

甘肃省沿黄灌区春小麦与披碱草/苜蓿混播对土壤盐渍化的影响

李昂^{1,2}, 曹素珍¹, 李雪¹, 李昌明^{1,2}, 韩凡香¹, 吴应珍³, 葛承暄⁴

(1. 兰州城市学院 地理与环境工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省矿区污染治理与生态修复工程研究中心, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学 马克思主义学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃省耕地质量建设保护总站, 甘肃 兰州 730000)

摘要: [目的] 研究甘肃省沿黄灌区耕地撂荒、种植春播作物与豆禾混播牧草对土壤盐渍化的影响, 为该区生物措施防治土壤盐碱提供科学依据。[方法] 以裸地(CK)、小麦(*Triticum aestivum*)、披碱草和苜蓿(*Elymus nutans/Medicago sativa*)混播为研究对象, 测定地表植被和微环境相关指标及表土(0—5 cm)水、盐含量, 分析植被与盐含量间定量关系。[结果] 裸地盐含量全年呈W形变化, 初春、夏末和秋末为3个高峰期; 麦地呈U形变化趋势, 高峰在初春和秋末; 混播牧草地仅初春盐含量较高。秋末, 麦地盐含量较裸地高18.4%, 而牧草地较裸地低55.9%。对比2 a 3月的土壤盐含量, 裸地和小麦地分别提高了23.7%和14.8%, 而牧草地却降低了28.2%。植被特征指标与表土盐含量间呈极显著负相关($p < 0.01$), 其中植被盖度与盐含量间相关性最强(达-0.916)。植被的盖度、高度和生物量每提高1%, 1 cm和1 g/m², 将使表土盐含量分别降低0.031, 0.139, 0.014 g/kg。[结论] 甘肃省沿黄灌区耕地撂荒和种植生育期较短春播作物易造成表土积盐和引发土壤次生盐渍化危害, 而种植多年生豆禾混播牧草可降低表土盐含量和预防土壤盐渍化。

关键词: 沿黄灌区; 土壤盐分; 农田生态保育; 牧草混播

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)06-0051-06

中图分类号: S156

文献参数: 李昂, 曹素珍, 李雪, 等. 甘肃省沿黄灌区春小麦与披碱草/苜蓿混播对土壤盐渍化的影响[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 51-56. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.06.008; Li Ang, Cao Suzhen, Li Xue, et al. Effects of spring wheat and mixture sowed *Elymus nutans* and *Medicago sativa* on soil salinity in irrigated areas along Yellow River in Gansu Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(6): 51-56.

Effects of Spring Wheat and Mixture Sowed *Elymus Nutans* and *Medicago Sativa* on Soil Salinity in Irrigated Areas Along Yellow River in Gansu Province

Li Ang^{1,2}, Cao Suzhen¹, Li Xue¹, Li Changming^{1,2}, Han Fanxiang¹, Wu Yingzhen³, Ge Chengxuan⁴

(1. College of Geography and Environmental Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou, Gansu

730070, China; 2. The Engineering Research Center of Mining Pollution Treatment and Ecological Restoration of

Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. College of Marxism, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu

730070, China; 4. Gansu Provincial Cultivated Land Quality Construction and Protection Station, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: [Objective] The effects of abandoned farmland, planting spring-sown crops and mixed sowing of legume and herbal grass on soil salinity were analyzed in order to provide scientific support for the prevention and control of soil salinization by using biological measures in irrigated areas along the Yellow River in Gansu Province. [Methods] Bare land (CK), *Triticum aestivum* and mixed grass (*Elymus nutans* × *Medicago sativa*) were employed to conduct treatments. Indicators related to vegetation and micro-environment and topsoil (0—5 cm) moisture and salinity were measured to analyze the relationship between vegetation characteristic index and

收稿日期: 2020-06-07

修回日期: 2020-07-26

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); 甘肃省高等学校创新能力提升项目“甘肅灌区农田生态保育种植模式优化及耕地质量保护与提升技术研究”(2019A-132)

第一作者: 李昂(1969—), 男(汉族), 甘肃省兰州市人, 博士, 副教授, 主要从事生态学教学和退化环境恢复治理研究。Email: liang@lzc.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, 主要从事退化环境恢复制度建设研究。Email: wuyz@gsau.edu.cn.

