

西北干旱灌溉区种植春小麦和牧草 对耕地盐渍化的影响

李昂¹, 张鸣¹, 张建¹, 吴应珍², 葛承暄³

(1. 兰州城市学院 化学与环境工程学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 甘肃农业大学 人文学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省耕地质量建设管理总站, 甘肃 兰州 730000)

摘要: [目的] 研究西北干旱灌溉区种植春小麦和牧草对耕地盐渍化的影响差异, 为该区防治土壤次生盐渍化工作提供科学依据。[方法] 以小麦 (*Triticum aestivum*) 和混播牧草披碱草/苜蓿 (*Elymus dahuricus*/*Medicago sativa*) 及其下部土壤为研究对象, 通过测定植被的盖度、高度、地上生物量及其下部土壤的水、盐含量等指标, 来分析和比较种植春小麦和牧草对耕地盐渍化的影响, 以及不同植被特征指标与土壤水、电导率间的定量关系。[结果] 小麦和牧草的盖度、高度、地上生物量均随生长时间的延长呈显著升高趋势。小麦收获后, 小麦地裸露类似于裸地, 而牧草继续生长并保持覆盖耕地。当耕地被植被覆盖时, 其地表的日照强度、表层土壤 (0—5 cm) 的温度和盐含量均显著低于裸地, 而地表的湿度和表层土壤的含水率正好相反, 均显著高于裸地。相关分析显示, 植被地上生物量与土壤含水率、植被盖度与土壤盐含量间相关性最强, 土壤含水率与盐含量间呈显著负相关关系。进一步回归分析显示, 植被地上生物量每提高 1 kg/m², 可使植被覆盖区的表层土壤含水率升高 6%, 盖度每提高 1%, 可使表层土壤的电导率降低 2.2 μS/cm。[结论] 西北干旱灌溉区种植春小麦因生育期较短易引发土壤的次生盐渍化, 而牧草覆盖耕地时间较长可预防耕地发生盐渍化危害。

关键词: 秦王川灌区; 次生盐渍化; 植被覆盖; 农田生态保育

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)03-0032-06

中图分类号: S157, S156.4⁺1

文献参数: 李昂, 张鸣, 张建, 等. 西北干旱灌溉区种植春小麦和牧草对耕地盐渍化的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 32-37. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.03.006. Li Ang, Zhang Ming, Zhang Jian, et al. Effects of growing spring wheat and forage grass on salinization of cultivated land in irrigated region of Northwest China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 32-37.

Effects of Growing Spring Wheat and Forage Grass on Salinization of Cultivated Land in Irrigated Region of Northwest China

LI Ang¹, ZHANG Ming¹, ZHANG Jian¹, WU Yingzhen², GE Chengxuan³

(1. School of Chemistry and Environmental Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. College of Humanities, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Construction Management Station of Gansu Province Cultivated Land Quality, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: [Objective] The effects of planting spring wheat and forage grass on salinization of cultivated land were analyzed in order to provide scientific basis for the prevention and control of soil secondary salinization in irrigated region of Northwest China. [Methods] *Triticum aestivum*, mixed grass (*Elymus dahuricus*/*Medicago sativa*) and soil under them were taken as the study objects. The coverage, height, above-ground biomass of vegetation and soil moisture and electrical conductivity were measured to investigate the impacts of spring wheat and forage grass on land salinization. [Results] During the whole growth stage, the coverage, height and biomass of *T. aestivum* and grass increased significantly. After wheat harvest, wheat field was bare as naked land, while grass still covered the land surface. Compared with the bare land, surface sunlight

收稿日期: 2017-12-13

修回日期: 2018-01-07

资助项目: 国家自然科学基金项目“豆禾牧草混播防治兰州新区周边耕地土壤退化机理研究”(31560185)

第一作者: 李昂 (1969—), 男 (汉族), 甘肃省兰州市人, 博士, 副教授, 主要从事退化环境的恢复与治理研究。E-mail: liang@lzcw.edu.cn.

