010年10年平均为1.37。

表3 秸秆覆盖和种植田菁处理对不同土层盐分含量的影响(dS·m⁻¹)

Table 3 Effects of straw mulching and *Sesbania cannabina* covering on soil salinity of different soil profile(dS·m⁻¹)

处 理	土壤剖面/cm	
	0~20	20~40
处理前(2014-05-01)		
裸地	1.86±0.77a	2.58±0.64a
秸秆覆盖	1.86±0.79a	2.46±0.96a
田菁覆盖	1.78±0.45a	2.25±0.43a
处理后(2015-04-16)		
裸地	2.32±0.68a	2.57±0.55a
秸秆覆盖	0.058±0.005c	0.082±0.016c
田菁覆盖	0.57±0.13b	1.34±0.23b

2.4 不同覆盖处理土壤盐分与累积降雨量间的关系及淋洗曲线

为明确秸秆覆盖后雨季降雨量对滨海盐土的脱盐效果,有必要进一步分析不同土层盐分含量与累积降雨量的关系(图5),以及利用土壤盐分含量与降雨量数据进行淋洗曲线的拟合(图6)。结果表明,裸地条件下0~20 cm和20~40 cm土层的土壤盐分含量与累积降雨量的关系均可以用二次多项式拟合,回归方程分别为: $y=0.000\ 009x^2+0.001\ 8x+1.334$ ($R^2=0.260$, $P<0.05$); $y=-0.000\ 002x^2+0.003x+1.879$ ($R^2=0.317$, $P<0.05$)。田菁覆盖条件下0~20 cm和20~40 cm土层的土壤盐分含量与累积降雨量的关系同样可以用二次多项

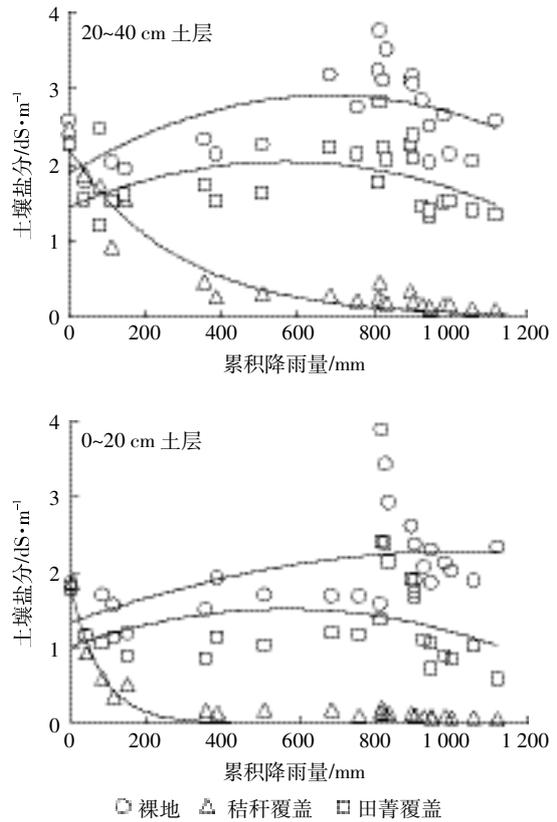


图5 裸地、秸秆和田菁覆盖处理不同土层的盐分含量与累积降雨量关系

Figure 5 Relationship between soil salinity and accumulative rainfall in different soil profiles of bare land, straw mulching and *Sesbania cannabina* covering

式拟合,回归方程分别为: $y=-0.000\ 002x^2+0.001\ 8x+1.014$ ($R^2=0.082$, $P>0.05$); $y=-0.000\ 002x^2+0.002\ 1x+1.443$ ($R^2=0.260$, $P<0.05$)。而秸秆覆盖条件下,0~20 cm和20~40 cm土层的土壤盐分含量与累积降雨量的关系均可以用指数函数拟合(图5),回归方程分别为: $y=1.783e^{-0.012\ 7x}$ ($R^2=0.902$, $P<0.01$); $y=2.207e^{-0.003\ 59x}$ ($R^2=0.919$, $P<0.01$)。