salt content. [Results] The salinity of topsoil in bare land showed a W-shaped curve pattern throughout the year, with three peaks occurring in early spring, late summer and late autumn. The salinity in wheat land showed a U-shaped trend with the peak in early spring and late autumn. The salinity in mixed grass land was only higher in the early spring. By the end of autumn (October), the salinity of topsoil in wheat field was 18.4% higher than that in bare land, while in grassland, was 55.9% lower than that in bare land. Compared with that in the March of two consecutive years, soil salinity in bare and wheat fields increased by 23.7% and 14.8% respectively, while in pasture field, decreased by 28.2%. There were extremely significant negative correlation between vegetation characteristics and salinity ($p < 0.01$), among them, the negative correlation between vegetation coverage and salinity was the strongest (up to -0.916). With the increase of vegetation coverage, height, and biomass by 1%, 1 cm and 1 g/m², the soil salinity would reduced by 0.031, 0.139 and 0.014 g/kg. [Conclusion] Abandoned farmland and short growing period of spring-sown crops are easy to cause salt accumulation of topsoil and soil secondary salinization in irrigated areas along the Yellow River in Gansu Province, while mixed planting legume and grass with long growth period can effectively reduce topsoil salinity and prevent soil salinization.

Keywords: irrigated areas along the Yellow River; soil salinity; farmland ecological conservation; mixed sowing of pasture

我国西北地区干旱少雨, 植被稀疏, 冬、春季多风, 致使耕地表土粗化、肥力下降, “资源—人口—环境问题”日益严重^[1-4]。为改善生产条件, 甘肃省陆续在黄河及支流建成多处提灌工程, 取得了显著的经济和社会效益^[5-6]。由于地理位置和资金限制, 这些灌溉工程运行数年后相继出现土壤盐碱问题^[6-8]; 另外, 由于大量施用化肥和很少进行农田生态保育, 耕地质量日愈下降, 加之投入产出效益低, 近年来撂荒耕地现象愈来愈严重^[9]。这不仅影响该区农业综合生产能力, 而且也严重威胁区域生态安全^[10]。甘肃灌区农业属一年一熟制度, 耕地每年有近 7 个月休闲裸露, 农业种植模式和耕作措施选择不当极易造成农田风蚀和盐碱危害^[6, 10]。尽管水利工程措施治理土壤盐碱已取得显著成效, 但在西北地区采取灌水洗盐不仅耗水多、费用高, 而且淋洗时将会使土壤中盐离子和植物生长必需元素同时排走, 加重下游地区盐碱危害^[11]。改良盐碱地不仅要降低土壤盐含量, 更要提高土壤肥力。以往研究显示, 种植牧草不仅能预防土壤风蚀^[12-13], 而且还能防治土壤盐碱和提高土壤肥力^[8, 14]。尽管前人利用牧草防治土壤盐碱已做了大量研究, 但多数研究选取牧草为 1 a 生或采取单播模式^[14-16], 很少采用多年生牧草混播模式, 对植被和土壤盐分变化动态及其定量关系也鲜有文献报道。生态学理论认为物种丰富群落可充分利用环境资源, 进而提高群落生产力^[17]。彭红春等^[18]研究发现, 混播牧草可提高植被的盖度和产量, 降低土壤水分蒸发和盐含量。李海英等^[19]研究发现, 燕麦/苜蓿混播不仅能增加植被盖度, 降低表土积盐, 而且深浅根系混播

有利于盐分向更深土层移动。Bhardwaj 等^[20]研究 5 种土地利用方式发现, 土壤盐渍度和碱化度随植被盖度的提高而降低。Xia 等^[21]研究发现, 树一灌一草混播不仅能防治土壤盐碱, 而且还能提高土壤养分和微生物量。为此, 本文以甘肃秦王川灌区种植春播作物和多年生豆禾混播牧草地为研究对象, 通过测定和分析植被和土壤盐分变化动态及定量关系, 探寻种植牧草防治土壤盐渍化内在机理, 为甘肃沿黄灌区利用“粮草轮作”方式防治耕地次生盐渍化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

秦王川灌区位于甘肃省永登县秦王川盆地(地理坐标为 36°26′—36°47′N, 103°30′—103°45′E), 海拔 1 700~2 300 m, 地势呈北高南低, 全年日照时数 2 669 h, 平均无霜期 150 d, 年均温度 6.2 ℃, ≥ 0 ℃活动积温 2 893 ℃, ≥ 10 ℃活动积温 2 227 ℃, 年均降雨 287 mm, 主要集中于 7 月末至 9 月初, 而蒸发量高达 1 888 mm, 春季平均风速 2.5 m/s, 最大风速达 20 m/s, 为典型半干旱大陆性气候, 地带性植被景观为丛生禾草干旱荒漠草原^[22-23]。该区土壤类型以灰钙土为主, 局部有盐土和黄绵土, 土壤质地为粉砂壤土, < 0.1 mm 细颗粒约占总量 88%, 土壤容重 1.29~1.47 g/cm³^[10, 22]。自 20 世纪 90 年代“引大入秦”灌溉工程运行以来, 由于种植作物生育期较短, 浇水采取漫灌, 加之日照强烈、水分蒸发量大, 运行数年后灌区北部表土电导率为 460 μ S/cm, 中部为 864 μ S/cm, 南部达 3 410 μ S/cm, 近 30% 面积耕地受到盐碱威