通讯作者: 吴应珍 (1972—), 女 (汉族), 甘肃省兰州市人, 硕士, 副教授, 主要从事退化环境的恢复制度建设研究。E-mail: wuyz@gsau.edu.cn.

intensity, temperature and salt content of surface soil (0—5 cm) under vegetation coverage were much lower, while ground humidity and soil moisture content were much higher. Correlation analysis indicated that the strongest correlation occurred between biomass and soil moisture and between coverage and soil salt, and there was a negative relation between soil moisture and salt. Regression analysis demonstrated that soil moisture content increased by 6% as biomass increased by 1 kg/m², and soil electrical conductivity decreased by 2.2 μS/cm as vegetation cover increased by 1%. [Conclusion] Planting spring wheat in irrigated regions of Northwest China will cause soil secondary salinization, while planting forage grass may weaken hazard of soil secondary salinization.

Keywords: Qinwangchuan irrigated region; soil secondary salinization; vegetation coverage; ecological conservation and improvement for farmlands

西北地区太阳辐射强烈、降雨稀少,耕地的定期灌溉就成了该区农业可持续发展的重要保障^[1]。由于灌溉工程大多建设在盆地,水、盐运移不畅,易造成耕地盐渍化问题^[2]。如甘肃省的秦王川灌区地处秦王川盆地,加之采取大水漫灌的浇水方式和不合理的种植模式,致使灌区土壤盐渍化面积占到耕地总面积的1/3,并有进一步扩大趋势^[2-3]。利用水利工程措施治理土壤盐碱化虽已取得了很大成效,但也存在工程量大,耗水多,费用高,改良过程中除把盐离子淋溶外,植物必需元素也同时被排走^[4]。鉴于此,利用生物措施治理盐碱地受到广泛关注。如蔺海明等^[5]研究发现,种植牧草毛苕子可使耕地0—20 cm土层的盐分降低77%~88%。彭红春等^[6]在治理柴达木盆地弃耕盐碱地时发现,建植由紫花苜蓿、老芒麦、碱茅等多种牧草组成的人工草地后,不仅能提高植被的盖度和地上生物量,而且还能显著降低0—30 cm土层的盐含量。李昂等^[7]研究发现,秦王川灌区农田种植春小麦(*Triticum aestivum*)收获后,耕地裸露致使表层的盐含量比裸地都高;而种植牧草红豆草或小麦/毛苕子,不仅能使农田0—20 cm土层盐分处于较低水平,而且还能生产一定量的牧草和农作物。魏晓斌等^[8]在对不同生长年限苜蓿对土壤盐碱的研究中发现,随着种植年限的增加,耕地土壤中的pH值和水溶性盐含量有降低趋势。李昂等^[1]在甘肃酒泉研究时也发现,种植甘草可显著提高农田0—5 cm土层的水分含量和降低土壤的盐分含量。

尽管前人在生物措施治理土壤盐渍化方面已做了大量研究^[5,9-10],但多数研究仅选取某一时间点来分析植被对土壤盐分的效应,很少涉及地表植被的生长动态和其下方土壤的水、盐变化规律,以及它们之间的定量关系。为此,本文拟通过测定小麦和牧草的生长动态,以及地表微环境相关指标和下方土壤的水、盐含量变化,来分析它们之间的相互关系,并试图探寻植被覆盖影响土壤盐渍化的内在机制,为西北干旱灌区预防土壤盐渍化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

秦王川灌区位于甘肃省永登县境内,这里土壤类型以灰钙土为主,气温年均5.8℃,降雨年均284.4 mm,且主要集中于7—9月(占全年降水量的78%),而蒸发量年均高达1 888 mm,为典型干旱大陆性气候^[11-12]。

1.2 试验设计及测定

为了探寻种植牧草对秦王川灌区耕地盐渍化的效应,试验于2016年在该灌区北部的上川镇下古山村(103°33'E,36°45'N,海拔1 950 m)设立定位试验,以小麦和混播牧草披碱草/苜蓿(*Elymus dahuricus*/*Medicago sativa*)为研究对象,并设裸地(CK)、小麦、披碱草/苜蓿3个处理;每个处理重复4次,随机区组排列,共计12小区。小区面积4 m×6 m,小区间隔0.5 m。小麦选用当地农民播种品种,播量为30 g/m²,披碱草和苜蓿种子从甘肃省农业科学院下属种子分公司购得,苜蓿和披碱草播量为1.5,3.2 g/m²。播种采取条播方式,行距20 cm,小麦播种深度为3 cm,牧草为2 cm。播种后耙平、镇压,以保证种子与土壤充分接触。4月16日左右,小麦和牧草开始陆续出苗,根据出苗情况,及时进行补播。根据小麦田间管理要求,于当年5月10日和6月10日灌水2次,田间杂草采取人工方法清除。根据作物及牧草长势,于7月20日收获小麦,9月15日刈割牧草,10月15日收获牧草完成当年试验。

