

新疆典型绿洲灌区土壤理化性状与盐分离子分布特征

李云霞^{1,2} 王国栋^{1,2} 刘瑜^{1,2} 吕宁^{1,2} 梁飞¹ 范军亮¹ 尹飞虎^{1,3}

(1. 新疆农垦科学院农田水利与土壤肥料研究所, 石河子 832000;

2. 农业农村部西北绿洲节水农业重点实验室, 石河子 832000;

3. 中国农垦节水农业产业技术联盟, 石河子 832000)

摘要: 土壤盐渍化和耕地质量下降严重制约新疆绿洲灌溉农业可持续发展, 研究土壤理化性状与盐分离子分布特征是盐碱地改良与综合利用和绿洲灌溉农业高质量发展的前提和基础。以北疆玛纳斯河灌区、南疆阿克苏河灌区和喀什噶尔河灌区(阿克苏-喀什噶尔河灌区)为研究对象, 定量分析了土壤(0~500 cm)养分含量、含盐量及其离子组成分布特征。结果表明: 玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮含量均呈现随土层深度增加而逐渐降低的趋势。玛纳斯河灌区表层土壤(0~30 cm)和0~100 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效钾、全氮含量和 pH 值平均值高于阿克苏-喀什噶尔河灌区, 100~500 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效钾、全氮含量平均值低于阿克苏-喀什噶尔河灌区。阿克苏-喀什噶尔河灌区表层土壤(0~30 cm)全盐量和电导率平均值比玛纳斯河灌区分别高 21.14% 和 8.53%, 60~100 cm 土层比玛纳斯河灌区分别低 17.55% 和 16.50%。玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区土壤阳离子均以 Na^+ 和 Ca^{2+} 为主, 阴离子均以 SO_4^{2-} 、 Cl^- 为主, Na^+ 和 SO_4^{2-} 分别为玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区含量最高的盐基离子。玛纳斯河灌区表层土壤(0~30 cm)53.85% 属于盐渍土, 30~60 cm 土层 50.00% 属于中度和重度盐渍土, 60~100 cm 土层 25.00% 属于重度盐渍土, 硫酸盐型盐渍土占主导地位, 其次是氯化物-硫酸盐型盐渍土。阿克苏-喀什噶尔河灌区表层土壤(0~30 cm)78.26% 属于盐渍土, 其中重度盐渍土占比最高, 30~60 cm 土层 60.86% 属于轻度和重度盐渍土, 60~100 cm 土层 39.13% 属于非盐渍土, 氯化物-硫酸盐型盐渍土占比最高, 其次是硫酸盐型盐渍土。研究结果可为新疆绿洲灌区盐碱地综合利用和作物精准施肥提供科学依据。

关键词: 绿洲灌区; 土壤盐渍化; 土壤盐分; 盐分离子

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2024)07-0357-08

OSID:



Distribution Characteristics of Soil Physicochemical Properties and Salt Ions in Typical Oasis Irrigation Areas of Xinjiang

LI Yunxia^{1,2} WANG Guodong^{1,2} LIU Yu^{1,2} LÜ Ning^{1,2} LIANG Fei¹ FAN Junliang¹ YIN Feihu^{1,3}

(1. Institute of Farmland Water Conservancy and Soil-fertilizer,

Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China

2. Key Laboratory of Northwest Oasis Water-Saving Agriculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shihezi 832000, China

3. China Agricultural Reclamation Water Saving Agricultural Industry Technology Alliance, Shihezi 832000, China)

Abstract: Soil salinization and arable land degradation have seriously restricted the sustainable development of oasis irrigation agriculture in Xinjiang. Exploring the distribution characteristics of soil physicochemical properties and salt ions is a prerequisite and foundation for saline-alkaline land improvement and comprehensive utilization as well as high-quality development of oasis agriculture. The distribution characteristics of nutrient contents, and salt content and its ions in the 0~500 cm soil profile were quantitatively analyzed in the Manas River Irrigation Area in northern Xinjiang, and in the Aksu River Irrigation Area and Kashgar River Irrigation Area (Aksu-Kashgar River Irrigation Area) in southern Xinjiang. The results showed that the contents of soil organic matter, alkali-hydrolysable