迹^[6]。另外,因土壤质量差、产出效益低,近年来撂荒耕地现象日趋严重^[9]。

1.2 试验设计、田间管理和测定

为探究种植春播作物和牧草对农田土壤盐分影响及避免地下水影响,试验选址灌区北部上川镇下古山村(海拔 1 950 m, 103°33'E, 36°45'N)。设裸地(CK)、单播小麦(*Triticum aestivum*)、混播披碱草/苜蓿(*Elymus nutans* × *Medicago sativa*) 3 个处理,随机区组排列,重复 4 次,共 12 个小区。小区面积 6 m × 4 m,间距 0.5 m。试验地前茬作物为油菜。为减少外部因素影响,各处理试验期间均不施肥。2016 年春季在设定小区内条播小麦和牧草(行距均为 20 cm),小麦播量 30 g/m²,披碱草 3.2 g/m²,苜蓿 1.5 g/m²。裸地喷洒除草剂。试验期间人工清除杂草,并分别于 5 月、6 月对所有小区各灌水 1 次;7 月末收获小麦(留茬高度与当地机收(10 cm)一致),根据牧草长势(≥80 cm)适时刈割,秋末留茬 10 cm 收获牧草。翌年春季再次播种小麦;因牧草为多年生,故不再播种。试验期内定期测定植被的盖度、高度和生物量^[8,13],并于 11—13 时在播种行间用照度计(VICTOR 1010A)和温度计(Delta Trak 11063)测定地表光照强度和土壤温度(地下 5 cm 深处),最后用土钻分层(0—5 cm, 5—10 cm, 10—20 cm, 20—40 cm)取土样。土壤含水率用烘干法测定,土壤含盐量用电导法测定。

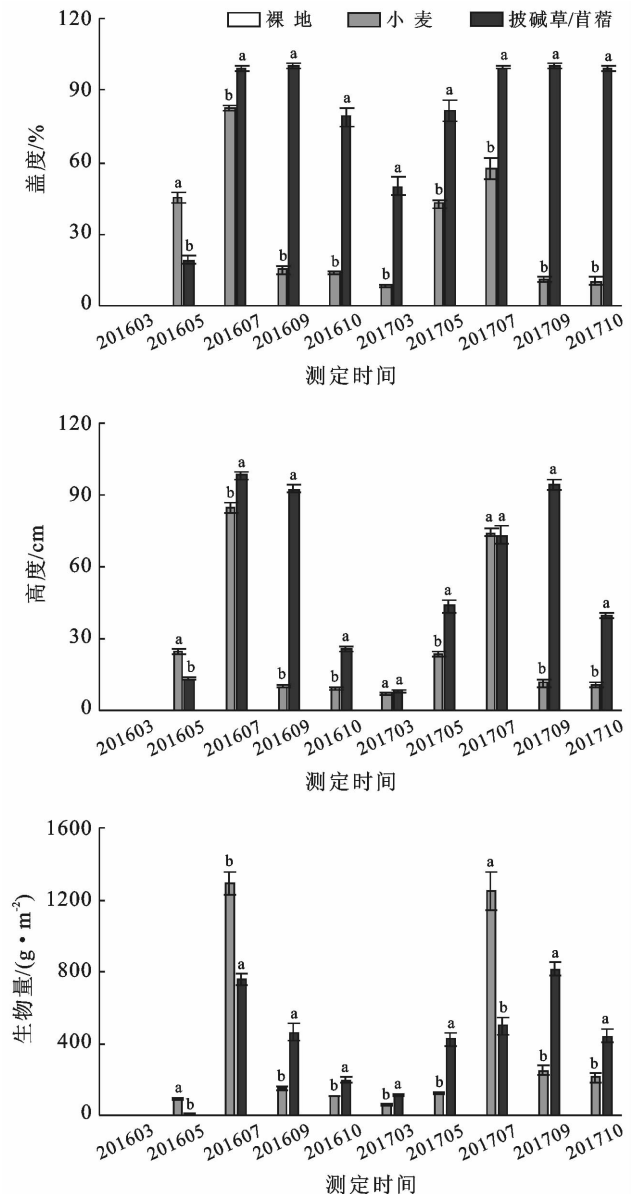
1.3 数据处理

用 Excel 软件汇总数据,用 SPSS 统计软件中单因素方差法分析处理间差异,Duncan 法进行多重比较,Pearson 法分析指标间相关性,并用双尾检验其显著性。

