

# 不同栽培模式下甜菜和籽粒苋对次生盐渍化土壤的抑盐效应

代立兰<sup>1</sup>, 张怀山<sup>2</sup>, 夏曾润<sup>3</sup>, 王平<sup>1</sup>, 王国宇<sup>1</sup>, 杨世柱<sup>2</sup>

(1. 甘肃省兰州市农业科技研究推广中心, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所, 农业部兰州黄土高原生态环境重点野外科学观测试验站, 甘肃 兰州 730050;

3. 兰州大学草地农业科技学院, 草地农业生态系统国家重点实验室, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:** 针对甘肃省秦王川引大灌区的土壤次生盐渍化愈发严重的农业和生态问题, 以露地平播为对照 (CK), 研究了垄沟露地 (R)、垄沟覆膜 (R+P) 两种栽培模式下耐盐作物甜菜和籽粒苋对该地区次生盐渍化土壤的 pH 值、盐分离子 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ) 含量和电导率 (EC) 及植物电导率、成苗率和产量的影响。结果表明, 种植耐盐作物对次生盐渍化土壤的脱盐改良效应十分明显, 配合 R、R+P 的栽培模式效果更加显著; R+P 模式下耕种一季作物后, 与 CK 相比, 种植甜菜和籽粒苋的土壤盐分离子浓度分别下降 4.8%~7.4% 和 4.7%~6.5%, 土壤电导率分别下降 16.7%~28.6% 和 12.8%~30.9%, 甜菜和籽粒苋叶片电导率分别下降 22.9% 和 14.9%; R+P 模式下籽粒苋成苗率显著提高, 但栽培模式对两种作物的产量无显著影响。

**关键词:** 栽培模式; 甜菜; 籽粒苋; 次生盐渍化土壤; 抑盐效应

中图分类号: S156.4 文献标志码: A

## Effect of *Beta vulgaris* and *Amaranthus hypochondriacus* on secondary salinization soil under different cultivation patterns

DAI Li-lan<sup>1</sup>, ZHANG Huai-shan<sup>2</sup>, XIA Zeng-run<sup>3</sup>, WANG Ping<sup>1</sup>, WANG Guo-yu<sup>1</sup>, YANG Shi-zhu<sup>2</sup>

(1. Lanzhou Agriculture Science Research Center, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Lanzhou Institute of Animal Sciences and Veterinary Pharmaceutics, Chinese Academy of Agriculture Science, Lanzhou Scientific Observation and Experiment Field Station of Ministry of Agriculture for Ecological System in Loess Plateau Areas, Lanzhou, Gansu 730050, China;

3. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Lanzhou, Gansu 730020, China)

**Abstract:** To address the agricultural and ecological problems that are becoming more severe, secondary salinization of soil in Qinwangchuan irrigated area, Gansu Province, was selected to investigate the effects of *B. vulgaris* and *A. hypochondriacus* on pH value, salt ion ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ) contents, electronic conductivity (EC) of soil, seedling rate, EC and yield of crops. In this research, three cultivation patterns were used, including flat sowing without mulch (CK), ridge sowing without mulch (R) and ridge sowing with plastic mulch (R+P). The result indicated that significant effects of salt-tolerant crop on desalination improvement of soil were discovered, especially under the R+P and R cultivation patterns. Under R+P pattern, after harvesting *B. vulgaris* and *A. hypochondriacus*, soil salt ion concentration was decreased by 4.8%~7.4%, and 4.7%~6.5%, respectively, and EC of soil was significantly decreased by 16.7%~28.6% and 12.8%~30.9% from CK, respectively. Under R+P cultivation pattern, the leaf EC of *B. vulgaris* and *A. hypochondriacus* became significantly decreased by 22.9% and 14.9%, respectively. The successful seedling rate was significantly enhanced for *A. hypochondriacus*. However, cultivation patterns were found to have no influence on the yield of both crops.

**Keywords:** cultivation patterns; *Beta vulgaris*; *Amaranthus hypochondriacus*; secondary salinization soil; effect of salt restraint

收稿日期: 2015-01-30

基金项目: 甘肃省农业科技创新项目 (GNCX-2013-58); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (1610322014015)

作者简介: 代立兰 (1969—), 女, 甘肃兰州人, 高级农艺师, 主要从事作物栽培研究。E-mail: daililan518819@163.com。

通信作者: 张怀山 (1969—), 男, 博士, 研究方向为草类植物种质资源与育种。E-mail: zhanglz2007@163.com。

发展灌溉是促进西部干旱、半干旱地区农业发展的一项重要措施,但由于劣质水资源的大量施灌、落后的水资源管理等引发的土壤次生盐渍化问题已成为当地农业可持续发展和生态环境建设所面临的主要问题<sup>[1-3]</sup>。甘肃省秦王川灌区是引大入秦的主灌区,受气候、地形、土壤母质、土壤类型、水质等特定自然条件以及不合理的耕作技术和大水漫灌等因素的影响,该地区土壤次生盐渍化日益加剧,对农作物产量及区域农业生产造成巨大影响<sup>[3-5]</sup>。肖洪浪<sup>[6]</sup>对秦王川大规模农垦中土壤盐分变化进行了研究,认为旱地改水地使得清砂后土壤盐分富集层相应上移,盐分淋溶影响到地下水水质。张新民等<sup>[7]</sup>通过建立秦王川灌区水盐动态模拟模型,预测了灌区通水后设计运行方式下未来 20 年的水盐动态,得出结论:受灌溉入渗补给增加的影响,地下水位将逐年上升,并在 20 年后达到新的动态平衡,受地下水位上升的影响,秦王川灌区土壤盐渍化速度将加快。因此,改良和防治土壤次生盐渍化成为秦王川灌区发展生态农业的当务之急。

