

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.18.1077

含盐土壤不同作物根系分布对  
水盐分布的影响侯晨丽<sup>1,2</sup>, 田德龙<sup>2</sup>, 徐冰<sup>2</sup>, 李仙岳<sup>1\*</sup>

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 中国水利水电科学研究院牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020)



侯晨丽

**摘要:** 以相同含盐水平农田种植的紫花苜蓿与玉米为研究对象, 研究根系分布变化对水盐分布的影响, 为盐渍化土壤紫花苜蓿合理化种植提供参考。结果表明: 整个生育期 0~100 cm 苜蓿平均土壤含水率显著低于玉米, 深层 60~100 cm 土壤平均含水率比玉米低 1.98%, 其有效利用深层水分。土壤平均储盐量随时间上下波动逐渐减小, 二者盐分分布规律不同, 苜蓿 8 月前后浅层土壤盐分均匀分布, 玉米主要体现在 8 月后期。苜蓿脱盐率显著高于玉米, 生长后期苜蓿深层根系占比增大, 根系分布密集土层, 脱盐效果明显。苜蓿细根根长密度与  $\text{HCO}_3^-$  呈正相关关系,  $\text{HCO}_3^-$  随根长密度增大而增大, 土壤中  $\text{HCO}_3^-$  可减缓  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  增加, 使作物土壤达到降盐效果。

**关键词:** 不同作物; 水盐; 根系分布; 脱盐率; 降盐效果

**中图分类号:** S274.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2018)10-1059-06

侯晨丽, 田德龙, 徐冰, 等. 含盐土壤不同作物根系分布对水盐分布的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(10):1059-1064.

HOU Chenli, TIAN Delong, XU Bing, et al. Effect of root distribution of different crops in salt-containing soil on soil water and salt [J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering (JDIME), 2018, 36(10):1059-1064. (in Chinese)

Effect of root distribution of different crops in  
salt-containing soil on soil water and saltHOU Chenli<sup>1,2</sup>, TIAN Delong<sup>2</sup>, XU Bing<sup>2</sup>, LI Xianyue<sup>1\*</sup>

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Water Conservancy and Civil Engineering College, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;  
2. Hydroelectric and Water Conservancy Science Institute, China's Scientific Research Institute in Pastoral Areas of Water Conservancy, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China)

**Abstract:** After farmlands adjusted the planting structure, the root distribution of different crops affected water salt and vertical distribution. Alfalfa and maize planted in the same saline soil were taken as the research objects. The relationship between soil water, salt and root distribution was studied to provide a reference for rationalized cultivation of alfalfa in saline soil. The results show that the average soil moisture content of alfalfa at 0-100 cm is significantly lower than that of maize in the whole growth period, and the average soil moisture content of alfalfa at the depth of 60-100 cm is 1.98% lower than that of maize, which effectively uses deep water. The average salt accumulation in the soil decreases gradually with time, and their salt distribution is different. The salt content of alfalfa in the shallow soil is evenly distributed around August, but that of maize appears mainly in late August. The

收稿日期: 2018-04-28; 修回日期: 2018-06-01; 网络出版时间: 2018-07-16

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20180716.1548.050.html>

基金项目: 中国水科院科研专项(MK2017J07); 内蒙古科技重大专项

第一作者简介: 侯晨丽(1992—), 女, 山西阳高人, 硕士研究生(ndhcl202060030@163.com), 主要从事节水灌溉理论与新技术应用研究。

通信作者简介: 李仙岳(1980—), 男, 浙江温州人, 教授, 博士生导师(lixianyue80@126.com), 主要从事节水灌溉原理及应用研究。

salt removal rate of alfalfa is significantly higher than that of maize. The proportion of alfalfa deep root system in the late growth stage increases, and the soil layer is densely distributed in the roots, its desalination is obvious. The root length density of alfalfa fine roots is positively correlated with  $\text{HCO}_3^-$ , and  $\text{HCO}_3^-$  increases with the increase of root length density.  $\text{HCO}_3^-$  in soil can reduce the increase of  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , which causes the desalination of the crop soil.