2 结果与分析

2.1 地表植被动态变化

种植当年(图 1),尽管牧草和小麦同时播种,小麦幼苗生长较牧草快,5 月小麦的盖度、高度和生物量均较披碱草/苜蓿混播牧草高;7 月小麦收获前,小麦仅地表生物量高于牧草,而盖度和高度均较牧草低;小麦收获后至秋末(10 月),该区秋季降雨较多,牧草在雨水浇灌下继续生长,而小麦地仅有少量根茬和幼苗,故牧草植被的盖度、高度和生物量均较小麦高。翌年(图 1),因牧草为多年生,春季萌发早,3—7 月牧草的植被特征指标均较小麦高(夏末牧草的高度和生物量较小麦低为刈割所致);小麦收获后至秋末,牧草和小麦的植被变化趋势与第 1 年类似。裸地因喷洒除草剂和人工除草,地表植被很少可忽略不计。



注:不同小写字母表示同一时间不同处理差异显著($p < 0.05$)。下同。

图 1 研究区地表植被特征指标变化

2.2 地表微环境因子与土壤含水率变化

以往研究显示,植被覆盖影响地表微环境^[8,24]。种植当年 3—5 月(图 2),由于植被量少、对地表影响有限,不同处理的地表光照强度、土壤温度和 0—5 cm 土层含水率差异均不显著;7 月,小麦和牧草植被对地表产生显著影响,其地表光照强度和土壤温度均显著低于裸地,土壤含水率高于裸地;小麦收获后至秋末,牧草植被量大于小麦根茬量,其地表光照强度和土壤温度显著低于小麦地,土壤含水率大于小麦地;小麦地因根茬少、对地表影响有限,故与裸地间差异不显著。翌年(图 2),3—7 月牧草植被量大于小麦,故其地表光照强度和土壤温度较小麦地低,土壤含水率正好相反;对于小麦地,3 月与裸地类似,随着小麦生

长,其地表光照强度、土壤温度和含水率与裸地间差异变大;夏末小麦收获后至秋末,牧草植被最大,故其地表光照强度和土壤温度较小麦地和裸地低,土壤含水率正好相反;小麦地因根茬有限,与裸地间差异不显著。

