

卫雨西,陈丽娟,席海洋,等.石羊河流域土壤水分和电导率的空间分布特征[J].中国沙漠,2023,43(3):264-273.

石羊河流域土壤水分和电导率的空间分布特征

卫雨西^{1,2}, 陈丽娟¹, 席海洋¹, 张成琦¹, 甘开元³, 雍天³, 张金霞³

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 干旱区生态安全与可持续发展重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.甘肃农业大学 水利水电工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 土壤水盐空间分异特征是土壤盐碱化防治与改良的重要依据,也是盐碱地资源开发利用的重要基础。在流域尺度上,综合石羊河流域林地、草地、耕地、盐碱地、荒漠等不同土地利用类型土壤水盐分异特征的研究较少,难以支撑新时期变化环境下盐碱地的改良与利用需求。运用地统计学与传统统计学方法,对石羊河流域土壤水分和电导率的空间分异特征进行了研究,并分析了不同土地利用类型对土壤水盐分布的影响。结果表明:石羊河流域土壤含水量呈现西南高、东部和西部低的趋势,在剖面上由表层的8.75%向深层的10.19%逐渐递增。土壤电导率呈现东南和西南部低、东北和西北部高的趋势,中、重度盐碱化土和盐土的面积占流域总面积的56.55%。不同土地利用类型中,林地土壤平均含水量最高(21.08%),其次为耕地(15.60%)、盐碱地(12.40%)、草地(6.98%)和荒漠(1.60%)。盐碱地土壤平均电导率最高(8.55 dS·m⁻¹),其次为草地(1.28 dS·m⁻¹)、荒漠(0.51 dS·m⁻¹)、耕地(0.48 dS·m⁻¹)和林地(0.18 dS·m⁻¹)。土地利用类型对土壤水盐的垂直分布有显著影响,且土壤水分含量与海拔、植被生物量、盖度、密度显著正相关,与容重呈显著负相关。林地和草地的土壤水分含量与电导率相关性不显著,而耕地、盐碱地和荒漠的土壤水分含量和电导率显著正相关,表明从石羊河流域上游到下游,土壤盐分对土壤水分的依赖程度不断增强。

关键词: 石羊河流域; 土壤水分; 土壤电导率; 土地利用类型; 空间变异

文章编号: 1000-694X(2023)03-264-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00038

中图分类号: P942

文献标志码: A

0 引言

土壤盐碱化是世界性问题。近年来,盐碱地的改良与利用已成为推进中国绿色可持续发展的重要内容,对保障国家粮食安全、生态安全及实现高质量发展具有重要意义^[1]。土壤水分是土壤盐分的溶剂,也是盐分运动的重要载体,土壤水分的分布和运移在很大程度上影响着土壤盐碱化的形成与发展。盐分在土壤中的积累是土壤盐碱化发生的基础,盐分的多少及其分布,直接决定了土壤盐碱化发生的区域和程度。因此,研究土壤水盐空间分异特征不仅是土壤盐碱化防治与改良的重要依据,也是盐碱地资源开发利用的重要基础^[2]。

长期以来,国内外学者开展了大量土壤水盐空间分异方面的研究。部分学者讨论了农田土壤水

盐的空间分异^[3-5]。Herbst等^[6]通过实测模拟对小尺度的土壤水分空间变异进行了研究;杨正华等^[7]研究了不同灌溉定额对春玉米生育期土壤水盐空间分布的影响。也有学者研究了区域尺度的土壤水盐空间分异特征^[8],如葛广华等^[9]通过对塔里木河上游荒漠河岸林土壤水盐分布规律进行研究,指出土壤水盐时空变化受植被覆盖度和季节变化的影响;赵明亮等^[2]研究了艾比湖流域山前绿洲-荒漠过渡带-湖滨湿地生态系统土壤表层盐分、含水量的空间异质性特征。综上所述,土壤水盐空间分异特征始终是盐碱化防治领域研究的热点,但由于不同区域间地形差异较大、土地利用类型多样,土壤水盐空间分异情况十分复杂,仍需根据不同区域环境特征开展针对性的研究。

石羊河流域深居大陆腹地,是典型的内陆河流

收稿日期:2023-01-05; 改回日期:2023-04-11

资助项目:国家自然科学基金项目(52179026);中国科学院“西部之光”-西部交叉团队重点实验室专项(xbzg-zdsys-202103)

作者简介:卫雨西(2000—),女,山西晋城人,硕士研究生,主要从事干旱区土壤学研究。E-mail: weiyuxi21@mailsucas.ac.cn

通信作者:陈丽娟(E-mail: ljchen@lzb.ac.cn)

域,干旱少雨、蒸发强烈,又因人为因素的干扰,土壤原生盐碱化与次生盐碱化问题频发,直接威胁着流域的可持续发展。作为河西走廊极端生态脆弱区,石羊河流域的土壤水盐动态一直受到专家学者的广泛关注。张凯等^[10]分析了民勤绿洲荒漠带土壤水分的空间分异特征;魏伟等^[11]利用MODIS数据建立了土壤含水量反演模型,分析了石羊河流域土壤含水量的空间分异规律;王俊年等^[12]研究了石羊河下游民勤绿洲土壤盐分变异特征;顾梦鹤等^[13]探究了民勤青土湖不同土地利用类型的土壤盐渍化特征及盐分离子变化;柳菲等^[14]研究了民勤绿洲不同土地利用类型下土壤水盐的空间分布特征。总体来看,大多数研究集中在石羊河流域绿洲农田、过渡带、荒漠等小尺度的土壤水盐特征方面^[14-15]。在流域尺度上综合林地、草地、耕地、盐碱地、荒漠等不同土地利用类型土壤水盐分异特征的系统性研究还较少。此外,新时期变化环境下区域尺度的气候、水文、生态环境等均发生了一定程度的演变,《石羊河流域重点治理规划》等政策措施的实施也对石羊河流域植被覆盖、土壤状况等产生了较大影响。因此,开展新时期石羊河流域的土壤水盐时空分异研究不仅有助于系统评价流域生态治理成效,还将为流域土地资源合理开发利用、土壤盐碱化的防治改良及植被恢复提供决策参考,有助于进一步协调人地关系,确保流域生态安全和可持续发展^[16]。

