

# 塔河下游典型绿洲灌区不同土地利用类型 土壤的盐渍化特征

翟江蕊<sup>1,2</sup>, 白云岗<sup>2</sup>, 加孜拉<sup>2</sup>, 柴仲平<sup>1</sup>, 丁邦新<sup>2,3</sup>, 郑明<sup>2</sup>, 潘雄凯<sup>1</sup>

(1.新疆农业大学 资源与环境学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2.新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049; 3.西北农林科技大学 水利与建筑工程学院 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** [目的] 探明干旱区绿洲不同土地利用方式下土壤的盐渍化特征, 为区域土地资源可持续有效利用提供支撑。[方法] 运用GPS定位技术对塔河下游灌溉用水、地下水以及4种典型土地利用方式下的土壤分不同季节进行调查与采样, 并结合室内测定结果, 对灌区内的盐分、盐分离子变化特征及其成因进行分析。[结果] 研究区土壤呈碱性, 盐分类型主要为硫酸盐—氯化物型, 盐分含量在2.44~118.05 g/kg之间, pH值范围在8.05~8.34之间, 不同土地利用类型下土壤盐分含量和pH值在各季节的整体变化均表现为: 盐荒地>盐碱草地>耕地和林地。从不同土层深度来看, 耕地的盐分在6月和10月呈表聚型, 在3月和12月无明显规律, 盐荒地和盐碱草地在不同季节下不同土层深度的盐分变化均呈明显的表聚型, 林地各季节下无明显规律。研究区受水库地理位置影响地下水水位较浅(1.4~3.51 m), 地下水矿化度较高(1.56~21.30 g/L), 灌溉用水、地下水中的盐分离子均以Na<sup>+</sup>和Cl<sup>-</sup>为主。[结论] 研究区不同土地利用类型下的土壤盐渍化特征主要是受地表覆盖度、作物种植类型、灌溉事件等因素的影响。地下水和灌溉水水质是影响研究区土壤盐分含量和盐分离子类型的重要因子, 从保护现有耕地和林地的角度出发, 应采取一定措施控制地下水水位和盐分含量, 建议将农田灌溉排水排向盐分含量较高的盐荒地。未来可针对农用地、盐荒地的空间配置开展相关研究, 合理配置排盐地会有利于农田的脱盐。

**关键词:** 土壤盐分; 离子; 干旱区; 土地利用方式; 盐渍化; 塔河; 绿洲灌区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)03-0069-11

中图分类号: S156.4, U412.1<sup>+</sup>4

**文献参数:** 翟江蕊, 白云岗, 加孜拉, 等. 塔河下游典型绿洲灌区不同土地利用类型土壤的盐渍化特征[J]. 水土保持通报, 2023, 43(3): 69-79, 85. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.03.010; Zhai Jiangrui, Baiyun Gang, Jia Zila, et al. Soil salinization characteristics of different land use types in a typical oasis irrigation area of Lower Tarim River [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(3): 69-79, 85.

## Soil Salinization Characteristics of Different Land Use Types in a Typical Oasis Irrigation Area of Lower Tarim River

Zhai Jiangrui<sup>1,2</sup>, Baiyun Gang<sup>2</sup>, Jia Zila<sup>2</sup>, Chai Zhongping<sup>1</sup>, Ding Bangxin<sup>2,3</sup>, Zheng Ming<sup>2</sup>, Pan Xiongkai<sup>1</sup>

(1.College of Resource and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052,

China; 2.Xinjian Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi, Xinjiang 830049, China;

3.College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Key Laboratory of

Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** [Objective] The soil salinization characteristics under different land use types in extremely arid regions were analyzed in order to provide support for the sustainable efficient utilization of regional land resources. [Methods] We used GPS positioning technology to investigate and sample the irrigation water, irrigation drainage, and soil under four typical land use types in the area of Lower Tarm River in different seasons. We combined those data with indoor measurement results to determine the variation characteristics of salinity and salt ions in the irrigation area. [Results] The soil in the study area was alkaline, and the salt type

收稿日期: 2022-08-24

修回日期: 2022-11-16

资助项目: 新疆维吾尔自治区少数民族特培项目“生物菌肥对微咸水灌溉棉田水盐运移的作用及棉花生长促生机制的研究”(2022D03009)

第一作者: 翟江蕊(1993—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市人, 硕士研究生, 研究方向为农业水土资源高效利用。Email: dovejr@163.com。

通信作者: 白云岗(1974—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区奇台县人, 博士, 高级工程师, 主要从事农业节水方面的研究。Email: xjbaiyg@sina.com。

was mainly sulfate-chloride. The salt content was between 2.44 and 118.05 g/kg, and the pH value was between 8.05 and 8.34. The overall changes of soil salt content and pH value under different land use types in each season followed the order of salt wasteland > saline-alkali grassland > cultivated land and forest land. Analysis of samples from different soil depths indicated surface accumulation of salinity in June and October, and no obvious pattern in March and December. There was an obvious surface accumulation of salt in salt wasteland and saline-alkali grassland in different seasons at different soil depths. Forest land had no obvious salt accumulation pattern in each season. Because of the geographical location of the reservoir, the groundwater level in the study area was shallow (1.4—3.51 m), the groundwater salinity was high (1.56—21.30 g/L), and the salt ions in irrigation water and groundwater were mainly  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ . [Conclusion] The soil salinization characteristics under different land use types in the study area were mainly affected by factors such as surface coverage, crop types, and irrigation events. The quality of groundwater and irrigation water was an important factor affecting the soil salt content and salt ion type in the study area. Certain measures should be taken to control the groundwater level and salt content so as to protect existing cultivated land and forest land. The irrigation and drainage water of high salt content from farmland should be discharged to the salt wasteland. In the future, relevant research should be conducted on the spatial configuration of agricultural land and salt wasteland, and the rational allocation of salt discharge land would be conducive to the desalination of farmland.

**Keywords:** soil salinity; ions; arid area; land use pattern; salinization; Tarim River; oasis irrigation area

土壤盐渍化问题是一个全球性的环境问题,全球不同程度的盐渍土面积已达  $9.55 \times 10^8 \text{ hm}^2$ , 约占地球陆地总面积的 7.26%<sup>[1]</sup>, 已严重威胁到了各国农业生产的稳定。中国的干旱区面积占全国总面积的 1/3, 盐碱土广泛分布于其中, 土壤盐渍化影响土壤质量、降低生物多样性、降低水质和农业生产能力, 是制约干旱地区农业发展的主要障碍, 也是影响绿洲健康发展的重要因素<sup>[2]</sup>。由于盐渍化土壤受区域性变化因素的影响, 其盐分组成及离子比例呈现地域性特点, 对植物和农作物生长发育的影响也不尽相同<sup>[3]</sup>, 但均能够直接或间接影响作物对土壤养分的吸收, 改变土壤的物理、化学性质<sup>[4]</sup>, 降低土壤中的养分利用效率<sup>[5-6]</sup>, 盐分胁迫通过离子毒害、渗透胁迫, 引起作物生理生化代谢失调、营养失衡, 阻碍作物的正常生长<sup>[7]</sup>, 严重影响了农业生产和生态环境健康, 如何加强土壤盐渍化的治理、提高盐渍化土壤的利用潜力始终是干旱区农业可持续发展和改善环境质量的战略问题<sup>[8]</sup>。

陆地生态系统的功能基础是由土壤构成的, 其质量状况是全球生物圈可持续发展的重要因素<sup>[9]</sup>。只有充分掌握土壤质量状况, 才能对土地进行合理的利用, 而土地利用作为人类利用土地进行各种活动的综合反映, 也是影响土壤质量的关键性因素之一<sup>[10]</sup>。土地利用在改变地表覆盖状况的同时影响着许多生态过程, 如土壤中所进行的物理、化学和生物过程<sup>[11]</sup>, 这些都会对土壤的理化性质产生深刻的影响<sup>[12]</sup>, 反之, 土壤质量又限制了土地利用的方式。