目前,国内外专家学者提出了多种改良治理盐渍化土壤的有效措施,如水洗盐的物理改良<sup>[8]</sup>、用石膏、醋糠等工业废弃物的化学改良<sup>[9-10]</sup>、通过种植耐盐绿肥对钙质盐渍土进行改良<sup>[11-12]</sup>等,但这些方法存在工程规模大、运行和养护费用高以及区域限制性等诸多弊端。通过生物、生态措施,结合农耕、种植耐盐植物来改善盐渍土是当前盐渍化改良的重要方向,此方式投入成本低、易于掌握、推广性强,而且在促进土壤脱盐的同时还能带来额外的经济收入,是农户乐于优先采用的技术措施。采用深种浅埋垄沟播种及覆盖的耕作模式,利于盐分淋溶,减少蒸发抑制返盐,延长耕层土壤保持低盐水平的时间,有助于幼苗出土,实现全苗、壮苗,提高产量。黄强等<sup>[13]</sup>比较了秸秆与地膜覆盖方式下土壤溶液盐分含量的变化,两种覆盖均可抑制土壤表层盐分的积累,且地膜覆盖作用更为明显。李凤霞和马力文<sup>[14]</sup>采用地膜覆盖栽培甜菜,发现比普通耕作降低土壤含盐量 10%~50%。为进一步了解耕作方式和耐盐植物对盐渍化土壤的综合抑制效应,本试验对露地平播、垄沟露地和垄沟覆膜 3 种耕作模式下甜菜和籽粒苋对秦王川灌区次生盐渍土的抑盐效果进行了研究,为西北灌溉农业系统盐碱地改良利用和农业生产提供参考和指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

定点试验位于兰州市西北部 70 km 处的永登县

秦川镇陇西村(36°39' N, 103°38' E),海拔 2 080 m。该地属甘肃中部寒温带亚干旱区,日照充足,年平均太阳辐射 542.9 kJ·cm<sup>-2</sup>,日照时数 2 678.2 h,年均气温 6.5℃,≥0℃年活动积温 2 893.0℃,≥10℃年活动积温 2 226.9℃;年平均风速 2.3 m·s<sup>-1</sup>,无霜期 123 d,冻土深度 1.2~1.4 m,相对湿度 56%;多年平均降水 243 mm,分布不均,多集中在 7、8、9 三个月,补给地下水的有效降雨量为 15 mm,年蒸发量 1 800 mm,为典型的干旱大陆性气候<sup>[4,10-15]</sup>。农业补水靠大水漫灌,一般每年灌溉 2 次,每次灌水量约 1 500 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,为典型的半干旱灌溉农业区。灌溉用水为黄河水,碳酸盐矿物含量较高。秦王川灌区是个北高南低的盆地,在北部有 3 条进入盆地的沙河,在南部及东南部有 4 条通向盆地之外的大型沟道,使秦王川盆地成为一个相对独立,但又有排泄地下水、地表水通道的水文地质单元<sup>[15-16]</sup>。盆地地下水主要接受沟谷潜流水和灌溉入渗水的补给,大部分地带地下水埋深在 20~50 m 之间,径流滞缓,排泄条件较差,矿化度高(3.2~18.8 g·L<sup>-1</sup>),硬度大(39.5~304.4 德国度),偏碱性(pH 值在 7~9 之间)<sup>[17-18]</sup>。盆地成土母质为第 4 系黄土和冲击洪积物,土壤母质含盐量较高;土壤类型主体为淡灰钙土,局部有黄绵土及盐土等<sup>[3-4,19]</sup>,属中度偏重度盐渍化土壤,其基本理化性状见表 1。农田土壤中阴离子主要为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,阳离子主要为 Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup>,盐分主要以钠盐(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)、钙盐(CaSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)的形式存在<sup>[4]</sup>。秦王川土壤的盐渍化并非灌溉的必然结果,而是在雨水量少、蒸发强、地表径流不畅的自然条件下加上大水漫灌、有灌无排等不当的人为措施造成地下水位的上升,使盐分向地表聚集,加速了次生盐渍化的进程。

### 1.2 试验设计

参试作物材料为安宝甜菜和千穗谷籽粒苋,为当地主导品种。试验设露地平播(CK)、垄沟露地(R)和垄沟覆膜(R+P)三种耕作模式,每个处理 3 次重复,小区面积 20 m<sup>2</sup>(4 m×5 m),采用随机区组排列。前茬作物收获后进行深翻,覆膜前结合旋耕机施 N、P 基肥(农家肥 3 000 kg·hm<sup>-2</sup>,磷酸二铵 255 kg·hm<sup>-2</sup>),苗期不施追肥,其他栽培管理同大田。2010 年 4 月 10 日起垄并覆膜,R 和 R+P 模式均采用小垄沟播种,垄面高 15 cm,垄面宽 50 cm,垄沟间距 50 cm,在两垄面之间用犁开 15 cm 深的小垄沟,沟底宽 10 cm;R+P 模式采用半膜覆盖,地膜宽 70 cm,压膜时膜面中间对准小垄沟,少量覆土将膜面压向沟底,两边各 15 cm 压至左右两侧的垄面,垄面