收稿日期: 2024-03-19 修回日期: 2024-04-15

基金项目: 中国工程院战略研究与咨询项目(2023-XZ-86、2022-XY-64)

作者简介: 李云霞(1984—), 女, 副研究员, 主要从事农业水土资源高效利用研究, E-mail: 243661616@qq.com

通信作者: 尹飞虎(1954—), 男, 研究员, 中国工程院院士, 主要从事植物营养、农田节水和滴灌水肥一体化研究, E-mail: nkyfh@sohu.com

nitrogen, available phosphorus, available potassium, and total nitrogen in the study areas all showed a gradually decreasing trend with the increase of soil depth. In the Manas River Irrigation Area, the average values of soil organic matter, alkaline dissolved nitrogen, available phosphorus, total nitrogen content and pH value were higher in the 0 ~ 30 cm and 0 ~ 100 cm soil layers, but the average values of organic matter, alkaline dissolved nitrogen, available potassium and total nitrogen content in the 100 ~ 500 cm soil layer were lower in the Manas River Irrigation Area. The average values of total salinity and electrical conductivity in the 0 ~ 30 cm soil layer were 21. 14% and 8. 53% higher in the Aksu - Kashgar River Irrigation Area, but the average values of total salinity and electrical conductivity in the 60 ~ 100 cm soil layer were 17. 55% and 16. 50% lower in the Aksu - Kashgar River Irrigation Area, respectively. In the study areas, the dominant cations were Na^+ and Ca^{2+} , while the dominant anions were SO_4^{2-} and Cl^- . In the Manas River Irrigation Area, Na^+ was the highest salt ions, while SO_4^{2-} was the highest in the Aksu - Kashgar River Irrigation Areas. In the Manas River Irrigation Area, 53. 85% of the 0 ~ 30 cm soil layer was classified as saline soil, 50. 00% of the 30 ~ 60 cm soil layer was classified as moderately and severely saline soils, and 25. 00% of the 60 ~ 100 cm soil layer was classified as severely saline soil. The dominant saline soil was sulfate, followed by chloride - sulfate. In the Aksu - Kashgar River Irrigation Area, 78. 26% of the 0 ~ 30 cm soil layer was classified as saline soil, with the highest proportion being severely saline soil. Additionally, 60. 86% of the 30 ~ 60 cm layer was classified as mildly or severely saline soils, and 39. 13% of the 60 ~ 100 cm soil layer was classified as non-saline soil. The dominant saline soils were chloride - sulfate, followed by sulfate. The results can provide a scientific foundation for the comprehensive utilization of saline-alkaline land and precise fertilization in the oasis irrigation area of Xinjiang.

Key words: oasis irrigation area; soil salinization; soil salinity; salt ions

0 引言

新疆地处中国西北边陲,位于亚欧大陆腹地,自然资源丰富,具有适宜发展农业的水土光热条件,是我国重要的优质商品棉、特色林果和畜产品生产基地^[1]。然而,由于新疆干旱少雨、蒸发强烈、地形封闭及成土母质含盐,土壤均受到不同程度盐分的影响。新疆现有耕地约 $7 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中盐渍化耕地约占 37%,是我国最干旱、土壤盐渍化与次生盐渍化分布最广泛的地区^[2]。土壤盐渍化和耕地质量下降严重制约新疆绿洲灌溉农业可持续发展^[3]。

土壤理化性状和可溶性盐基离子含量是评价土壤肥力和盐渍化程度的重要指标^[4]。国内外学者在高光谱土壤盐渍化信息提取^[5]、流域尺度盐渍化分布状况^[6]、土壤盐渍化特征因子分析方法^[7]、盐分离子土壤地貌空间变异性^[8]、土壤养分与酶活性地形差异性^[9],以及土壤含水率与可溶性盐分离子相关性^[10]等方面开展了大量研究,并取得了显著成果。由于成土因素和溶解度等性质的差异,不同盐分离子在土体中的迁移速率也存在差异。绿洲灌区土地利用方式也会直接或间接地影响土壤盐分离子的运移,对土壤理化性状和盐分累积以及某些离子的富集存在一定程度的影响^[11]。新疆绿洲灌区土壤具有含盐量高、成分复杂的母质环境。随着节水灌溉技术的大面积推广应用、灌溉量减少和灌排制度不健全,加上渠系水