在极端干旱的地区, 降水稀少, 蒸发强烈, 地下水

位较高, 土壤盐渍化现象普遍, 土壤中的盐分浓度和盐分离子的种类对种植作物的种类和作物生长状况起到了限制作用<sup>[13]</sup>, 严重影响到了土地资源的配置, 而不合理的土地资源分配极大地限制了土地资源的可持续利用和农业的可持续发展。目前, 关于土地利用方式变化对土壤质量的影响已开展了许多研究, 主要涉及土壤性质<sup>[14-16]</sup>、植被覆盖度<sup>[17]</sup>, 土壤侵蚀<sup>[18]</sup>、土壤污染等<sup>[19-20]</sup>, 已有的干旱区绿洲盐渍化特征研究也主要针对盐渍化土壤的空间变异性及分布格局来开展的<sup>[21-23]</sup>, 而对盐分空间分布格局的成因以及不同土地利用方式下土壤盐分特征的研究较少。为此, 本研究以典型的绿洲灌区新疆第二师 31 团灌区内的 4 种典型土地利用方式为研究对象(耕地、林地、盐碱草地、盐荒地), 采用经典统计分析的方法, 探讨不同土地利用方式下 31 团灌区土壤盐碱化特征与成因, 旨在研究不同土地利用类型对土壤盐渍化性质的影响, 揭示盐渍化土壤的主控盐分因子, 为该地区土壤盐渍化问题的防治、土地资源的合理开发利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

新疆第二师 31 团位于塔克拉玛干沙漠东北边缘的冲积平原上, 地处新疆巴州尉犁县境内, 地理坐标为  $85^{\circ}24'—88^{\circ}30'E$ ,  $39^{\circ}30'—42^{\circ}20'N$ , 地形自西北向东南倾斜, 地势起伏和缓, 降雨量极少, 多年平均降雨量 30.5 mm, 昼夜温差大, 多风沙和浮尘天气, 属极端干旱沙漠性气候, 多年平均年日照时数 3 036.2 h, 多

年平均蒸发量 2 273~2 788 mm,生态环境十分脆弱,是中国最干旱的地区之一。31 团现有灌溉面积 7 551 hm<sup>2</sup>,大部分处于恰拉水库下游,主要种植棉花和香梨;自然植被以荒漠河岸稀疏植被为主,土壤类型主要有草甸土、风沙土、盐土等。研究区地下水水位在 1.40~3.51 m 之间波动,在 4—9 月棉花生育期内相对较为稳定,主要受灌溉的影响,在 10—11 月受冬灌的影响有较大的波动。

### 1.2 样点布设与采样

通过收集和整理研究区域相关资料,在 31 团范围内布设 53 处(其中耕地 26 处,林地 11 处,盐碱草地 10 处,盐荒地 6 处)具有代表性的土壤取样点,涵盖研究区内的主要土地利用类型,样点间距大致为 3 km,综合考虑研究区主要种植作物棉花和香梨的生育期、灌溉时间以及当地的供水时间段,分别于

2019 年 3 月 28 日、6 月 25 日、10 月 23 日、12 月 25 日进行样品采集,共采集 4 次,样点概况见表 1。使用 GPS 定点取样,每次取样位置误差范围在 3 m 以内,土样样品使用土钻采集,考虑到耕地土壤的水盐变异性较强,每个位置取 3 个样品分层混合后作为一个待测样品;每个位置土壤采样层次按 20 cm 划分,采样深度为 100 cm,共取得 1 080 个样品。将采集的土样分别装入袋中并做好标记,挑出杂物后,风干,研磨,过筛备用。此外,在研究区自西北向东南方向布置了 4 口地下水位观测井,间隔约为 5 km,贯穿整个团场,于 2018 年 3 月和 2019 年 3 月在研究区共采集 19 个地下水水样进行测定分析,同时在 2019 年布置了 1 个灌溉用水取样点(灌溉大渠)和 10 个灌溉排水取样点(排水渠),每月定期采样,对研究区的灌溉用水和灌溉排水水质进行测定分析。

表 1 采样点土地类型

Table 1 Type of land sampled description

土地利用类型	主要种植作物	灌溉方式	利用年限	样地说明
耕地	棉花	膜下滴灌	10~25 a	4—9 月,周期性灌溉,11—12 月冬灌(大水漫灌)
林地	香梨	大水漫灌	>10 a	3—9 月周期性灌溉
盐碱草地	柽柳、花花柴、芦苇等	降雨、地下水补给	自然植被,长期生长	自然植被,长期无灌溉水补给
盐荒地	无	降雨、地下水补给	长期处于撂荒状态	长期无灌溉水补给

### 1.3 样品测定

土样的测定方法为:总盐采用残渣烘干—质量法测定,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 采用 EDTA 间接滴定法测定;Cl<sup>-</sup> 采用 AgNO<sub>3</sub> 滴定法测定;CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 采用双指示剂中和法测定;Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 采用 EDTA 络合滴定法测定;K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup> 采用阴阳离子平衡法。地下水和灌溉水矿化度使用雷磁 DZS-708 多参数水质分析仪测定,盐分离子的测定方法与土样相同,具体步骤见《土壤农化分析》<sup>[24]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2019 对数据进行整理,使用 SPSS 18.0 对数据进行描述性统计分析、单因素方差分析(LSD 法)以及主成分分析,用 Pearson 相关系数表征全盐量、pH 值及盐离子间的相关性。

使用 OriginPro 2018 软件对数据进行绘图,使用 Adobe Illustrator CC 对图片进行排版。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤盐分的季节性变化特征

2.1.1 土壤盐分含量变化 不同土地利用类型下土壤盐分含量的季节性变化见图 1。土地利用类型对

土壤盐分含量及盐分分布的影响较大,整体来看,不同土地利用类型下的盐分含量表现为:盐荒地>盐碱草地>耕地和林地。从不同土层深度盐分的变化来看,盐荒地和盐碱草地的盐分变化呈表聚型,土壤盐分随着土层深度的增加逐渐减小。林地的土壤盐分在 6,10,12 月随着土层深度的增加表现为先减小后增大的变化趋势,3 月的土壤盐分随着土层深度的增加表现为先增大后减小的变化趋势,盐分的高值区出现在 3 月的 60—80 cm 土层以及 6 月的 0—20 cm 土层。耕地的盐分在 6 月和 10 月均表现为随着土层深度的增加逐渐减小的趋势,而在 3 月和 12 月的变幅较小,无明显变化规律;从不同采样时间来看,盐荒地的盐分含量在 0—100 cm 土层均表现为 6 月最高,10 月最小,盐碱草地的盐分含量在 0—40 cm 的深度表现为 12 月最大,40—100 cm 的深度表现为 10 月最大,盐分含量在 3 月最小,耕地、盐荒地、盐碱草地土壤 0—60 cm 土层的盐分含量波动范围较大,60—100 cm 土层的盐分含量差异较小,林地土壤在 0—100 cm 土层的盐分含量同样差异较小。耕地盐分含量在不同季节下的变化范围相对较小,整体表现为:6 月>12 月>10 月>3 月,林地土壤盐分含量无明显