试验期内,定期对作物和牧草植被的盖度、高度和地上生物量进行野外测定^[13],同时对植被地表微环境的光照强度、地表湿度和0—5 cm土层温度进行测定。另外,用土钻钻取不同处理0—5 cm土层土样,带回室内进行土壤含水率和盐含量测定。土壤含水率采用烘干法测定,由于溶液的含盐量与其电导率间呈正相关关系,为此,本试验土壤盐含量采用电导法测定,即用土壤浸出液电导率数值大小来表示土壤盐含量的高低^[14]。

1.3 数据处理

数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行制图和处理。文中指标进行单因素方差分析,并进行多重比较;多因素相关分析采用 Pearson 法,并检测其显著性;回归分析采用线性回归法,并对系数的显著性进行检验^[15]。

2 结果与分析

2.1 植物的生长动态

植物地上部分是其生态功能发挥的前提和基础。就植被盖度而言(图 1a),试验初期(6月16日之前),小麦盖度明显大于混播牧草盖度,试验中期(6月16

日至7月10日)牧草盖度大于小麦盖度;之后至9月15日小麦收获盖度降为0,而牧草盖度继续增大;9月15日牧草刈割,盖度降为40%,之后至试验截止(10月15日)盖度再次上升至78.8%。就植被高度而言(图 1b),其变化趋势与盖度类似。就地上生物量而言(图 1c),从试验初期至小麦收获前,小麦地上生物量始终大于牧草生物量,之后牧草地上生物量继续增加。综合以上,从试验初期,小麦的盖度、高度、地上生物量均大于牧草;试验中期,牧草的盖度和高度显著高于小麦;小麦收获后至试验截止(10月15日),小麦植被的特征指标均为0,而牧草继续生长覆盖耕地地表。

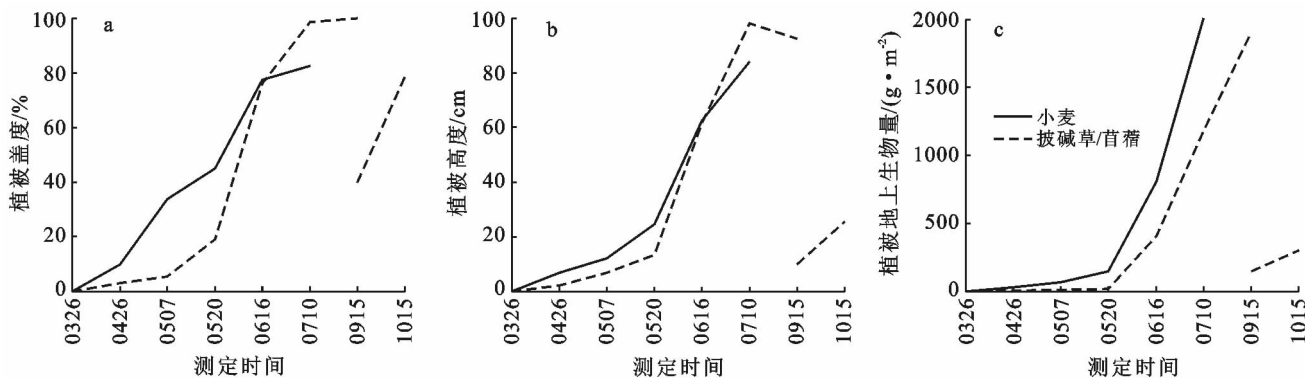


图 1 2016 年西北干旱灌溉区植被生长动态

2.2 地表微环境及表层土壤(0—5 cm)相关指标变化动态

耕地地表微环境受植被生长影响。试验初期(图 2a),裸地、小麦地和牧草地的地表光照强度差异不明显;随着植被生长,它们之间的差异变得非常明显,至7月10日测定时,裸地的光照强度最高,达 7.60×10^4 lx,而小麦地和牧草地分别为 2.65×10^4 和 1.98×10^4 lx;小麦收获后至试验截止,小麦地裸露与裸地(CK)类似,二者光照强度一致,而牧草地的光照强度