中间 20 cm 为露地。4 月 17 日点播, R 模式在沟底露地直播, R + P 模式在沟底地膜上点播, CK 与 R 和

R + P 模式等行距露地平播。甜菜和籽粒苋株距均为 30 cm, 留苗密度  $6.667 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表 1 试验地土壤基本理化性状

Table 1 Basic physical-chemical properties of the soil in the experimental field

土层深度 Soil depth /cm	有机质 SOC /( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全氮 Total N /( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效磷 Available P /( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效钾 Available K /( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	容重 Bulk density /( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	电导率 EC /( $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ )	pH
0 ~ 20	11.7	1.14	16.14	218.03	1.243	4.50	8.49
20 ~ 40	11.4	0.81	15.30	153.79	1.265	5.54	8.51
40 ~ 60	10.5	0.75	14.71	120.36	1.279	6.43	8.53
60 ~ 80	8.7	0.59	21.42	98.55	1.307	4.18	8.56

### 1.3 测定项目及方法

取样土层分为 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 和 60 ~ 80 cm 四个土壤深度, 用土钻法分别于作物播种前(前期, 4 月 15 日)、播种后 90 天(中期, 7 月 15 日)和收获前(后期, 9 月 20 日)取 3 次样, 中期、后期同时采取植物样。采用水土比 5 : 1 (10 g 风干土加 50 mL 去离子水)制备浸提待测液, 用于土壤 pH 值、盐分离子和电导率的测定。

土壤 pH 值: 只测定耕作层(0 ~ 20 cm 土层)播种沟内的土壤 pH 值。采用 MT - 8060 便携式数显 pH 计测定土壤 pH 值。

土壤盐分离子含量: 只测定耕作层(0 ~ 20 cm 土层)播种沟内土壤的盐分离子含量。 $\text{Na}^+$  用火焰光度计法测定,  $\text{Ca}^{2+}$  采用原子吸收分光光度法测定,  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  采用土壤盐分常规滴定法测定。

土壤电导率(EC): DDS - 11 型电导仪测定土壤电导率(EC), 即土壤可溶性盐总量。

作物成苗率: 播种 15 d 后, 分别统计各小区出苗株数。成苗率 =  $100 \times (\text{正常苗株数} / \text{播种数})$ 。

植物叶片电导率: 采用浸泡法测定。在中期和后期, 分别取同一叶位、大小相当的叶片, 蒸馏水冲洗 3 次, 剪成适宜长度的长条, 快速称取鲜样 3 份, 每份 0.1 g, 分别置于 10 mL 去离子水的刻度试管中, 盖上玻璃塞置于室温下浸泡处理 12 h, 用电导仪测定浸提液电导值。

作物产量: 每个小区分别收获, 称甜菜全株鲜重, 测定籽粒苋地上部鲜重。

### 1.4 数据处理

试验所得数据采用 Excel 2010 进行初步整理并制作图表, 利用 SPSS19.0 统计软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤 pH 值的动态变化

与播种前相比, 3 种栽培模式下种植甜菜和籽

粒苋均显著降低了土壤的 pH 值(图 1)。种植甜菜时, R + P 模式下的土壤 pH 值在播种 90 d 后和收获前均显著低于 CK, 且收获前显著低于播种 90 d 后; 种植籽粒苋时, CK、R 和 R + P 模式下, 土壤 pH 值在收获前分别低于播种 90 d 后, 但 3 种耕作模式之间无显著差异。此外, 图 1 数据还表明, 播种 90 d 后的土壤 pH 值与作物种类无关, 但在收获前种植籽粒苋比种植甜菜的土壤 pH 值显著降低。

### 2.2 土壤主要盐分离子的动态变化

结果表明, 与播种前相比, 3 种耕作模式均显著降低了土壤中的盐分离子浓度(图 2)。土壤中  $\text{Na}^+$  浓度在种植甜菜和籽粒苋之间无显著差异, 且与作物的生育时期无关(图 2A)。在播种 90 d 后和收获前, R + P 模式下种植甜菜、籽粒苋的土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量均显著低于 CK, 分别减少 7.5%、4.8% 和 7.4%、5.9%, 在两种作物间无显著差异。然而, 随着作物生育期的推进, 土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  浓度不断下降。种植甜菜时, CK、R + P 模式下收获前土壤  $\text{Ca}^{2+}$  浓度比播种 90 d 后分别下降 5.5%、5.4%; 种植籽粒苋时, CK、R 和 R + P 模式下收获前土壤  $\text{Ca}^{2+}$  浓度比播种 90 d 后分别下降 10.8%、11.7% 和 11.9%(图 2B)。种植甜菜时, 在播种 90 d 后和收获前, 与 CK 相比, R、R + P 模式下土壤中  $\text{Cl}^-$  浓度分别下降 7.2%、10.0% 和 5.2%、6.4%, 且 3 种耕作模式下收获前土壤中  $\text{Cl}^-$  浓度均显著低于播种 90 d 后。而种植籽粒苋时, 土壤中  $\text{Cl}^-$  浓度在 3 种耕作模式间无显著差异, 且不受作物生育时期的影响(图 2C)。R + P 模式下, 种植甜菜和籽粒苋后土壤中  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度均显著低于 CK, 播种 90 d 后、收获前分别降低 5.6%、6.5% 和 6.6% 和 6.5%(图 2D)。从图 2D 还可以看出, 作物不同生育时期对土壤中  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度无显著影响。