的季节性规律,盐荒地和盐碱草地的土壤盐分季节性差异主要体现在 0—60 cm 土层,盐荒地表现为:6 月

>3 月和 12 月 >10 月,盐碱草地表现为:10 月和 12 月 >6 月 >3 月。

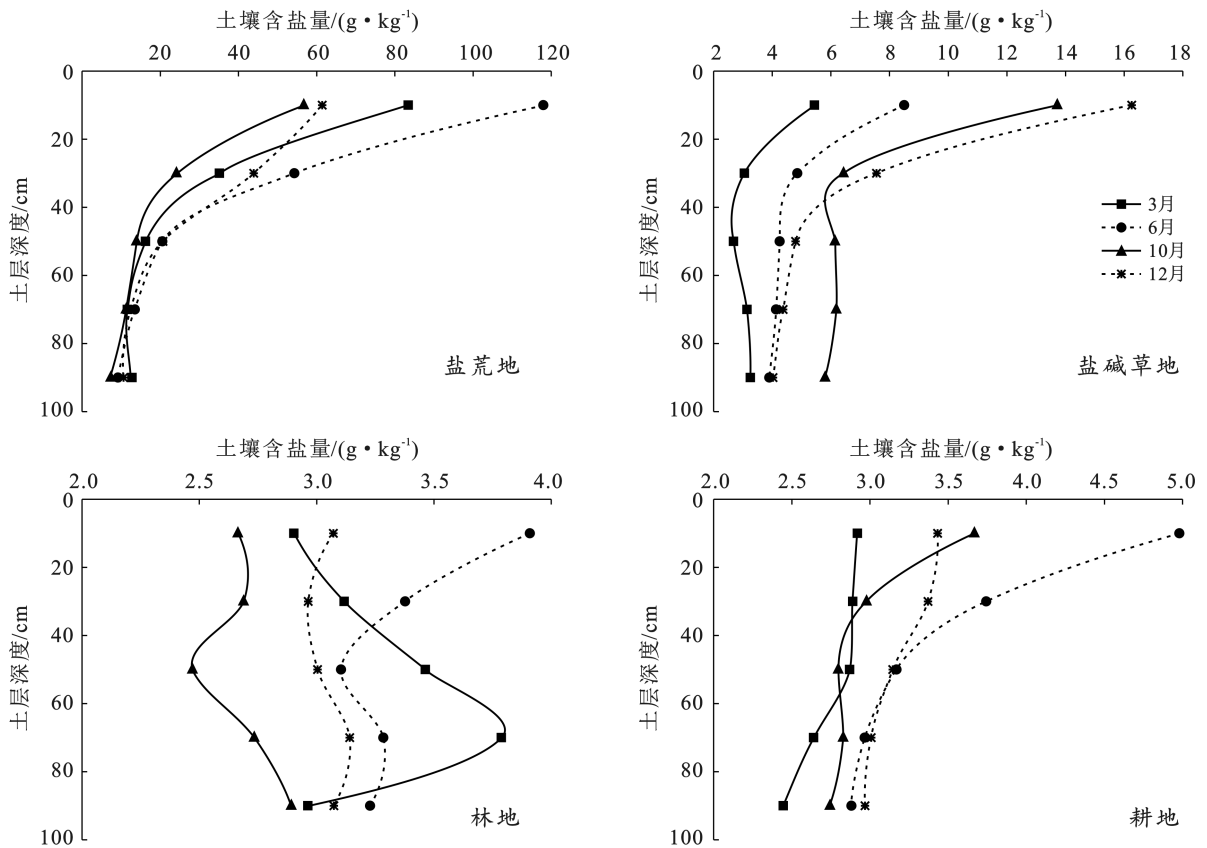


图 1 不同土地利用类型下土壤盐分含量的季节性变化

Fig.1 Seasonal changes of soil salt content under different land use types

2.1.2 土壤 pH 值的季节变化 由图 2 可知,研究区不同季节下不同土地利用类型的土壤 pH 值的变化范围在 8.05~8.34 之间,研究区土壤呈碱性,不同土地利用类型土壤的 pH 值表现为盐荒地最大,盐碱草地次之,耕地和林地的 pH 值相对较小,从整体来看,盐荒地和盐碱草地土壤的 pH 值在 3 月和 10 月的各土层中均显著高于耕地和林地,在 6 月,盐荒地土壤的 pH 值在不同深度土层中均显著高于盐碱草地、耕地和林地,在 12 月,不同土地利用类型土壤的 pH 值无显著性差异;从不同土层深度下的 pH 值变化来看,盐荒地不同季节下均表现为 0—20 cm 最大, pH 值随着土层深度的增加而减小,而耕地、林地、盐碱草地 pH 值的变化范围较小,影响 pH 值变化的外部干扰因素较多,在不同土层深度下无明显变化规律。

## 2.2 土壤盐分离子的季节性变化特征

2.2.1 盐分离子的季节性变化 为准确描述不同土地利用类型土壤的盐分离子特征,选取了不同季节下各土地利用类型 0—20 cm 土层深度和 80—100 cm

土层深度下的土壤进行分析,分别表示浅层(0—20 cm)及深层(80—100 cm)土壤的盐分离子变化,  $\text{CO}_3^{2-}$  含量极少,大部分样品都未检测出,因此文中忽略不计。

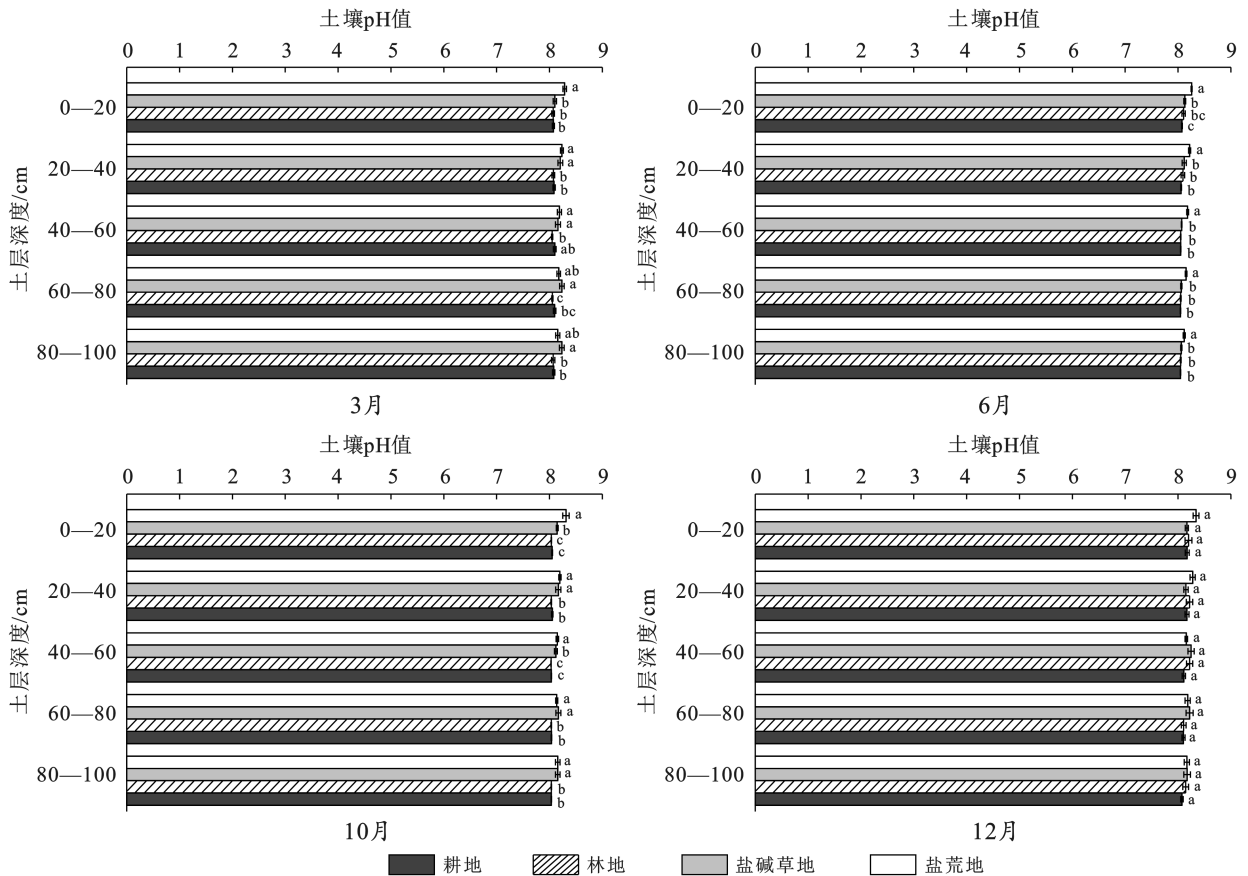
从图 3 可以看出,研究区不同土地利用类型下的土壤盐分离子含量表现为:盐荒地 > 盐碱草地 > 耕地和林地,与土壤盐分的变化相一致。

不同土地利用类型的土壤中主要离子均相同,土壤盐分组成中的主要阴离子为  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$ ,主要阳离子为  $\text{K}^+$  和  $\text{Na}^+$ ,而  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{HCO}_3^-$  的含量相对较少;从各土地利用类型下的不同深度来看,土壤盐分离子含量受季节性影响较大,耕地土壤的浅层盐分离子含量在 6 月较高,深层土壤盐分离子含量的季节性变化无明显差异,林地土壤浅层和深层的盐分离子含量均表现为 6 月较高,盐碱草地浅层土壤盐分离子含量在 12 月较高,深层土壤盐分离子含量在 10 月最大,盐荒地浅层、深层土壤盐分离子含量分别在 12 月、3 月最大;根据土壤盐渍化类型分类标