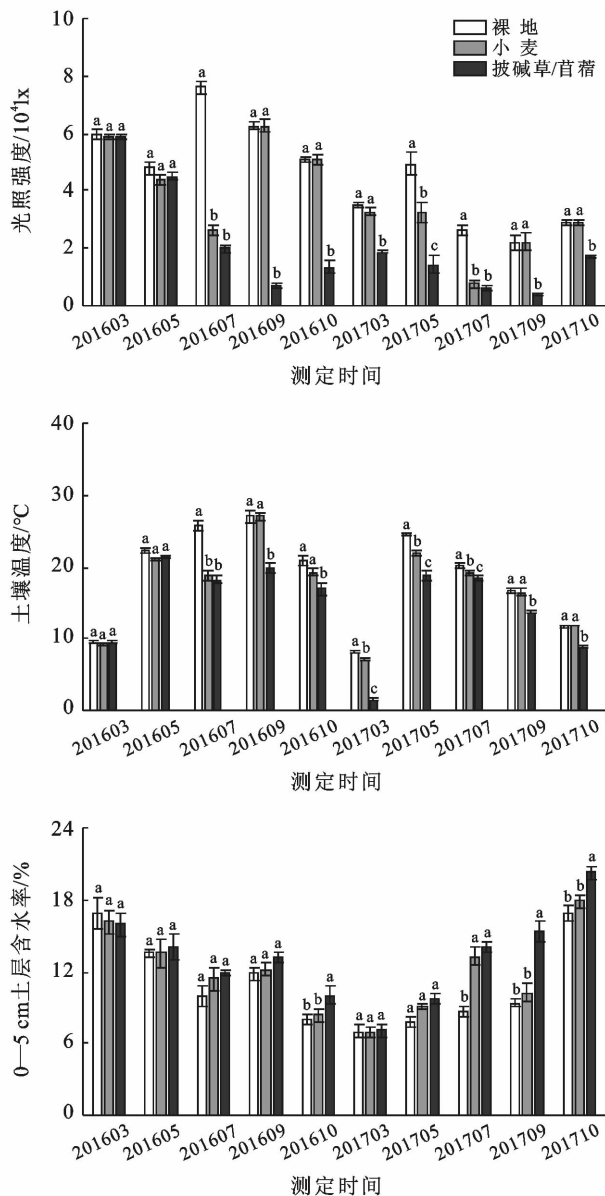


图 2 研究区地表微环境因子与土壤含水率变化

2.3 表土(0—5 cm)含盐量变化

相关研究显示,土壤盐含量受降雨、灌水、日照和植被覆盖影响,其中表土影响最明显^[6,15,25]。就本试验而言,因样地位于同一地块,每年 5,6 月又同时浇水灌溉,故不同处理同一时间测得土壤盐分差异仅为植被覆盖影响结果。就裸地而言(图 3),试验开始(3 月)时表土含盐量较高、为 3.14 g/kg,随时间推移,在降雨、灌水淋溶脱盐和日照蒸发积盐共同作用下,5 月降为 2.18 g/kg;夏季日照增强、水分蒸发加剧,盐

离子随水移至表层,7 月升至 2.64 g/kg;秋季降雨增多、土壤淋溶脱盐,9 月降为 1.21 g/kg;秋末降雨减少,强日照使土壤水分大量蒸发,10 月表土盐含量升至 2.53 g/kg;秋末至翌年 3 月,该区雨雪稀少,日照强烈,使表土盐含量继续升至 3.88 g/kg,随后变化趋势与第一年类似。由上可知,裸地表土盐含量全年呈 W 形变化趋势。就种植春小麦地而言(图 3),3 月表土盐含量为 3.11 g/kg,5 月降为 2.28 g/kg;之后随小麦植被增加对地表遮蔽作用增强,7 月降为 1.15 g/kg;小麦收获后在秋雨作用下,9 月降为 1.15 g/kg;秋末降雨减少、小麦根茬遮蔽有限,水分蒸发使表土盐含量升至 2.99 g/kg;秋末至翌年 3 月,小麦地类似裸地,表土盐含量升至 3.57 g/kg,随后变化类似于第一年。由上可知,种植春小麦将使表土盐含量呈 U 形变化。就种植混播牧草地而言(图 3),种植初期与小麦地类似,之后在灌水、降雨及牧草植被覆盖作用下,表土盐含量始终保持较低水平(7 月为 1.40 g/kg,10 月为 1.11 g/kg);秋末牧草收获后地表遮蔽作用减弱,翌年 3 月升至 2.21 g/kg,随后变化趋势与第一年类似。综上,种植牧草地仅春季表土盐含量较高。

分析 2 a 表土盐含量(图 3),种植初期(3 月)不同处理间差异不显著;秋末(10 月),小麦地较裸地高 18.4%,牧草地较裸地低 55.9%;翌年 3 月,小麦和牧草地较裸地低 8.1%和 43.1%;翌年 10 月,小麦地较裸地高 6.9%,牧草地较裸地低 22.3%。对比 2 a 3 月的情况,裸地和小麦地分别升高 23.7%和 14.8%,而牧草地却降低 28.2%。综上可知,春小麦因生育期短、收获后地表根茬覆盖作用有限,表土积盐程度与裸地类似,而混播牧草因生育期长,地表植被覆盖作用明显,可显著降低表土盐含量。

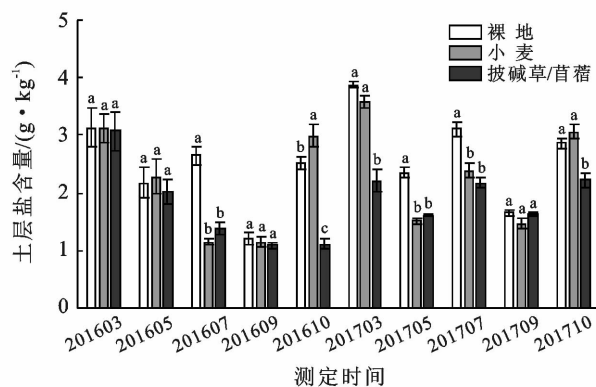


图 3 研究区 0—5 cm 土壤盐含量变化动态

2.4 相关及回归分析

以表土盐含量最高 3 月数据为例,进一步定量分析植被对土壤盐含量影响效果。相关分析显示

(表 1), 植被的盖度、高度和生物量间呈极显著正相关($p < 0.01$), 其中高度与生物量间相关性最强、达 0.926, 其次为盖度与生物量($r = 0.878$); 植被特征指标与地表光照强度和土壤温度均间呈极显著负相关, 与表土盐含量间呈极显著负相关, 相关系数 r 大小顺序为: 盖度(-0.916) > 生物量(-0.834) > 高度