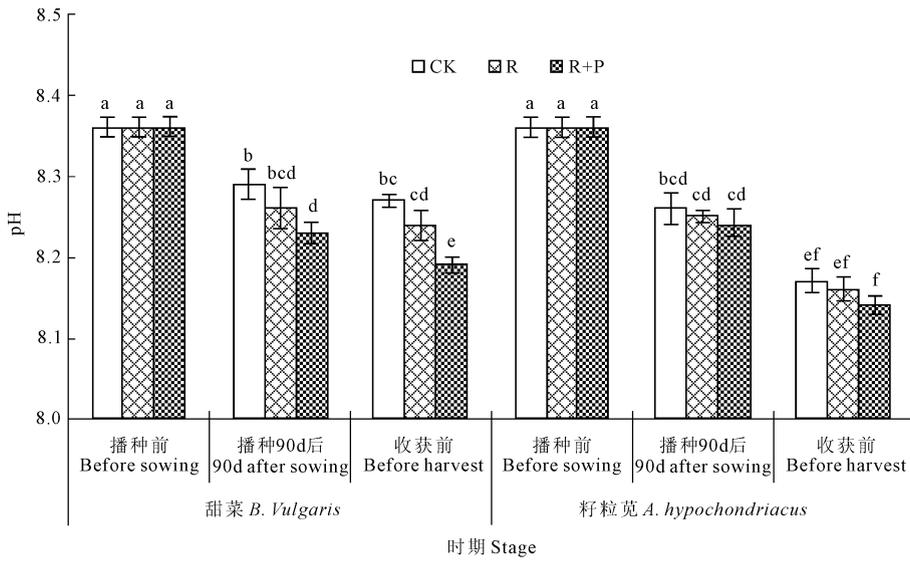


图 1 不同栽培模式下种植甜菜和籽粒苋对土壤 pH 值的影响

Fig.1 Effects of sugarbeet and amaranth plantings on soil pH under different cultivation patterns

注:CK,露地平播;R,垄沟露地;R+P,垄沟覆膜;柱子上标有不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: CK, flat sowing without mulch; R, ridge sowing without mulch; R + P, ridge sowing with mulch; Columns with different lowercase letters meant significant difference at  $P < 0.05$  level, and hereinafter.

