

干旱区绿洲灌溉条件对土壤盐分分布的影响

彭丽, 王玲, 刘海隆, 张添佑, 罗冲

(石河子大学 理学院 地理系, 新疆 石河子 832000)

摘要:干旱区绿洲土壤盐渍化现象普遍,不同灌溉条件下土壤盐基离子的季节分布、垂直分布各异,盐渍化是一个不断变化的动态过程。采用统计学方法,对新疆玛纳斯河流域不同灌溉条件下的夏秋两季土壤盐基离子进行了对比分析。研究表明:天然降水方式下土壤含盐量高于滴灌与漫灌方式,且各盐基离子季节差异最明显;滴灌在干旱区作物灌溉中意义重大,但压盐效果仍不及漫灌;滴灌和漫灌方式下全盐量在秋季呈现减少趋势,而天然降水方式下的土壤全盐量有所增加;各盐基离子中,季节变化最明显的有 HCO_3^- , Na^+ , K^+ , 其余离子在不同深度存在微量变化;不同深度土壤的盐渍化类型在漫灌方式下不稳定性要高于滴灌和天然降水方式下的土壤,且季节变动明显;流域内土壤的变异强度多为中等变异性,不同灌溉下各深度土壤全盐量的变异强度秋季大于夏季。流域内盐渍化现象普遍, pH 值集中在 7.9~8.7, 建议建立合理的灌排体系,滴灌的同时要做好排盐压盐工作,防止区域土壤盐渍化的加剧。

关键词:土壤盐渍化;灌溉条件;季节差异;玛纳斯河流域

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)03-0112-07

Effects of Irrigation Conditions on the Soil Salinization Distribution in the Oasis of Arid Area

PENG Li, WANG Ling, LIU Hailong, ZHANG Tianyou, LUO Chong

(Department of Geography, College of Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: Soil salinization is widespread in the arid areas. Salt ions under different irrigation distribution change with seasons and depths. Salinization is a dynamic process. Salt ions of soil under different irrigation conditions in summer and autumn in Manas River Basin were analyzed using statistical methods. The results show that the salinity under precipitation is higher than that under the drip irrigation and flooding irrigation. Salt is the most obvious in terms of the seasonal differences. Drip irrigation has great significance in the arid areas, but the effect on restraining salt movement is poor. In autumn, the contents of total salt decrease under drip irrigation and flooding irrigation, while the content of total salt increases under precipitation. Seasonal changes of HCO_3^- , Na^+ and K^+ are significant, and the changes of rest ions are not obvious. The salinization types in different depths are unstable due to the flooding, and its seasonal variation is more obvious. Most of the soil C_v in this area is medium variation, and it is higher in autumn than summer. Alkaline soil is common in this area with pH ranging from 7.9 to 8.7. It is advised to set up a reasonable irrigation and drainage system, and necessary to do something in soil desalt while drip irrigating so that to prevent the regional soil from salinization.

Keywords: soil salinization; irrigation conditions; seasonal differences; Manas River Basin

土壤盐渍化是土地退化的重要表现形式,广泛分布于世界 100 多个国家和地区,面积达 10 亿 hm^2 ,其中我国盐渍化土壤面积占世界的 6.62%,是盐渍化问题最为严重的国家之一^[1-5]。在生态脆弱的西北干旱、半干旱区,盐渍化问题尤其突出,严重制约着绿洲农业的发展。中科院 2006 年遥感调查显示新疆 32.7%的

耕地土壤受到了盐渍化的威胁^[6-9]。

水与盐分运移密不可分,不同的人类行为在一定范围内会对盐渍化状况造成不同的影响^[10]。目前,不同灌溉引起的土壤盐分变化在国际上的研究已非常活跃,有学者从不同角度进行了研究,例如不同灌水量与盐分、盐与地下水、灌溉试验对盐分影响等。

收稿日期:2015-11-15

修回日期:2015-12-23

资助项目:国家自然科学基金“气候变化和灌溉方式对干旱区土壤盐渍化的复合驱动机制研究”(41361073);自然科学基金面上项目“灌排方式对干旱区耕地土壤盐变化的影响及其生态效应”(41171083)

第一作者:彭丽(1990—),女,山西忻州人,硕士研究生,研究方向为景观遥感及地理信息系统。E-mail: pengli_china@163.com

通信作者:刘海隆(1974—),男,四川德阳人,博士,教授,博士生导师,主要从事 3S 技术在资源环境领域的应用研究。E-mail: liuhl@shzu.edu.cn

王玉刚等^[11-12]成果表明,灌溉在降低绿洲土壤盐渍化的同时,利用水库水灌溉易引起间接土壤盐渍化;李宝富等^[13-14]对比研究了绿洲农田灌溉前后土壤水盐的时空变异特征,并结合灌溉量提出了高效洗盐、高效用水的合理灌溉定额。高龙等^[15]根据不同灌溉定额与灌水间隔设置了试验,对比分析研究了膜下滴灌条件下的水—盐分布规律。

在水源紧缺的干旱区内,随着节水技术的大力推行,近年来灌溉方式也随之发生了很大变化。越来越多绿洲耕地的灌溉方式由大水漫灌变为了节水滴灌,在节省资源的同时还改善提高了农作物产量^[16]。然而,新的灌溉方式也给土壤盐渍化带来了新的挑战,灌溉条件对土壤盐渍化的影响研究进入了新阶段,对比研究不同灌溉条件下的土壤盐渍化差异特征,具有重要的意义。本文以不同灌溉方式为出发点,着重研究干旱区绿洲土壤盐分各指标的季节变化和垂直空间变化,旨在观察分析年内盐基离子累计及变化状况,为本区域的农业生产提供改良建议。

1 研究区概况

研究区所处地域位于新疆天山北麓中段的玛纳斯河流域,流域范围东经 85°01′—86°32′,北纬 43°27′—45°21′,占新疆总面积的 1.53%。流域内共 5 条较大的河流,从东到西依次为塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河和巴音沟,其中,玛纳斯河是水量最大、流程最长的一条。流域内年降水量 110~200 mm,年潜在蒸发量 1 500~2 000 mm,属于典型的大陆性气候^[17]。地形由南向北依次为山地、山前倾斜平原、沙漠。流域下部为深厚的第四季砂砾层,上部覆盖不同程度的黄土层,土壤原生盐化作用较为强烈,由于在干旱区具有相对较好的地质和土壤条件,且冰雪融水为流域的地下水与地表水提供着水源,这里成为新疆开发最早的农耕区之一和最重要的农业基地之一^[18],也是我国第四大灌溉农业区。