蒸发、渗漏及不合理灌溉等人为因素的综合影响^[12],导致绿洲灌区农田耕层盐碱呈聚集趋势、土壤次生盐渍化等问题日益加剧,土壤肥力和耕地质量严重下降^[13]。土壤盐渍化已成为制约新疆绿洲农业土地资源利用的主要障碍因素。

因此,研究土壤理化性状与盐分离子分布特征是新疆盐碱地改良与综合利用、绿洲灌区农业高质量发展和绿色生态安全保障的前提和基础。本研究以新疆典型绿洲灌区——北疆玛纳斯河灌区、南疆阿克苏河灌区和喀什噶尔河灌区(阿克苏-喀什噶尔河灌区)为研究对象,定量分析土壤(0 ~ 500 cm)养分含量、含盐量和离子组成分布特征,明确典型绿洲灌区土壤盐渍化程度与类型,以期为该区域土地资源优化管理、作物精准施肥、盐碱地综合利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

玛纳斯河灌区(43°27' ~ 45°21' N, 85°01' ~ 86°32' E)位于新疆天山北麓准噶尔盆地南缘、玛纳斯河流域中下游的冲洪积扇倾斜平原和冲洪积扇平原,地处新疆天山北坡文化和经济核心地带。东起玛纳斯河,西至巴音沟河,东西长 140 km,南北宽 102 km,土地总面积为 $5.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。灌区夏季炎热干燥,冬季严寒干燥,属于典型的大陆性气候。气候干旱,多年平均温度为 6. 5℃,降雨稀少(年降水

量 110 ~ 200 mm), 蒸发强烈(年蒸发量 1 500 ~ 2 000 mm), 光照时数长(2 550 ~ 3 100 h), 无霜期短(148 ~ 187 d)。玛纳斯河灌区涉及昌吉回族自治州、第六师、第八师地区, 包含石河子、莫索湾、下野地 3 个分灌区, 具有引水、蓄水、灌水、排水和水力发电等多种功能, 灌区农业生产以粮食和棉花为主, 其次是油料、甜菜和瓜果等, 是北疆典型的荒漠绿洲灌溉农业区, 是新疆粮棉糖重要生产基地之一。

阿克苏河灌区(40°70′ ~ 41°35′N, 78°46′ ~ 82°44′E)位于新疆天山南麓中段西部、塔里木盆地西北边缘, 主要由冲积扇和冲积平原组成, 由西北向东南方向倾斜, 土地总面积为 2.2×10^6 km²。灌区春秋升降温迅速、温差大, 冬冷夏热, 气候干燥, 属于典型的暖温带大陆性干旱气候。气候干旱, 多年平均温度为 10.6℃, 降雨稀少(年降水量 60 ~ 90 mm), 蒸发强烈(年蒸发量 1 800 ~ 2 000 mm), 光照时数长(2 700 ~ 2 800 h), 无霜期短(188 ~ 227 d)。阿克苏河灌区涉及阿克苏地区、第一师, 主要由多浪渠灌区和老大河灌区组成, 灌区农业生产以棉花为主, 其次是甜菜、苜蓿、特色瓜果等, 是南疆典型的荒漠绿洲灌溉农业区。