本研究通过开展石羊河流域植被与土壤综合调查与采样,探究全流域土壤水盐空间分异特征,分析不同土地利用类型下土壤水盐分异规律,明确土壤水盐分异的影响因素,以期石羊河流域土壤盐碱化防治和盐碱土改良利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

石羊河流域(36°29'—39°27'N, 101°10'—104°16'W)位于甘肃省河西走廊东部、乌鞘岭以西、祁连山北麓,总面积4.16万km²,海拔1300~5000m,整体呈现为南高北低、自西南向东北倾斜的趋势。流域为典型的大陆性温带干旱半干旱气候,太阳辐射强、昼夜温差大、降水量少、蒸发强烈、无霜期短、空气干燥。多年平均降水量由南部祁连山区的600mm逐渐减少至民勤北部腾格里沙漠的50mm,多年平均

蒸发量由700mm增加到2600mm,多年平均气温5~8℃。

石羊河流域水系发源于祁连山东部,包括大靖河水系(流入大靖盆地)、六河水系(流入武威南盆地)和西大河水系(流入永昌盆地),河流补给来源为山区大气降水和高山冰雪融水,产流面积1.11万km²,多年平均径流量15.60亿m³。流域上游山区土壤类型主要为栗钙土、寒漠土、草甸土、灰褐土和栗钙土等相间分布;中游绿洲区主要为灌耕土、灌漠土,相间分布有灰漠土、棕漠土等;下游荒漠区以风沙土为主,零星分布有盐土、石质土和沼泽土等类型^[17]。上游覆被类型包括亚寒带针叶林、灌丛、高山草甸等,中下游为人工灌溉绿洲(主要种植玉米、向日葵等作物)和荒漠植被(梭梭、柠条等)^[18]。

1.2 样品采集与处理

2022年6—8月在石羊河流域进行植被与土壤综合调查与采样工作。全流域共布置98个采样点(图1),每个采样点布设1个30m×30m的调查样地,在每个样地内调查植被的盖度、密度、株高等信息,同时采集新鲜地上植物样品。

在每个样地内沿对角线方向选择3个土壤采样点,采集0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100cm土层土壤样品。采样时先去除表层枯枝落叶,然后开挖剖面进行采样,剔除样品中明显的植物根段和枯落物等杂物,将3个采样点相同土层土样混合作为一个样品,其中一部分土样装入铝盒带回实验室测定土壤含水量,其余样品装入采样袋带回实验室进行土壤理化指标的测定。

在调查采样过程中,严格控制降雨和灌溉对土壤含水量和电导率的影响。在降雨发生时停止调查采样,等待土壤完全干燥后再进行采样。遇到农田发生灌溉时,在相邻村社寻找未进行灌溉的农田开展调查采样,并修改采样点位置。在无法获得未灌溉农田时,则等待土壤完全干燥后进行采样。