该区受地理、水文、气候、地质条件及人类活动的影响,土壤盐渍化现象普遍,灌区内盐渍化面积达 37%。农业土地利用以旱地为主,20 世纪 90 年代起覆膜滴灌技术逐步应用到该区域,目前,流域上游地区水源充沛、地势较高地区仍为漫灌,中下游地区土壤盐渍化状况较上游地区严重,耕地以滴灌为主,有少量耕地为漫灌,拟逐步替换为滴灌^[19]。

2 材料与方法

2.1 样地选取与样本采集

在玛纳斯河流域中部平原地区沿河流方向选取 6 个样区,分别为 150 团样区、四道河子样区、六户地

样区、玛纳斯样区 1、玛纳斯样区 2 和新湖样区。2014 年 7 月和 10 月夏秋两个时期分别进行了土壤样本的采集。所有样区共计 23 块样地,每个样地均采用 S 型采样方法进行采样,1 个混合样本由距离相近的 3 个样本混合而成,每块地采集 3 个混合样本。采用土钻法对 0—20,20—40,40—60,60—100 cm 共 4 层深度分别进行采集。将收集的各个样本用铝盒与塑料袋标号分装两份,铝盒装土样用来即时测定土壤含水量,袋装土样用来进行土壤理化分析。采样的同时,利用 GPS 进行定位,并详细调查记录样地的基本信息。每个时期均得到 276 份土壤样本与信息,所选样地包含滴灌、漫灌、天然降水 3 种不同灌溉方式(表 1),夏、秋两个时期共计 552 份样本。

表 1 不同灌溉方式样地类型描述

灌溉方式	植被覆被	描述
滴灌	棉花、打瓜	覆膜滴灌不同年限的耕地,水源引自渠水与井水
漫灌	棉花、打瓜	直接引用渠水或地下水进行浇灌的耕地,无覆膜
天然降水	梭梭、红柳	天然荒地、裸地,盐渍化较显著

2.2 测定方法

2.2.1 含水量测量 铝盒提前洗净、晾干、编号、称重以备用,将采集的土样即时称重得到湿重,经烘箱恒温 110℃烘干 8 h,得到土壤干重,计算土壤含水量。

2.2.2 电导率、pH 值的测定 袋装土平铺在无风阴凉的室内自然风干后,去除异物、经碾压过 1 mm 筛,装入袋中备用。电导率和 pH 值使用上海三信 MP522 型精密 pH/电导率测量仪进行测定,试验用水均采用无 CO₂ 去离子水。电导率的测定水土比为 5:1,pH 值的测定水土比为 1:1,将配置好的土壤溶液利用震荡机晃动 3 min,静置待用。

使用电极在土壤静置溶液上层清液中直接进行 pH 值的测定,并记录。电导率的测定需将土壤溶液定量过滤后测定,如过滤后仍有浑浊,需用离心机进行离心得到土壤清液,再利用电极进行测定,并记录。

2.2.3 土壤盐基离子的测定 土壤中水溶性盐包含的阳离子有 Ca²⁺,Mg²⁺,K⁺,Na⁺,阴离子有 HCO₃⁻,CO₃²⁻,Cl⁻,SO₄²⁻。土壤水溶性盐总量(g/kg)为 8 个离子质量分数(g/kg)之和。各盐基离子测定方法如表 2 所示。

表 2 土壤盐基离子测定方法

盐基离子含量	测定方法
Ca ²⁺ ,Mg ²⁺	EDTA 滴定法
K ⁺ ,Na ⁺	火焰光度法
CO ₃ ²⁻ ,HCO ₃ ⁻	双指示剂中和滴定法
Cl ⁻	硝酸银滴定法
SO ₄ ²⁻	EDTA 间接络合滴定法

3 结果与分析

3.1 不同灌溉方式下各层土壤全盐量的季节变化分析

按经典统计学方法分析^[20],将测量结果进行统计,得到研究区不同季节土壤全盐量经典统计参数,包括样本数、最小值、最大值、平均值、标准差、偏度系数、峰度系数以及变异系数(表 3—4)。变异系数(C_v)指样本标准差对平均值的百分数, $C_v \geq 1$ 为强变异型,

$0.1 \leq C_v \leq 1$ 为中等变异性, $C_v < 0.1$ 为弱变异性。偏度系数(Skewness)用来衡量实数随机变量概率分布的不对称性,绝对值越大,倾斜程度就越大,若数据呈正态分布则偏度系数为 0。峰度系数(Kurtosis)表示概率密度分布曲线在平均值处峰值高低的特征数,数据呈正态分布时的峰度系数为 0,当数据大多数集中于平均值附近时,呈高窄峭峰,此时峰度系数 >0 ,当数据较为分散时,呈平坦宽阔峰,此时总体峰度系数 <0 ^[21]。

表 3 夏季不同灌溉方式下各层土壤全盐量数据统计

土层深度/ cm	灌溉 方式	样本 个数	最小值/ (g·kg ⁻¹)	最大值/ (g·kg ⁻¹)	平均值/ (g·kg ⁻¹)	标准差	偏度 系数	峰度 系数	变异 系数
0—20	滴灌	57	0.32	6.39	2.42	1.26	1.54	2.32	0.52
	漫灌	3	2.00	2.16	2.06	0.09	1.60		0.04
	天然降水	9	3.20	7.97	4.91	1.40	1.17	2.53	0.28
20—40	滴灌	57	1.18	6.39	2.42	0.94	2.07	5.64	0.39
	漫灌	3	1.19	2.23	1.66	0.53	0.90		0.32
	天然降水	9	2.63	8.61	4.80	1.97	1.07	0.22	0.41
40—60	滴灌	57	0.37	3.94	2.22	0.73	0.37	0.20	0.33
	漫灌	3	1.38	2.76	1.87	0.77	1.70		0.41
	天然降水	9	2.62	8.79	4.53	1.97	1.44	1.87	0.43
60—100	滴灌	57	1.06	5.27	2.39	0.83	1.49	3.21	0.35
	漫灌	3	1.78	1.94	1.87	0.08	-0.55		0.04
	天然降水	9	2.38	5.70	4.24	1.23	-0.44	-1.20	0.29