(-0.687), 而与土壤含水率间相关性较弱; 表土盐含量与地表光照强度和土壤温度间呈极显著正相关, 与土壤含水率间呈负相关。进一步回归分析显示(表 2), 当植被的盖度提高 1%, 将使表土盐含量降低 0.031 g/kg, 高度提高 1 cm, 盐含量降低 0.139 g/kg, 生物量减少 1 g/m², 盐含量升高 0.014 g/kg。

表 1 不同因素间相关关系

项目	盖度	高度	生物量	光照强度	土壤温度	土壤含水率	土壤盐含量
盖度	1	0.738**	0.878**	-0.963**	-0.986**	0.050	-0.916**
高度		1	0.926**	-0.699**	-0.726**	-0.024	-0.687**
生物量			1	-0.856**	-0.881**	-0.102	-0.834**
光照强度				1	0.982**	-0.024	0.951**
土壤温度					1	-0.092	0.945**
土壤含水率						1	-0.098
土壤盐含量							1

注: ** 表示在 0.01 水平上极显著相关, * 表示在 0.05 水平上显著相关, 样本数 $n = 12$ 。

表 2 土壤盐含量与植被特征指标间数量关系

指标	拟合方程	R ²	p 值
植被盖度(x_1)	$y = -0.031 x_1 + 3.831$	0.840	<0.01
植被高度(x_2)	$y = -0.139 x_2 + 3.938$	0.472	<0.01
植被生物量(x_3)	$y = -0.014 x_3 + 4.008$	0.695	<0.01

注: y 代表表土盐含量, 单位为 g/kg; x_1, x_2, x_3 单位分别为 %, cm, g/m²。

3 讨论

土壤作为农业生态系统的物质基础, 承载作物生长、决定农业生产力高低。土壤质量下降不仅降低了农田生产能力, 而且还影响周边区域生态环境^[26-27]。秦王川灌区自运行以来, 由于种植春播作物生育期较短(3月底至8月初), 浇水采取大水漫灌, 加之日照强烈, 耕地近 7 个月裸露休闲, 大量水分蒸发致使近 1/3 面积农田受到盐碱威胁^[6,10]。另外, 过量施用化肥及很少使用有机肥造成耕地质量下降, 愈来愈多耕地被弃耕撂荒^[9]。为了减少耕地撂荒、降低土壤盐含量和提高耕地质量(如肥力), 迫切需要尽快采取生物措施(如种植牧草)进行农田生态保育。

秦王川灌区耕地撂荒、种植春小麦和豆禾混播牧草后, 表土盐含量变化存在明显差异。根据 2 a 试验结果, 该区春播时表土盐分较高, 而后在降雨和灌溉作用下逐渐降低^[28-29]; 夏季, 随着小麦植被增加、遮蔽作用增强, 地表光照强度和土壤温度降低, 水分蒸发减缓使随水升至表层盐分减少, 从而使得表土盐分保持较低水平^[20,25,30]; 小麦收获后秋雨淋溶使表土盐分仍保持较低水平; 秋末降雨停止, 强日照造成大量水

分蒸发, 表土盐分快速升高, 全年表土盐含量呈 U 形动态变化。就裸地而言, 不仅初春和秋末存在两个高峰, 夏末强日照期间也存在一高峰期, 全年呈 W 形动态变化。就混播牧草地而言, 播种后在降雨、灌溉和植被覆盖作用影响下表土盐分始终处于较低水平^[14-15]; 秋末, 牧草收获后, 强日照加之雨雪稀少和耕地休闲, 土壤水分蒸发使得下层土壤盐分上移, 至春季, 表土盐分再次处于较高水平, 全年仅初春盐含量较高。

种植春小麦易造成表土积盐, 而种植混播牧草可显著降低表土盐含量。从图 3 可见, 播种前(3 月)各处理表土盐含量相近, 秋末(10 月), 小麦地较裸地高 18.4%, 牧草地较裸地低 55.9%, 翌年 3 月, 小麦和牧草地分别比裸地低 8.1% 和 43.1%, 10 月小麦地较裸地高 6.9%, 牧草地较裸地低 22.3%。对比 2 a 3 月情况发现, 裸地和小麦地提高了 23.7% 和 14.8%, 而牧草地却降低了 28.2%。由上可知, 耕地撂荒和种植生育期较短春小麦将造成表土积盐及逐年增加趋势, 而种植多年生豆禾混播牧草可降低表土盐分及逐年减少趋势。相关研究显示, 秦王川灌区运行数年后近 1/3 面积耕地受到盐碱威胁, 也间接印证了上述结论^[6,22]。另外, 从秋季至翌年春季, 不同处理表土盐分均呈快速增加趋势(图 3), 全年最高盐分均出现在春季。其原因可能是秋末至翌年春季, 该区土壤裸露时间长、降雨雪稀少, 加之日照强烈, 土壤水分大量蒸发所致。据此, 秦王川灌区在防治土壤盐碱时, 应重点关注秋末至翌年春季阶段地表覆盖状况, 而以往相关研究却鲜有文献报道这段时间耕地盐分变化。