1.3 分析项目与测定方法

在实验室对新鲜植物样品进行称重后放入烘箱,105℃杀青2小时后,70℃烘干至恒重,测定干物质重^[19],并计算植物含水率。

土壤容重的测定采用环刀法,土壤水分的测定采用烘干称重法。配置水土比为5:1的土壤浸提溶液,用DDS-308A型电导率仪测定土壤浸提溶液电

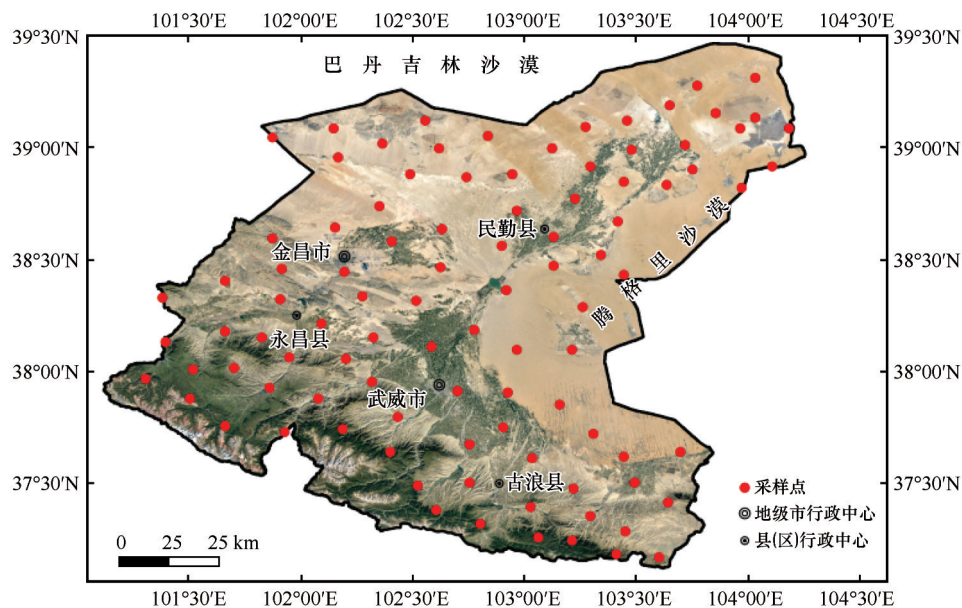


图1 研究区采样点分布

Fig.1 Sampling sites in the study area

导率(EC)^[20]。

1.4 数据处理与分析

运用地统计分析方法对全流域土壤含水量和电导率的空间分布特征进行分析。根据区域地形地貌、地表植被覆盖等情况将所有样地划分为林地、草地、耕地、盐碱地和荒漠5个土地利用类型。运用Kruskal-Wallis检验对每种土地利用类型不同土层深度的土壤含水量和电导率进行差异显著性分析,运用Wilcoxon检验进行两两比较,运用相关

分析研究土壤理化指标与植物指标间的关系。地统计分析在ArcGIS 10.7中进行,数据分析在R 4.1.0中进行。

2 结果与分析

2.1 全流域土壤水分和电导率的空间分布特征

石羊河流域土壤水分从上游至下游逐渐递减(图2A~C),整体呈现出西南高、东西部低的趋势。在各个土层深度上,土壤含水量空间分异特征较一

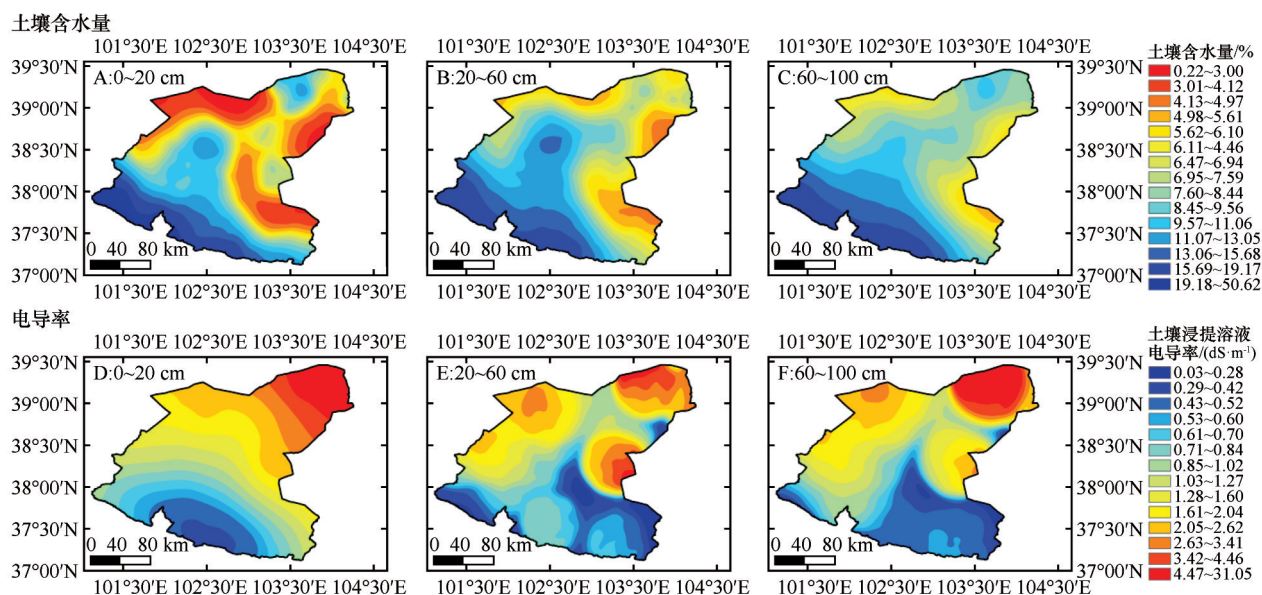


图2 土壤含水量(A~C)和电导率(D~F)空间分布

Fig.2 Spatial distribution of soil water (A~C) and EC (D~F) in the study area

致,均在流域西南部及北部部分地区形成高值区,在流域西北部、东北部以及腾格里沙漠边缘形成低值区。相比而言,流域上游和下游土壤含水量变化比较剧烈,中游武威市及其西北部区域含水量变化比较稳定,而由武威市向东方向含水量急剧降低。从垂直方向来看,0~20 cm 土层土壤平均含水量为 8.75%,20~60 cm 土层为 9.63%,60~100 cm 土层为 10.19%,由表层至深层呈增加趋势,且含水量的空间变异程度逐渐减小,表明石羊河流域深层土壤普遍具有相对较好的土壤水分状况。

石羊河流域土壤浸提溶液电导率总体呈现出从上游到下游逐渐增高的趋势(图 2D~F),0~20 cm 土层土壤电导率呈现出南部低、东北部高的趋势,20~60 cm 和 60~100 cm 土层电导率的空间分异特征较为一致,低值中心均分布在流域东南方向和西南边缘,且在民勤县以东的腾格里沙漠也有小范围低值区分布,高值区则主要分布在流域西北部、东北部和腾格里沙漠边缘。在垂直剖面上,土壤电导率在 0~20 cm 最高(平均值为 $1.81\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$),在 20~60 cm 最低($1.39\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$),且深层土壤的电导率变异程度更强。随着深度的增加,流域南部的低值中心向东南方向偏移,流域东北部的高值区在 20~60 cm 向