准<sup>[25]</sup>,研究区不同土地利用类型和季节下各土层深度的盐分类型大部分为硫酸盐—氯化物型,而盐碱草地、盐荒地不同深度土壤在 3 月的盐分类型均为氯化物型,林地深层土壤在 6 月和 12 月的盐分

型均为氯化物—硫酸盐型,盐荒地浅层土壤在 12 月的盐分类型为氯化物型,研究区土壤盐分类型受季节性的影响不大,主要与土地利用类型及土层深度有关。



注:不同的小写字母表示不同土地利用类型间差异显著( $p < 0.05$ )。

图 2 不同季节下不同土地利用类型土壤的 pH 值变化

Fig.2 Changes in soil pH value of different land use types in different seasons

2.2.2 土壤盐分、离子间的主成分分析 因此选取不同土地利用类型下具有代表性的秋季浅层(0—20 cm)土壤进行相关性分析,采用特征值 $\geq 1$ ,累计贡献率 $\geq 85\%$ 的方法确定主成分个数,不同土地利用类型土壤盐分主成分载荷、特征根、贡献率见表 2。耕地、林地、盐碱草地、盐荒地的特征值均大于 0.98 且累计方差贡献率均在 90%以上。在耕地土壤中,总盐、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ ,pH 值在第一主成分上的载荷较大,均大于 0.346 且均呈正相关,因此这些盐分离子属于第一主成分,第一成分的特征值为 6.397 4,方差贡献率为 78.214%,第一主成分主要包含土壤盐渍化信息,可以作为盐渍化特征因子,其中与第一主成分相关程度最高的阳离子为  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,阴离子为  $\text{Cl}^-$ ,说明耕地土壤盐分受 KCl 与

NaCl 的影响较大。而与上述离子相关性较差的  $\text{HCO}_3^-$  离子被列为第二主成分, $\text{HCO}_3^-$  主要表征土壤碱性离子,第二主成分的特征值为 1.207,方差贡献率为 16.758%,说明第二主成分可作为土壤碱性的特征因子。同理可知,草地、林地、盐荒地的土壤盐分也受 KCl 与 NaCl 的影响较大,土壤呈碱性,第一主成分所包含土壤盐渍化信息中,相关程度最高的阳离子同样为  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,阴离子同样为  $\text{Cl}^-$ ,说明研究区不同土地利用类型下的盐分主控离子均相同。综合不同土地利用类型土壤的主成分分析结果来看, $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  两种离子含量对第一主成分的贡献率一直保持着一致性,即反映了研究区土壤盐分的主要类型是氯化类和硫酸类,这也与研究区土壤盐分离子特征的分析结果相印证。

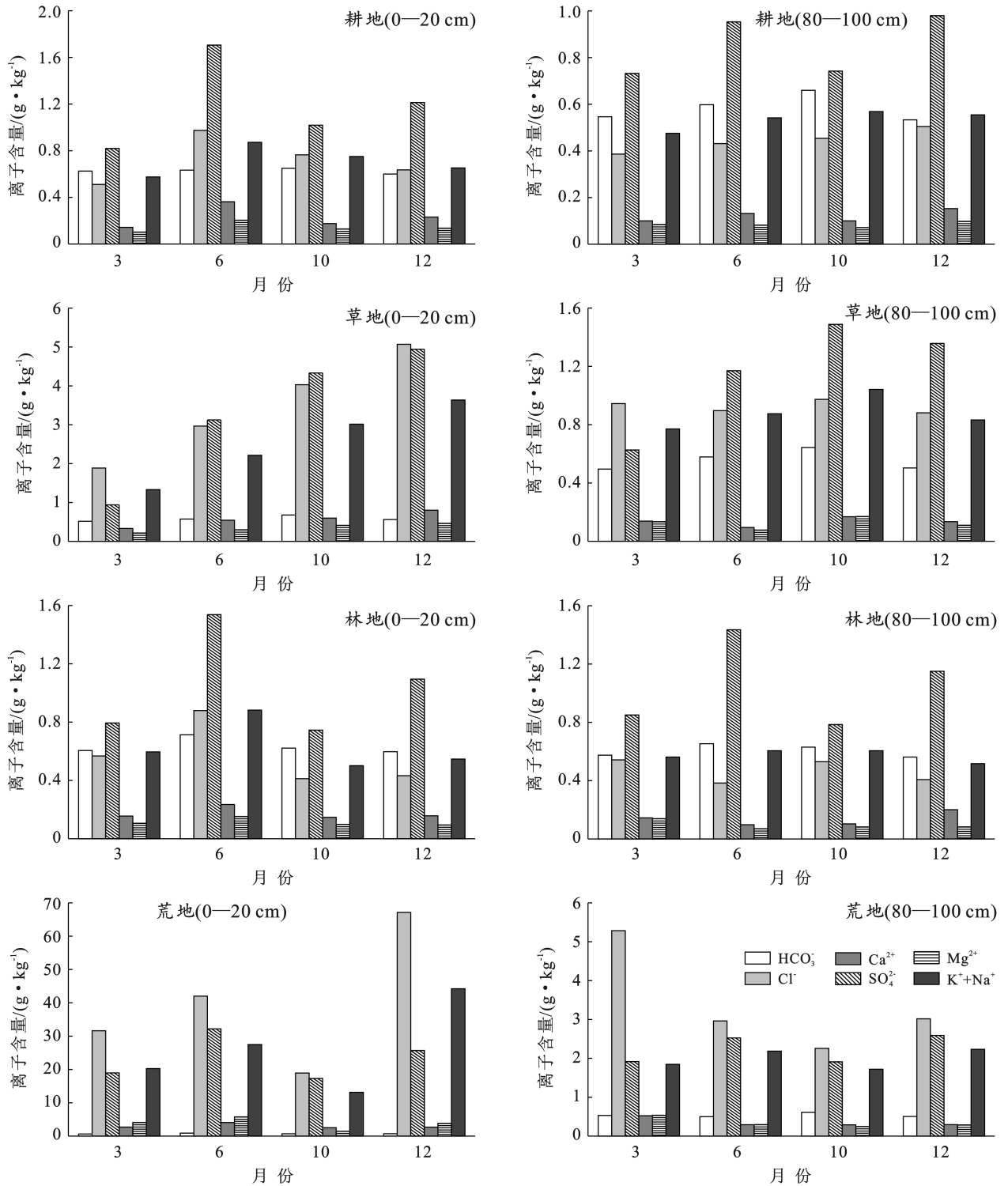


图 3 不同季节下不同土地利用类型土壤的盐分离子含量

Fig.3 Salinity ion content of soils of different land use types under different seasons

2.2.3 土壤盐分离子间的相关性 土壤主要盐分离子间的相关性分析可以反映出盐分在土体中的存在状态以及与各主要盐分离子间的相关性<sup>[26]</sup>,因此选取不同土地利用类型下具有代表性的秋季浅层(0—20 cm)土壤进行相关性分析。由表 3 可知,耕地土壤盐分与  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , pH 值均呈极显著相关性,与  $\text{HCO}_3^-$  无相关性;林地土壤盐分

与  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , pH 值均呈极显著相关性,与  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  无相关性,其中与阴离子  $\text{SO}_4^{2-}$ 、阳离子  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$  相关性最高;盐碱草地土壤盐分与  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ , pH 值呈极显著相关性,与  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  呈显著相关性,与  $\text{HCO}_3^-$  无相关性,其中与阴离子  $\text{Cl}^-$ , 阳离子  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$  相关性最高;盐荒地土壤盐分与  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,

pH 值均呈极显著相关性,与  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  无相关性,其中与阴离子  $\text{SO}_4^{2-}$ , 阳离子  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$  相关性最高。总体来看,不同土地利用类型土壤的盐分离子阴离子主要为  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$ , 阳离子主要为  $\text{K}^+$  和  $\text{Na}^+$ , 耕地土壤盐分的各离子之间相关性较好,除了

$\text{HCO}_3^-$  外,其余各离子之间均为极显著相关性,林地、盐碱草地、盐荒地土壤盐分的各离子之间相关性各不相同, $\text{HCO}_3^-$  与其他离子无相关性, $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  与其他各离子之间相关性较差或无相关性,其余各离子之间呈极显著相关或显著相关。