明显小于它们。就表层土壤(0—5 cm)温度而言(图 2b),其变化趋势与光照强度类似,小麦收获前(7月10日),小麦和牧草地的温度均小于裸地;小麦收获后,小麦地和裸地温度基本一致,且均显著大于牧草地温度。就地表湿度而言(图 2c),其变化正好相反,随着小麦和牧草长高,它们的地表湿度差异变大,其大小顺序为:小麦地 > 牧草地 > 裸地;小麦收获后至试验截止,裸地和小麦地湿度相近,而牧草地的地表湿度显著大于原小麦地和裸地。

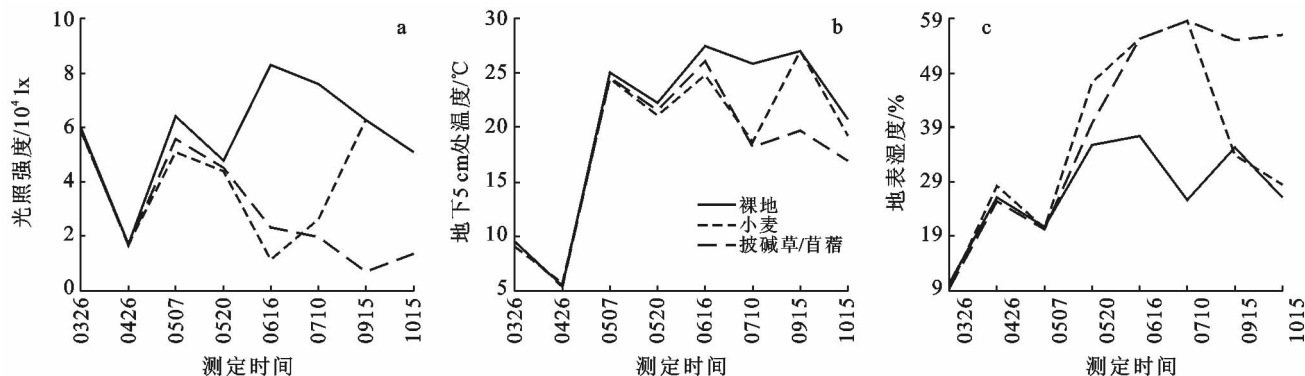


图 2 西北干旱灌溉区 2016 年地表微环境相关指标动态

2.3 耕地表层土壤水、盐含量的变化动态

地表植被显著影响耕地表层土壤水、盐含量。试验初期(图 3a),裸地、小麦地和牧草地的土壤含水率差异不显著;随着植物长高、长密,它们之间的土壤含水率发生显著差异;小麦收获后至试验截止,由于小麦地与裸地类似,故它们间的土壤含水率相近,且均小于牧草地的土壤含水量。就土壤含盐量而言

(图 3b),试验初期,由于地表植被量较小,它们间的盐含量差异不显著;随着地表植被量增加,遮蔽作用增强(7月10日),土壤表层的盐含量差异变得非常显著,其大小顺序为:裸地>牧草地>小麦地;小麦收获后,小麦地与裸地类似,土壤表层盐含量快速升高;至试验截止时,小麦地的电导率最高,达 319.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$,其次为裸地(269.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$),牧草地最低仅为 118.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

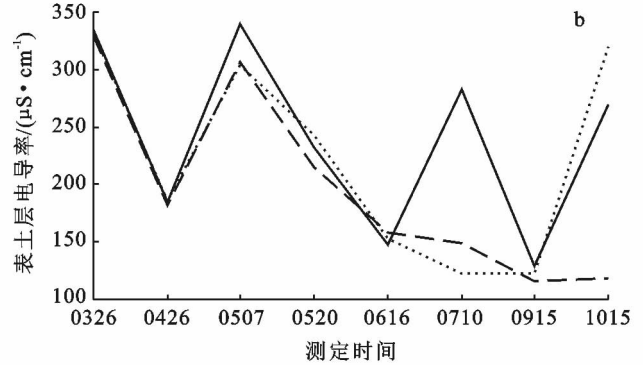
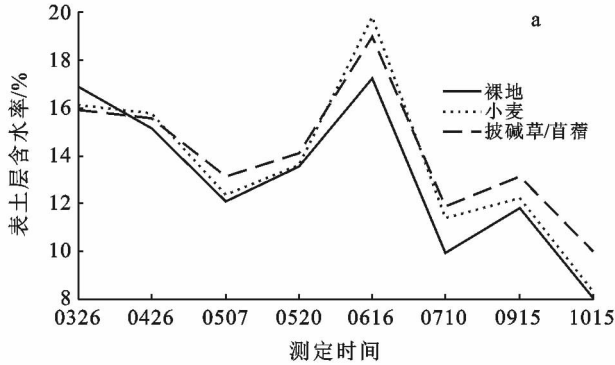