**Key words:** different crops; water salt; root distribution; desalination rate; salt reduction effect

据统计,截至2010年,磴口县盐碱化耕地面积3.6万 $\text{hm}^2$ ,占总耕地(5.61万 $\text{hm}^2$ )的70.6%,争地矛盾突出.在调节、改善非优质耕地及促进粮经饲三元种植结构协调发展过程中,盐渍化农田发展饲草作物种植有效缓解争地矛盾.盐渍化农田种植紫花苜蓿后,其根系生长特征较传统种植作物差异明显,已有研究表明苜蓿根系入土深度可浅至不足1 m,一般不超过2 m<sup>[1]</sup>.根系为植物与土壤中的水分、养分之间重要的运输工具,主根、细根、根颈以及分布在根系上的根瘤均组成作物庞大的根系统,与土壤水盐分布的关系最为密切<sup>[2-4]</sup>.不同水分、盐分、种植方式的条件下对作物根系分布具有较大影响<sup>[3-6]</sup>.针对根系与盐分离子的相互关系<sup>[7-9]</sup>.董放等<sup>[9]</sup>对不同品种豌豆幼苗进行研究,对地上部分及根系 $\text{Na}^+$ 含量进行测定,发现根系中 $\text{Na}^+$ 含量显著增加,可见根系对盐分有降减、吸收作用,因此盐渍化农田种植紫花苜蓿后土壤水盐运移规律与传统农田有较大差异且对土壤水盐的再分布也有较大影响.前人在紫花苜蓿改良盐碱化农田取得相应的研究成果<sup>[10]</sup>,但关于农田种植紫花苜蓿根系分布对土壤水盐再分布规律的研究较少.因此文中以相同含盐水平农田种植的紫花苜蓿与玉米为研究对象,对农田水盐再分布变化及根系分布相互关系进行初步研究,以期对盐渍化苜蓿合理栽培技术提供参考.

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验设置于内蒙古磴口县坝楞村圣牧高科经济园区,区域地处干旱、半荒漠草原带,冬季寒冷干燥,夏季炎热少雨.当地年平均气温 $6.3 \sim 7.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ;年平均降水量为138.2 mm,主要集中在7—9月;多年平均无霜期为133~144 d;年平均蒸发量2 030~2 700 mm,属中温带大陆性气候.试验区地下水位埋深浅,其平均地下水位为1.4 m,主要土壤为灌淤土,土壤容重为 $1.48 \text{ g/cm}^3$ ;粒径组成:砂粒(0.050~

1.000 mm)含量36.10%,粉粒(0.002~0.050 mm)含量57.78%,黏粒( $<0.002 \text{ mm}$ )含量6.12%,土质以粉砂壤土为主(美国制),耕种前土壤(0~100 cm)总含盐量为 $1.64 \text{ g/kg}$ , $\text{HCO}_3^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ 及 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 的初始质量分数分别为0.42, 0.13, 0.44, 0.06, 0.30和 $0.30 \text{ g/kg}$ .该试验区地下水位变化曲线如图1所示,图中 $H$ 为地下水位.