淋洗方程给出了淋洗的相对脱盐量与所提供的相对雨水量间明确的数量关系,秸秆覆盖条件下土壤的淋洗方程可以用指数函数拟合(图6),回归方程分别为: $y=0.410e^{-0.536x}$ (0~20 cm, $R^2=0.820$, $P<0.01$); $y=0.634e^{-1.193x}$ (0~40 cm, $R^2=0.882$, $P<0.01$)。拟合的指数方程表明 EC_a/EC_i 随着 D_w/D_s 的增加而指数下降,根据计算0~20 cm和0~40 cm的土层脱盐80%分别需要267.8 mm和386.8 mm的累积降雨量。而田菁覆盖下 EC_a/EC_i 与 D_w/D_s 间可以用三次多项式函数拟合,回归方程分别为: $y=-0.049x^3+0.372x^2-0.656x+0.660$ (0~20 cm, $R^2=0.454$, $P<0.01$); $y=-0.337x^3+1.240x^2-$

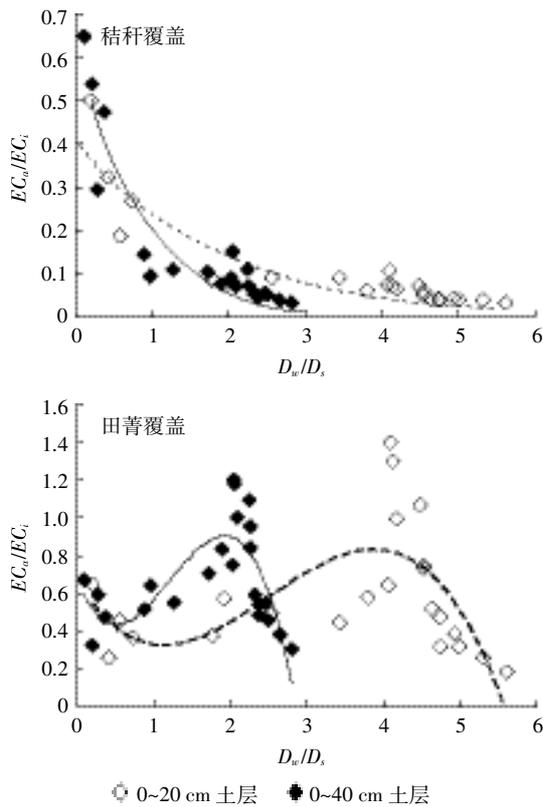


图 6 秸秆和田菁覆盖条件下滨海盐土的淋洗方程

Figure 6 Leaching function of coastal saline soil under straw mulching and *Sesbania cannabina* covering

$1.022x+0.682(0\sim 40\text{ cm}, R^2=0.590, P<0.01)$ 。总体上表现为先升后降的变化规律。

3 讨论

经过长期的研究,我国在盐碱地的脱盐和改良等取得了较多的进展,杨劲松等^[2]对此进行了总结,提出了包括 40 多项实用技术的盐碱地治理和农业高效利用的技术体系。本研究基于江苏省沿海滩涂的实际,即丰沛的雨水资源且存在明显的雨季(6—8月),提出了以覆盖为核心的滨海盐土脱盐技术体系框架,并以此安排了有关的田间试验进行验证。

通过对不同盐分盐土进行覆盖^[9]、不同秸秆覆盖^[8]等方面的研究,秸秆覆盖地表可有效减少土壤水分蒸发,抑制了土壤中可溶性盐分的表聚作用。本研究所在地区 6—8 月为雨季,秸秆覆盖处理后雨水具有强而稳定的脱盐效果,经过 3 个月 0~40 cm 的土壤盐分即降至 $0.3\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (相当于 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 以下,0~20 cm 土层脱盐率为 94.1%,20~40 cm 为 89.8%,且脱盐效果稳定,进而可以种植对盐逆境较为敏感的作物。这与美国早期利用棉铃壳覆盖脱盐随后种植高粱等