图3 西北干旱灌溉区2016年土壤水、盐含量动态

2.4 相关及回归分析

为了探寻植被特征指标与土壤水、盐含量间的定量关系,以10月15日数据为例进行相关和回归分析。结果显示(表1),牧草的盖度、高度、生物量间存在极显著正相关关系($p < 0.01$),其中盖度与地上生物量间相关性最强,达0.998。对于土壤含水率而言,它与牧草植被特征指标间也存在极显著正相关关系,说明随着植被覆盖量的增加,土壤含水率有增加趋势。其中土壤含水率与地上生物量间相关性最大、达0.734。而土壤电导率正好相反,它与牧草植被特征指标间均表现出极显著的负相关关系,说明随着植被覆盖量的增加,土壤表层盐含量有降低趋势。相关性的强弱顺序为:盖度>地上生物量>高度,其中土壤盐含量与牧草盖度间的相关性最强,达-0.955。而土壤盐含量与土壤含水率间呈显著的负相关关系,相关系数 r 为-0.701,说明随着土壤表层含水率增加(即随着土壤表层水分蒸发量的减小),土壤盐含量

有降低趋势。进一步回归分析显示(表2),对于土壤含水率而言,当牧草植被的地上生物量每提高 $1 \text{ kg}/\text{m}^2$,土壤表层的含水率可提高6%,由该回归方程的决定系数 R^2 为0.539可知,利用该线性回归方程得到的预测结果准确度可达53.9%;对于土壤盐含量而言,当牧草植被的盖度每提高1%,表层土壤的电导率可降低 $2.2 \mu\text{S}/\text{cm}$,利用该线性回归方程预测结果的准确度可达91.2%。

表1 西北干旱灌溉区不同因素间的相关分析

项目	盖度	高度	地上生物量	土壤含水率	土壤电导率
盖度	1	0.995**	0.998**	0.733**	-0.955**
高度		1	0.995**	0.694**	-0.951**
地上生物量			1	0.734**	-0.954**
土壤含水率				1	-0.701*
土壤电导率					1

注:**表示不同因素间的相关性在0.01水平显著;*在0.05水平显著,样本数 $n=12$ 。

表2 西北干旱灌溉区植被特征指标与土壤水、盐含量间的数量关系

指标	盖度/%		高度/cm		地上生物量/($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	
	拟合方程	R^2	拟合方程	R^2	拟合方程	R^2
土壤含水率/%	$y=0.025x+8.155$	0.537	$y=0.074x+8.190$	0.481	$y=0.006x+8.157$	0.539
土壤电导率/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	$y=-2.231x+294.459$	0.912	$y=-6.870x+294.278$	0.905	$y=-0.573x+294.088$	0.909

3 讨论和结论

作为农业生态系统物质基础的土壤,承载着作物的生长^[8]。土壤积盐的规律为:盐随水来,水去盐留^[16]。耗资巨大的“引大入秦”工程由于存在灌排设施不配套,加之该区种植的春播作物生育期又较短(生长期为 4—7 月),灌水又多采取漫灌方式,致使该灌区耕地近 1/3 面积受到土壤次生盐渍化的威胁^[2]。以往研究发现,农田种植作物后将使土壤积盐速度降低,这主要是农作物覆盖农田后,茂密的植被降低了土壤水分的自然蒸发,从而减少了随水移动到土壤表层的盐分^[17]。由于农作物在生育期内地上部分始终处于动态变化中,其下土壤中的水、盐受其影响,其含量也应处于动态变化中,而以往研究大多选取某一时间点(如作物收获前)来研究植被对土壤盐分的效应,很少有将二者动态关系联系起来的报道。