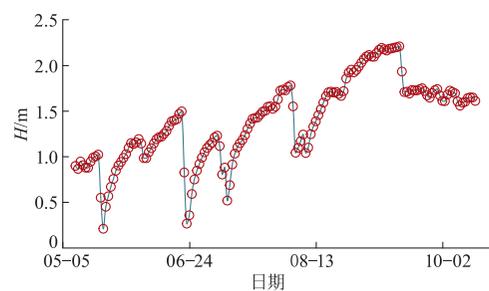


图1 地下水位变化曲线

Fig. 1 Groundwater level variation curve

### 1.2 试验材料及设计方案

供试验作物为紫花苜蓿(阿尔冈金)与玉米(钧凯918),品种阿尔冈金具有较强的耐寒性、耐旱性及耐盐性,适用于盐碱地种植,钧凯918是一种高淀粉玉米品种,在河套灌区广泛种植.紫花苜蓿采用人工条播,行距15 cm,播种量 $22.5 \text{ kg/hm}^2$ ,试验于2017年开展,种植年限为第2年(2016年播种),玉米当年2017-04-28播种,不进行覆膜,行距450 mm,株距300 mm,种植深度25 mm.生育期内玉米与紫花苜蓿的灌水时间、灌水量、施肥量相同,每个处理3个重复.整个生育期灌水5次,具体灌水时间分别为2017-05-07,2017-05-20,2017-06-22,2017-07-09,2017-08-09,紫花苜蓿与玉米每次的灌水定额为 $1 050 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,苜蓿在初花期刈割,共收获3茬(收获时间分别为2017-06-21,2017-07-26,2017-09-25);玉米在成熟期(2017-09-25)进行收获.

### 1.3 试验数据采集与处理

地下水位数据采集:试验区设置自动水位计(HOBO),每6 h自动记数1次.

含水率:土钻取样,用烘干称重法.10 d左右取样1次,灌水降雨前后加测.0~40 cm每10 cm取样,40~100 cm每20 cm取样.

土壤盐分:按1:5的土水比混合,振荡3 min,静置澄清后过滤,取上清液测定其电导率 $EC$ (DDS-307 W电导率仪),10 d左右取样1次,灌水降雨前后加测.初始土壤水溶性盐分(PHS-3BW型酸度计),取样深度为0~40 cm每10 cm取样;40~100 cm每20 cm取样.

根系:根系取样为直径9 cm,长10 cm的根钻,取试验处理MX与YM,每个处理3个重复,取其平均值,0~40 cm每10 cm取样;40~100 cm每20 cm取样.取回的根系样品过2 mm筛后,再将其挑出,立即用清水清洗,整个生育期进行3次取样,玉米拔节期到吐丝期根系生长速度,差异性大.收获期玉米根系发生衰亡,而苜蓿根系因其自身特性,不发生死亡,二者根系对照明显,设定取样时间分别为2017-06-24(玉米拔节期)、2017-08-01(玉米吐丝期)、2017-10-01(玉米收获期).

采用Epson Perfection V700 PHOTO仪器进行扫描,再利用Win RHIZO Pro软件分析得根系相关参数.试验数据处理采用Excel 2007进行图表的绘制并计算其标准误差,用SPSS17.0软件进行显著性检验及相关系数的计算.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种植作物土壤含水率分布规律

土壤剖面的水盐分布会因灌溉及不同作物而发生变化<sup>[11]</sup>.图2为玉米与苜蓿生育期0~60 cm及60~100 cm平均土壤含水率,整个生育期内,二者土壤含水率 $W$ 随时间上下波动逐渐减小,呈现单波峰、波谷现象.作物生长前期及后期,玉米土壤含水率明显高于苜蓿,生育期0~100 cm玉米、苜蓿平均含水率分别为20.71%,19.50%,苜蓿、玉米土壤最大含水率分别为21.86%,21.87%,最小含水率分别为7.57%,10.53%,最小含水率差异显著,原因是生育后期玉米根系逐渐衰亡,苜蓿维持自身生长根系向上提供水分,导致后期土壤含水率之间的差异.生育期60~100 cm土层苜蓿与玉米土壤平均含水率分别为23.25%,25.23%,接近田间持水率,原因是试验区地下水位埋深浅,有利于增加深层土壤的储水量.不同作物不同时期土壤含水率用独立样本 $t$ 检验,检验差异显著性,玉米吐丝期0~60 cm

土层土壤平均含水率与苜蓿差异性显著( $t$ 值为3.319, $P$ 值为0.029),原因是该时期玉米根系发育成熟,输水能力增强,自身蒸腾量增大,导致土壤含水率显著低于苜蓿土壤含水率;9月后期,玉米0~60,60~100 cm土壤平均含水率分别高于苜蓿1.67%,4.39%,二者差异显著.可见苜蓿与玉米在生育前期及后期,玉米平均含水率显著高于苜蓿,玉米吐丝期0~60 cm土壤含水率显著低于苜蓿.

