

# 土壤盐渍化治理防护毯的研发及试验

毛海涛<sup>1,2</sup>, 黄庆豪<sup>1</sup>, 龙顺江<sup>1</sup>, 王正成<sup>3</sup>

(1. 重庆三峡学院土木工程学院, 重庆 404100; 2. 武汉大学水利水电学院, 武汉 430072;  
3. 新疆石河子大学水利建筑工程学院, 石河子 832002)

**摘要:** 土壤盐渍化问题是中国农业面临的一个巨大挑战, 严重制约着农业生产的发展。为探索治理土壤盐渍化的方法, 该文基于干旱区 5 类代表性土壤(砾砂、粉土/粉砂、粉土/粉细砂、粉土和亚黏土)的盐渍化规律, 以盐碱土形成原因为切入点, 结合土壤水的毛细管作用, 以海绵(强力吸水层)、吸热聚乙烯编织布(蒸散加强层)为主要材料, 设计出一种盐碱地治理防护毯, 并对防护毯吸盐的深度和效果进行试验研究。结果表明: 5 类土壤表面的积盐情况各不相同, 粗颗粒土(砾砂及砂土)含量较大时, 在强蒸发条件下, 3~4 d 土样表面积盐后形成了一层厚约 3~4 mm“盐痂”; 细颗粒土(亚黏土和粉土)含量相对较多时, 短期内表面积盐速度相对较慢且现象也不明显, 10~12 d 后, 土样表面可观察到一层细密的晶体盐颗粒。所以, 土壤岩性质地与表层积盐量关系密切。总体趋势是: 土壤颗粒越粗, 土壤表层在早期的积盐量越大; 土壤颗粒越细, 土壤表层在后期的总体积盐量越大。在干燥通风和室外温度 25℃ 的条件下, 防护毯对上述不同类型土壤进行吸盐试验, 在 4 d 后 0~10 cm 土层的含盐量(质量分数, 下同)均可减少 80%以上(粉砂土除外)( $P < 0.05$ )以上; >10~20 cm 土层至少减少 50% ( $P < 0.05$ )以上; 对于砂性土来说, >20~30 cm 土层含盐量减少了 50%左右 ( $P < 0.05$ ), 而黏性土和壤土可减少 20%~30%以上 ( $P < 0.05$ )。对于实际中的盐碱土而言, 含盐量减少 30% 时, 土壤的肥力和可耕作程度会明显改善, 能有效减小盐渍化对作物生长的影响。此外, 研究还发现, 铺设防护毯还能改变盐碱地表层土壤的结构, 增强土壤的透气性。防护毯最佳使用时间应为土壤毛细管作用最强烈的时间段。该研究提供了一种有效的盐碱地治理措施。

**关键词:** 土壤; 脱盐; 毛细管作用; 防护毯; 盐碱地治理; 海绵

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.016

中图分类号: S156.4<sup>+</sup>1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-17-0121-07

毛海涛, 黄庆豪, 龙顺江, 王正成. 土壤盐渍化治理防护毯的研发及试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 121-127.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.016 <http://www.tcsae.org>

Mao Haitao, Huang Qinghao, Long Shunjiang, Wang Zhengcheng. Development and experiment on protective blanket for soil salination control[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(17): 121-127. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.016 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

盐碱地改良一直是世界性难题<sup>[1]</sup>。中国盐碱土地资源总额约为  $9.913 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 对农业生产和耕地有巨大的威胁<sup>[2-3]</sup>。目前, 国内外的盐碱化治理和改良措施主要包括水利、化学和生物 3 种。水利改良包括灌溉洗盐、排水脱盐、节水控盐等方法<sup>[4]</sup>。化学改良剂主要是改变土壤的理化性质和改变土壤的团粒结构: 如李明等<sup>[5]</sup>利用脱硫石膏改良不同类型盐碱地种植马莲, 得到了良好的改良效果; 肖国举等<sup>[6]</sup>研究发现脱硫石膏能降低土壤的碱化度、总碱度和 pH 值。生物方面包括植物改良和微生物改良, 如澳大利亚科学家在澳洲沿海地带发现了一种喜盐、吸水性强的植物滨藜, 这种植物根系发达, 可以

较快的降低地下水位, 并吸收大量土壤盐分, 可以在盐碱地生长<sup>[7]</sup>。孙跃春等<sup>[8]</sup>研究表明, 盐碱条件下接种丛枝菌根真菌提高了甘草的生物量, 提高了对 N、P、K, 的吸收, 降低了对 Na 的吸收; 王婧等<sup>[9]</sup>研究了微生物菌肥对盐渍土壤微生物区系和食葵产量的影响, 结果显示施用菌肥可降低 0~40 cm 土层盐分含量, 改善土壤生态系统, 显著提高食葵产量。已有的方法和研究成果从不同的出发点研究盐碱土的治理问题, 但也存在相应的局限性, 如水利措施, 不利于节水, 而且需要修建大量的排水沟渠和配套设施<sup>[10]</sup>; 化学方法和生物方法只能针对特殊的盐碱土进行针对性处理, 而且容易造成土壤的二次污染<sup>[11]</sup>。