对于在同一年种植的小麦和混播牧草披碱草/苜蓿而言,随着生长时间的增加,它们的盖度、高度、地上生物量均呈显著提高趋势;尽管披碱草和苜蓿均为多年生牧草,但从种植当年的生长初、中期分析(7 月 10 日前),小麦生长速度明显快于牧草,这主要是因为小麦(千粒重为 39 g)比苜蓿(千粒重为 1.9 g)和披碱草(千粒重 4.5 g)种子大,幼苗从种子中得到的养分差异明显,从而使它们的生长速度产生明显差异。从试验结果还可看到,由于秦王川灌区降雨主要集中于 7—9 月,小麦收获后(8—10 月)麦地裸露、类似与裸地,而混播牧草在降雨的浇灌下继续生长、并保持覆盖耕地地表状态。

从地表微环境相关测定结果可以看出,小麦收获前,种植小麦和牧草耕地的地表光照强度、温度均低于裸地,而地表湿度均高于裸地;对比混播牧草和小麦覆盖耕地,小麦地的地表光照强度和温度均低于牧草地,而地表湿度正好相反。其原因是耕地种植作物和牧草后,阳光穿过植物地上部分后光强减弱,从而使得植被覆盖耕地地表的日照强度低于裸地;由于植被覆盖耕地日照强度减弱,通过阳光传递给地表的热量减少,加之地表植被增大了空气流动的阻力,从而使得植被覆盖区耕地的地表温度降低,而湿度明显增加;对比小麦地和混播牧草地,由于种植当年小麦地上部分的量显著大于牧草,小麦的遮蔽作用明显强于牧草,从而使得小麦地的日照强度和土壤温度均低于牧草地,而湿度正好相反。小麦收获后,小麦地裸露类似于裸地,因而其地表日照强度、温度和湿度与裸

地相近;而混播牧草地在牧草地上部分的覆盖作用下,其日照强度和温度均显著低于裸地和原小麦地,而地表湿度正好相反。

地表植被的变化影响耕地土壤水、盐含量。试验初期,由于小麦和牧草的地上部分量相对较小,对地表微环境的影响有限,故种植小麦和牧草地的土壤水、盐含量与裸地差异不显著;随着小麦和牧草的生长,植被地上部分增加,它对地表微环境(如日照强度、地表湿度、土壤温度)产生较大影响,从而使得土壤水、盐含量的差异变得愈加明显。如从 7 月 10 日测定结果可以看出,裸地土壤含水率明显低于植被覆盖耕地,而土壤盐含量正好相反。这主要是由于当植被覆盖地表后,地表受到的光照强度减弱,从而使得地表湿度提高、土壤温度降低,进而导致土壤水分蒸发减弱,故植被覆盖耕地地表的含水率明显高于裸地。由于表层土壤中的盐分主要来自于土体中的水分,水分蒸发、盐分留存于表层。在相同的灌水和降雨条件下,由于裸地地表的湿度和土壤含水率均低于植被覆盖耕地,说明裸地地表水分的自然蒸发速度比植被覆盖耕地快,从而使得裸地表层积聚的盐分较植被覆盖区耕地高。当小麦收获后,小麦地裸露类似于裸地,加之此时正值西北高温季节,从而使得小麦地土壤中的水分快速蒸发,随水上移到土壤表层的盐分显著提高;而在牧草覆盖作用下,地表含水率较裸地高,说明牧草地土壤水分的自然蒸发比裸地弱,从而使得随水上移到土壤表层的盐分显著低于裸地。从 10 月 15 日盐含量测定结果中还可看出,小麦地的盐含量显著高于裸地,这主要是由于小麦生长期根部吸收大量水分,而水中的盐分留存于地表以下 20—40 cm 土壤中,当小麦收获后,土壤裸露、水分蒸发,导致土体中的盐分快速上移到地表,从而使得小麦地表层盐分的累积速度比裸地还快,这一结果也与李昂等^[7]结论相一致。另外,试验所选披碱草和苜蓿均为多年生牧草,本文仅就种植春小麦和牧草当年对地表微环境及土壤相关指标进行了比较,发现种植混播牧草可使耕地表层盐分处于较低水平。据魏晓斌等^[8]研究显示,随着苜蓿种植年限的增加,土壤水溶性盐分含量呈总体下降趋势。据此可以推断,随着披碱草/苜蓿混播牧草生长年限的增加,耕地表层盐分含量也将会呈现逐年下降的趋势,其防治耕地次生盐渍化的效果将会更加显著。