表 4 秋季不同灌溉方式下各层土壤全盐量数据统计

土层深度/ cm	灌溉 方式	样本 个数	最小值/ (g·kg ⁻¹)	最大值/ (g·kg ⁻¹)	平均值/ (g·kg ⁻¹)	标准差	偏度 系数	峰度 系数	变异 系数
0—20	滴灌	57	0.56	4.08	1.65	0.98	1.05	-0.03	0.60
	漫灌	3	0.53	0.92	0.78	0.22	-1.73		0.29
	天然降水	9	4.14	10.37	6.61	2.24	0.95	-0.29	0.34
20—40	滴灌	57	0.73	4.28	1.98	1.00	0.68	-0.51	0.50
	漫灌	3	0.87	1.47	1.10	0.32	1.61		0.29
	天然降水	9	3.07	8.30	5.01	1.78	0.78	-0.32	0.35
40—60	滴灌	57	0.51	4.04	1.80	0.82	0.66	0.08	0.45
	漫灌	3	0.61	1.39	1.00	0.39	0.04		0.39
	天然降水	9	3.14	6.37	4.77	1.08	-0.12	-1.18	0.23
60—100	滴灌	57	0.64	4.91	1.61	0.72	1.85	6.76	0.45
	漫灌	3	0.81	1.01	0.94	0.11	-1.71		0.12
	天然降水	9	2.88	8.16	4.53	1.50	2.02	5.13	0.33

表 3—4 表明,研究区内土壤全盐量的 C_v 为 0.04~0.60,变异强度大部分为中等变异性。其中,不同灌溉下各深度土壤全盐量的变异强度秋季大于夏季;夏季滴灌方式下表层和底层土壤变异强度最大,中层土壤天然降水方式下的变异强度最大;秋季各深度滴灌方式下土壤全盐量的变异强度均大于其他灌溉方式。不同灌溉下各深度土壤全盐量均不成正态分布,夏季土壤全盐量数值大部分分布在平均值附近,秋季则更加分散。

3.2 不同灌溉方式下土壤盐基离子的垂直变化特征

滴灌、漫灌、天然降水 3 种不同灌溉方式下的土

壤盐基离子在垂直方向上的季节变化各有不同。首先对不同灌溉方式下土壤指标的垂向分布变化进行了分析,结果如图 1 所示。

由图 1 可知,滴灌和漫灌方式下各个深度的夏季盐分含量均高于秋季,天然降水方式下的土壤秋季含盐量在各个深度均高于夏季。同时,各类型灌溉方式盐分数据曲线在夏秋两季均在 40 cm 深度处出现瓶颈口状,且在表层开口幅度大,表示 40 cm 以上深度的土壤全盐量季节变化较为明显,其中天然降水方式下变化幅度最大,其次为漫灌,再次为滴灌。电导率与土壤全盐量呈正相关。

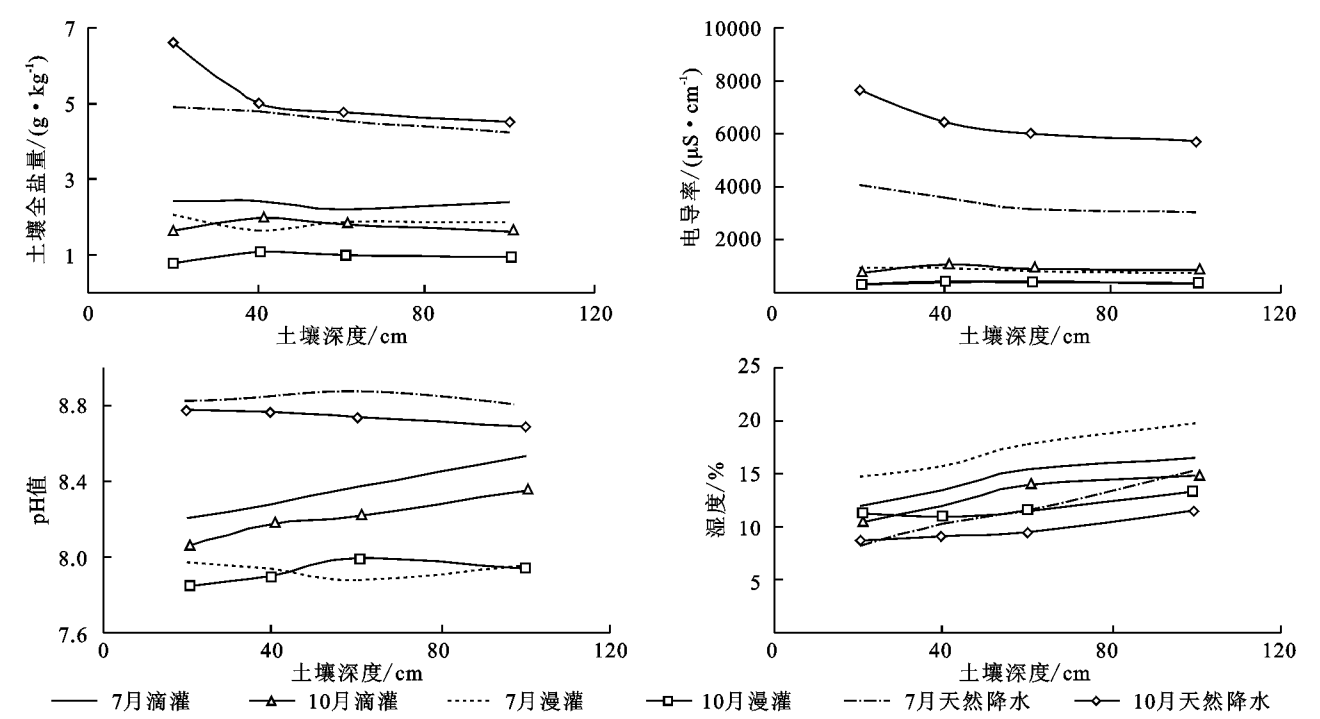


图 1 不同灌溉方式下土壤指标的垂向分布变化

不同灌溉下土壤 pH 值在各个深度由大到小依次为:天然降水>滴灌>漫灌。秋季天然降水方式下 pH 值在各个深度均大于夏季;滴灌方式下秋季 pH 值低于夏季;漫灌方式下,除 40—60 cm 外,其他深度均为夏季高于秋季。