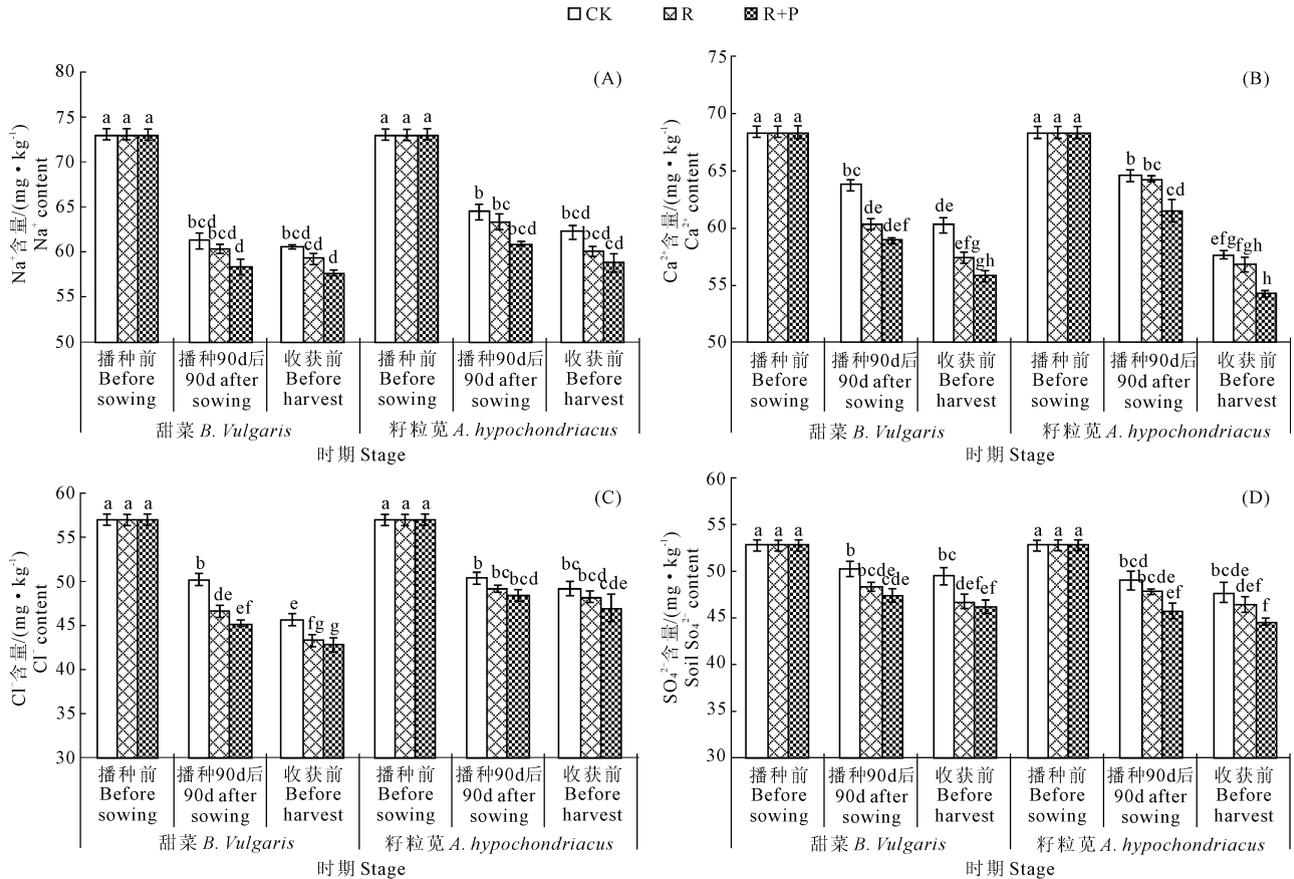


图 2 不同栽培模式下种植甜菜和籽粒苋对土壤 Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量的影响

Fig.2 Effects of sugarbeet and amaranth plantings on Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> contents of soil under different cultivation patterns

### 2.3 土壤电导率(EC)的动态变化

播种 90 d 后,在 R+P 耕作模式下,种植甜菜的土壤 20~40 cm 和 40~60 cm 土层的电导率相比 CK 分别降低 23.4% 和 17.9%,与播种前相比分别下降 16.8% 和 18.0%;种植籽粒苋的土壤 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 土层的电导率均显著低于 CK,分别下降 18.5%、20.1% 和 15.1%,分别低于播种前 26.4%、21.1% 和 16.6%(表 2)。在收获前,R+P 栽培模式下,与 CK 和播种前相比,种植甜菜的土壤 0~20 cm、20~40 cm 土层的电导率分别下降

16.7%、28.6% 和 18.2%、34.7%,种植籽粒苋的土壤 20~40 cm、40~60 cm 土层的电导率分别降低 30.9%、12.8% 和 41.5%、17.6%(表 2)。然而,R 栽培模式下,播种 90 d 后,与 CK 相比,仅种植甜菜的土壤 20~40 cm 土层和种植籽粒苋的土壤 20~40 cm、40~60 cm 土层的电导率显著降低;收获前,与 CK 相比,仅种植籽粒苋的土壤 40~60 cm 土层电导率显著降低;与播种前相比,种植籽粒苋的土壤 20~40 cm、40~60 cm 土层电导率在收获前分别下降 23.1%、18.2%(表 2)。

表 2 不同栽培模式下不同土层土壤电导率的变化/( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ )

Table 2 Changes of soil electric conductivity in each soil layer under different cultivation patterns

土层 Soil layer /cm	耕作模式 Cultivation patterns	播种前(前期) Before sowing	甜菜 <i>B. vulgaris</i>		籽粒苋 <i>A. hypochondriacus</i>	
			播种 90 d 后(中期) 90 d after sowing	收获前(后期) Before harvest	播种 90d 后(中期) 90 d after sowing	收获前(后期) Before harvest
0~20	露地平播 (CK)		4.41 ± 0.13 a	4.42 ± 0.09 a	4.06 ± 0.14 a	4.35 ± 0.23 a
	垄沟露地 (R)	4.50	4.38 ± 0.12 a	4.15 ± 0.16 a	3.74 ± 0.38 ab	4.13 ± 0.19 a
	垄沟覆膜 (R+P)		4.31 ± 0.15 a	3.68 ± 0.12 b*	3.31 ± 0.20 b*	4.07 ± 0.13 a
20~40	露地平播 (CK)		6.02 ± 0.18 a	5.07 ± 0.19 a	5.47 ± 0.21 a	4.69 ± 0.17 a
	垄沟露地 (R)	5.54	5.28 ± 0.16 b	4.73 ± 0.17 a	4.53 ± 0.13 b *	4.26 ± 0.23 a *
	垄沟覆膜 (R+P)		4.61 ± 0.22 c*	3.62 ± 0.27 b*	4.37 ± 0.22 b*	3.24 ± 0.11 b*
20~40	露地平播 (CK)		6.42 ± 0.44 a	5.73 ± 0.11 a	6.31 ± 0.12 a	6.08 ± 0.15 a
	垄沟露地 (R)	6.43	6.03 ± 0.17 a	5.68 ± 0.18 a	5.53 ± 0.23 b	5.26 ± 0.15 b *
	垄沟覆膜 (R+P)		5.27 ± 0.14 b*	4.92 ± 0.21 a*	5.36 ± 0.20 b*	5.30 ± 0.17 b*
60~80	露地平播 (CK)		4.64 ± 0.11 a	5.08 ± 0.21 a	4.36 ± 0.13 a	4.67 ± 0.23 a
	垄沟露地 (R)	4.18	4.52 ± 0.09 a	4.85 ± 0.37 a	4.20 ± 0.06 a	4.32 ± 0.13 a
	垄沟覆膜 (R+P)		4.36 ± 0.14 a	4.84 ± 0.16 a	4.18 ± 0.14 a	4.08 ± 0.16 a

注:同一土层下,同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),\* 表示与播种前(前期)相比差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: In the same soil layer, different lowercase letters within each vertical column indicated significant difference at  $P < 0.05$  level. \* meant significant difference at  $P < 0.05$  level compared with the soil electric conductivity before sowing.