土壤盐碱化的发生过程中, 地下水起到“决定性”的作用。地下水位较高时, 水中盐分通过毛细管作用上升至地表, 而后“水走盐留”, 土壤表面会积聚一层盐碱, 造成土壤的盐碱化。若能在土壤表面铺设一层毛细管作用更加强烈的材料, 使盐分最终停留在铺设的材料中而不是土壤表面, 同时能吸附土壤较深层次的盐分, 将会较好的降低土壤盐碱化程度。基于此

收稿日期: 2015-05-12 修订日期: 2015-08-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51309262); 重庆市博士后科研项目特别及日常资助(RC201417; XM2014088);

作者简介: 毛海涛, 男, 山西运城人, 博士, 副教授, 从事干旱区节水灌溉及土壤次生盐渍化机理研究。重庆 重庆三峡学院土木工程学院, 404100。

Email: maohaitao1234@163.com

构想, 本文研发出一种土壤盐碱化防护毯, 并进行了初步的试验研究, 结合前人的研究成果, 力图为盐碱地治理提供一种有效的思路和方法。

## 1 盐碱化治理防护毯研制及工作机理

### 1.1 盐碱化防护毯的研制

土壤盐碱化防护毯主要利用水的毛细管作用将土壤内部及表面盐分吸附到其中, 快速有效的吸收土壤中的盐分。基于此目的, 防护毯设计为 2 层, 分别是下部强力吸水层和上部蒸散加强层, 如图 1 所示。

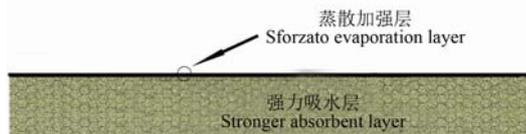
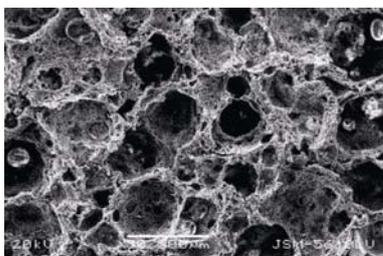


图 1 盐碱化防护毯剖面

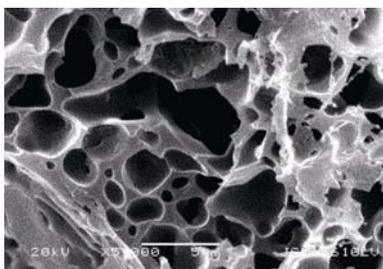
Fig.1 Saline-alkali protective blanket profile

#### 1.1.1 强力吸水层

底部强力吸附层需具备较强的吸水能力, 即吸附层中水分的毛细管作用必须远远大于水在土壤中的毛细管作用。综合考虑现有各种材料的特性, 防护毯选用 10 cm 厚的中密度纯聚乙烯醇海绵作为底部强力吸附层材料。该材料内部结构联通, 孔径结构均匀, 其内部结构 50 倍和 5 000 倍的扫描电镜图如图 2 所示。图中可以看出, 其内部存在无数的细小孔隙, 这将产生强烈的毛细管作用, 对土壤中水分施加较强的拖曳力, 这使得海绵具有强烈的吸水能力和较好的膨胀能力。



a. 放大 50 倍  
a. Magnified by 50 times



b. 放大 5000 倍  
b. Magnified by 5 000 times

图 2 中密度纯聚乙烯醇海绵内部多孔结构电镜图

Fig.2 Interior porous structure of medium-density pure polyvinyl alcohol sponge scanned by electron microscope

以吸水率表示其吸水能力<sup>[12]</sup>, 其表达式为:

$$W_a = (W_e - W_d) / W_d \quad (1)$$

式中:  $W_a$  为海绵吸水率, %;  $W_d$  为海绵干质量, g;  $W_e$  为海绵在水中充分溶胀后的湿质量, g。

经试验测定, 中密度纯聚乙烯醇海绵吸水率可达到 2 558.71%。此外, 该海绵还具有较强的抗拉性能, 抗拉抗拉强度可达到 0.24 MPa, 满足本防护毯的设计要求。

#### 1.1.2 蒸散加强层

为了使防护毯底层吸附水分快速蒸发, 在顶部包扎一层黑色透气的聚乙烯拉丝编织布; 因为黑色材料表面具有较强吸热能力, 在阳光的辐射下, 能加快下部结构水分的蒸发。防护毯上部编织布具有细密透水的特性, 其网眼规格为 5 mm×5 mm。

### 1.2 防护毯工作机理

土壤地下潜水位较高时, 水位以上的毛细水带接近土壤表层, 有些农作物的根系就能直接接触到毛细水带, 若地下水矿化度较高, 而外界相对湿度较低时, 蒸散作用强烈, 导致毛细水由于蒸散被带到地表附近, 水走盐留, 土壤表层盐分增加, 产生土壤盐碱化。将防护毯覆盖在土壤表面, 即在土壤表面增加了盐碱化保护层, 毛细水最终将盐分带到防护毯中, 使盐分不会在土壤表面积累, 从而减轻了土壤盐碱化, 其示意图如图 3 所示。