土壤湿度曲线显示在垂直方向上,土壤湿度随土

层深度的增加而增加,地表最为干旱,在人工灌溉的作用下,表层会出现短时期土壤湿度的增加。与此同时,在不同灌溉方式下,各个深度秋季的土壤湿度均小于夏季,这和人工灌溉与气候因素密切相关。对不同灌溉方式下土壤中阳离子垂向分布进行季节差异的分析,结果如图 2 所示。

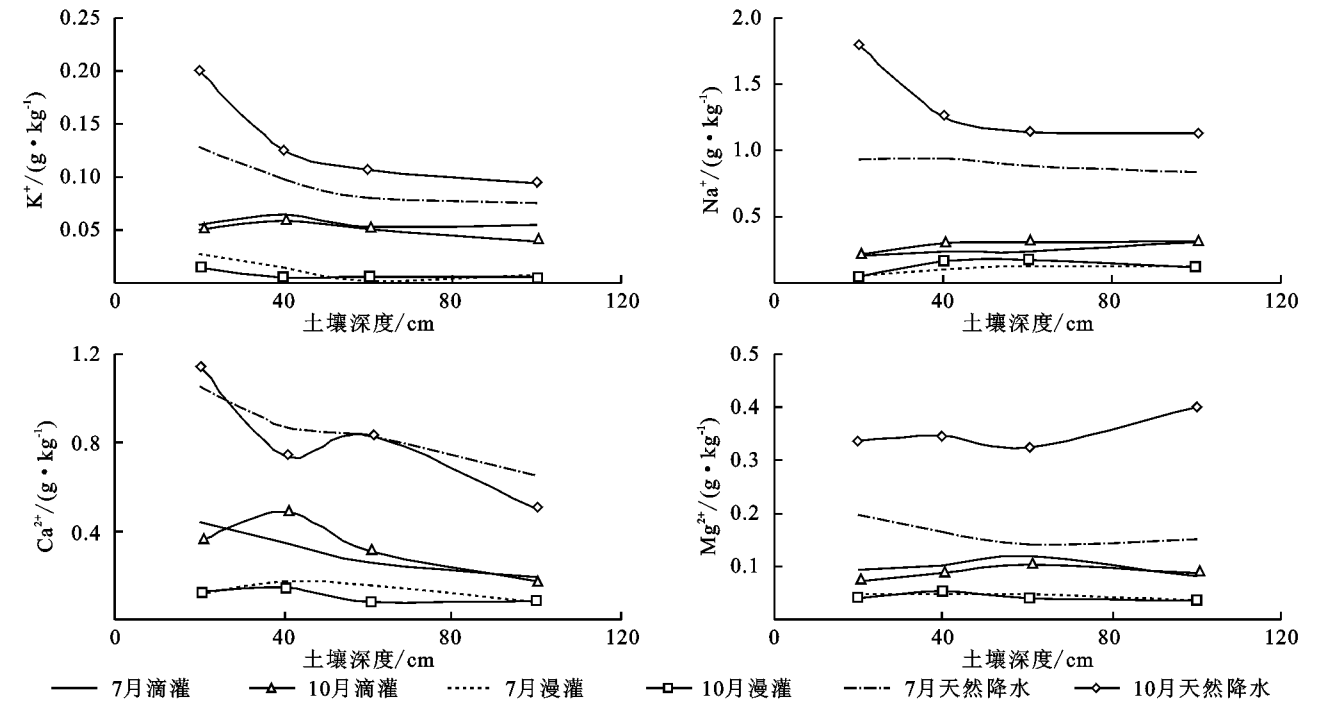


图 2 夏秋两季不同灌溉方式下盐基阳离子的垂向分布

土壤 K^+ 含量为 0~0.28 g/kg。在漫灌和天然降水方式下, K^+ 在垂直方向上均保持由地表向地下逐渐减少的趋势;滴灌方式下夏秋两季的 K^+ 均在 40

cm 处出现了峰值。天然降水方式下的夏秋两季 K^+ 含量季节差异明显高于滴灌与漫灌方式。60 cm 以上土层夏季的 K^+ 含量均高于秋季。

土壤 Na^+ 含量为 $0 \sim 3.6 \text{ g/kg}$, 在各离子中含量最多。不同灌溉方式下的 Na^+ 含量在秋季均高于夏季。滴灌与漫灌在不同深度表现趋势一致, 地表与底层 (60—100 cm) 土壤夏秋两季 Na^+ 含量基本不变, 中层 (20—60 cm) 土壤 Na^+ 含量秋季微微高于夏季。

土壤 Ca^{2+} 含量为 $0 \sim 1.15 \text{ g/kg}$ 。其在垂直方向上变动较大, 不同灌溉方式在不同深度季节差异各异。漫灌方式下表层和底层土壤季节差异不明显, 中层土壤 (20—60 cm) 夏季时的 Ca^{2+} 含量高于秋季; 滴灌方式下表层和底层土壤 Ca^{2+} 夏季稍高于秋季, 中层土壤 Ca^{2+} 含量秋季高于夏季; 天然降水方式下不同深度土壤 Ca^{2+} 差异较大, 表层土壤 Ca^{2+} 含量秋季高于夏季, 40—60 cm 土层夏秋两季 Ca^{2+} 含量差异