作物的试验结果^[5]是一致的。土柱模拟^[20]和大田试验^[12]均表明秸秆覆盖明显抑制了土壤水分的蒸发。在 $1.05\text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 的秸秆覆盖下,土壤水分蒸发抑制率达 80.5%^[8]。本试验的周年观察表明秸秆覆盖后土壤含水量显著高于田菁覆盖和裸地,说明对降雨具有较好的接纳保蓄能力,增强了雨水对土壤盐分的淋洗作用。但由于江苏省沿海滩涂地下水埋深较浅(1~1.5 m),去除秸秆覆盖种植作物后其脱盐效果能否维持还有待进一步的观察。

已有的研究表明利用耐盐性较强的田菁等植物进行植被覆盖也有较好的脱盐效果^[14-18],本研究表明田菁覆盖处理 0~20 cm 土层的脱盐率为 52.8%,20~40 cm 为 45.0%。与黄丽萍等^[17]种植田菁后表层 0~20 cm 脱盐率 45.97% 的结果接近,早期有报道田菁覆盖可使耕层土壤盐分降低 78%^[16]。由于田菁耐涝性强^[16],在雨季生长繁茂,形成有效的地表覆盖,可减弱水分蒸发以及由此引起的盐分表聚,又可减少水土流失,进而提高自然降雨对土壤的淋盐与脱盐过程。

本试验连续 1 年的观测表明田菁覆盖的土壤含水量显著低于秸秆覆盖,由此可以推测每次降雨后田菁覆盖处理洗盐的雨量低于秸秆覆盖处理;此外,由于植被的蒸腾作用,田菁覆盖处理因土壤水分蒸发所表聚的盐分高于秸秆覆盖处理。因此,田菁覆盖的脱盐率低于秸秆覆盖,前者为后者的 1/2 左右。田菁覆盖与裸地相比,土壤含水量差异不显著,降雨洗盐的效果总体上是类似的;不过 2 个处理的土壤水分蒸发量存在差异,有研究表明不同作物覆盖下的土壤水分蒸发量顺序为休闲地>高粱>大豆>小麦(在小麦生长期)+草木栖>田菁^[21],因此田菁覆盖处理因土壤水分蒸发所表聚的盐分低于裸地处理,本研究表明田菁覆盖处理的土壤盐分显著低于裸地。

已有的研究大多认为指数模型是适合的脱盐试验模型^[22-23],不过这些结果是在土柱模拟^[23]或非覆盖自然降雨^[22]条件下获得的,秸秆覆盖条件下土壤盐分的降雨淋洗方程尚未见报道。本研究结果表明在秸秆覆盖条件下,0~20 cm 和 0~40 cm 土壤剖面的淋洗方程同样可用负指数函数拟合,且拟合效果较好 ($P<0.01$)。基于该淋洗曲线,得出 0~20 cm 和 0~40 cm 土层脱盐 80% 需要 267.8 mm 和 386.8 mm 的累积降雨量。已有的研究认为“单位深度的水可脱去单位深度土层 70%~80% 的盐分”^[23-27],本研究的结果与此接近。另外,江苏沿海地区每年雨季(6—8 月)的降雨量可以满足表层盐土(0~40 cm)脱盐 80% 对 386.8 mm 雨

量的需求。

由于本研究仅做了1年覆盖处理的土壤水盐观测,且监测土层仅局限在0~20 cm和20~40 cm。经过1年覆盖处理脱盐后种植作物后土壤耕层水盐动态仍需进一步观测,此外,如滩涂脱盐后用于盐碱地造林,则应加深土层观测的深度,进行0~100 cm剖面不同土层盐分的动态变化,以明确经秸秆和植被覆盖脱盐后的滩涂是否适宜于滩涂造林,以及造林树种的选择。

4 结论

(1)覆盖秸秆或种植田菁对滨海盐土均具有显著的脱盐效果,其中田菁覆盖处理的脱盐率为秸秆覆盖的1/2左右,覆盖增加了土壤对降雨的接纳保蓄能力,大幅度减少了土壤水分的蒸发;而裸地的自然脱盐过程却表现出轻微不显著的增加,试验区蒸降比较高。