### 2.4 植物电导率、成苗率和产量的变化

播种 90 d 后,甜菜和籽粒苋在 R、R+P 耕作模式下的电导率均显著低于 CK,分别下降 14.3%、16.4% 和 12.4%、19.3%,而在收获前植物组织电导率仅在 R+P 下显著低于 CK,甜菜和籽粒苋分别降低 22.9% 和 14.9%(表 3)。与 CK 相比,R 和 R+P 均显著提高了籽粒苋的成苗率,对甜菜成苗率无显著影响。此外,不同耕作模式对甜菜和籽粒苋的产量均无显著效应(表 3)。

## 3 讨论与结论

1) 灌区产生土壤次生盐渍化的原因是地下水位超过了临界水位和强烈的自然蒸发作用,使得含有盐分的地下水沿土壤毛细管上升到地表,水分蒸发后盐分滞留在土壤表层。结合灌区的作物耕植基

础,“生物治盐”技术越来越受到重视,并且取得了良好的改良效果。大量试验证实<sup>[20-22]</sup>,通过耐盐碱植物的种植,增加绿色覆盖,可以有效地抑制土壤返盐、加速土壤脱盐。盐渍化土壤种植牧草后,一方面由于庞大致密的根系对土壤的穿插和挤压作用,改善了土壤结构,通透性增加,促进了盐分向下淋溶作用;另一方面,植被覆盖营造了一个空气较为湿润、流通较为缓慢的土壤表层小环境,从而减少了土壤表层水分的自然蒸发,增强了水分的叶面蒸发,从而减少盐分随水分向地表的聚集。本研究表明,种植耐盐作物甜菜和籽粒苋显著降低了秦王川灌区次生盐渍化土壤的 pH 值和根际土层的盐分离子( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ )浓度,这对减轻农作物遭受盐胁迫具有重要意义。在河西走廊草甸盐土上种植耐盐牧草籽粒苋 3 年后,脱盐改土培肥效应十分明显:增加了地

表覆盖度,降低了土壤水分蒸发,脱盐率达 61.9%~80.7%,pH 值降低 0.35~0.40,总孔度增大 4.9%~7.6%,初步形成了团粒结构,土壤有机质、速效养分随之增加<sup>[23]</sup>。然而,本研究中,在传统平作条件下,甜菜和籽粒苋的种植对土壤电导率无显著影响,

可能是因为种植时间较短,深层土壤盐分滤除效应还未体现出来,也可能是甜菜和籽粒苋对其他可溶性盐分离子(如  $Mg^{2+}$ 、 $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ )的“稀释”作用不明显。

表 3 不同栽培模式下植物电导率、成苗率及产量的变化

Table 3 Changes of plant electrical conductivity, emergence rate and yield under different cultivation patterns

参试材料 Trial materials	耕作模式 Cultivation patterns	植物电导率/( $dS \cdot m^{-1}$ ) Plant electrical conductivity		成苗率 Emergence rate /%	产量 Yield ( $10^4 kg \cdot hm^{-2}$ )
		播种 90 d 后(中期) 90 d after sowing	收获前(后期) Before harvest		
甜菜 <i>B. vulgaris</i>	露地平播(CK)	3.91 ± 0.12 a	4.02 ± 0.11 a	87.3 ± 1.7 a	18.6 ± 0.4 a
	垄沟露地(R)	3.35 ± 0.10 b	3.61 ± 0.15 a	89.7 ± 3.1 a	20.9 ± 0.3 a
	垄沟覆膜(R+P)	3.27 ± 0.06 b	3.10 ± 0.07 b	95.5 ± 2.6 a	21.0 ± 0.7 a
籽粒苋 <i>A. hypochondriacus</i>	露地平播(CK)	3.88 ± 0.10 a	3.49 ± 0.12 a	84.1 ± 3.0 b	11.3 ± 0.6 a
	垄沟露地(R)	3.40 ± 0.06 b	3.12 ± 0.19 ab	91.2 ± 1.4 a	12.6 ± 0.6 a
	垄沟覆膜(R+P)	3.13 ± 0.07 b	2.97 ± 0.12 b	96.6 ± 2.1 a	13.3 ± 0.5 a

注:对于同一种植物,同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: For the same plant species, different lowercase letters within each vertical column indicated significant difference at  $P < 0.05$  level.