不大, 20—40 cm 与 60—100 cm 深度土壤 Ca^{2+} 含量夏季高于秋季。

土壤 Mg^{2+} 含量为 $0 \sim 0.4 \text{ g/kg}$ 。其中, 天然降水方式下季节差异最大, 秋季各深度土层的 Mg^{2+} 含量均高于夏季; 漫灌方式下不同深度 Mg^{2+} 含量季节差异不明显; 滴灌方式下土壤底层 Mg^{2+} 含量基本一致, 60 cm 以上土层夏季 Mg^{2+} 含量高于秋季。

对不同灌溉方式下土壤中阴离子垂向分布进行季节差异的分析, 结果如图 3 所示。

CO_3^{2-} 在土壤中含量极少, 含量为 $0 \sim 0.00012 \text{ g/kg}$ 。漫灌与滴灌方式下 CO_3^{2-} 在不同季节垂直方向上趋势一致, 但离子含量夏季明显高于秋季。天然降水方式下地表和地下的 CO_3^{2-} 季节差异大于土壤中部。

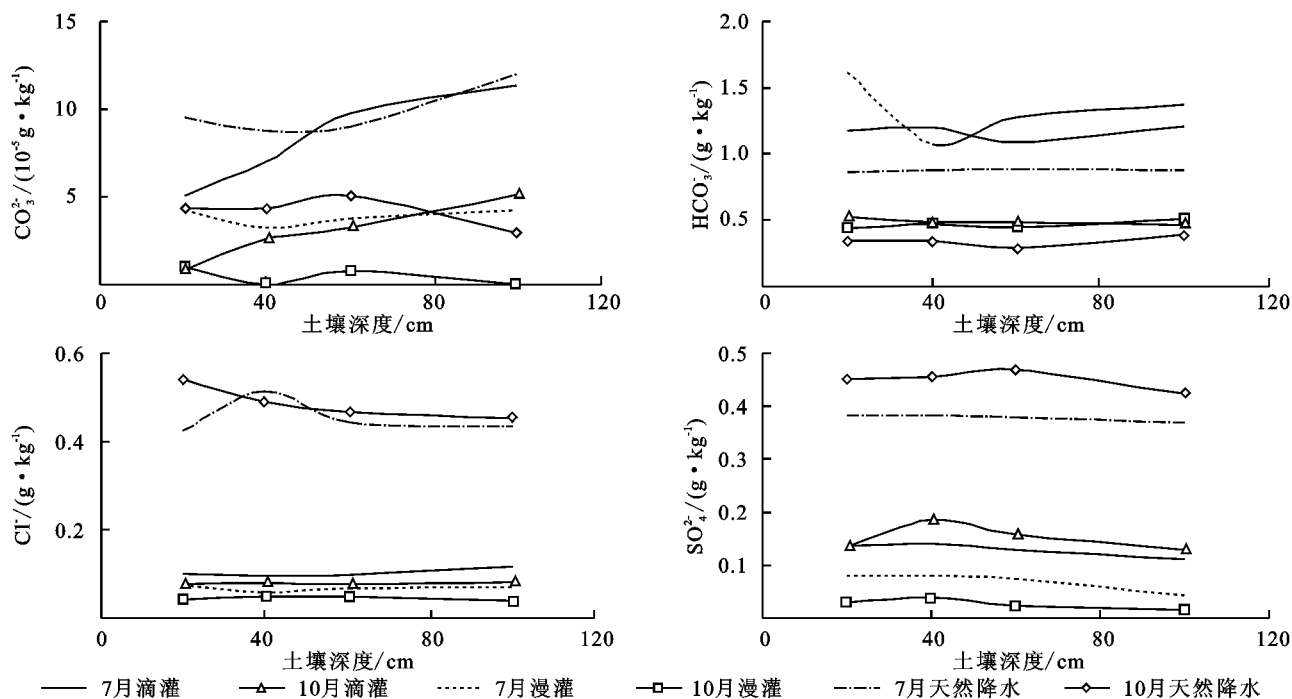


图3 夏秋两季不同灌溉方式下盐基阴离子的垂向分布

HCO_3^- 在土壤中含量为 $0.29 \sim 1.65 \text{ g/kg}$ 。各灌溉方式下夏季土壤 HCO_3^- 含量均明显大于秋季。其中, 夏季漫灌方式下的 HCO_3^- 垂直方向上的变化差异最为明显, 其次是滴灌, 夏季漫灌方式下的土壤中层 (20—40 cm) HCO_3^- 含量低于其他深度, 其余季节不同灌溉方式下离子垂向变化幅度不大。

Cl^- 在土壤中含量为 $0 \sim 0.55 \text{ g/kg}$, 夏秋两季天然降水方式下各深度的 Cl^- 含量明显高于滴灌与漫灌两种方式。垂直方向上滴灌与漫灌方式下离子季节变化不明显, 夏季稍高于秋季。天然降水方式下, 土壤中层 (20—40 cm) 在夏季 Cl^- 含量最高, 其余深度的 Cl^- 含量均为秋季略高于夏季。

土壤中 SO_4^{2-} 含量为 $0 \sim 0.46 \text{ g/kg}$ 。各灌溉方式 SO_4^{2-} 含量差异较大。不同深度的 SO_4^{2-} 含量由大

到小均表现为: 天然降水 > 滴灌 > 漫灌。漫灌方式下 SO_4^{2-} 含量在夏季高于秋季, 滴灌和天然降水方式下 SO_4^{2-} 含量在不同深度上均为秋季高于夏季。

3.3 不同灌溉方式下土壤盐基指标的季节变化特征

分析不同灌溉条件下各盐基指标在不同季节的变化, 结果如图 4 所示。

各离子在夏、秋两季所占总盐比重的趋势基本一致。每千克土壤所含阳离子质量由高到低依次为: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 。漫灌方式下, 各阳离子含量最少, 天然降水方式下各阳离子含量最多。

土壤阴离子含量由高到低为: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ 。其中, CO_3^{2-} 仅存在于部分土壤中且含量极少, 天然降水方式下各阴离子质量差异较大, 漫灌方式下各阴离子含量最为接近。