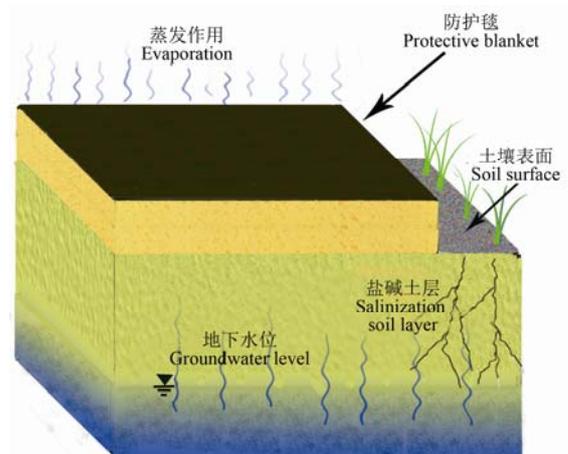


图 3 防护毯盐渍化治理机理

Fig.3 Mechanism of protective blanket for salination control

防护毯针对盐碱地上述成因进行设计, 其治盐工作机理描述如下: 1) 强力吸附层在上部结构的重力作用下 (实际使用中在表面增加细条状重物增加重力), 能与凹凸不平的地面紧贴, 土壤水分受蒸发、毛细力作用快速地被吸附到防护毯中, 大大减少了盐碱在土表面的积聚; 2) 蒸散加强层能高效的吸光和吸热, 使防护毯的内部温度快速升高, 增大了防护毯及地面的蒸发作用, 加剧了毛细作用, 从而使下部盐碱随水分快速集聚到防护毯内部。

## 2 盐碱化治理防护毯应用试验

为了测试防护毯对于不同类型土壤盐碱化的治理效果, 本文在西北干旱区代表性农田选取 5 类典型的土壤进行试验, 研究不同类型土壤发生盐碱化的规律, 为防护毯的使用提供技术参数。然后, 针对不同类型土壤进行盐碱化治理防护毯试验, 探讨防护毯治盐效果及规律。

### 2.1 试验土样

试验土样来源于新疆昌吉市呼图壁县芳草湖农场(43°16′~45°20′N、86°05′~87°07′26″E), 农场地处天山北麓准噶尔盆地南缘呼图壁河下游的冲积平原, 灌溉水系呼图壁河, 总面积 960 km<sup>2</sup>。该地区降水量 182.9 mm, 年总蒸发量 1 926.7 mm, 年总日照时数 2 783.8 h, 属于典型的大陆性气候。近年来由于农业灌溉, 灌区约 62% 的面积地下水埋深 < 2 m, 不少耕地因次生盐渍化而荒废, 日趋严重的土壤盐渍化不利于该区农业和经济的可持续发展。因此, 对农场内土壤盐渍化发生规律进行研究十分必要。选择土样时分别在冲积平原的上中下游典型位置进行采集样本, 开挖土壤颗粒分析取样剖面 15 个, 采集并测试土壤颗粒分析样品 45 份, 根据取样地点不同, 将土样分为 5 类。芳草湖农场土壤属于典型的北疆农田土壤, 所选土样具地区代表性。参考《土的工程分类标准》(GB/T50145-2007)<sup>[13]</sup>综合分析表明: 土样 1<sup>#</sup>属于砾砂, 土样 2<sup>#</sup>属于粉土/粉砂, 土样 3<sup>#</sup>粉土/属于粉细砂, 土样 4<sup>#</sup>属于为粉土, 土样 5<sup>#</sup>属于为亚黏土。根据土的分类情况, 将芳草湖农场各区域的土壤进行分类, 各土壤质地与其所占面积和比例如表 1 所示。

表 1 芳草湖农场土壤岩性分布

Table 1 Soil lithology distribution of Fangcaohu farm

土样编号 No. of soil sample	质地 Texture	面积 Area/km <sup>2</sup>	比例 Percent/%
1 <sup>#</sup>	砾砂	79.7	8.3
2 <sup>#</sup>	粉土/粉砂	108.5	11.3
3 <sup>#</sup>	粉土/粉细砂	194.9	20.3
4 <sup>#</sup>	粉土	226.6	23.6
5 <sup>#</sup>	亚黏土	350.4	36.5

### 2.2 土壤盐碱化规律试验

经检测试验区土壤盐渍化主要以钠盐和钾盐为主, 因此试验采用 NaCl 和 KCl 作为试验用盐, 用纯净水配置 36 g/L NaCl 和 34 g/L KCl 饱和溶液, 将盐溶液分别与提取的 5 类风干土样混合并搅拌, 配置初始含水率质量分数为 12% 的土样; 然后分别取 5 类土样铺设在 1 m<sup>2</sup> 的湿润水槽内, 压实度为 0.8, 铺设厚度为 30 cm 并置于室内。试验期间室外温度在 25℃ 以上, 风力 2~3 级, 时间持续 20 d, 在试验 4、12 和 20 d 分别观察并测定 5 类土样表层 5 cm 厚土来监测积盐量的大小, 具体方法是: 每类土样取 50 g 表层土 3 份, 溶于等量 (100 mL) 的淡水中, 充分震荡使土中盐充分溶于水中, 静置后取上层盐溶液 20 mL, 倒入蒸发皿蒸干。称蒸发皿中盐分的质量, 进