北部边缘偏移,西北部和东部的高值中心从 20~60 cm 至 60~100 cm 表现出向边缘移动的趋势,电导率逐渐减小。

2.2 全流域盐碱土分类及空间分布

参考刘旭等^[21]对盐碱土的分级标准(表 1),对石羊河流域盐碱土分布情况及等级进行划分。如图 3 所示,非盐碱土占石羊河流域总面积的 28.28%,主要分布在地势相对较高的永昌县西南部 and 武威市北部、东北部、东南部大部分地区,此外,古浪县大部分地区、金昌市周边、民勤县南部也有部分非盐碱土分布。该类土壤电导率普遍较低,对作物不产生盐害,作物生长相对较好。

表 1 土壤盐碱土分级标准	
Table 1 Classification of salinization	
电导率 EC/($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	盐碱土分类
0.00~0.50	非盐碱土
0.50~0.75	轻度盐碱土
0.75~1.50	中度盐碱土
1.50~2.50	重度盐碱土
>2.50	盐土

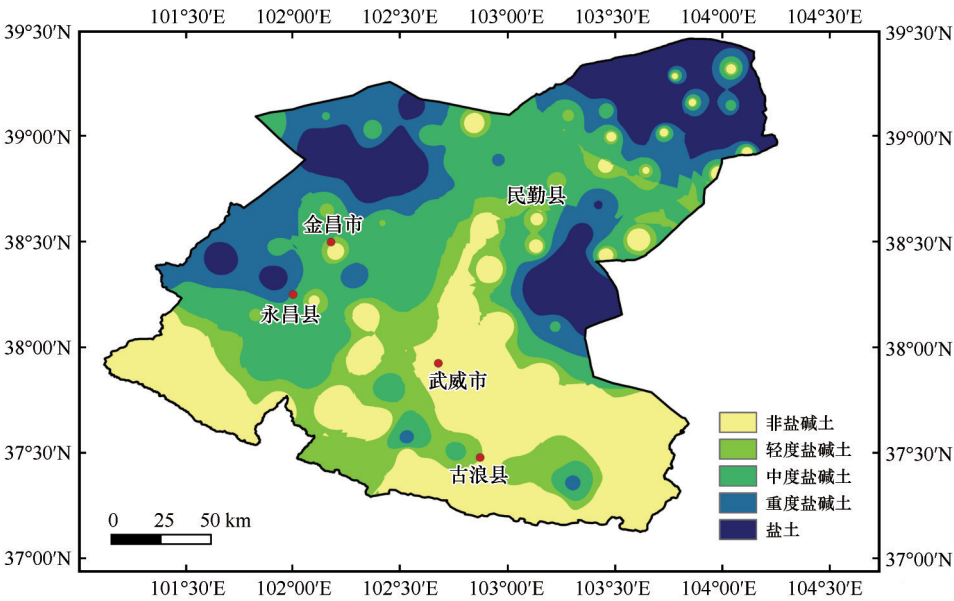


图3 盐碱土类型与分布

Fig.3 Classification and distribution of saline soil in the study area

轻度盐碱土占流域总面积的 15.17%,主要分布在永昌县南部、古浪县东部及武威市的北部、西部和南部部分地区,民勤县也有少量分布。这类土壤对盐分极敏感的作物产量可能会产生影响。

中度盐碱土在该流域所占面积较大,达 26.97%,主要分布在金昌市周边、永昌县南部和民勤县中部地区。这类土壤盐分含量较高,对盐分敏感的作物产量会受到影响,但对耐盐作物影响较小。

荒漠,盐碱地的土壤电导率显著高于荒漠、耕地和林地,耕地在20~100 cm的土壤电导率显著低于草地,盐碱地土壤电导率在0~20 cm和40~80 cm显著高于草地,耕地在0~40 cm电导率显著高于林地,荒漠仅在0~10 cm显著低于耕地。

2.4 土壤水分和电导率空间分异的影响因素

相关分析结果表明,石羊河流域土壤含水量与

海拔呈显著正相关关系(图4A, $P<0.001$),表明土壤水分沿海拔梯度的升高显著增加。土壤含水量与土壤容重呈显著负相关关系(图4B, $P<0.001$),表明土壤容重的增加会使土壤含水量下降。土壤含水量与地上植被生物量、盖度和密度间的正相关性均达到显著水平(图4C~E, $P<0.001$),说明地上植被生长状况与土壤水分具有显著的正向相互影响。