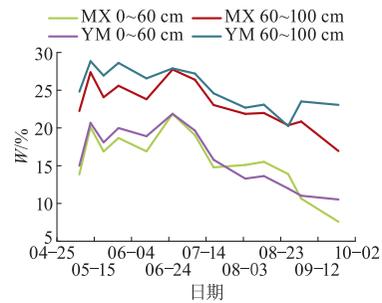


图2 不同作物土壤含水率在生育期的变化趋势  
Fig.2 Changing trend of soil moisture content in different crops during growth period

### 2.2 不同作物土壤储盐量分布规律

4月中旬苜蓿返青,玉米2017-04-28播种.图3为苜蓿与玉米整个生育期不同深度土壤储盐量 $S$ 分布状况,由图可知,到2017-06-24为苜蓿第1茬,玉米苗期至拔节期.在0~100 cm土层苜蓿土壤平均储盐量在370~390  $g \cdot m^2$ ,玉米在400~420  $g \cdot m^2$ ,显著高于苜蓿.表层0~10 cm土层直接与大气接触,蒸发能力最强,导致在地表储盐量偏高,30~40 cm土层土壤储盐量最低,原因是该土层砂粒占比大,透水性大,盐分不易蓄积;深层40~100 cm土壤含盐量显著增加,在80~100 cm聚集,苜蓿最大储盐量为741.44  $g \cdot m^2$ ,玉米最大储盐量为778.13  $g \cdot m^2$ ,占土壤总储盐量的60%以上,原因是土壤在冻融期,盐分大量累积,导致深层土壤储盐量高<sup>[10]</sup>.苜蓿、玉米0~100 cm土壤平均储盐量变化率分别为-5.05%, -4.50%,可以看出苜蓿土层盐分减小速率快,温度梯度差,导致0~60 cm有明显的积盐现象.2017-06-24—2017-08-01苜蓿第2茬,这个时期为玉米的抽雄期、吐丝期;土壤含盐量显著减小,苜蓿、玉米0~100 cm土层土壤平均储盐量为306.63,325.92  $g \cdot m^2$ ,盐分含量分别下降19.61%,20.37%,因此畦灌对土壤盐分淋洗效果明显.苜蓿在0~40 cm各土层平均储盐量分别为155.10,215.96,193.71  $g \cdot m^2$ ,呈均匀分布.2017-08-01—2017-10-01,苜蓿第3茬,玉米吐丝期到成熟期,0~100 cm土壤平均储盐量降

低,苜蓿储盐量为  $266.68 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,降低 13.03%,玉米 0~100 cm 土壤平均储盐量为  $224.95 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,降低 24.84%. 玉米土壤储盐量明显低于苜蓿,且在 0~100 cm 各土层储盐量呈均匀分布.

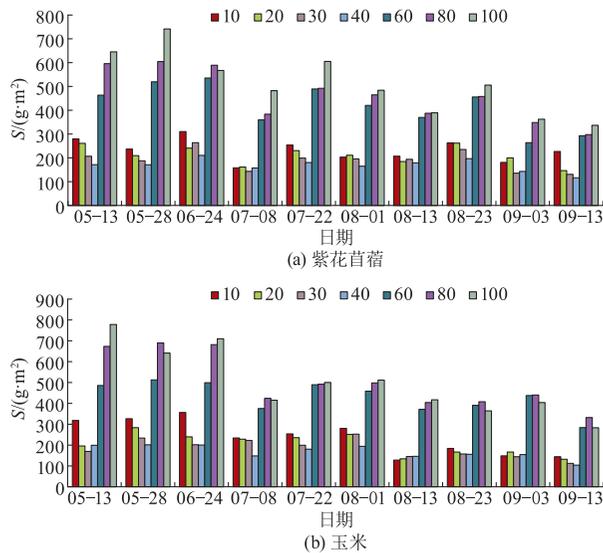


图3 不同作物生育期土壤储盐量的变化规律  
Fig. 3 Changes of soil salt storage in different crop growth period

2.3 不同作物土壤脱盐效果

作物根系层盐分随着水分的迁移而变化,必然存在频繁的积盐、脱盐现象<sup>[12]</sup>. 表1为不同土壤深度  $h$  及不同作物的脱盐率.