就植被特征指标对土壤水、盐含量的影响程度分析,从表 1 可以看出,植被地上生物量与土壤含水率

和植被盖度与土壤盐含量间相关性最强($r=0.734$, $r=-0.955$);进一步分析植被与水、盐间的数量关系可以看出,植被地上生物量每提高 1 kg/m^2 ,将使植被覆盖区表层土壤的含水率上升 6% ,植被的盖度每提高 1% ,将使植被覆盖区表层土壤的电导率降低 $2.2\ \mu\text{S/cm}$;当利用以上线性回归关系预测植被覆盖区耕地的土壤水、盐含量时,其准确度可达 53.9% 和 91.2% 以上。

综上所述,由于秦王川灌区种植的春小麦生育期较短,易引发土壤的次生盐渍化问题;而披碱草/苜蓿混播牧草覆盖耕地时间较长可预防耕地发生土壤次生盐渍化的风险。为了降低土壤盐渍化的危害,秦王川灌区应尽快调整农业种植结构,实行草田轮作制度,大力推广种植生长期较长的牧草(如披碱草/苜蓿混播)。

[参 考 文 献]

[1] 李昂,吴应珍,马明广,等. 西北地区种植甘草对土壤次生盐渍化的影响[J]. 水土保持通报,2016,36(6):47-52.

[2] 杨思存,车宗贤,王成宝,等. 甘肃沿黄灌区土壤盐渍化特征及其成因[J]. 干旱区研究,2014,31(1):57-64.

[3] 王少丽,高占义,郭庭天. 灌区土壤盐渍化发展模拟预测与对策研究[J]. 灌溉排水学报,2006,25(1):71-76.

[4] 赵可夫,范海,江行玉. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用[J]. 应用与环境生物学报,2002,8(1):31-35.

[5] 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.

[6] 彭红春,李海英,沈振西. 利用人工种草改良柴达木盆地弃耕盐碱地[J]. 草业学报,2003,12(5):26-30.

[7] 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.

[8] 魏晓斌,王志峰,于洪柱,等. 不同生长年限苜蓿对盐碱地土壤肥力的影响[J]. 草业科学,2013,30(10):1502-1507.

[9] 郭晔红,蔺海明,贾恢先,等. 种植中药材对盐碱地的改良效果研究[J]. 甘肃农业大学学报,2005,40(6):757-762.

[10] 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.

[11] 王文焰,王全久,张建丰,等. 甘肃秦王川地区土壤水分运动参数及相关性[J]. 水土保持学报,2002,16(3):110-113.

[12] 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.

[13] Li Ang, Niu Kechang, Du Guozhen. Resource availability, species composition and sown density effects on productivity of experimental plant communities [J]. Plant Soil, 2011,344(1):177-186.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2007:178-188.

[15] 李昂,张鸣,陈映全,等. 西北风蚀区种植甘草对农田土壤质地及碳、氮含量的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(5):286-290.

[16] 张浩,李志华,何蛟涛,等. 干旱区盐渍土形成和水盐转移机理[J]. 生物学通报,2011,46(4):10-12.

[17] 李昂. 生物措施防治土壤盐渍化的机理及研究进展[J]. 甘肃高师学报,2013,18(2):56-59.

(上接第31页)

[13] 贾坤,姚云军,魏香琴,等. 植被覆盖度遥感估算研究进展[J]. 地球科学进展,2013,28(7):774-782.

[14] 汪明霞,王卫东. 植被覆盖度的提取方法研究综述[J]. 黄河水利职业技术学院学报,2013,25(2):23-26.

[15] 程红芳,章文波,陈锋. 植被覆盖度遥感估算方法研究进展[J]. 国土资源遥感,2008(1):13-18.

[16] 刘广峰,吴波,范文义,等. 基于像元二分模型的沙漠化

地区植被覆盖度提取:以毛乌素沙地为例[J]. 水土保持研究,2007,14(2):268-271.

[17] 马娜,胡云锋,庄大方,等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. 地理科学,2012,32(2):251-256.

[18] 刘琳,姚波. 基于NDVI象元二分法的植被覆盖变化监测[J]. 农业工程学报,2010,26(S1):230-234.