种植牧草降低表土盐含量机理是随着牧草植被增加,通过遮蔽对地表微环境产生显著影响^[8,11,18,24-25],即植被覆盖通过降低地表光照强度和土壤温度,减弱土壤水分蒸发(即提高表土含水率),减少随水上移至表层盐离子,从而使表土盐含量保持较低水平。相关分析显示植被特征指标与地表光照强度、土壤温度和土壤盐含量间呈负相关,与土壤含水率呈正相关,也证明了上述牧草植被覆盖降低表土盐含量的解释是合理的^[8,31]。回归分析显示植被的盖度、高度和生物量每提高 1%,1 cm 和 1 g/m²,将使表层土壤盐含量分别降低 0.031,0.139 和 0.014 g/kg,也进一步明确了植被增加量与土壤盐分降低间的定量关系。

4 结论

(1) 秦王川灌区耕地撂荒、种植春小麦和披碱草/苜蓿混播牧草后,表土盐含量变化存在明显差异。耕地撂荒将使表土盐含量全年呈 W 形变化动态,初春、夏末和秋末出现 3 个高峰期;种植春小麦地呈 U 形变化趋势,高峰出现在初春和秋末;种植披碱草/苜蓿混播牧草地仅初春表土盐含量较高。

(2) 种植春小麦将造成表土积盐,而种植混播牧草可显著降低耕地表土盐含量。秋末小麦地的表土盐含量较裸地高 6.9%~18.4%,而牧草地较裸地低 22.3%~55.9%;对比连续 2 a 春季表土盐分,裸地和小麦地分别提高 23.7%和 14.8%,而牧草地却降低 28.2%。

(3) 植被特征指标与表土盐含量间呈极显著负相关,植被的盖度、高度和生物量每提高 1%,1 cm 和 1 g/m²,将使表土盐含量降低 0.031,0.139,0.014 g/kg。

(4) 甘肃沿黄灌区耕地撂荒和种植生育期较短春播作物易造成表土积盐和引发土壤盐渍化危害,而种植多年生披碱草/苜蓿混播牧草可降低耕地表土盐含量和预防土壤发生次生盐渍化。

[参 考 文 献]

[1] 杨彩红,王军强,柴强,等.民勤绿洲区撂荒农耕地抗风蚀效果[J].水土保持学报,2019,33(1):57-61,67.

[2] Xie Yun, Lin Honghong, Ye Yu, et al. Changes in soil erosion in cropland in Northeastern China over the past 300 years [J]. *Catena*(Giessen), 2019,176:410-418.

[3] Yan Yuchun, Wang Xu, Guo Zhenjie, et al. Influence of wind erosion on dry aggregate size distribution and nutrients in three steppe soils in Northern China [J]. *Catena*, 2018,170:159-168.

[4] Yan Yuchun, Xin Xiaoping, Xu Xingliang, et al. Quan-

tative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of Northern China [J]. *Plant and Soil*, 2013, 369(1/2):585-598.