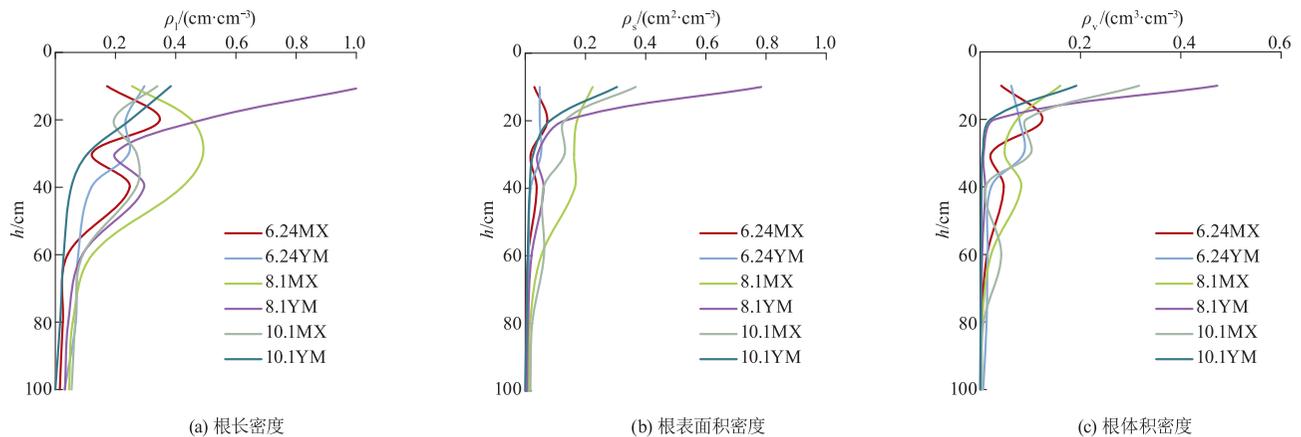


图4 不同时间苜蓿与玉米根系分布变化规律  
Fig. 4 Root distribution of alfalfa and maize in different growth stages

在第1茬苜蓿花期,玉米拔节期时取样(2017-06-24),对作物细根进行计算分析,作物细根主要集中在 40 cm 土层内,苜蓿、玉米占总根系的 91.62%,83.61%, >40 cm 土层随土层深度  $h$  增加而减小. 2017-08-04 对作物主根进行取样,作物根系主要分布在浅层土壤 0~40 cm,玉米占总根系

结果表明,苜蓿返青前及收获后平均土壤全盐量为 1.56,1.25 g/kg,平均脱盐率 17.00%,玉米播种前及收获后平均土壤全盐量为 1.72,1.63 g/kg,平均脱盐率 1.14%,脱盐效果差异显著. 苜蓿 0~10 cm 脱盐率显著高于其他土层 ( $P < 0.01$ ); 10~20 cm 土层脱盐率最小,为 0.30%; 玉米土壤盐分从深层上移至 10~30 cm 土层,出现积盐现象,脱盐率分别为 -34.27%, -17.87%. 30~100 cm 各土层呈现脱盐状态,随土层深度的增加脱盐效果显著增加,0~10,40~100 cm 各土层脱盐率显著高于 10~20 cm ( $P < 0.05$ ),其他土层脱盐率差异性不显著.

表1 苜蓿、玉米不同深度土壤平均含盐量和脱盐率  
Tab. 1 Average soil salinity and desalination rate of alfalfa and maize at different depths

$h/\text{cm}$	返青前 全盐量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		收获后 全盐量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		各层脱盐率/ %		平均脱盐率/ %	
	苜蓿	玉米	苜蓿	玉米	苜蓿	玉米	苜蓿	玉米
0~10	2.20	2.59	1.23	1.77	44.08A	31.82a		
10~20	1.21	1.32	1.20	1.78	0.30gc	-34.27b		
20~30	1.20	1.28	1.12	1.51	6.14fbc	-17.87ab		
30~40	1.27	1.45	1.09	1.42	14.32ebc	1.91ab	17.00	1.14
40~60	1.52	1.67	1.24	1.56	18.35Cb	6.77a		
60~80	1.66	1.90	1.41	1.66	15.04dbc	12.37a		
80~100	1.87	1.81	1.49	1.68	20.50Bb	7.21a		

注:不同小写字母表示作物不同土层深度脱盐率差异显著 ( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示作物不同土层深度脱盐率差异极显著 ( $P < 0.01$ )

2.4 不同作物根系分布规律

图4为不同生育期苜蓿与玉米根系分布规律.