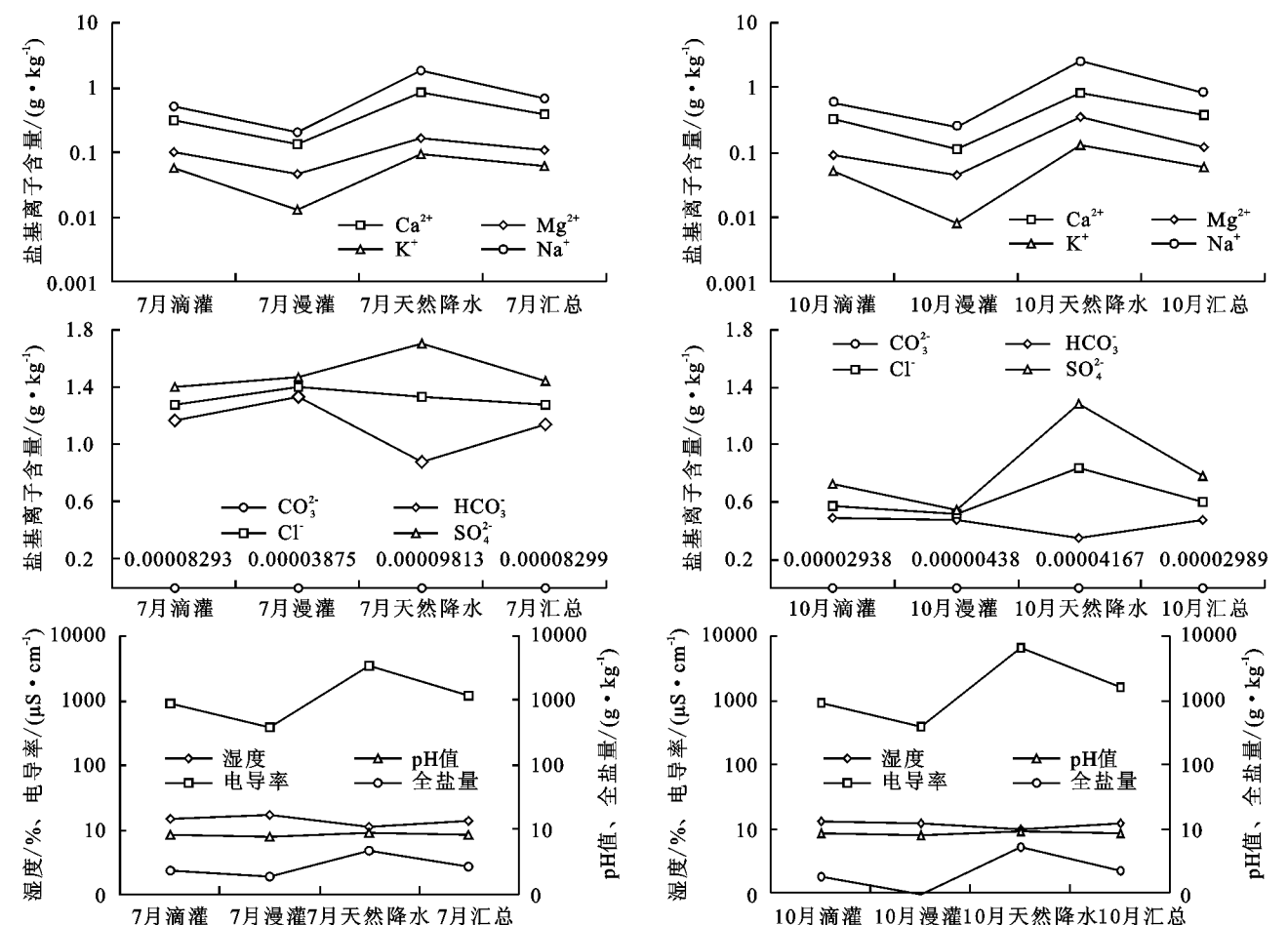


图 4 不同灌溉下各盐基指标在不同季节表现形式

不同灌溉方式下的土壤全盐量与电导率波动一致,3 种灌溉方式中全盐量与电导率的大小由高到低依次为:天然降水>滴灌>漫灌。显示天然降水方式下的土壤盐渍化程度最严重,整体而言,漫灌所在区域盐渍化程度要低于滴灌区域。各灌溉方式下土壤平均 pH 值基本在 7.9~8.7,显示研究区土壤以碱性—强碱性土为主。

土壤湿度中,天然降水区域降水是唯一水源,土壤湿度最低。夏季农业灌溉较为频繁,测量数据显示,漫灌方式下的土壤湿度在夏季要略微高于滴灌,这和土壤灌溉时间有着密切的关系。秋季灌溉基本停止,滴灌由于部分土壤表面仍覆盖地膜,土壤的储水能力稍高于漫灌。

将各灌溉方式盐基离子含量夏秋两季进行比较:

滴灌方式下,土壤中阳离子含量变化不明显,其中,秋季 Ca^{2+} 和 Na^{+} 较夏季有所增加, Mg^{2+} 和 K^{+} 微微减少;漫灌方式下,土壤中阳离子季节差异不大;天然降水方式下,秋季阳离子含量较夏季均有所增加,其中 Na^{+} 含量增加最为明显,其次为 Mg^{2+} 。

滴灌方式下,秋季阴离子中 HCO_3^{-} 较夏季大幅下降, CO_3^{2-} 和 Cl^{-} 微微减少, SO_4^{2-} 微量增加;漫灌方

式下,阴离子在秋季都呈现下降趋势,其中 HCO_3^{-} 下降幅度最大;天然降水方式下, CO_3^{2-} 和 HCO_3^{-} 有所下降,其中, HCO_3^{-} 减少较多, Cl^{-} 和 SO_4^{2-} 在秋季微微增加。

滴灌方式下,土壤湿度变化幅度最大,秋季土壤含水量较夏季大大减少,pH 值与全盐量有所降低,电导率表现为微微增加。漫灌方式下,土壤湿度在秋季明显降低,全盐量也有一定幅度的下降,其他盐基离子总体上季节变化不明显。天然降水方式下,土壤湿度在秋季降低,pH 略有下降,电导率和全盐量在秋季均有所增加。