表 2 研究区主成分载荷、特征根、贡献率

Table 2 Loadings, characteristic roots, contribution rates of principal components at study area

土地类型	主成分	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	pH 值	总盐	特征值	贡献率%
耕地	Z <sub>1</sub>	0.076	0.381	0.376	0.346	0.375	0.377	0.391	0.395	6.391	78.214
	Z <sub>2</sub>	0.866	0.148	-0.199	-0.306	-0.178	0.241	0.061	0.029	1.207	16.758
盐碱草地	Z <sub>1</sub>	-0.156	0.463	0.210	0.311	0.250	0.463	0.400	0.428	4.568	57.099
	Z <sub>2</sub>	0.540	-0.011	0.481	0.404	0.428	0.029	0.276	0.232	2.795	34.937
林地	Z <sub>1</sub>	-0.048	0.417	0.387	0.042	0.145	0.478	0.446	0.474	4.150	51.877
	Z <sub>2</sub>	-0.670	0.337	0.230	0.067	0.591	0.023	0.129	0.117	1.990	24.876
	Z <sub>3</sub>	-0.007	-0.104	0.318	0.851	0.169	-0.164	0.282	0.170	1.314	16.423
盐荒地	Z <sub>1</sub>	-0.121	0.403	0.387	0.235	0.404	0.459	0.399	0.409	5.943	74.282
	Z <sub>2</sub>	0.950	-0.060	0.215	0.099	-0.028	0.160	0.095	0.060	0.989	86.647

表 3 研究区土壤盐分因子相关系数矩阵

Table 3 Soil salinity factor correlation coefficient matrix at study area

土地类型	因子	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	pH 值	总盐
耕地	$\text{HCO}_3^-$	1.000							
	$\text{Cl}^-$	0.290	1.000						
	$\text{SO}_4^{2-}$	-0.006	0.847**	1.000					
	$\text{Ca}^{2+}$	-0.080	0.736**	0.913**	1.000				
	$\text{Mg}^{2+}$	0.018	0.865**	0.927**	0.902**	1.000			
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	0.385	0.992**	0.821**	0.681**	0.816**	1.000		
	pH 值	0.237	0.972**	0.924**	0.819**	0.914**	0.961**	1.000	
	总盐	0.215	0.969**	0.948**	0.852**	0.928**	0.956**	0.990**	1.000
盐碱草地	$\text{HCO}_3^-$	1.000							
	$\text{Cl}^-$	-0.313	1.000						
	$\text{SO}_4^{2-}$	0.544	0.392	1.000					
	$\text{Ca}^{2+}$	0.323	0.626	0.834**	1.000				
	$\text{Mg}^{2+}$	0.460	0.541	0.658*	0.869**	1.000			
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	-0.250	0.993**	0.480	0.659*	0.546	1.000		
	pH 值	0.140	0.828**	0.883**	0.838**	0.749*	0.868**	1.000	
	总盐	0.057	0.900**	0.752*	0.856*	0.727*	0.934**	0.964**	1.000
林地	$\text{HCO}_3^-$	1.000							
	$\text{Cl}^-$	-0.521	1.000						
	$\text{SO}_4^{2-}$	-0.470	0.722*	1.000					
	$\text{Ca}^{2+}$	-0.104	0.037	0.409	1.000				
	$\text{Mg}^{2+}$	-0.687*	0.634*	0.465	0.292	1.000			
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	-0.115	0.889**	0.672*	-0.074	0.288	1.000		
	pH 值	-0.238	0.803**	0.880**	0.392	0.522	0.817**	1.000	
	总盐	-0.257	0.870**	0.898**	0.286**	0.455	0.906**	0.965**	1.000
盐荒地	$\text{HCO}_3^-$	1.000							
	$\text{Cl}^-$	-0.321	1.000						
	$\text{SO}_4^{2-}$	-0.105	0.881**	1.000					
	$\text{Ca}^{2+}$	-0.079	0.548	0.433	1.000				
	$\text{Mg}^{2+}$	-0.162	0.783*	0.973**	0.311	1.000			
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	-0.294	0.999**	0.900**	0.522	0.807*	1.000		
	pH 值	-0.347	0.996**	0.853*	0.563	0.754	0.992**	1.000	
	总盐	-0.234	0.980**	0.957**	0.530	0.885**	0.987**	0.966**	1.000

注: \* 表示在  $p < 0.05$  水平显著相关, \*\* 表示在  $p < 0.01$  水平显著相关。

## 2.3 研究区灌溉用水、地下水特征分析

2.3.1 地下水特征分析 研究区 2019 年 4—12 月的地下水水位变化情况见表 4 和图 4, 1 号观测井地下水水位在 1.4~1.83 m 之间, 2 号观测井地下水水位在 1.80~2.61 m 之间, 3 号观测井地下水水位在 2.70~3.51 m 之间, 由于恰拉水库对地下水的影响, 研究区地下水水位自西北至东南方向逐渐下降, 总的来看, 研究区地下水水位在 1.40~3.51 m 之间波动, 大部分区域地下水水位较浅, 在 4—9 月棉花生育期内相对较为稳定, 主要受灌溉的影响, 在 10—11 月受冬灌的影

响有较大的波动。根据 2018—2019 年采集的 19 个地下水水样化验结果来看, 研究区地下水 pH 值在 7.54~8.39 之间, 偏碱性, 矿化度在 1.56~21.3 g/L 之间, 变异系数为中等变异性, 波动范围较大。从地下水中的盐离子含量来看, 阳离子中  $\text{Na}^+$  的平均浓度最高, 约占阳离子总量的 57%, 其次为  $\text{Mg}^{2+}$ , 约占阳离子总量的 18%, 变异系数均为中等变异性。地下水阴离子中  $\text{Cl}^-$  的平均浓度最高, 约占阴离子总量的 48%, 其次为  $\text{SO}_4^{2-}$ , 约占阴离子总量的 45%, 变异系数均为中等变异性。

表 4 2018—2019 年研究区地下水特征分析 ( $N=19$ )

Table 4 Analysis of groundwater characteristics at study area from 2018 to 2019

统计量	pH 值	矿化度/ ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	离子含量/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )							
			$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
最小值	7.54	1.56	—	46.13	398.07	334.08	110.66	84.97	275.59	38.96
最大值	8.39	21.30	5.97	407.87	7 506.83	5 690.88	609.71	1 205.86	4 924.02	296.30
均值	7.72	5.45	0.63	257.09	1 661.51	1 552.17	277.68	346.60	1 073.60	186.39
标准差	0.24	4.23	1.83	90.00	526.59	1 191.56	114.45	250.62	1 006.95	34.68
变异系数	3.07	77.73	291.55	35.01	91.88	76.77	41.22	72.31	93.79	18.61

注: “—”表示未检测出含量。下同。

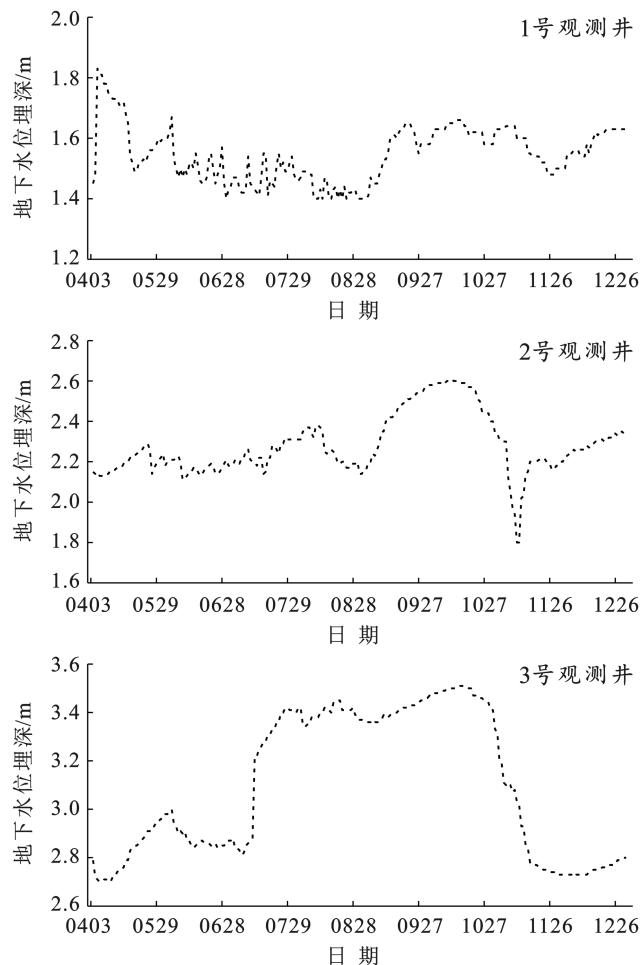


图 4 2019 年研究区地下水埋深变化情况

Fig.4 Groundwater table depth changes at study area in 2019

2.3.2 灌溉用水特征分析 对研究区不同时期的灌溉用水进行了描述性统计分析(表 5)。2019 年不同月份的灌溉水矿化度在 0.65~2.14 g/L 之间, 变化幅度较小, pH 值在 7.52~8.37, 呈碱性, 灌溉用水阳离子中  $\text{Na}^+$  浓度最高, 在不同月份占阳离子总量的比例在 37%~68%, 阴离子中最高浓度的离子含量在不同月份有所差异, 以  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  为主, 在不同月份分别占阴离子总量的比例在 22%~49%, 18%~48%。