而推求水中总的盐分, 求出对应土层含盐量。各土样重复 3 次, 求平均值。同时, 用富士 X-T1 微单相机拍摄照片, 观察土壤表层盐分积累情况。

### 2.3 土壤盐碱化治理防护毯试验

针对上述 5 类土壤, 将配置和上述试验相同含盐量和相同压实度的土样, 初始含水率质量分数仍保持为 12%, 并将土样分别放置在长度 40 cm、内径 20 cm 的聚氯乙烯塑料管中, 土样厚度为 30 cm, 管端剩余 10 cm 放置质量为  $m_1$  的防护毯并压实, 使防护毯底部与土样表面紧密接触; 在水槽中盛上述配置的 36 g/L 的 NaCl 溶液, 在溶液中平铺一层空心砖作为支承层, 支承层表面铺设一层土工布作为反滤层, 水槽中溶液没过土工布至少 5 cm, 最后将上述装有土样的塑料管放置在支承层上, 试验装置图见图 4。每类土样设置 3 组平行试验, 试验期间保持通风、室外温度在 25℃ 左右; 试验持续时间为 20 d, 期间每隔 2 d 取出塑料管中顶部防护毯, 风干后称其质量为  $m_2$ ,  $m_2$  与  $m_1$  的差值即为防护毯中盐的质量, g。

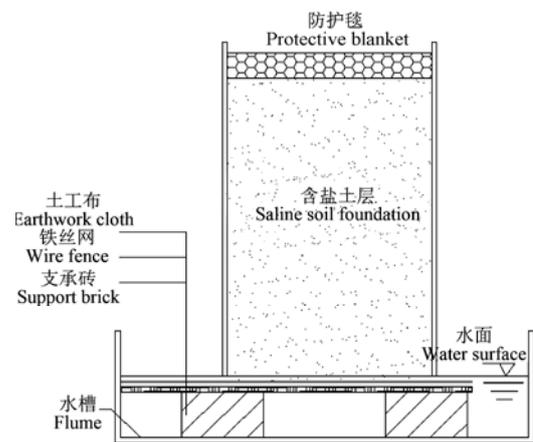


图 4 防护毯吸盐试验装置

Fig.4 Test apparatus of salt absorption by protective blanket

同时, 采用上述方法研究防护毯吸盐能力, 不同之处是 5 类土样均装土 30 cm, 5 类土样的含盐量均相同为 10%; 土柱下部水槽中水为淡水, 不含盐分。在土柱表面覆盖防护毯, 至于通风、干燥处, 并保持外部温度为 25℃ 以上, 每隔 12 h 测定 0~10、>10~20 及 >20~30 cm 土层的含盐量。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤盐碱化规律

不同土样 5 cm 土层在不同时间的含盐量如表 2 所示。

表 2 不同土样在不同时间段表层 5cm 厚土壤含盐量

Table 2 Surface soil salinity of 5 cm surface soil layer of different samples in different time

土样编号 No. of soil sample	% 含盐量		
	4 d	12 d	20 d
1 <sup>#</sup>	1.90±0.012	2.56±0.015	2.87±0.017
2 <sup>#</sup>	1.81±0.005	2.32±0.008	2.96±0.013
3 <sup>#</sup>	1.70±0.006	2.28±0.009	3.36±0.015

4 <sup>#</sup>	1.35±0.016	2.09±0.014	4.09±0.017
5 <sup>#</sup>	1.34±0.007	1.98±0.012	4.28±0.019

试验发现,不同土样表面的积盐各不相同,土样 1 粗颗粒(砾砂)含量最大,在强蒸发条件下,3~4 d 土样表面积盐后形成了一层厚约 3~4 mm“盐痂”(图 5a);5<sup>#</sup>土样细颗粒(亚黏土)含量相对较多,试验初始 3~4d 内表面积盐速度相对较慢,现象也不明显,10~12 d 后,土样表面可观察到一层细密的晶体盐颗粒,(图 5b)。



a. 砾砂土表面盐痂  
a. Salt scabs of gravel sand soil surface



b. 亚黏土表面盐结晶  
b. Salt crystals of mild clay soil surface

图 5 砾砂和亚黏土表面积盐现象

Fig.5 Surface salt accumulation phenomenon of gravel sand and mind clay

由表 2 和图 4 可以看出,不同类型土壤表面积盐量和积盐现象不同。4 d 末和 12 d 末土壤表面的积盐量大小顺序为:1<sup>#</sup>>2<sup>#</sup>>3<sup>#</sup>>4<sup>#</sup>>5<sup>#</sup>;20 d 末其顺序刚好相反。土样 1<sup>#</sup>属于砾砂颗粒最大,其表面在试验前期,在 3~4 d 内会形成一层 3~5mm 厚的“盐痂”,“盐痂”较为密实,形成后阻碍了土壤的水盐运动,所以,土样 1<sup>#</sup>在 12 和 20 d 积盐的量值变化幅度较小,仅上升了 0.31%;土样 5<sup>#</sup>颗粒较细,土壤表层积盐速度较慢,积盐后土壤表层形成一层晶体盐颗粒,20 d 末的积盐量是 12 d 末的 2.16 倍。由此可见,土壤的岩性对土壤表层的积盐量的关系密切。总体趋势是:土壤颗粒越粗,土壤表层在早期的积盐量越大;土壤颗粒越细,土壤表层在后期的总体积盐量越大。