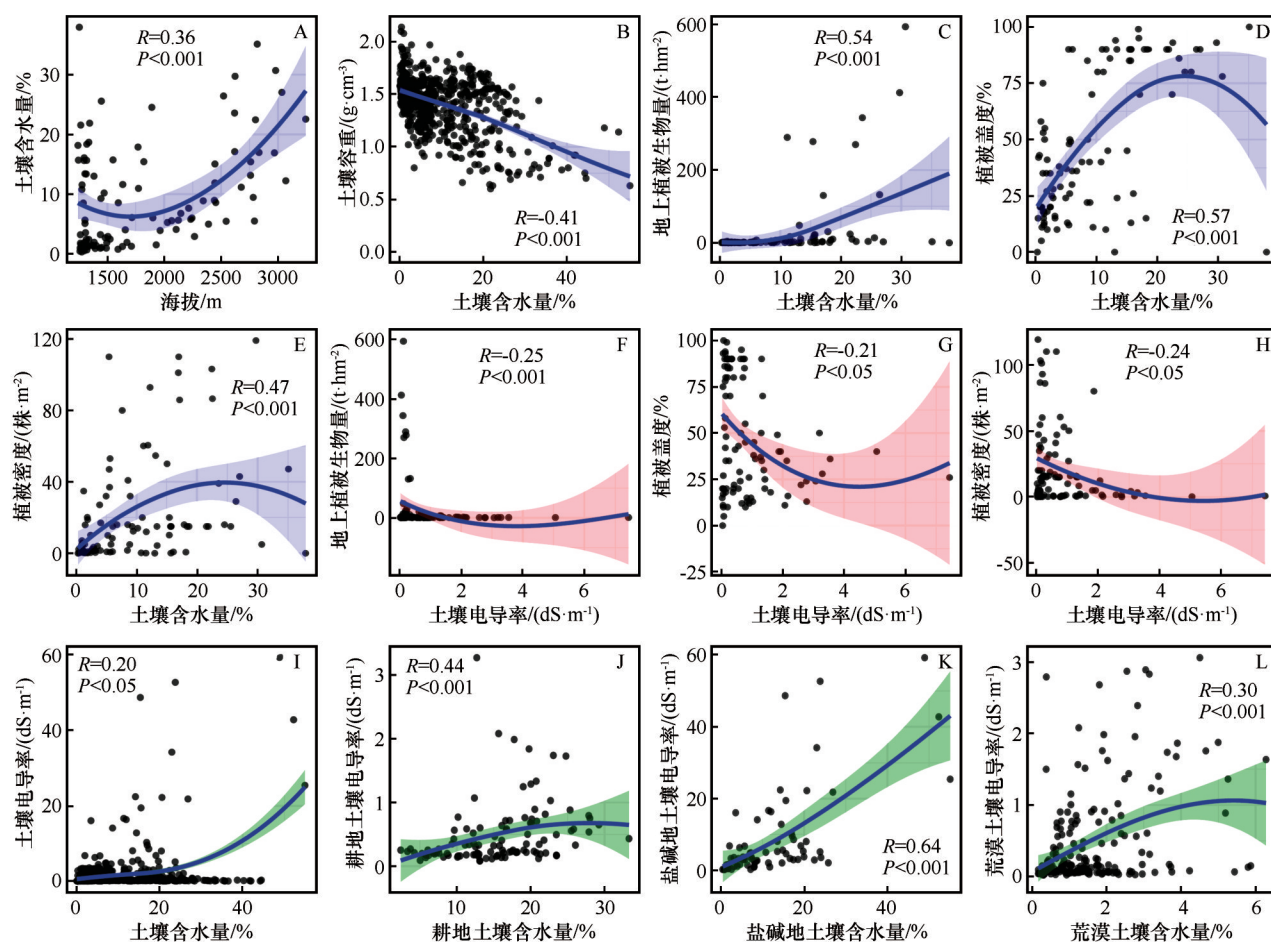


图4 各指标间的显著相关性

Fig.4 Significant correlations of different indices

土壤电导率与地上植被生物量、盖度、密度呈显著负相关关系(图4F~H, $P<0.05$),但相关性程度不高($R=-0.21$ 至 $R=-0.25$),表明从全流域尺度来看,石羊河流域植被的生长状况与土壤盐分的关联程度相对较小。此外,在流域尺度上,土壤含水量与电导率存在较小程度的相关性(图4I, $R=0.20$, $P<0.05$),但在耕地、盐碱地和荒漠中,土壤含水量与电导率均存在显著正相关关系(图4J~L, $P<0.001$),在林地和草地中,土壤含水量和电导率没有显著相关性,表明从上游到下游,土壤盐分对土壤水分的依

赖程度不断增强。

3 讨论

3.1 石羊河流域土壤水盐空间分布格局

石羊河流域土壤含水量从上游向下游递减的趋势与魏伟等^[11]的研究结果一致。上游主要为林地和草地,随着海拔升高,降水量逐渐增加,气温下降使得潜在蒸散发降低,且冰雪融水使土壤含水量进一步增加。与此同时,植物物种多样性增加且枯

枝落叶及腐殖质层变厚补充了土壤养分并改善了土壤结构,增强了土壤的持水能力^[22-23],林地高大乔木的覆盖也对土壤水分的保持有一定促进作用^[24],多重保障使得上游土壤含水量普遍较高。中下游绿洲区由于长期耕作,土壤相对肥沃,灌溉主要依靠上游冰雪融水、地下水 and 外流域调水,且整个土壤层以砂壤土和壤土为主^[15],水分便于下渗和储存,因此土壤含水量也保持在较高水平。下游荒漠区以沙漠和戈壁为主,由于降水少,蒸发强烈,地表荒芜,缺少植被覆盖,因此土壤水分普遍较低。在流域终端青土湖地区,由于输水工程的影响,土壤含水量始终处于较高水平。