长的 90% 以上,苜蓿根系占总根系的 80% 以上,20 cm 处不同作物根表面积密度  $\rho_s$  明显减小,但 YM 的下降率明显大于 MX,40 cm 以下不同作物土层根表面积密度逐渐减小,趋近于零. 不同时期不同深度土层根系参数计算其标准差,在 10% 范围内. 不同作物根系根长密度  $\rho_l$  用独立样本  $t$  检验,检验差

异显著性,在0~10 cm二者根长密度差异极显著( $t$ 值为-7.023, $P$ 值为0.002)( $P < 0.05$ ),苜蓿20~30 cm根长密度增加,而玉米根长密度明显下降,40 cm以下的土层中YM根长密度显著低于MX.

苜蓿生长后期取样(2017-10-01),根系活力下降,玉米根系衰老死亡,0~10 cm显著减小,减少0.653 cm/cm<sup>3</sup>;0~40 cm土层YM占总根系的90%以上,苜蓿根系占总根系的70%以上,40 cm以下苜蓿根系所占比重增加4.3%.在30~40,60~80 cm YM根长密度显著低于MX( $P < 0.05$ );不同作物根体体积密度 $\rho_v$ ,30~40,60~80,80~100 cm差异性显著.

## 2.5 不同作物根系分布特征与盐分离子质量浓度的关系

对生育期内苜蓿、玉米土壤各盐分离子质量浓度及细根根长密度进行相关性计算,计算结果见表2.结果表明:苜蓿土壤中阴离子HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与Ca<sup>2+</sup>,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,Mg<sup>2+</sup>质量浓度相关性显著( $P < 0.05$ ),与Ca<sup>2+</sup>相关系数为0.498,而与其他离子相关系数为负数,相关系数最小值为-0.778,Cl<sup>-</sup>与其他阳离

子及SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>质量浓度呈正相关关系,相关系数最大值为0.961,且相关性极显著( $P < 0.01$ ),苜蓿细根根长密度与各离子质量浓度相关性除HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子全部呈负相关关系,相关系数最大的阳离子及阴离子分别为K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>与Cl<sup>-</sup>,相关系数为-0.714,-0.551,其中与K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>相关性显著( $P < 0.05$ ),可以看出苜蓿根系主要与K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>,Cl<sup>-</sup>关系密切.

作物的不同,其土壤中盐分离子质量浓度的相关性存在着大的差异,玉米土壤中阴离子HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与其他离子都是负相关关系,其他阴阳离子两两呈正相关关系,相关性显著( $P < 0.05$ ),其中阴离子Cl<sup>-</sup>与SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>相关系数最大,阳离子Ca<sup>2+</sup>与Mg<sup>2+</sup>相关系数最小,二者相差0.523.细根根长密度与各离子质量浓度相关性整体呈正相关关系,但与HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>呈负相关关系,相关系数为-0.573,相关性不显著,根系与阳离子K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>、阴离子Cl<sup>-</sup>相关系数分别为0.634,0.641,相关性都不显著( $P < 0.05$ ),可以看出玉米根系与土壤中K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>,Cl<sup>-</sup>的质量浓度相关性显著小于苜蓿.