## 3 讨论

### 3.1 不同土层深度和季节对土壤盐分的影响

土壤盐渍化是导致土壤退化的重要因素, 掌握其变化对于保持土壤质量及土地的可持续利用非常重要<sup>[26-29]</sup>, 土壤盐分具有随着水分的运动而进行再分布的特点<sup>[30]</sup>, 因此, 土壤盐分的变化可以归因到水分的变化<sup>[31-32]</sup>。从本研究不同深度土层的盐分变化来看, 耕地的盐分在 6 月和 10 月表现为随着土层深度的增加而逐渐减小的趋势, 而在 3 月和 12 月的变幅较小无明显规律, 0—60 cm 土层的盐分含量波动范围相对较大, 60—100 cm 土层的盐分含量差异较小, 这主要是由于研究区主要作物为棉花, 采用膜下滴灌的灌溉方式, 滴灌条件下最大湿润峰在 60 cm 左右, 并且研究区膜下滴灌棉田生育期灌溉量在 2 700~3 450  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ , 于 5 月开始分 10 次灌溉, 每 7 d 灌溉 1 次, 灌水定额较小, 盐分无法排出土体, 在强烈的蒸发作



用下盐分在土体上层聚集,因此6月和10月表现为随着土层深度的增加而逐渐减小的趋势。为了保证次年作物的正常生长,当地每年11月都会进行一次冬灌来压盐,冬灌量约为 $2\ 700\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ ,使用大水漫灌的方式,土壤中的盐分得到了充分的淋洗,因此3月和12月的土壤盐分在不同土层深度下变幅较小无明显规律;林地的土壤盐分在6月、10月和12月随着土层深度的增加表现为先减小后增大的变化趋势,3月的土壤盐分随着土层深度的增加表现为先增大后减小的变化趋势,这主要是因为林地的灌溉制度所导致的,林地每年12月初进行一次大水漫灌,后期根据供水时间进行漫灌,无固定灌溉周期,生育期灌溉定额约为 $6\ 000\sim 8\ 250\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ ,因此在有灌溉水补给的6月、10月和12月土壤盐分随着土层深度的增加表现为先减小后增大的趋势,3月无灌溉水补给,受冰雪消融的影响土壤盐分随土层深度的增加呈先增大后

减小的趋势;盐荒地和盐碱草地无灌溉水补给,受研究区气候因素的影响,在强烈的蒸发作用下盐分变化呈表聚型,土壤盐分随着土层深度的增加逐渐减小,在0—60 cm土层,盐分含量变化范围较大,盐荒地的盐分含量表现为:6月>3月和12月>10月,盐碱草地的盐分含量表现为:10月和12月>6月>3月,这最主要是蒸发强度和地表的覆盖度所导致的,同时研究区灌溉排水矿化度和地下水矿化度均较高,在 $1.56\sim 21.3\ \text{g/L}$ 之间,平均为 $5.45\ \text{g/L}$ ,长年的高蒸发量导致了盐荒地的高盐分含量和表聚现象。另外,研究区土壤盐分含量普遍较高,因此土壤呈碱性,影响pH值变化的外部干扰因素较多<sup>[33]</sup>,盐荒地土壤的pH值在垂直方向变幅较大,不同季节下pH值均随着土层深度的增加而减小,而耕地、林地、盐碱草地pH值的变化范围较小,受人为因素的干扰也较多,因此在垂直方向上无明显变化规律。

表5 2019年研究区灌溉用水特征描述性统计(N=10)

Table 5 Descriptive statistics of irrigation water use characteristics at study area in 2019

月份	pH 值	矿化度/ ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	离子含量/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )							
			$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
3	8.32	1.11	3.3	214.4	332.4	128.6	52.5	53.9	250.7	74.2
5	8.37	0.96	9.9	157.9	192.4	266.6	78.7	52.9	156.8	44.5
8	7.52	0.65	—	225.7	91.9	93.4	56.4	34.9	112.1	42.0
10	7.53	1.11	—	241.5	138.8	352.5	43.0	129.4	137.7	63.7
12	7.52	2.14	—	376.9	554.4	446.1	83.9	92.9	462.3	125.7

### 3.2 土壤盐分离子特征及相关性

盐渍化土壤的形成主要受气候、地理条件、土壤质地、耕作管理及人类活动等因素的综合影响<sup>[34-35]</sup>,研究区不同土地利用类型下的土壤中主要离子均相同,第一主成分相关程度最高的阳离子为 $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ,阴离子为 $\text{Cl}^-$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{HCO}_3^-$ 的含量相对较少,这主要还是与研究区的极端干旱气候和地下水中的盐分离子类型有关,研究区地下水水位较浅,年变化范围在 $1.40\sim 3.51\ \text{m}$ 之间波动,蒸发作用十分强烈,地下水位年、季的变化而引起的盐分在土壤剖面中的重新分配,在很大程度上控制着盐渍地的形成和发展,相关研究也表明<sup>[36]</sup>通常在气候干旱、土壤蒸发强度大、地下水位高且含有较多可溶性盐类的地区容易导致土壤盐渍化的发生,研究区土壤盐分类型大部分为硫酸盐—氯化物型,而碱草地、盐荒地不同深度土壤在3月的盐分类型均为氯化物型,林地深层土壤在6月和12月的盐分类型均为氯化物—硫酸盐型,盐荒地浅层土壤在12月的盐分类型为氯化物型,这主要是受到土地利用类型、灌溉事件及地下水的综合

影响,而另外,不同作物对盐分离子的选择性吸收也会起到一定程度的影响。研究区灌溉用水和地下水中的盐分离子均以 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ 的含量最高<sup>[34]</sup>,因此,不同土地利用类型下的盐分主控离子均相同,不同土地利用类型土壤中,土壤盐分均与 $\text{HCO}_3^-$ 无相关性,与其他各离子间的相关性都较好,另外林地土壤盐分与 $\text{Mg}^{2+}$ 无相关性,盐荒地土壤盐分与 $\text{Ca}^{2+}$ 无相关性,这与前人的研究相一致,干旱区土壤盐分与盐分离子之间大都有很强的相关性<sup>[21,26,32]</sup>,从盐分离子间的相关性来看, $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ 与其他各离子之间相关性较差或无相关性,其余各离子之间呈显著性相关,这主要是由于在灌溉条件不同离子在土壤中具有不同的迁移特征,盐分离子在淋溶—沉积过程中始终遵从着溶解度关系,溶解度较大的离子迁移的距离较长,在土体中的分布相对比较均匀,溶解度较小的离子迁移的距离较小,容易沉积<sup>[37]</sup>,相关研究表明<sup>[38]</sup> $\text{Cl}^-$ 移动性较强, $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ 迁移速率相对较慢,地表植被在减少土壤蒸发的同时,植物的根系活动可以激活土壤中 $\text{CaCO}_3$ 并加速其溶解,提供充分