石羊河流域土壤电导率总体表现为上游低、下游高的趋势,这也符合内陆河流域土壤盐分由上游向下游迁移的特点。上游林地、草地和中下游耕地在降水、冰雪融水和灌溉水淋洗的影响下,土壤盐分普遍较低。在下游地势低洼地区(东北部和东部)以及土壤母质含盐量较高的区域(西北部),由于地表裸露,干旱气候下水分强烈蒸发,盐分大量聚集,土壤电导率普遍较高。相对而言,下游民勤绿洲的土壤盐分变迁受到自然与人为因素的影响,空间异质性成因较为复杂。20世纪70年代以前,民勤绿洲处于蒸发型积盐期,70年代以后,地表水资源缺乏,地下水被大量提取并用于农业灌溉,深层盐分被带至地表,土壤盐分被人为进行了再分配,造成了土壤次生盐碱化^[25]。同样,流域终端的青土湖土壤盐分也呈现波动变化,2010年生态输水工程的实施在短期内使湖区土壤相对湿度增加,植被覆盖度提高,土壤盐碱化程度减弱。但长期来看,由于气候干热,地表水分大量蒸发,盐类物质不断积累,造成了更严重的次生盐碱化^[26]。此外,也有研究发现,民勤绿洲部分耕地退耕后土壤盐分呈现先升后降的趋势,退耕前,土壤盐分随着灌溉水向下运移;退耕后几年内盐分由于蒸发随水分向地表移动,土壤盐分含量升高^[12,27];退耕多年后,随着盐生植物数量的增加,植被覆盖度有所提高,土壤水分的蒸发减少,盐分运移减弱,土壤盐分又有所减少^[13]。由此可见,石羊河流域土壤水盐的分布与运移十分复杂,受到了自然和人为等多种因素的影响,处于不断变化过程中。

3.2 土地利用类型对土壤水盐垂直剖面分布的影响

在垂直剖面上,不同土地利用类型的土壤水分垂直分布差异显著且成因各不相同。林地土壤水

分先减小后增大,主要是由于林地地表有较厚的腐殖质层覆盖,能够减少地表土壤水分蒸发,使表层含水量较高,同时林地青海云杉的大部分根系分布在浅层^[28],其生长需要消耗较多的浅层土壤水分,因此在20~60 cm土层土壤含水量逐渐减少^[29]。绿洲耕地由于受作物生长和灌溉影响,土壤水分始终处于波动变化过程中,采样时耕地大多属于水分蒸发期,表层含水量相对较低,在灌溉期,表层含水量将达到最大。盐碱地土壤水分波动递增,这与冯国艺等^[30]、徐鑫等^[31]的研究结果相似,由于地势低洼处水分汇集,在60~80 cm处土壤含水量普遍较高,且随着土层深度的增加,土壤受外界影响较小,含水量波动减小。草地在各个土层的土壤水分均较低,主要是由于石羊河流域草地植被覆盖度较低,且草本植物根系普遍较浅,保水能力有限。此外,草地大多处于山前坡地,对降水和冰雪融水的截留能力有限。水分更多向深层土壤及河沟谷地运移。荒漠土壤表层蒸发强烈,且土壤多为沙质土,表层土壤含水量极低。

与土壤水分分布特征类似,土壤电导率垂直分布也具有明显差异。盐碱地土壤电导率表现为表层最高,盐分表聚现象明显,大多盐碱地表层都有一层盐霜,反映了干旱区强烈蒸发下盐碱地形成的主要原因^[32]。草地土壤电导率相对其他土地利用类型较高,主要是因为其地处石羊河上游而土壤含水量较低,难以淋洗土壤母质中的盐分,此外,草本植物根系分布较浅,因此表层土壤电导率最小。荒漠土壤处于极度干旱状态,土壤母质中的盐分很难向上运移,因此呈现出表层土壤电导率低于深层的情况。耕地表层土壤电导率较高,主要是受到强烈蒸散发作用的影响,土壤水在毛管力作用下向上运移,水分蒸发,盐分在表层聚积。林地土壤电导率垂直分异较小,主要是因为其整体具有较好的土壤水分环境,盐分多向更深层土壤运移。

3.3 土壤水盐空间分异的影响因素

石羊河流域不同区域、不同深度土壤水盐分布差异原因不尽相同。海拔与土壤水分呈正相关关系,主要是因为高海拔地区往往降水量更大,区域水分条件更好。土壤容重对土壤水分有直接影响,容重越大,土壤越紧实,孔隙度越小,土壤持水能力则越弱^[33]。从区域尺度来看,海拔和土壤容重对土壤电导率均没有显著影响。相比而言,土壤含水量

与植被地上生物量、盖度和密度呈现出显著正相关关系,而电导率与其呈显著负相关关系,这与张晶晶等^[34]、李昂等^[35]的研究结果一致。植被地上生物量、盖度和密度的增加减少了太阳直射到地面的几率并减弱了地表空气的流动,促使地表温度下降,从而减少了地面水分的蒸发,并进一步减少了盐分随水分向表层土壤的迁移。此外,李昂等^[35]研究干旱区植被特征指标对土壤水盐的影响时发现,植被地上生物量是影响土壤表层水盐的最主要且直接的因素,植被盖度和高度均通过地上生物量对土壤水盐产生较强的间接影响。

土壤含水量与电导率的相关性体现了不同区域、不同土地利用类型土壤水分和盐分的相互作用程度。在林地和草地中,植被覆盖、土壤类型和土壤母质成为土壤水盐分布和运移的主要驱动力,此时,土壤水分对盐分的影响力较弱。在耕地中,人为因素深刻影响了土壤水盐运移过程,灌溉水入渗使土壤盐分向下迁移,蒸发作用又使土壤水分携带盐分向上迁移,盐分对水分的依赖程度增强。在盐碱地和荒地中,土壤水分和盐分的正相关关系体现了内陆河流域水盐运移的必然方向,即水分汇集区也是盐分的汇集区,不同的是,盐碱地处于地势更低洼的区域,土壤含水量高于荒漠,在强烈蒸发作用下,盐碱土中的盐分持续向表层聚集,而荒漠土壤由于极度干旱,土壤水分对盐分的运输能力较弱,因此土壤盐分的分布主要决定于土壤母质及其成土过程。