3.4 不同灌溉方式下土壤盐渍化类型的变化

根据新疆土壤盐渍化分类标准,对不同灌溉方式下土壤盐渍化类型在夏季和秋季以 $\text{Cl}^{-}/\text{SO}_4^{2-}$ 当量来进行类型判别^[22]。土壤深度分为 0—20,20—40,40—60,60—100 cm 共 4 层不同的深度。判别标准和结果如表 5—6 所示。

结果显示,不同灌溉方式下各深度土壤的盐渍化类型以氯化物—硫酸盐型和硫酸盐—氯化物型为主,氯化物型仅存在于秋季漫灌方式下的深层土壤,硫酸盐型盐渍化土壤在研究区内没有出现。夏季滴灌和漫灌方式

下,不同深度的土壤盐渍化类型一致,0—60 cm 均为氯化物—硫酸盐型,底层(60—100 cm)呈硫酸盐—氯化物型。滴灌和天然降水方式下各深度土壤的盐渍化类型季节差异不明显,滴灌方式下仅在底层由夏季的硫酸

盐—氯化物型转变为了氯化物—硫酸盐型,天然降水方式下仅在 40—60 cm 处由硫酸盐—氯化物型转变为了氯化物—硫酸盐型。漫灌方式下不同深度土壤盐渍化类型季节差异最为明显,在各个深度均发生了变化。

表 5 新疆土壤盐渍化分类标准

盐渍化类型	氯化物型	硫酸盐—氯化物型	氯化物—硫酸盐型	硫酸盐型
$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	>2	1~2	0.2~1	<0.2

表 6 不同灌溉方式下不同深度土壤盐渍化类型

土壤深度/cm	7 月滴灌	10 月滴灌	7 月漫灌	10 月漫灌	7 月天然降水	10 月天然降水
0—20	氯化物—硫酸盐型	氯化物—硫酸盐型	氯化物—硫酸盐型	硫酸盐—氯化物型	硫酸盐—氯化物型	硫酸盐—氯化物型
20—40	氯化物—硫酸盐型	氯化物—硫酸盐型	氯化物—硫酸盐型	硫酸盐—氯化物型	硫酸盐—氯化物型	硫酸盐—氯化物型
40—60	氯化物—硫酸盐型	氯化物—硫酸盐型	氯化物—硫酸盐型	氯化物型	硫酸盐—氯化物型	氯化物—硫酸盐型
60—100	硫酸盐—氯化物型	氯化物—硫酸盐型	硫酸盐—氯化物型	氯化物型	硫酸盐—氯化物型	硫酸盐—氯化物型

4 结论

(1) 干旱区绿洲玛纳斯河流域土壤全盐量的变异强度多为中等变异性。研究区夏季为灌溉期,秋季随着灌溉与降水的减少,蒸发使盐分随水有不同幅度的运移,不同灌溉下各深度土壤全盐量的变异强度秋季均大于夏季。滴灌下水量少但集中,盐分在渗透深度范围随水运移易造成表层和底层全盐量波动,因而夏季滴灌方式下表层和底层土壤变异强度最大,研究区为干旱区,夏季降水稀少,天然降水方式下中层土壤的变异强度最大;盐渍化耕地目前多使用滴灌方式耕种,土壤原生盐渍化程度有一定的差异,秋季灌溉结束,滴灌方式下各深度的土壤全盐量变异强度均大于其他灌溉方式。漫灌方式下土壤全盐量相对较低,在 40—60 cm 深度变异性最强。各灌溉方式下土壤 pH 值集中在 7.9~8.7,显示研究区土壤以碱性—强碱性土为主,流域内盐渍化现象普遍。

(2) 对玛纳斯河流域土壤盐基离子分析研究发现,土壤中阳离子含量由高到低依次为: $\text{Na}^+>\text{Ca}^{2+}>\text{Mg}^{2+}>\text{K}^+$ 。阴离子含量由高到低依次为: $\text{SO}_4^{2-}>\text{Cl}^->\text{HCO}_3^->\text{CO}_3^{2-}$ 。其中, CO_3^{2-} 仅存在于部分土壤中且含量极少。

(3) 不同深度土壤盐渍化类型在不同季节随着 Cl^- 与 SO_4^{2-} 含量的变化而变化。玛纳斯河流域各深度土壤的盐渍化类型以氯化物—硫酸盐型和硫酸盐—氯化物型为主,氯化物型较少,无硫酸盐型盐渍化类型。漫灌方式下不同深度土壤盐渍化类型季节差异最为明显,滴灌和天然降水方式下土壤盐渍化类型季节差异不大。

(4) 不同灌溉方式下各个深度土壤盐基离子季节差异中,天然降水的季节差异最为明显,滴灌和漫灌相对较小。各指标中,土壤湿度季节差异最为明

显,全盐量也有所变化。研究区夏季太阳辐射强于秋季,灌溉期下蒸发强烈,使得滴灌和漫灌方式下土壤全盐量在夏季均高于秋季;秋季天然降水下的土壤植被覆盖稀少,全盐量在秋季则有所增加。各离子中,季节变化最明显的为 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ ,其余离子在不同深度存在微量变化。

(5) 对不同灌溉方式下的土壤盐基离子研究发现,天然降水方式下土壤含盐量最高,其次为滴灌,漫灌方式下土壤含盐量最少。结合考察资料,玛河流域从 20 世纪 90 年代末开始陆续在耕地中使用滴灌,尤其是在盐碱较为严重的区域,滴灌具有储水节水脱盐的功效,已经成为改良盐渍化的有效方式之一。天然降水灌溉方式下基本为原生土壤,未经过人为改造,长年覆盖低矮稀疏荒漠植被,太阳直射地表,加上气候的影响,蒸发强烈,地表盐渍化程度较为严重。漫灌方式下灌溉量大,用水较多,压盐效果明显,但在干旱区绿洲水源紧缺的情况下已经逐渐被滴灌所替代,另一方面在大面积应用滴灌的同时要及时做好排盐压盐的工作以防止次生盐渍化的发生,因此在干旱区建立良好的灌排系统对防止次生盐碱化非常重要。

参考文献:

[1] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.

[2] Verma K S, Saxena R K, Barthwal A K, et al. Remote sensing technique for mapping salt affected soils[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(9): 1901-1914.