### 3.2 不同类型防护毯吸盐动态

不同土样表面防护毯吸盐量随着时间的变化如图 6 所示。

1<sup>#</sup>土样(砾砂)表面的防护毯吸盐量最多,20 d 后防护毯中吸盐量为 28.36 g,其次是 2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>和 4<sup>#</sup>土样,而 5<sup>#</sup>土样(亚黏土)表面防护毯吸盐量在 20 d 后为 16.21 g,为 5 组对比试验中的最小值。从图中曲线斜率来看,在初始 4 d,各类土表面吸盐速度都相对较大,但还是 1<sup>#</sup>土样表面防护毯的吸盐速度最快,5<sup>#</sup>土样最慢;在 14~16 d 后 4<sup>#</sup>土样和 5<sup>#</sup>土样曲线趋于平缓,而其他 3 类土的曲线仍持续上升,仍是 1<sup>#</sup>土壤的曲线梯度最大,说明防护毯的吸盐速度仍较大。究其原因,因为砾砂土壤中毛细管通道较大且畅通,在上部防护毯的持续吸力作用下,土壤中水分不断地将盐分带入防护毯中;而亚黏性土,土壤内部结构密实,毛细管细密但连通性较差,随着水分的蒸发,部分盐分在土壤表层会堵塞细密的毛细管通道,导致后期防护毯吸盐速度降低。

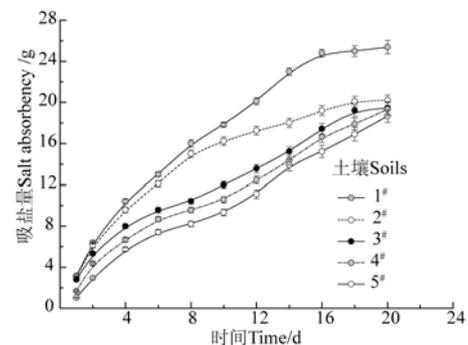


图 6 防护毯在不同土壤中吸盐动态

Fig.6 Dynamics of salt absorption of protective blanket in different soils

### 3.3 防护毯吸盐深度

5 类土壤不同土层含盐量动态如图 7 所示。由图 7a 可以看出,0~10 cm 土层的盐分变化较为明显,96 h 后土壤 1<sup>#</sup>含盐量由 10%下降至 1.1%,相对下降了 89% ( $P=0.02$ ),土壤 3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>和 2<sup>#</sup>中的含盐量也分别下降了 88% ( $P=0.03$ )、83% ( $P=0.02$ )和 80.1% ( $P=0.04$ )、68% ( $P=0.04$ )。5 组土壤中,粉砂土(土壤 2<sup>#</sup>)含盐量下降最小,但也达到了 68%,其他类型土壤含盐量降幅都在 80%以上,有效遏制了土壤表层的含盐量,由此可见,在土壤表层(0~10 cm)防护毯吸盐效果明显。图 7b 中,>10~20 cm 土层在 96 h 后 5 类土中含盐量降幅为 74% ( $P=0.03$ )、69.4% ( $P=0.02$ )、66.6% ( $P=0.01$ )、60% ( $P=0.01$ )、50% ( $P=0.02$ );此组数据相对于 0~10 cm 土层含盐量降幅有所减小,除亚黏土外,其他类型土壤含盐量均达到 60%以上。同理,如图 7c 所示,>20~30 cm 土层含盐量降幅为 60% ( $P=0.03$ )、48.2% ( $P=0.03$ )、32.6% ( $P=0.01$ )、28.8% ( $P=0.02$ )、20.4% ( $P=0.01$ ),相对上述 2 组数据,含盐量降幅明显偏小,砾砂(土壤 1<sup>#</sup>)降幅达到 60% ( $P=0.03$ ),其他组数值均<50%,亚黏土(土壤 5<sup>#</sup>)仅为 20.4%。对比数据可

以发现, 防护毯能有效降低土壤浅层的含盐量, 尤其是 0~20 cm 的表层土, 在 96 h 能降低 60% 以上, >20~30 cm 土层及更深层盐分降幅不及 0~20 cm 层, 但从曲线的变化率来看, 下降趋势仍较明显。按此组曲线的斜率推断, 在 144~168 h (6~7 d) 后, 含盐量仍能持续降低, 以土样 5# (亚黏土) 为例, 其值预计可降低至  $7.5 \text{ g/dm}^2$ , 降幅达 25%。