值得注意的是,土壤类型和土壤质地对土壤水盐分布的影响也至关重要。石羊河流域上、中、下游的主要土壤类型分别为栗钙土、灌漠土和风沙土,不同类型土壤的质地差异明显,能够直接或间接影响土壤的水盐状况。栗钙土的土壤质地属于轻壤沙壤,容重较低、孔隙度较大,这种土壤不仅具有良好的透水性能,而且有很好的持水能力^[36]。就灌耕土和灌漠土而言,土壤通透性较好,蓄水保肥能力强,耕性良好,在种植作物情况下可促进土壤水盐的动态迁移。风沙土质地较粗,持水和保水能力差,更有利于水分向深处渗透,但在蒸发量较大的情况下,土壤极度干旱,水分和盐分的迁移均受阻^[37]。

4 结论

石羊河流域土壤含水量呈现出西南高、东西部

低的趋势,在剖面上平均含水量由表层的8.75%逐渐增加至80~100 cm层的10.19%,且变异程度逐层减小。土壤电导率呈现出东南和西南部低、东北和西北部高的趋势,中、重度盐碱土和盐土的面积占流域总面积的56.55%。

林地土壤平均含水量最高(21.08%),其次为耕地(15.60%)、盐碱地(12.40%)和草地(6.98%),荒漠土壤平均含水量最低(1.60%)。盐碱地土壤平均电导率最高($8.55 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$),其次为草地($1.28 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$)、荒漠($0.51 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$)和耕地($0.48 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$),林地土壤平均电导率最低($0.18 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$)。

林地土壤水分沿土壤深度先减小后增加,耕地、草地和荒漠土壤水分则先增加后减小,盐碱地土壤水分呈现增—减—增趋势。盐碱地和耕地均出现表层积盐现象,土壤电导率沿土壤深度逐渐减小,林地、草地和荒漠土壤电导率则沿土壤深度呈现总体增加趋势。

土壤水分与海拔及植被生物量、盖度、密度呈显著正相关关系,与容重呈显著负相关关系。林地和草地土壤水分与电导率没有显著相关性,耕地、盐碱地和荒漠土壤水分和电导率呈显著正相关,从石羊河流域上游到下游,土壤盐分对土壤水分的依赖程度不断增强。

参考文献:

- [1] 李保国. 新时代下盐碱地改良与利用的科学之路[J]. 中国农业综合开发, 2022(1): 8-9.
- [2] 赵明亮, 李艳红, 朱海强. 艾比湖流域不同生态系统土壤水盐空间异质性分析[J]. 土壤通报, 2016, 4(6): 1306-1313.
- [3] Ramoliya P J, Pandey A N. Effect of salinization of soil on emergence, growth and survival of seedlings of *Cordia rothii* [J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 176 (1/3): 185-194.
- [4] 金树权, 周金波, 朱晓丽, 等. 农田河道河岸土壤含水量变化特性分析研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(2): 306-309.
- [5] 陈小芹, 王振华, 何新林, 等. 北疆棉田不同冬灌方式对土壤水分、盐分和温度分布的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 132-137.
- [6] Herbst M, Diekkruiger B. Modelling the spatial variability of soil moisture in a micro-scale catchment and comparison with field data using geostatistics [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2003, 28(6/7): 239-245.
- [7] 杨正华, 王增丽, 董平国, 等. 石羊河流域膜下滴灌土壤水盐空间分布特征[J]. 排灌机械工程学报, 2017, 35(9): 806-812.
- [8] Brouchkov A. Salt and water transfer in frozen soils induced by gradients of temperature and salt content [J]. *Permafrost and*