的  $\text{Ca}^{2+}$  以替代  $\text{Na}^{+}$ , 并且当土壤水吸力较大时, 土壤溶液中的  $\text{Cl}^{-}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  均具有抑制土壤中  $\text{HCO}_3^{-}$  解离的作用, 这就导致了盐分离子在不同土地利用类型下的相关性有所差异<sup>[39]</sup>。总体而言, 研究区不同土地利用类型土壤的盐分和盐分离子主要受地下水补给的影响, 研究区地下水矿化度、 $\text{Na}^{+}$  和  $\text{Cl}^{-}$  的含量较高, 在强烈的蒸发作用下对土壤盐分特征的改变起到了重要影响, 由此可见, 在盐渍化土壤防治中, 应当加强对地下水水位、矿化度的控制与管理。

### 3.3 不同土地利用类型对土壤盐渍化特征的影响

不同土地利用方式可以通过植被类型、植被的盖度、根系形态和分布特征改变土壤机械组成来影响土壤的通气、透水、保肥性能, 从而导致盐分特征发生改变<sup>[40]</sup>。本研究中不同土地利用类型下的盐分含量表现为: 盐荒地 > 盐碱草地 > 耕地和林地, 这与以往的研究结果相一致<sup>[31-32]</sup>, 这主要是受地表覆盖度、作物种植类型、灌溉事件所导致的, 相关研究表明可以利用盐生植物的脱盐作用对盐碱土进行土壤改良, 不同作物对盐分和盐分离子的选择性吸收有所不同<sup>[41]</sup>, 一些盐生植物对土壤盐分离子有一定的吸收作用, 有的可以将盐分移出土壤, 比如拒盐植物—芦苇 (*Phragmites communis*)、聚盐植物—盐地碱蓬 (*Suaeda salsa*)、泌盐植物—獐毛 (*Aeluropus sinensis*) 等, 同时地表植被盖度增加, 可以减少土壤蒸发从而减缓盐分运移<sup>[42]</sup>, 因此研究区内盐荒地的土壤盐分要普遍大于盐碱草地, 耕地和林地由于长期灌溉的原因, 土壤盐分含量变化范围较小, 在 4 种土地利用类型下盐分含量也是最低的。Wang 等<sup>[18]</sup> 研究表明不同土地利用类型下土壤的盐分特征会在生长季节间有较大的差异, 这与本研究的结果相一致。本研究中盐荒地的盐分含量在 0—100 cm 土层均表现为 6 月最高, 10 月最低, 盐碱草地的盐分含量在 0—40 cm 的深度表现为 12 月最大, 40—100 cm 的深度表现为 10 月最大, 盐分含量在 3 月最小, 这主要可能是由于植被覆盖度以及蒸发作用的影响, 盐荒地地表裸露, 因此在 6 月时上层土体中盐分含量最高, 10 月又有所下降, 盐碱草地可能是由于盐生作物的影响所导致, 部分耐盐植物可以吸收土壤中的盐分, 在 10 月作物生育期末 0—40 cm 盐分含量较小, 而在作物凋萎死亡后的 12 月盐分含量又表现为最大, 耕地和林地受灌溉水补给和人为因素的影响变化范围相对较小, 因此无明显的季节性规律。

研究区不同土地利用类型下的土壤盐分含量差异较大, 尤其是盐荒地和盐碱草地, 全年表层土壤盐分含量分别在 56.71~118.01, 5.43~16.25 g/kg 之

间, 主要是由于研究区大面积使用膜下滴灌的灌溉方式, 生育期内土壤盐分无法及时排除土体, 因此需要配合非生育期进行冬灌压盐洗盐, 导致研究区地下水矿化度较高, 而在高强度的蒸发作用下, 地下水中的盐分随着水分运动又积聚在地表, 盐荒地和盐碱草地无灌溉水补给, 所以盐分含量逐年升高, 研究区主要土壤盐分离子与地下水中主要土壤盐分离子完全一致也印证了这一点。从保护现有耕地和林地的角度出发, 应采取一定措施控制地下水水位和盐分含量, 未来可针对农用地、盐荒地的合理布局开展相关研究, 采用“干排盐”的方法将农田灌溉排水排向盐分含量较高的盐荒地, 通过定量化分析土地整治过程中耕地与排盐地(盐荒地)的合理配置解决农田土壤盐渍化问题。

## 4 结论

研究区土壤呈碱性, 土壤盐分含量在 2.44~118.05 g/kg 之间, pH 值范围在 8.05~8.34 之间, 不同土地利用类型下的土壤盐分含量的整体变化表现为: 盐荒地 > 盐碱草地 > 耕地和林地, 其中盐荒地表层土壤盐分含量高达 56.71~118.01 g/kg。盐荒地和盐碱草地在不同季节下随不同土层深度的变化均呈明显的表聚型, 耕地和林地受灌溉影响在各季节下盐分的分布有所差异。不同土地利用类型下的土壤盐分与盐分离子间相关性较好, 土壤盐分离子成分主要为  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{Na}^{+}$ , 盐分类型在不同土层深度、季节下主要为硫酸盐—氯化物型。研究区地下水水位较浅 (1.40~3.51 m), 地下水矿化度较高 (1.56~21.30 g/L), 灌溉用水、地下水中的盐分离子均以  $\text{Na}^{+}$  和  $\text{Cl}^{-}$  为主。不同土地利用方式下土壤盐渍化特征的主要影响因素为地下水埋深和地下水、灌溉水水质。研究结果可为当地土壤盐渍化问题的防治、土地资源的合理开发利用提供理论依据。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Wang Yugang, Deng Caiyun, Liu Yan, et al. Identifying change in spatial accumulation of soil salinity in an inland river watershed, China [J]. Science of the Total Environment, 2018, 621: 177-185.
- [2] Wang Ruoshui, Wan Shuqin, Sun Jiaxia, et al. Soil salinity, sodicity and cotton yield parameters under different drip irrigation regimes during saline wasteland reclamation [J]. Agricultural Water Management, 2018, 209: 20-31.
- [3] 王雪梅, 柴仲平, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 西北干旱区典型绿洲盐渍土现状及特征分析[J]. 水土保持研究, 2009,