表2 不同作物生育期土壤各盐分离子与细根根长密度相关性分析

Tab.2 Correlation analysis of soil salt ions and fine root length density in alfalfa and maize growing period

	W(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		W(Cl <sup>-</sup> )		W(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		W(Ca <sup>2+</sup> )		W(Mg <sup>2+</sup> )		W(K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> )		苜蓿根长密度	玉米根长密度
	MX	YM	MX	YM	MX	YM	MX	YM	MX	YM	MX	YM		
W(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1	-0.397	-0.760**	-0.536*	-0.778**	0.498*	-0.699**	-0.778**	-0.648**	-0.362	-0.762**	0.050	-0.573	
W(Cl <sup>-</sup> )			1	0.918**	0.985**	0.006	0.674**	0.770**	0.953**	0.961**	0.972**	-0.551	0.641	
W(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )					1	-0.01	0.614**	0.845**	0.965**	0.951**	0.983**	-0.429	0.673	
W(Ca <sup>2+</sup> )							1	-0.276	0.462*	-0.051	0.600**	-0.293	0.503	
W(Mg <sup>2+</sup> )									1	0.722**	0.925**	-0.582	0.659	
W(K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> )											1	-0.714*	0.634	
苜蓿、玉米根长密度														1

注:\*表示在0.05水平(双侧)上显著相关;\*\*表示在0.01水平(双侧)上显著相关

## 3 结论

1) 玉米与苜蓿的根系生长、分布特点不同,整个生育期0~100 cm玉米土壤平均含水率为20.71%,苜蓿为19.50%,平均土壤含水率显著高于苜蓿,地下水埋深浅条件下,向上补给量越大,含水率越大.深层60~100 cm土层苜蓿土壤平均含水率比玉米低1.98%,可见苜蓿对深层土壤水分的吸收能力显著高于玉米.土壤初始平均储盐量苜蓿整体在370~390 g·m<sup>2</sup>,玉米在400~420 g·m<sup>2</sup>,随时间上下波动逐渐减小,苜蓿8月前0~40 cm各土层平均储盐量分别为155.10,215.96,193.71 g·m<sup>2</sup>,基本呈均匀分布.不同于苜蓿盐分分布规律,玉

米主要在吐丝期到成熟期之间,0~100 cm各土层储盐量呈均匀分布,平均储盐量为224.95 g·m<sup>2</sup>.

2) 苜蓿及玉米0~100 cm平均脱盐率分别为17.00%,1.14%,苜蓿脱盐效果显著高于玉米,与前人研究结论一致.漫灌苜蓿根系主要分布在30 cm土层内,不同于前人的研究,根系主要集中在浅层0~40 cm,玉米占总根系长的90%以上,苜蓿根系占总根系的80%以上,深层根系占比明显大于玉米.生长后期玉米根系衰亡,10~20 cm土壤脱盐率-34.27%,呈积盐现象,脱盐效果显著低于苜蓿,可见浅层土壤根系分布密集,脱盐效果明显.

3) 不同盐分离子间存在一定程度的相关性,与前人研究一致,其中苜蓿细根根长密度与HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>质量浓度呈正相关关系,HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>随根长密度增大而增

大,苜蓿土壤中阴离子  $\text{HCO}_3^-$  与其他离子呈负相关关系,因此  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  质量浓度随  $\text{HCO}_3^-$  增加而减小. 而玉米细根根长密度的增大抑制  $\text{HCO}_3^-$  增加,玉米土壤中阴离子  $\text{HCO}_3^-$  与其他离子呈负相关关系,导致  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  质量浓度增加,玉米对  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  作用不明显,苜蓿根系吸收土壤盐分效果显著高于玉米. 所以增加土壤中  $\text{HCO}_3^-$  的质量浓度,降低  $\text{Cl}^-$  质量浓度,使作物土壤整体达到降盐效果.