- Periglacial Processes, 2000, 11(2): 153–160.
- [9] 葛广华, 殷彩云, 王家强, 等. 塔里木河上游荒漠河岸林土壤水盐分布规律研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 3(6): 7–12.
- [10] 张凯, 冯起, 吕永清, 等. 民勤绿洲荒漠带土壤水分的空间分异研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1149–1155.
- [11] 魏伟, 任皓晨, 赵军, 等. 基于MODIS的ATI和TVI组合法反演石羊河流域土壤含水量[J]. 国土资源遥感, 2011(2): 104–109.
- [12] 王俊年, 郭树江, 李得禄, 等. 石羊河流域下游不同年代退耕地土壤养分和盐分变异特征研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(26): 211–216.
- [13] 顾梦鹤, 李明红, 刘调平, 等. 民勤青土湖区不同土地类型土壤盐渍化特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2021, 57(1): 117–121.
- [14] 柳菲, 陈沛源, 于海超, 等. 民勤绿洲不同土地类型下土壤水盐的空间分布特征分析[J]. 干旱区地理, 2020, 4(2): 406–414.
- [15] 李昌盛, 张志山, 张金林, 等. 荒漠-绿洲区土壤性质过渡特征[J]. 中国沙漠, 2022, 42(4): 209–218.
- [16] 贡璐, 韩丽, 任曼丽, 等. 塔里木河上游典型绿洲土壤水盐空间分异特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 251–255.
- [17] 马惠莹. 石羊河流域山区-绿洲-荒漠不同水体水化学时空变化及控制因素[D]. 兰州: 西北师范大学, 2022.
- [18] 李振亚, 魏伟, 周亮, 等. 基于空间距离指数的中国西北干旱内陆河流域生态敏感性时空演变特征: 以石羊河流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(20): 7463–7475.
- [19] 廖鑫宇. 北疆山地草甸土壤理化性质特征[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[D]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002.
- [21] 刘旭, 迟春明. 南疆盐渍土饱和浸提液与土水比1:5浸提液电导率换算关系[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(1): 289–291.
- [22] 马国飞, 满苏尔·沙比提, 张雪琪. 托木尔峰自然保护区台兰河上游不同海拔灌木土壤理化性质研究[J]. 土壤通报, 2017, 48(6): 1288–1295.
- [23] 李强, 何国兴, 刘志刚, 等. 东祁连山高寒草甸土壤“固-液-气”三相组成对海拔和坡向的响应[J]. 水土保持学报, 2022, 36(3): 195–200.
- [24] 陈有君, 红梅, 李绍良, 等. 浑善达克沙地不同植被下的土壤水分状况[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(1): 68–73.
- [25] 陈丽娟, 冯起, 成爱芳. 民勤绿洲土壤水盐空间分布特征及盐渍化成因分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(11): 99–105.
- [26] 杨建霞. 青土湖及周边区域土壤盐渍化的遥感估算研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2020.
- [27] 王理德. 民勤退耕区次生草地植被及土壤系统演变研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [28] 党宏忠, 赵雨森, 陈祥伟, 等. 祁连山青海云杉林地土壤水分特征研究[J]. 应用生态学报, 2004(7): 1148–1152.
- [29] 刘萌. 祁连山半干旱区不同土地利用方式下土壤理化特性及草地生产力研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [30] 冯国艺, 张谦, 祁虹, 等. 滨海盐碱地水盐时空变化特征及对棉花光合生产的影响[J]. 土壤学报, 2019, 56(4): 1012–1022.
- [31] 徐鑫, 张金珠, 李宝珠, 等. 不同盐度土壤水盐时空分布特征及对棉花出苗的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2022, 40(2): 204–212.
- [32] 冯君, 马秀兰, 王宇, 等. 微域内苏打盐碱化草原草甸碱土和草甸盐土土壤剖面特征[J]. 吉林农业大学学报, 2019, 41(4): 450–456.
- [33] 陈乾, 刘凯, 王希贤, 等. 福建柏混交林主要土壤理化性质与土壤含水量的关联研究[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2021, 50(6): 771–780.
- [34] 张晶晶, 王力. 黄土高原高塬沟壑区坡面表层土壤水分研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 93–97.
- [35] 李昂, 张鸣, 陈伟, 等. 西北干旱区甘草植被特征指标对土壤水、盐、有机质的直接和间接效应[J]. 甘肃高师学报, 2017, 22(6): 25–30.
- [36] 朱晓梅, 臧春鑫, 宋炳煜. 皇甫川流域砒砂岩及栗钙土的土壤水分特征[J]. 人民黄河, 2007, 29(7): 40–43.
- [37] 王璐, 李乐乐, 赖梦霞, 等. 土壤盐分空间异质性成因及对植物生长影响研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39(6): 1369–1377.

Spatial differentiation of soil moisture and conductivity in Shiyang River Basin

Wei Yuxi^{1,2}, Chen Lijuan¹, Xi Haiyang¹, Zhang Chengqi¹, Gan Kaiyuan³, Yong Tian³, Zhang Jinxia³

(1. Key Laboratory of Ecological Safety and Sustainable Development in Arid Lands, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Study on the spatial differentiation of soil water and salt is an important basis for the prevention and improvement of soil salinization, and also an important foundation for the development and utilization of saline land resource. At a watershed scale, relatively few studies have been conducted on the spatial differentiation of soil water and salt under different land-use types such as forest land, grassland, cropland, saline land and desert in the Shiyang River basin, which can hardly support the improvement and utilization needs of saline land under the changing environment in the new period. In this study, the spatial differentiation of soil water and conductivity in the Shiyang River basin were studied using geostatistical and traditional statistical methods, and the effects of different land-use types on soil water and salt distribution were analyzed. The results showed that the soil water content in the Shiyang River basin demonstrated a trend of high in the southwest and low in the east and west, and gradually increased from 8.75% in the surface soil layer to 10.19% in the deep soil layer. Soil conductivity showed a trend of low in the southeast and southwest and high in the northeast and northwest, and the area of moderately and heavily saline and saline soils accounted for 56.55% of the total watershed area. The highest average water content was exhibited in forest soils (21.08%), followed by arable land (15.60%), saline land (12.40%), grassland (6.98%), and desert (1.60%). The highest average soil conductivity was found in saline land ($8.55 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), followed by grassland ($1.28 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), desert ($0.51 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), cropland ($0.48 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) and forest land ($0.18 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Land-use type had a significant effect on the vertical distribution of soil water and salt, and soil moisture was significantly and positively correlated with elevation, vegetation biomass, cover, and density, while significantly and negatively correlated with soil bulk density. There was no significant correlation between soil moisture and conductivity in forest land and grassland, while significant positive correlations were detected in cultivated land, saline land and desert showed, indicating that the dependence of soil salinity on soil moisture increased from the upstream to the downstream of Shiyang River basin.

Key words: Shiyang River basin; soil moisture; soil conductivity; land-use type; spatial differentiation