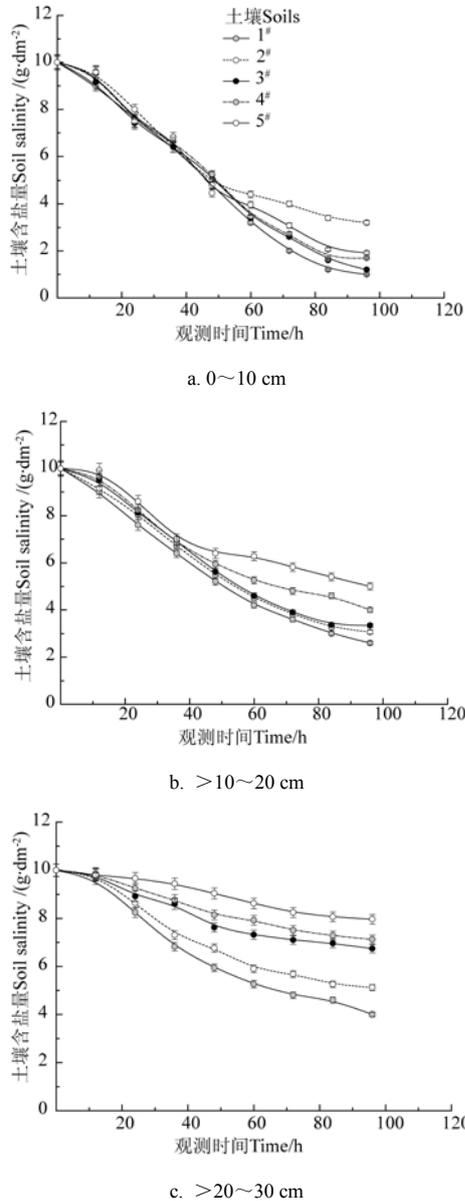


图 7 各土层含盐量变化动态

Fig.7 Dynamics of salinity in each soil layer

## 4 讨论

### 4.1 盐碱化治理防护毯设计机制

发生盐碱化的土地面积一般较大, 治理盐碱化必须考虑成本和实际可操作性, 以便于技术和方法的推广。因此, 本防护毯的设计力求简单、经济且便于操作, 结构共分为 2 层, 分别为海绵材料强力吸水层和黑色聚乙烯材料的蒸散加强层, 每层结构的材料都容易获取。强力吸附层内部孔隙结构发达, 比表面积大且具有极强的

毛细凝聚能力, 故其吸水能力比一般土壤要大得多。强力吸水层覆盖在土壤表面后, 在蒸发驱动作用下, 水分会快速从土壤中被吸附到强力吸水层中, 水中携带的盐分不会在土壤表层积聚而是直接进入强力吸附层。蒸散加强层采用黑色聚乙烯拉丝编织布, 由于黑色不反射任何频率的光, 所以吸收的红外线最多, 而红外线是热辐射, 所以该层能加强土壤表面的蒸散作用, 辅助强力吸水层吸收更多的土壤盐分。本设计将二者结合起来, 充分发挥防护毯的毛细凝聚能力和吸水能力, 达到快速、有效吸附土壤内部盐分的目的。上述试验研究结果表明: 防护毯对干旱区 5 类典型土壤都具有较强的吸盐能力, 尤其对颗粒较粗的砂性土壤吸盐效果最好。

### 4.2 防护毯应用效果及影响因素

对于大多数农作物而言, 主要功能根区分布 0~30 cm 土层。本研究发现, 在干燥通风和室外温度 25℃ 的条件下, 不同类型土壤在 4 d 后, 0~10 cm 土层的含盐量可减少 80% 以上 (粉砂土除外); >10~20 cm 土层至少减少 50% 以上; 对于砂性土来说, >20~30 cm 土层含盐量也减少了 50% 左右, 黏性土和壤土可减少 >20%~30%。对于实际中的盐碱土而言, 含盐量减少 30% 时, 土壤的肥力和可耕作程度会明显改善, 能有效减小盐碱化对作物生长的影响。此外, 研究还发现, 铺设防护毯还能改变盐碱地表层土壤的结构, 增强土壤的透气性。以砂性土为例, 不铺设防护毯发生盐碱化时, 土壤表层会结成一层 3~5 cm 的“盐痂”; 铺设防护毯后, 不仅吸附出土壤表层的盐分, 而且土壤表面颗粒松散, 透气性好, 这样更加利于植物的生长。然而, 这些结果是在室内小范围内获得, 需要用田间试验来验证。

### 4.3 防护毯应用前景及影响因素

根据上述研究成果显示: 土壤盐碱化治理防护毯是一种短期、快速的吸盐措施; 使用时根据不同类型土壤并结合水利等其他措施综合治理土壤研究化, 效果可能会更加明显。如采用大水浇灌压盐后, 会导致地下水位上升, 在蒸发作用下土壤中残余的盐分在短期内会快速返回地面, 此时若覆盖本防护毯, 不仅可以吸收土壤中的参与盐分, 还可以改善土壤表面结构, 增强了土壤的通气性; 又如采用化学方法防治盐碱化, 可将化学或者微生物试剂依附在护毯上, 让化学反应和微生物作用在护毯内部完成, 从而减小了对土壤环境的破坏。

在中国西北及东北地区, 土地较为平坦。对于盐碱化严重而弃耕的土壤, 选择合理的时机直接覆盖防护毯; 对于盐碱化程度较轻的土地, 对土地平整和翻松后就可以大面积覆盖防护毯; 对于已经需要耕作的土地, 可选择小面积或者留有间隙的防护毯分区片覆盖。覆盖防护毯时需要在护毯上面压上条状重物, 并在护毯的四周用土封闭, 确保其底部与土壤表面接触。

防护毯具有节约水资源的优点, 中国干旱区土壤研究化较为严重而水资源紧缺, 靠传统的水利方法除盐, 造价高、浪费大, 可以推广使用盐碱化防护毯。

防护毯制作简单, 便于农民及其他人员操作。防护

毯可以重复多年使用,吸收盐碱后只需要简单冲洗便可继续使用,根据海绵的使用寿命,防护毯预计可使用 5~8 a 以上。防护毯内部结构也松软有弹性,在不使用期间,可以将其折叠挤压存放在干燥阴凉处,并不需要占太大空间。