2) 耕作栽培为作物生长提供适宜的土壤环境,在盐渍土改良中至关重要。在旱作农业地区,起垄和地膜覆盖可以改善土壤水、热状况,活化土壤养分,有效防治土壤次生盐渍化进程<sup>[24-26]</sup>。地膜覆盖在土壤表面设置了一层不透气的物理阻隔,切断了土壤水分与近地层空气中水分的交换通道,土壤水分垂直蒸发直接受阻<sup>[26-27]</sup>,从土壤表面蒸发出的水汽被封闭在有限的空间中,增加了膜下的相对湿度,有效地抑制了水分蒸发损失,而垄沟种植可以收集降水,从而保证了耕层土壤有较高的含水量,这对旱地作物苗期生长、抑制返盐都具有十分重要的意义。本试验表明,垄沟和覆膜对秦王川次生盐渍化土壤的抑盐效果显著优于传统的露地平播。种植甜菜时,垄沟覆膜显著降低了试验地土壤 pH 值、盐分离子( $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ )浓度、20~60 cm 土层土壤电导率;种植籽粒苋时,垄沟覆膜显著降低了 20~60 cm 土层土壤电导率和  $Ca^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$  浓度,对  $Na^+$  和  $Cl^-$  无显著影响。可见,在垄沟覆膜栽培模式下,作物生长环境得到明显改善,其叶片电导率显著降低,籽粒苋的成苗率显著提高。庄舜尧等<sup>[28]</sup>研究也指出,在滨海盐碱土壤中,采用垄作方式种植籽粒苋可以促进籽粒苋的生长,有利于土壤的脱盐及固碳进程。基于以上研究,结合前人成果,我们认为栽培措施与耐盐作物综合改良次生盐渍土是西北内陆干旱、半干旱地区值得推广的一项有效的农业技术,联合深翻松耕、施用有机肥、稻草掺拌等多种生

态农业措施改良盐碱地有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Rhoades J D, Kandiah A, Mashali A M. The use of saline waters for crop production—FAO Irrigation and Drainage paper 48[R]. Rome: FAO, 1992:80-92.
- [2] Sheng L Y. Short term effects of saline irrigation on evapotranspiration from lysimeter-grown citrus trees[J]. Agricultural Water Management, 2002,56:131-141.
- [3] 李 昂,吕正文,蔺海明,等.秦王川灌区不同绿色覆盖方式预防土壤次生盐渍化效应研究[J].草业科学,2008,25(10):20-24.
- [4] 缙倩倩,韩致文,屈建军,等.秦王川灌区农田土壤盐分离子特征分析[J].土壤,2014,46(1):100-106.
- [5] 李建国,濮励杰,朱 明,等.土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J].地理学报,2012,67(9):1233-1245.
- [6] 肖洪浪.甘肃秦王川大规模农垦中土壤风蚀与养分、盐分变化[J].土壤通报,1998,29(4):148-150.
- [7] 张新民,沈 冰,吕贤弼.秦王川灌区水盐动态模拟预测研究[J].中国农村水利水电,2000,3:10-13.
- [8] 肖振华,Prendergast B, Noble C L. 灌溉水质对土壤水盐动态的影响[J].土壤学报,1994,31(1):8-17.
- [9] Mohammed S S, Negm M A, Rehan M G. Gypsum amendment against soil alkalinity in relation to tomato plants. II. Change in agro-chemical properties and nutrient availability of the soil[J]. Egyptian Journal of Soil Science, 1997,37(1):93-110.
- [10] 代立兰,张怀山,夏曾润,等.有机废弃物菌糠和醋糟对次生盐渍化土壤修复效果研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):218-222.
- [11] Akhter J, Murray R, Mahmood K, et al. Improvement of degraded physical properties of a saline-sodic soil by reclamation with kallar

- grass (*Leptochloa fusca*) [J]. *Plant and Soil*, 2004, 258(1-2): 207-216.
- [12] 蔺海明, 贾恢先, 张有福, 等. 毛苕子对次生盐碱地抑盐效应的研究[J]. *草业学报*, 2003, 12(4): 58-62.
- [13] 黄 强, 殷志刚, 田长彦, 等. 两种覆盖方式下的土壤溶液盐分含量变化[J]. *干旱区地理*, 2001, 24(1): 52-56.
- [14] 李凤霞, 马力文. 甜菜地膜覆盖栽培的土壤盐分变化及其对产质量的影响[J]. *中国农业气象*, 1996, 17(2): 33-35.
- [15] 张世彪, 李 松, 牛珂平, 等. 甘肃秦王川灌区农业节水途径探讨[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(1): 270-275.
- [16] 苏建德. 秦王川盆地地下水基本特征[J]. *地下水*, 2001, 23(2): 74-75.
- [17] 丁晓妹. 甘肃省秦王川灌区土壤盐分特征变化分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [18] 朱中华. 甘肃省引大入秦工程秦王川南部灌区地下水动态分析研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2004.
- [19] 梁志录, 吴 颖, 付国民. 甘肃兰州地区盐渍化特征及其治理研究[J]. *山西师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 22(1): 100-103.
- [20] 班乃荣, 陈兴会, 张永宏, 等. 耐盐植物对盐碱地的改良效果试验[J]. *草业科学*, 2004, 21(1): 40-42.
- [21] Barrett-Lennard E G. Restoration of saline land through revegetation [J]. *Agricultural Water Management*, 2002, 53: 213-226.
- [22] Akhter J, Murray R, Mahmood K. Improvement of degraded physical properties of a saline-sodic soil by reclamation with Kallar grass (*Leptochloa fusca*) [J]. *Plant and Soil*, 2004, 258: 207-216.
- [23] 秦嘉海. 耐盐牧草籽粒苋对河西走廊草甸盐土改土培肥效应[J]. *土壤通报*, 2005, 36(5): 806-808.
- [24] 刘小兰, 李世清, 王 俊, 等. 半干旱黄土高原地区春小麦地膜覆盖研究概述[J]. *西北植物学报*, 2001, 21(2): 198-206.
- [25] 宋秋华, 李凤民, 王 俊, 等. 覆膜对春小麦农田微生物数量和土壤养分的影响[J]. *生态学报*, 2002, 22(12): 2127-2132.
- [26] 金胜利, 周丽敏, 李凤民, 等. 黄土高原地区玉米双垄全膜覆盖沟播栽培技术土壤水温条件及其产量效应[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(2): 28-33.
- [27] 张德奇, 廖允成, 贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(1): 208-213.
- [28] 庄舜尧, 钟 敏, 孙 晓, 等. 滨海盐碱地垄作模式对籽粒苋生长的影响[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(3): 136-137.