- [5] 宋楠,杨思存,刘学录,等.不同种植年限盐碱荒地土壤盐分离子分布特征[J].土壤学报,2014,51(3):660-665.
- [6] 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.
- [7] 李小刚,崔志军,王琳英.甘肃景电灌区次生盐渍化土壤的性质及其发生机理[J].土壤通报,2001,32(1):4-7,10.
- [8] 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.
- [9] 王文,魏爱兰.甘肃“引大”灌区农业结构调整与草业发展[J].草业科学,2006,23(2):61-66.
- [10] 肖红浪.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.
- [11] 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.
- [12] 李昂,吴应珍,叶鹤琳,等.种植小麦与牧草对西北风蚀区秦王川灌区粉砂壤土风蚀的影响[J].生态与农村环境学报,2018,34(6):535-540.
- [13] 李昂,李昌明,尹卓忻,等.甘肃秦王川灌区豆禾混播牧草的农田生态保育效应[J].水土保持学报,2020,34(2):239-244(268).
- [14] 李发明,朱淑娟,王耀林,等.引黄灌区种植苜蓿对盐渍化土地理化性状的影响[J].水土保持研究,2009,16(4):104-108.
- [15] 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.
- [16] 吕彪,许耀照,赵芸晨.河西走廊内陆盐渍土生物修复与调控研究[J].水土保持通报,2008,28(3):198-200.
- [17] Li Ang, Niu Kechang, Du Guozhen. Resource availability, species composition and sown density effects on productivity of experimental plant communities [J]. *Plant and Soil*, 2011,344(1/2):177-186.
- [18] 彭红春,李海英,沈振西,等.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.
- [19] 李海英,彭红春,牛东玲,等.生物措施对柴达木盆地弃耕盐碱地效应分析[J].草地学报,2002,10(1):63-68.
- [20] Bhardwaj A K, Mishra V K, Singh A K, et al. Soil salinity and land use-land cover interactions with soil carbon in a salt-affected irrigation canal command of Indo-Gangetic plain [J]. *Catena*, 2019,180:392-400.
- [21] Xia Jingbo, Ren Jiayuan, Zhang Shuyong, et al. Forest and grass composite patterns improve the soil quality in the coastal saline-alkali land of the Yellow River delta, China [J]. *Geoderma*, 2019,349:25-35.

- 技术研究[J]. 农业科技通讯, 2013(6):171-173.
- [15] 邵宪桥杨文珍. 双色地膜对地温、杂草及烤烟生长发育的影响试验研究[J]. 乡村科技, 2017(17):64-66.
- [16] 文宏, 马骏, 罗杰, 等. 新型地膜在烤烟生产中的应用初探[J]. 宁夏农林科技, 2012(3):12-13.
- [17] 王玮, 刘建军, 王静, 等. 黑白双色地膜在烤烟生产上的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2015(8):28-29, 32.
- [18] 刘星成. 玉米双色地膜栽培技术研究[J]. 现代农业科技, 2011(6):113.
- [19] 邓汉光. 原装进口银黑双色地膜的特点[J]. 广东农村实用技术, 2013(10):44.
- [20] 余宏军, 蒋卫杰, 王本辉, 等. 黄花菜双色长寿地膜覆盖免耕栽培技术[J]. 农村百事通, 2017(1):30-31.
- [21] 龚佩珍, 沈建峰, 盛保龙, 等. 不同地膜覆盖西瓜试验简报[J]. 中国西瓜甜瓜, 2003(6):15-16.
- [22] 薛应龙. 植物生理学试验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [23] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985.
- [24] 王战, 罗兴录, 樊吴静, 朱艳梅, 等. 不同地膜覆盖对木薯生长与产量的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(20):15-18.
- [25] 韦威旭, 韦民政, 覃维治, 等. 地膜覆盖对木薯生长发育和产量及淀粉含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(19):8939-8940, 8943.
- [26] 罗兴录, 黄秋凤, 郑华娟. 不同地膜覆盖方式对土壤理化性状和木薯产量的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22):372-375.
- [27] 黎青, 欧珍贵. 木薯地膜覆盖栽培试验及效益分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(7):1515-1517.
- [28] 翟瑞宁罗兴录. 木薯不同地膜覆盖种植对土壤肥力的影响[J]. 山西农业科学, 2016(3):361-363.
- [29] 徐镨, 张少瑜, 袁继存, 等. 地膜和秸秆覆盖对梨园土壤养分的影响[J]. 浙江农业学报, 2017(3):421-427.
- [30] 杜社妮, 白岗栓. 玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5):56-59.

(上接第56页)

- [22] 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.
- [23] 张世彪, 李松, 朱珂平, 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.
- [24] 李昂, 张鸣, 蔺海明, 等. 西北风蚀区种植甘草对地表微环境和土壤物理性状的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(10):128-132.
- [25] 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.
- [26] 王燕, 赵哈林, 董治宝, 等. 荒漠绿洲农田盐渍化过程中土壤环境的演变过程[J]. 生态环境学报, 2014, 23(11):1744-1751.
- [27] 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.
- [28] 董利苹. 淋洗和生物作用改良盐渍化土壤的机制研究[D]. 甘肃 兰州: 兰州大学, 2011.
- [29] 吕殿青, 王全九, 王文焰, 等. 一维土壤水盐运移特征研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4):91-95.
- [30] Yu Pujia, Liu Shiwei, Yang Hongtao, et al. Short-term land use conversions influence the profile distribution of soil salinity and sodicity in Northeastern China [J]. Ecological Indicators, 2018, 88:79-87.
- [31] 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.