需要说明的是:目前的防护毯使用仍存在一些限制因素,主要是在成本方面。由于防护毯研究还处于初步研究阶段,选取吸水材料为海绵,目前规模化生产后土地盐碱化治理成本为 6 元/m<sup>2</sup>左右,造价相对较高,不利于防护毯的大面积推广。因此,有必要利用植物秸秆和建筑废料等研发新型的吸附材料来代替海绵,将成本控制在 1~2 元/m<sup>2</sup>,新型防护毯不仅能变废为宝还能在造价上大大降低。因此,随着研究进一步的深入,土壤盐碱化治理防护毯具有广阔的应用前景。

除此之外,防护毯应用还受到其他因素影响:1) 针对干旱区代表性农场的 5 类典型土壤进行防护毯吸盐量和吸盐深度试验,不难发现:不同类型土壤防护毯吸盐效果也不同。砂性土壤内部结构孔隙率越大,毛细管作用越强,防护毯短期吸盐效果好;黏性土和壤土内部结构相对密实,毛细管作用受到制约,防护毯短期吸盐能力较差,要达到理想效果需要较长时间。可见,土壤质地是影响其应用效果的一个重要因子。2) 盐碱化防护毯的治盐最佳时期最好选择土壤毛细管作用最强烈时期。在实际中,尤其是干旱地区,在降水过程中,降水将地表盐分带入土壤内部,雨停后在外界风力和阳光辐射作用下,土壤内部毛细管现象最为明显,地表出盐也是既快又强。因此,理论上在此期间使用防护毯的效果最佳。

目前防护毯的大面积推广和使用仍需要大量的试验研究和论证,如大面积的田间试验、与水利等其他措施联合使用试验等;还存在一些制约因素,其中最主要的就是防护毯工程成本问题亟待解决。

## 5 结 论

本论文提出的防护毯治盐方法,不同于传统的向下压的水利措施,而是从地下向上吸盐,在思考角度上为目前的治盐提供了新的思路。从防护毯的制作、工作机理、干旱区典型土壤发生盐碱化的规律、防护毯的针对不同土壤的治理效果等方面,系统阐述了防护毯的前期研究成果。结果表明:防护毯是一种有效治理土壤盐碱化的方法,对于干旱区典型土壤都具有较强的吸盐能力。对砂性土的盐碱化防治效果最佳,4 d 可吸附土层 0~30 cm 中 50% 以上的盐分;对颗粒较细的黏性土吸盐能力相对较弱,试验 4 d 后土层 0~30 cm 可吸收 25% 左右的盐分;不同类型土壤在 0~10 cm 土层,防护毯吸盐效果都较好,可达 80% 以上(粉砂土除外);防护毯最佳使用时间应为土壤毛细管作用最强烈的时间段。

### [参 考 文 献]

- [1] 伍黎芝,底艳.干旱区盐碱化土地整理工程实证研究——以陕西省蒲城县卤泊滩土地整理项目为例[J].农业工程学报,2005,21(增刊1):179-182.  
Wu Lizhi, Di Yan. Dem on stationed study on the land consolidation and rehabilitation(LCR) project of saline-alkali soil in arid areas: a case study of Lubotan LCR project in Pucheng county, Shanxi Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(Supp.1): 179-182. (in Chinese with English abstract)
- [2] 罗毅.干旱区绿洲滴灌对土壤盐碱化的长期影响[J].中国科学,2014,44(8):1679-1688.
- [3] 刘金荣,谢晓蓉,金自学,等.河西走廊干旱荒漠区盐碱化土地修复与调控研究——以石羊河灌区为例[J].中国地质灾害与防治学报,2005,16(4):93-96.  
Liu Jinrong, Xie Xiaorong, Jin Zixue, et al. Study on the recovery and control of the saline-alkali lands in irrigated area: An example in Shiyang River irrigated area, Gansu Province[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(4): 93-96. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王根绪,程国栋.西北干旱区土壤的生态特征与变化[J].干旱区资源与环境,1999,13(3):14-22.  
Wang Genxu, Chen Guodong. Ecological features and variance of soils in northwest arid area of China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 1999, 13(3): 14-22. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李明,张俊华,姜丽丽.脱硫废弃物改良宁夏盐渍化土壤对细菌和氨氧化微生物丰度的影响[J].中国土壤与肥料,2015(4):41-48.  
Li Ming, Zhang Junhua, Jiang Lili. Effects of different fertilization treatments on yield and activated oxygen metabolism of maize[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2015(4): 41-48. (in Chinese with English abstract)
- [6] 肖国举,罗成科,白海波,等.脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻施用量研究[J].生态环境学报,2009,18(6):2376-2380.  
Xiao Guoju, Luo Chengke, Bai Haibo, et al. Research on the amount of desulfurized gypsum from the coal-burning power plant applied to improve the alkalized soil for paddy rice[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(6): 2376-2380. (in Chinese with English abstract)
- [7] 陈小兵,杨劲松,杨朝晖,等.渭干河灌区灌排管理与水盐平衡研究[J].农业工程学报,2008,24(4):59-65.  
Chen Xiaobing, Yang Jingsong, Yang Zhaohui, et al. Irrigation-drainage management and hydro-salinity balance in Weigan River Irrigation District[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(4): 59-65. (in Chinese with English abstract)
- [8] 孙跃春,郑小亮,刘昕昉,等.盐碱条件下接种丛枝菌根真菌对甘草种苗生长的影响[J].安徽农业科学,2013(25):10284-10285.  
Sun Yuechun, Zheng Xiaoliang, Liu Xinyang, et al. Effects of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on the