(2)秸秆覆盖条件下土壤含盐量与累积降雨量间的关系以及淋洗曲线均可用指数函数拟合 $y=ae^{bx}$ ($P<0.01$)。根据淋洗方程计算可得表层土壤(0~40 cm)脱盐80%需要386.8 mm的累积降雨量,江苏沿海地区雨季(6—8月)的雨量可满足这一要求。

参考文献:

- [1] 崔士友,张蛟蛟. 碳管理:盐土治理的一种新思路[J]. 农学学报, 2015, 5(12):44-50.
CUI Shi-you, ZHANG Jiao-jiao. Carbon management: A new approach to the governance of saline soils[J]. *Journal of Agriculture*, 2015, 5(12): 44-50. (in Chinese)
- [2] 杨劲松,姚荣江. 我国盐碱地的治理与农业高效利用[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(增刊):162-170.
YANG Jin-song, YAO Rong-jiang. Management and efficient agricultural utilization of salt-affected soil in China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2015, 30(supplement): 162-170. (in Chinese)
- [3] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):837-845.
YANG Jin-song. Development and prospect of the research on salt-affected soils in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5):837-845. (in Chinese)
- [4] Chalker-Scott L. Impact of mulches on landscape plants and the environment: A review[J]. *Journal of Environmental Horticulture*, 2007, 25: 239-249.
- [5] Fanning Carl D, David L Carter. The effectiveness of a cotton bur mulch and a ridge-furrow system in reclaiming saline soils by rainfall[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1963, 27(6):703-706.
- [6] 李新举,张志国,刘勋岭,等. 秸秆覆盖对土壤水盐运动的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2000, 31(1):38-40.
LI Xin-ju, ZHANG Zhi-guo, LIU Xun-ling, et al. Effects of straw mulch on soil water and salt moving[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2000, 31(1):38-40. (in Chinese)
- [7] 乔海龙,刘小京,李伟强,等. 秸秆深层覆盖对土壤水盐运移及小麦生长的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(5):885-889.
QIAO Hai-long, LIU Xiao-jing, LI Wei-qiang, et al. Effect of deep straw mulching on soil water and salt movement and wheat growth[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(5):885-889. (in Chinese)
- [8] 孙博,解建仓,汪妮,等. 不同秸秆覆盖量对盐渍土蒸发、水盐变化的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1):246-250.
SUN Bo, XIE Jian-cang, WANG Ni, et al. Effect of straw mulching on change of evaporation and water-salt in the saline soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(1):246-250. (in Chinese)
- [9] 张金珠,王振华,虎胆·吐马尔白. 秸秆覆盖对滴灌棉花土壤水盐运移及根系分布的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(12):1467-1476.
ZHANG Jin-zhu, WANG Zhen-hua, Hudan·TUMAREBI. Influence of straw mulching on soil water/salt movement and cotton root distribution under drip irrigation[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(12):1467-1476. (in Chinese)
- [10] Aragüés R, Medina E T, Clavería I. Effectiveness of inorganic and organic mulching for soil salinity and sodicity control in a grapevine orchard drip-irrigated with moderately saline waters[J]. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2014, 12(2):501-508.
- [11] Pang H C, Li Y Y, Yang J S, et al. Effect of brackish water irrigation and straw mulching on soil salinity and crop yields under monsoonal climatic conditions[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(12): 1971-1977.
- [12] 赵名彦,丁国栋,郑洪彬,等. 覆盖对滨海盐碱土水盐运动及对刺槐生长影响的研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(4):751-755.
ZHAO Ming-yan, DING Guo-dong, ZHENG Hong-bin, et al. A study on effects of different ground covers on water and salt movement and *Robinia pseudoacacia* growth in marine saline-alkaline soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(4):751-755. (in Chinese)
- [13] Chen X, Kang Y, Wan S, et al. Influence of mulches on urban vegetation construction in coastal saline land under drip irrigation in north China[J]. *Agricultural Water Management*, 2015, 158:145-155.
- [14] 殷云龙,於朝广,华建峰,等. 豆科植物田菁对滨海盐土的适应性及降盐效果[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(5):336-338.
YIN Yun-long, YU Chao-guang, HUA Jian-feng, et al. Adaptability of legume *Sesbania cannabina* to coastal saline soil and its effect on de-salting[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(5):336-338. (in Chinese)
- [15] 张立宾,郭新霞,常尚连. 田菁的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2):310-312.
ZHANG Li-bin, GUO Xin-xia, CHANG Shang-lian. Salt tolerance of *Sesbania cannabina* and its ameliorative effects on coastal saline soil[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(2):310-312. (in Chinese)
- [16] 任玉民,李国林,吴芝成,等. 辽宁省盘锦沿海地区田菁的栽培及其改良盐土的效果[J]. 土壤学报, 1965(4):365-376.
REN Yu-min, LI Guo-lin, WU Zhi-cheng, et al. Cultivation of *Sesba-*