(上接第 256 页)

- [7] 岳书平, 张树文, 闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *地理学报*, 2007, 62(8): 879-886.
- [8] 白 元, 徐海量, 凌红波, 等. 塔里木河干流区土地利用与生态系统服务价值的变化[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(6): 1912-1920.
- [9] 刘晓梅, 闵锦忠, 刘天龙. 新疆叶尔羌河流域温度与降水序列的小波分析[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(3): 566-571.
- [10] 孙桂丽, 陈亚宁, 李卫红, 等. 新疆叶尔羌河冰川湖突发洪水对气候变化的响应[J]. *冰川冻土*, 2010, 32(3): 580-586.
- [11] 罗菊花, 古力巴·麦提提. 叶尔羌河流域水文特性分析[J]. *水文*, 2005, 25(3): 58-62.
- [12] 高 鑫, 张世强, 叶柏生, 等. 1961—2006 年叶尔羌河上游流域冰川融水变化及其对径流的影响[J]. *冰川冻土*, 2010, 32(3): 445-453.
- [13] 王修内, 黄 强, 畅建霞. 新疆叶尔羌河流域径流规律分析[J]. *人民黄河*, 2012, 34(6): 45-47.
- [14] 杨明智, 薛联青, 郑 刚, 等. 基于 WEAP 的叶尔羌河流域水资源优化配置研究[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2013, 6(41): 493-499.
- [15] 陈俊鹏. 叶尔羌河流域水资源调控方法[J]. *水利建设与管理*, 2012, 12: 85-86.
- [16] 彭穗萍. 基于下坂地水库调度规则的叶尔羌河流域水资源配置模式研究[J]. *水利规划与设计*, 2010(6): 9-11.
- [17] 陈国亮. 叶尔羌河下游生态环境现状研究[J]. *中国西部科技*, 2014, 13(5): 32.
- [18] 王 芳. 叶尔羌河流域中下游地区土地利用变化分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2010.
- [19] 李 琴, 陈 曦. 40 年来叶尔羌河流域景观变化过程分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(4): 50-58.
- [20] 中华人民共和国环境保护部. HJ/T 192 - 2006. 生态环境状况评价技术规范[S]. 北京: 中国环境出版社, 2006.
- [21] 刘天龙. 新疆叶尔羌河流域年径流总量对气候变化的响应研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2008.
- [22] 王 进, 张雄文, 刘 湘, 等. 塔里木河 2007 年“四源一干”供水运行分析[J]. *冰川冻土*, 2009, (4): 732-740.
- [23] 李 靖. 叶尔羌河流域水生态承载力研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2009.
- [24] 黄敬峰, 王秀珍. 新疆叶尔羌河和喀什噶尔河流域的生态环境评价及治理对策研究[J]. *干旱区资源与环境*, 1992, 6(2): 27-34.
- [25] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴(2010)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [26] 中华人民共和国环境保护部. HJ/T 274 - 2006. 中华人民共和国环境保护行业标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [27] 中华人民共和国水利部. SL190 - 2007. 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [28] 刘建甫. 新疆水土资源开发研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1991.
- [29] 王让会, 樊自立. 干旱区内陆河流域生态脆弱性评价 - 以新疆塔里木河流域为例[J]. *生态学杂志*, 2001, 20(3): 63-68.
- [30] 韩梅清, 王路光, 王靖飞, 等. 基于 GIS 的白洋淀流域生态环境评价[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(3): 169-171.
- [31] 孟 岩, 赵庚星, 程晋南, 等. 基于 MODIS 遥感数据和 GIS 的山东省生态环境状况评价[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(4): 1020-1024.
- [32] 姚 尧, 王世新, 周 艺, 等. 生态环境状况指数模型在全国生态环境质量评价中的应用[J]. *遥感信息*, 2012, 27(3): 93-98.
- [33] 王宏伟, 张小雷, 乔 木, 等. 基于 GIS 的伊犁河流域生态环境质量评价与动态分析[J]. *干旱区地理*, 2008, 31(2): 215-221.