- growth of glycyrrhiza uralensis fisch in saline-alkaline soil[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013(25): 10284—10285. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王婧, 逢焕成, 李玉义, 等. 微生物菌肥对盐渍土壤微生物区系和食葵产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012(11): 2186—2191.  
Wang Jing, Feng Huancheng, Li Yuyi, et al. Effects of microbial fertilizer on soil microflora and sunflower yield in saline soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012(11): 2186—2191. (in Chinese with English abstract)
- [10] Li Xianwen, Jin Menggui, Huang Jinou, et al. The soil-water flow system beneath a cotton field in arid north-west China, serviced by mulched drip irrigation using brackish water[J]. Hydrogeology Journal, 2015, 23(1): 35—46.
- [11] Aragüés R, Medina E, Zribi W, et al. Soil salinization as a threat to the sustainability of deficit irrigation under present and expected climate change scenarios[J]. Irrigation Science, 2015, 33(1): 67—79.
- [12] Luca Salvati, Carlotta Ferrara. The local-scale impact of soil salinization on the socioeconomic context: An exploratory analysis in Italy[J]. Catena, 2015, 127: 312—322.
- [13] GB/T50145-2007, 土的工程分类标准[S].

## Design and experiment of protective blanket for soil salinization control

Mao Haitao<sup>1,2</sup>, Huang qinghao<sup>1</sup>, Long Shunjiang<sup>1</sup>, Wang Zhengcheng<sup>3</sup>

(1. Civil Engineering Institute of Chongqing Three Gorges College, Chongqing 404100, China; 2. Institute of Water Conservancy and Hydroelectric power, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 3. College of Water and Architecture of Shihezi University, Shihezi 832002, China)

**Abstract:** Soil salinization is a great challenge for Chinese agriculture, severely crippling the development of agricultural production. Soil salinization is often caused because strong evaporation and capillary transport salt ions to soil surface. Probably, the salt removal from soil surface by materials with strong capillarity is a way to control salinization. In this study, we investigated the cause of saline-alkali formation of 5 types of soils in droughty areas, and proposed a protection blanket for soil salinization control based on the principle of soil capillary and tested its feasibility of control soil saline in 5 soils. The blanket was composed of sponge (stronger absorbent layer) and endothermic polyethylene weaved cloth (sforzato evaporation layer). The soil salt ions were absorbed by sponge into the outer cloth so that the salt could not accumulate on the surface of the soil. The blanket was used in 5 soils with different textures (gravel, silt/silt sand, silt/fine sand, silt, mild clay). The soils were collected from Fangcao Lake farmland, Hutubi county, Xinjiang (43°16'-45°20'N, 86°05'-87°07'26"E), and air-dried to mix with salt solution made of 36 g/L NaCl, 34 g/L KCl, and deionized water. The soils were filled into a box with area of 1 m<sup>2</sup> (30 cm depth to simulate tillage layer). The initial soil moisture was 12% and soil compactness was 0.8. The salt content of soils at 5 cm was determined destructively at 4, 12 and 20 d. The salt accumulation on soil surface was photographed. Meanwhile, another soil samples with salt water were placed in columns in 40-cm length and 20-cm diameter and 30-cm depth with blanket covered for measurements of salt-absorption dynamics and depth of the blanket. The results showed that: 1) The salt distribution on soil surface varied with soil texture and the salt crystals were much more in the coarse-grained soil (gravel sand and sand) with about 3-4 mm depth in 3-4 days than the fine granular soil (mild clay and silt) with salt accumulation at a comparatively low rate so that crystal salt could not observed in 10-12 days; 2) The salt accumulation was obvious in early stage of experiment in the coarse soil particles but in the later stage of experiment in the fine soil particles; 3) The blanket could reduce salt content in 0-10 cm soil layer by more than 80% (except for silt sand) ( $P < 0.05$ ), and reduce in 10-20 cm by more than 50% ( $P < 0.05$ ) after 4 days under the condition with the outdoor temperature of 25°C and dry ventilation allowed; Using the blanket, the salt content in 20-30 cm depth could be reduced by more than 50% for sandy soils and more than 20%-30% ( $P < 0.05$ ) for clay and loam soil, respectively. For practical application, the salt content reduction of 30% can greatly improve soil fertility and cultivability, and effectively alleviate the impact of salinity on the growth of crops. The results above indicate that the protective blanket is an effective measure for saline-alkali land amelioration. Theoretically, its effect should be best when soil capillarity is strongest. However, its feasibility still needs to be validated in more studies and in fields.

**Key words:** soils; salt removal; capillarity; protective blanket; saline-alkali land amelioration; sponge