- nia cannabina* and its effects on amelioration of saline soil in coastal area of Panjin, Liaoning Province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1965(4): 365-376. (in Chinese)
- [17] 黄丽萍, 王立艳, 杨 勇, 等. 四种耐盐植物根际土壤盐分运移特征研究[J]. 天津农业科学, 2014, 20(6): 73-76.
HUANG Li-ping, WANG Li-yan, YANG Yong, et al. The characteristics of soil movement in coastal saline soil of four salt-tolerant plants [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2014, 20(6): 73-76. (in Chinese)
- [18] 谢文军, 王济世, 靳祥旭, 等. 田菁改良重度盐渍化土壤的效果分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(6): 119-123.
XIE Wen-jun, WANG Ji-shi, JIN Xiang-xu, et al. Effect of *Sesbania cannabina* cultivation on severe salinity soil fertility improvement[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(6): 119-123. (in Chinese)
- [19] 魏忠平, 潘文利, 范俊岗. 林草生态模式改良盐碱土的效果研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(10): 100-104.
WEI Zhong-ping, PAN Wen-li, FAN Jun-gang. Effects of soil amelioration of saline-alkali soils on forest-grass ecological patterns[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2012, 32(10): 100-104. (in Chinese)
- [20] 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.
ZHANG Jin-zhu, WANG Zhen-hua, Hudan·Tumaerbai. Effects of straw mulch on vertical water movement and evaporation of a soil column[J]. *Arid Zone Research*, 2015, 32(5): 861-868. (in Chinese)
- [21] 任玉民, 吴芝成. 滨海盐渍土稻田回旱后水盐动态及其调节 [J]. 北方水稻, 1982(6): 1-11.
REN Yu-min, WU Zhi-cheng. Dynamics and regulation of water and salt in paddy soil after returning to dry land in coastal saline soil[J]. *Northern Rice*, 1982(6): 1-11. (in Chinese)
- [22] Sarraf A P, Vahdat F, Pazira E, et al. Estimating reclamation water requirement and predicting final soil salinity for soil desalinization[C]// International Drainage Symposium Held Jointly with CIGR and CSBE/SCGAB Proceedings, Québec City Convention Centre, Québec City, Canada, 2010.
- [23] Monteleone M, Libutti A. Salt leaching due to rain in Mediterranean climate: Is it enough?[J] *Italian Journal of Agronomy*, 2012(7): 36-43.
- [24] Abrol I P, Yadav J S P, Massoud F I. Salt-affected soils and their management FAO Soils Bulletin No. 39[R]. Rome: FAO, 1988.
- [25] Rhoades J D, Loveday J. Salinity in irrigated agriculture[M]//Stewart A, Nielsen D R. Agronomy Monograph No. 30 Madison USA: American Society of Agronomy Publ, 1990: 1089-1142.
- [26] Burt C M, Isbell B. Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation[J]. *Transactions of the ASAE*, 2005, 48: 2115-2121.
- [27] Pazira E, Sadeghzadeh K. Soil desalinization and land reclamation in Iran. A case study: Khuzistan Province[C]//New technologies to combat desertification, Tokyo: United Nations University Press, 1999.