[3] 海米提·依米提, 米日姑·买买提, 古丽娜尔·托合提, 等. 伊犁河谷盐渍化区土壤盐基离子的空间变异特征[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 64-69.

[4] 石玉林. 《中国 1: 100 万土地资源图》土地资源数据集[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1991.

[5] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

随着工程的逐步完善,靠工程保就业和提收入模式不是长远之计。因此,大力推广循环产业和可持续性经济发展是提高陕西水源区社会效益的必由之路。

参考文献:

- [1] Subprasom K. Multi-party and Multi-Objective Network Design Analysis for the Build-Operate-Transfer Scheme [M]. Logan, UT: Utah State University, 2004.
 - [2] Tsutsumi M, Seya H. Hedonic approaches based on spatial econometrics and spatial statistics: application to evaluation of project benefits [J]. Journal of Geographical Systems, 2009, 11(4): 357-380.
 - [3] Von Hirschhausen C, Cullmann A, Kappeler A. Efficiency analysis of German electricity distribution utilities—non-parametric and parametric tests [J]. Applied Economics, 2006, 38(21): 2553-2566.
 - [4] 罗先菊. 对贵州财政支农资金使用效率的分析及思考 [J]. 经营管理者, 2014(25): 123-124.
 - [5] 邵慧敏, 肖圣飞, 张春美. 水库移民后期扶持资金使用效益评价指标体系的构建: 以万安水库为例 [J]. 水利经济, 2009, 5(3): 61-66.
 - [6] 李晓菊, 孟威. 加强结余资金管理提高资金使用效益 [J]. 会计之友, 2010(2): 38-40.
 - [7] 陈渠昌, 张如生. 水土保持综合效益定量分析方法及指标体系研究 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2007, 5(2): 95-104.
 - [8] 王晓峰, 赵璐, 王纪红. 南水北调中线陕西水源区基础条件评价研究 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2009, 39(5): 894-898.
 - [9] 王晓峰, 张晖, 董小平, 等. 南水北调中线工程陕西水源区生态环境质量综合评价 [J]. 水土保持通报, 2010, 30(3): 230-232.
 - [10] 王琦, 杨勤科. 区域水土保持效益评价指标体系及评价方法研究 [J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 32-36.
 - [11] 郭兰勤, 杨勤科. 藉河流域水土保持效益评价 [J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 139-143.
 - [12] 邹碧莹, 丁美, 籍春蕾, 等. 江苏省丘陵山区及平原沙土区水土流失综合治理及效益评估研究 [J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 156-160, 180.
 - [13] 陈渠昌, 张如生. 水土保持综合效益定量分析方法及指标体系研究 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2007, 5(2): 95-104.
 - [14] 王宏兴, 王晓, 杨秀英, 等. 多目标决策灰色关联投影法在小流域水土保持生态工程综合效益评价中的应用 [J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 43-45.
 - [15] 尹辉, 蒋忠诚, 罗为群, 等. 湘中丘陵区水土保持效益综合评价 [J]. 中国水土保持, 2010(12): 50-53.
 - [16] 姚文波, 刘文兆, 赵安成, 等. 水土保持效益评价指标研究 [J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 112-117.
- ~~~~~
- (上接第 118 页)
- [6] 谷海斌, 盛建东, 武红旗, 等. 灌区尺度土壤盐渍化调查与评价: 以石河子灌区和玛纳斯灌区为例 [J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33(2): 95-100.
 - [7] 王芳芳, 吴世新, 乔木, 等. 基于 3S 技术的新疆耕地盐渍化状况调查与分析 [J]. 干旱区研究, 2009(3): 366-371.
 - [8] 李义玲, 乔木, 吴世新, 等. 基于 3S 技术的新疆绿洲耕地盐渍化现状调查及治理对策研究 [J]. 新疆农业科学, 2008, 45(4): 642-649.
 - [9] 元沛沛, 冉圣宏, 张凯. 不同灌溉方式和作物类型对西北干旱区耕地土壤盐渍化的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(4): 780-785.
 - [10] 姜凌, 李佩成, 胡安焱, 等. 干旱区绿洲土壤盐渍化分析评价 [J]. 干旱区地理, 2009, 32(2): 234-239.
 - [11] 王玉刚, 肖笃, 李彦. 三工河流域中上游绿洲土壤盐化的时空动态 [J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 478-484.
 - [12] 王玉刚, 肖笃, 李彦. 干旱内流区尾间绿洲土壤积盐的动态特征 [J]. 中国沙漠, 2009, 29(4): 604-610.
 - [13] 李宝富, 熊黑钢, 龙桃, 等. 新疆奇台绿洲农田灌溉前后土壤水盐时空变异性研究 [J]. 中国沙漠, 2012, 32(5): 1369-1378.
 - [14] 李宝富, 熊黑钢, 张建兵, 等. 干旱区不同灌溉量下后备耕地土壤水盐动态变化规律研究 [J]. 地理科学, 2013, 33(6): 763-768.
 - [15] 高龙, 田富强, 倪广恒, 等. 膜下滴灌棉田土壤水盐分布特征及灌溉制度试验研究 [J]. 水利学报, 2010, 41(12): 1483-1490.
 - [16] 刘春卿, 杨劲松, 陈小兵, 等. 新疆玛纳斯河流域灌溉水质与土壤盐渍状况分析 [J]. 土壤, 2008, 40(2): 288-292.
 - [17] 沈浩, 吉力力·阿不都外力. 玛纳斯河流域农田土壤水盐空间分布特征及影响因素 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 769-776.
 - [18] 封玲. 玛纳斯河流域农业开发与生态环境变迁研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
 - [19] 夏军, 王绍明, 朱宏伟, 等. 玛纳斯河流域中下游土壤盐分空间变异性研究 [J]. 新疆农业科学, 2012, 49(3): 542-548.
 - [20] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
 - [21] 马金慧, 杨树青, 史海滨, 等. 盐渍灌区水盐田间尺度时空分布及关联分析 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2015, 43(8): 165-173.
 - [22] 新疆农科院. 新疆农业技术手册 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1976.