### 参考文献 (References)

- [1] 孙洪仁,武瑞鑫,李品红,等. 紫花苜蓿根系入土深度[J]. 草地学报,2008,16(3):307-312.  
SUN Hongren, WU Ruixin, LI Pinhong, et al. Rooting depth of alfalfa[J]. Acta agrestia sinica, 2008, 16(3): 307-312. (in Chinese)
- [2] 郭彦君,徐汇仲,张家骅. 紫花苜蓿根系形态学研究[J]. 西南农业大学学报,2002,24(6):484-486.  
GUO Yanjun, XU Huizhong, ZHANG Jiahua. Study on the morphology of the root system of alfalfa[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2002, 24(6): 484-486. (in Chinese)
- [3] 鲁为华,任爱天,杨洁晶,等. 滴管苜蓿田间土壤水盐及苜蓿细根的空间分布[J]. 农业工程学报,2012,30(23):128-137.  
LU Weihua, REN Aitian, YANG Jiejing, et al. Soil water and salt movement and spatial distribution of alfalfa fine roots under drip irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 30(23): 128-137. (in Chinese)
- [4] 刘国军,曾凡江,雷加强,等. 核桃-紫花苜蓿复合栽培的根系分布及生长动态[J]. 干旱区研究,2015,32(3):504-508.  
LIU Guojun, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al. Root distribution and growing of walnut tree and medicago alfalfa sativa sod-culture pattern[J]. Arid zone research, 2015, 32(3): 504-508. (in Chinese)
- [5] 李仙岳,史海滨,龚雪文. 立体种植农田不同生育期及土壤水分的根系分布特征[J]. 农业机械学报,2014,45(3):141-147.  
LI Xianyue, SHI Haibin, GONG Xuwen. Root distribution in strip intercropping field under different growth period and different soil water [J]. Transactions of the CSAM, 2014, 45(3): 141-147. (in Chinese)
- [6] 李熙婷,田德龙,郭克贞,等. 膜下滴灌对小麦根系分布特征的影响[J]. 排灌机械工程学报,2016,34(6):545-552.  
LI Xiting, TIAN Delong, GUO Kezhen, et al. Influence of much drip irrigation on wheat root distribution characteristics[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2016, 34(6): 545-552. (in Chinese)
- [7] 郭晔红,张晓琴,胡明贵. 紫花苜蓿对次生盐碱化土壤的改良效果研究[J]. 甘肃农业大学学报,2004,39(2):173-176.  
GUO Yihong, ZHANG Xiaoqin, HU Minggui. Effects of salinized soil improvement using medicago sativa [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2004, 39(2): 173-176. (in Chinese)
- [8] 侯倩倩,韩志文,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.  
GOU Qianqian, HAN Zhiwen, QU Jianjun, et al. Analysis of farmland soil salinity ions in qinwangchuan regions [J]. Soils, 2014, 46(1): 100-106. (in Chinese)
- [9] 董放,曹靖,李先婷,等. 不同盐分类型胁迫对豌豆幼苗吸收、累积及运输的影响[J]. 草业学报,2016,25(11):66-75.  
DONG Fang, CAO Jing, LI Xianting, et al. Effects of various types of salt stress on ion absorption, accumulation and transportation in pea [J]. Acta prataculturae sinica, 2016, 25(11): 66-75. (in Chinese)
- [10] 倪东宁,李瑞平,史海滨,等. 套种模式下不同灌水方式下对玉米根系区土壤水盐运移及产量的影响[J]. 土壤,2015,47(4):797-804.  
NI Dongning, LI Ruiping, SHI Haibin, et al. Effects of different irrigation methods on transport of root zone soil water-salt and yield of maize under intercropping mode [J]. Soils, 2015, 47(4): 797-804. (in Chinese)
- [11] 何子健,史文娟,杨军强. 膜下滴灌间作盐生植物棉田水盐运移特征及脱盐效果[J]. 农业工程学报,2017,33(23):129-138.  
HE Zijian, SHI Wenjuan, YANG Junqiang. Water and salt transport and desalination effect of halophytes intercropped cotton field with drip irrigation under film [J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(23): 129-138. (in Chinese)
- [12] 明广辉,田富强,胡宏昌. 地下水埋深对膜下滴灌棉田水盐动态影响及土壤盐分累积特征[J]. 农业工程学报,2012,34(5):90-97.  
MING Guanghui, TIAN Fuqiang, HU Hongchang. Effect of water table depth on soil water and salt dynamics and soil salt accumulation characteristics under mulched drip irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 34(5): 90-97. (in Chinese)