- 16(2):87-91.
- [4] Yu Junbao, Li Yunzhao, Han Guangxuan, et al. The spatial distribution characteristics of soil salinity in coastal zone of the Yellow River delta [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 72(2):589-599.
- [5] 景宇鹏,段玉,妥德宝,等.河套平原弃耕地土壤盐碱化特征[J].*土壤学报*, 2016, 53(6):1410-1420.
- [6] 吕真真,杨劲松,刘广明,等.黄河三角洲土壤盐渍化与地下水特征关系研究[J].*土壤学报*, 2017, 54(6):1377-1385.
- [7] 辛承松,董合忠,唐薇,等.棉花盐害与耐盐性的生理和分子机理研究进展[J].*棉花学报*, 2005, 17(5):309-313.
- [8] 田长彦,周宏飞,刘国庆.21世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议[J].*干旱区地理*, 2000, 23(2):177-181.
- [9] Negasa T, Ketema H, Legesse A, et al. Variation in soil properties under different land use types managed by smallholder farmers along the toposequence in Southern Ethiopia [J]. *Geoderma*, 2017, 290:40-50.
- [10] 李晓琴,秦富仓,郑硕,等.内蒙古黄土丘陵区土地利用与土壤肥力的关系[J].*北方园艺*, 2019(24):102-110.
- [11] 贡璐,张雪妮,吕光辉,等.塔里木河上游典型绿洲不同土地利用方式下土壤质量评价[J].*资源科学*, 2012, 34(1):120-127.
- [12] 张天举,陈永金,刘加珍.基于典范对应分析的滨海湿地土壤季节性盐渍化特征[J].*生态学报*, 2019, 39(9):3322-3332.
- [13] 赛佳美.荒漠绿洲土壤盐渍化特征与灌溉水质关系研究:以内蒙古腰坝绿洲为例[D].陕西 西安:长安大学, 2018.
- [14] Noretto M D, Acosta A M, Jayawickreme D H, et al. Land-use and topography shape soil and groundwater salinity in Central Argentina [J]. *Agricultural Water Management*, 2013, 129:120-129.
- [15] 戚兴超,王晓雯,刘艳丽,等.泰山山前平原土地利用方式对潮棕壤黏土矿物组成的影响[J].*土壤学报*, 2019, 56(3):739-748.
- [16] 李雄,张旭博,孙楠,等.不同土地利用方式对土壤有机无机碳比例的影响[J].*植物营养与肥料学报*, 2018, 24(6):1508-1519.
- [17] 敖登高娃.脆弱草原带土地利用对土壤质量的影响研究[D].内蒙古 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2017.
- [18] Wang Hao, Zhang Guanghui. Temporal variation in soil erodibility indices for five typical land use types on the Loess Plateau of China [J]. *Geoderma*, 2021, 381:114695.
- [19] 谭玉兰,杨丰,陈超,等.喀斯特山区土地利用方式对土壤质量的影响[J].*西南农业学报*, 2019, 32(5):1133-1138.
- [20] 王海飞,贾兴永,高兵,等.不同土地利用方式土壤温室气体排放对碳氮添加的响应[J].*土壤学报*, 2013, 50(6):1172-1182.
- [21] 李新国,樊自立,李会志,等.开都河下游灌区土壤盐渍化特征分析[J].*干旱地区农业研究*, 2011, 29(2):147-151.
- [22] 王全九,毕磊,张继红.新疆包头湖灌区农田土壤水盐热特性空间变异特征[J].*农业工程学报*, 2018, 34(18):138-145.
- [23] 张飞,李怡博,王东芳,等.精河绿洲盐渍土表层土壤盐分因子的空间变异及分布格局[J].*生态与农村环境学报*, 2018, 34(1):64-73.
- [24] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社, 2000.
- [25] 新疆维吾尔自治区农业厅,新疆维吾尔自治区土壤普查办公室.新疆土壤[M].北京:科学出版社, 1996:304-332.
- [26] 牛芳鹏,李新国,靳万贵,等.博斯腾湖西岸湖滨绿洲土壤盐分特征[J].*中国土壤与肥料*, 2020(3):8-15.
- [27] 林海明,杜子芳.主成分分析综合评价应该注意的问题[J].*统计研究*, 2013, 30(8):25-31.
- [28] 郑明,白云岗,张江辉,等.基于主成分分析法的干旱区典型绿洲土壤盐分特征分析:以新疆第二师31团为例[J].*中国农学通报*, 2020, 36(27):81-87.
- [29] 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.
- [30] 黄雅茹,马迎宾,郝玉光,等.绿洲春季不同来源灌溉水土壤盐分离子分布特征[J].*西南农业学报*, 2018, 31(9):1856-1863.
- [31] 王雪梅,康璇,赵枫.不同土地利用方式下渭一库绿洲土壤盐渍化特征分析[J].*水土保持研究*, 2016, 23(1):160-164.
- [32] 柳菲,陈沛源,于海超,等.民勤绿洲不同土地利用类型下土壤水盐的空间分布特征分析[J].*干旱区地理*, 2020, 43(2):406-414.
- [33] 和继军,蔡强国,田磊,等.植被措施对土壤保育的作用及其影响因素分析[J].*土壤通报*, 2010, 41(3):706-710.
- [34] 丁邦新,白云岗,柴仲平,等.塔里木河下游绿洲灌区土壤盐渍化特征及季节性变化规律[J].*水土保持通报*, 2020, 40(2):77-84.
- [35] 李晶,何志斌,杜军,等.冬灌对冻融期干旱区荒漠绿洲农田土壤水热状况的影响[J].*农业工程学报*, 2018, 34(11):105-112.
- [36] 王雪梅.干旱区典型绿洲土壤盐渍化及其生态效应研究[D].新疆 乌鲁木齐:新疆大学, 2010.



### 3 结论

(1) 负水头灌溉水源供水位置对番茄生长有显著影响,但不同埋设位置对番茄生长的影响参数是不同的,有的对长势影响大,有的对产量影响大,有的则对水分利用率影响大,即影响对象具有不一致性。在试验组次内,与处理II,III相比,处理I可使提高番茄植株生长趋势,增加地上部植株干物质量,在三维空间内相对均匀地控制土壤含水量分布;而处理II较处理I可提高单株产量,增加14.3%,处理III的增产却不明显。

(2) 负水头灌溉水源供水位置对水分利用效率也有显著影响。与处理I,II相比,处理III的根冠比均提高了33.3%,单株番茄总灌水量可降低24.7%和17.4%,水分利用率 $WUE_y$ 分别提高43.8%和14.8%,水分利用率 $WUE_b$ 是其1.23倍和1.22倍。

(3) 综合评价,在本项研究的试验组次内,处理III可在不降低产量的条件下,能有效降低灌水量,提高水分利用率,是最优处理。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张芳,薛绪掌,张建丰,等.负水头供水盘埋设方式对番茄生长和水分利用率的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(2):239-244.
- [2] 邹朝望.负水头灌溉技术基础研究[D].湖北:武汉大学,2007.
- [3] 耿伟,万克江,薛绪掌,等.负压供水下菠菜某些生理指标的变化[J].农业系统科学与综合研究,2006,22(4):248-251.
- [4] 耿伟,王春艳,薛绪掌,等.负压供水下盆栽大豆叶片的光合生理研究[J].节水灌溉,2007(1):5-8.
- [5] 李邵,薛绪掌,郭文善,等.不同供水吸力对温室黄瓜光合特性及根系活力的影响[J].应用生态学报,2010,21(1):67-73.
- [6] 李邵,薛绪掌,郭文善,等.供水吸力对温室黄瓜产量与水分利用率的影响[J].中国农业科学,2010,43(2):337-345.

- [7] 李霞,解迎革,薛绪掌,等.不同基质含水量下盆栽番茄蒸腾量、鲜物质积累量及果实产量的差异[J].园艺学报,2010,37(5):805-810.
- [8] 姜红娜,李银坤,陈菲,等.负水头灌溉施肥对日光温室番茄生长及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2015(6):65-69.
- [9] 李银坤,徐凡,薛绪掌,等.负水头供液施肥对温室番茄水分利用效率的影响[J].节水灌溉,2016(12):42-45.
- [10] Ogbaji P O, Shahrajabian M H, Xue Xuzhang. Changes in germination and primarily growth of three cultivars of tomato under diatomite and soil materials in auto-irrigation system [J]. International Journal of Biology, 2013,5(3):80.
- [11] 毛思帅,李豫宁,胡跃高,等.负水头供给营养液对不同番茄品种生长特性的影响[J].北方园艺,2012(10):28-32.
- [12] 赵秀娟,宋燕燕,岳现录,等.负压灌溉下不同钾水平对小油菜生长的影响[J].中国农业科学,2017,50(4):689-697.
- [13] Steudle E. Water uptake by roots: Effects of water deficit [J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(350):1531-1542.
- [14] Liang Jiansheng, Zhang Jianhua, Wong M H. How do roots control xylem sap ABA concentration in response to soil drying? [J]. Plant and Cell Physiology, 1997,38(1):10-16.
- [15] 张强,徐飞,王荣富,等.控制性分根交替灌溉下氮形态对番茄生长、果实产量及品质的影响[J].应用生态学报,2014,25(12):3547-3555.
- [16] 蒲敬轩,樊雅琼,冯许钰,等.分根区交替灌溉对土壤水分养分条件及作物生长的影响[J].中国土壤与肥料,2022(9):209-215.
- [17] 杨依凡,涂攀峰,邓兰生,等.滴灌下根区交替灌溉在葡萄上的应用研究进展[J].安徽农学通报,2020,26(20):52-54.
- [18] 薛绪掌,许高平,王璞,等.一种改进的负水头供水盆栽装置:CN201320291701.6[P].2013-10-16.

(上接第79页)

- [37] 许波,张忠良,王永东,等.高矿化度水灌溉条件下土壤盐结皮层与下层土壤盐分特征差异初探[J].干旱区资源与环境,2014,28(7):116-120.
- [38] 刘易,冯耀祖,黄建,等.微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对盐渍化土壤盐分离子分布的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):146-152.
- [39] 郭全恩.土壤盐分离子迁移及其分异规律对环境因素的响应机制[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2010.

- [40] 李珊,杨越超,姚媛媛,等.不同土地利用方式对山东滨海盐碱土壤理化性质的影响[J].土壤学报,2022,59(4):1012-1024.
- [41] 顾梦鹤,李明红,刘调平,等.民勤青土湖区不同土地利用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.
- [42] 亢晨波,郭汉清,张焱,等.复垦区不同土地利用类型土壤水分持蓄特征分析[J].山西农业科学,2022,50(5):653-659.