喀什噶尔河灌区(38°28′ ~ 39°55′N, 75°19′ ~ 78°03′E)位于新疆西南部、塔里木盆地西部边缘、山前冲洪积扇倾斜平原, 地势为西部高、东部低, 南北高、中部低, 土地总面积为 1.5×10^6 km²。灌区日温差大, 夏季炎热、酷暑期短, 冬季低温期长, 四季分明, 属于典型的暖温带大陆性干旱气候。气候干旱, 多年平均温度为 12.2℃, 降雨稀少(年降水量 50 ~ 80 mm), 蒸发强烈(年蒸发量 2 200 ~ 2 500 mm), 光照时数长(2 700 ~ 3 000 h), 无霜期短(212 ~ 247 d)。喀什噶尔河灌区涉及喀什地区、第三师, 主要由喀什噶尔河灌区 1 个大型灌区和疏附县卡尔马克灌区、索塞灌区、亚勿灌区、疏勒县跃进灌区、岳普湖县阿其克灌区、英吉沙县胜利灌区、伽师县青年渠灌区 7 个中型灌区组成, 灌区农业生产以粮食作物为主, 其次是棉花、林果业、其他经济作物等, 是南疆典型的荒漠绿洲灌溉农业区。

1.2 采样点选择与样品采集

综合考虑灌区地形地貌、土地利用方式、作物种植类型等因素, 沿玛纳斯河灌区(14 个)、阿克苏河灌区(10 个)和喀什噶尔河灌区(13 个)河道流域两岸方向选取具有典型代表性取样点 37 个。2022 年 5—7 月, 利用土壤钻机(Geoprobe, AMS 公司, 美国)按不同土层深度(0 ~ 30 cm、30 ~ 60 cm、60 ~ 100 cm、100 ~ 200 cm、200 ~ 300 cm、300 ~ 400 cm、400 ~ 500 cm)进行取样, 其中有 8 个取样点由于地

下水位和土质原因取样深度为 200 cm, 共获取土壤样本 235 个, 样品用密封袋保存带回实验室。

1.3 测定指标与方法

土壤样本经过自然风干、研磨、过筛(1 mm)后进行封装备用。采用《土壤农化分析》^[14]中的测定方法测定土壤有机质含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量、全氮含量、pH 值、水溶性总盐含量、Na⁺ 含量、K⁺ 含量、Ca²⁺ 含量、Mg²⁺ 含量、SO₄²⁻ 含量、Cl⁻ 含量、HCO₃⁻ 含量、CO₃²⁻ 含量、电导率(EC)。

1.4 数据处理

将玛纳斯河灌区样本数据作为北疆典型绿洲灌区样本数据, 阿克苏河灌区和喀什噶尔河灌区样本数据合并作为南疆典型绿洲灌区样本数据进行统计分析。由于样本数据中 CO₃²⁻ 含量太低, 在本研究中该指标数据未进行统计分析。去除受试验方法和仪器检出限影响的指标检测结果小于零值的样本数据, 采用 Microsoft Excel 2021 计算土壤样品理化指标数据, 采用 Origin 2021 进行绘图和指标相关性统计。

2 结果与分析

2.1 新疆典型绿洲灌区土壤理化性状分布特征

由图 1 可知, 玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮含量(质量比)均呈现随土层深度增加而逐渐降低的趋势。玛纳斯河灌区 0 ~ 100 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效钾、全氮含量和 pH 值平均值均高于阿克苏-喀什噶尔河灌区, 100 ~ 500 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效钾、全氮含量平均值均低于阿克苏-喀什噶尔河灌区。玛纳斯河灌区表层土壤(0 ~ 30 cm)和 0 ~ 100 cm 土层土壤有机质含量平均值分别比阿克苏-喀什噶尔河灌区高 8.58% 和 11.88%, 碱解氮含量平均值分别比阿克苏-喀什噶尔河灌区高 24.97% 和 32.03%, 有效磷含量平均值分别比阿克苏-喀什噶尔河灌区低 11.18% 和 0.04%, 速效钾含量平均值分别比阿克苏-喀什噶尔河灌区高 114.74% 和 82.53%, 全氮含量平均值分别比阿克苏-喀什噶尔河灌区高 19.04% 和 23.35%, pH 值平均值分别比阿克苏-喀什噶尔河灌区高 2.82% 和 3.87%。玛纳斯河灌区表层土壤(0 ~ 30 cm)养分(有机质、碱解氮、速效钾、全氮)含量比阿克苏-喀什噶尔河灌区高, 因此玛纳斯河灌区土壤更有利于作物生长和减少化肥施用, 阿克苏-喀什噶尔河灌区可以通过增加土壤有机质改良土壤结构, 提升土壤肥力。

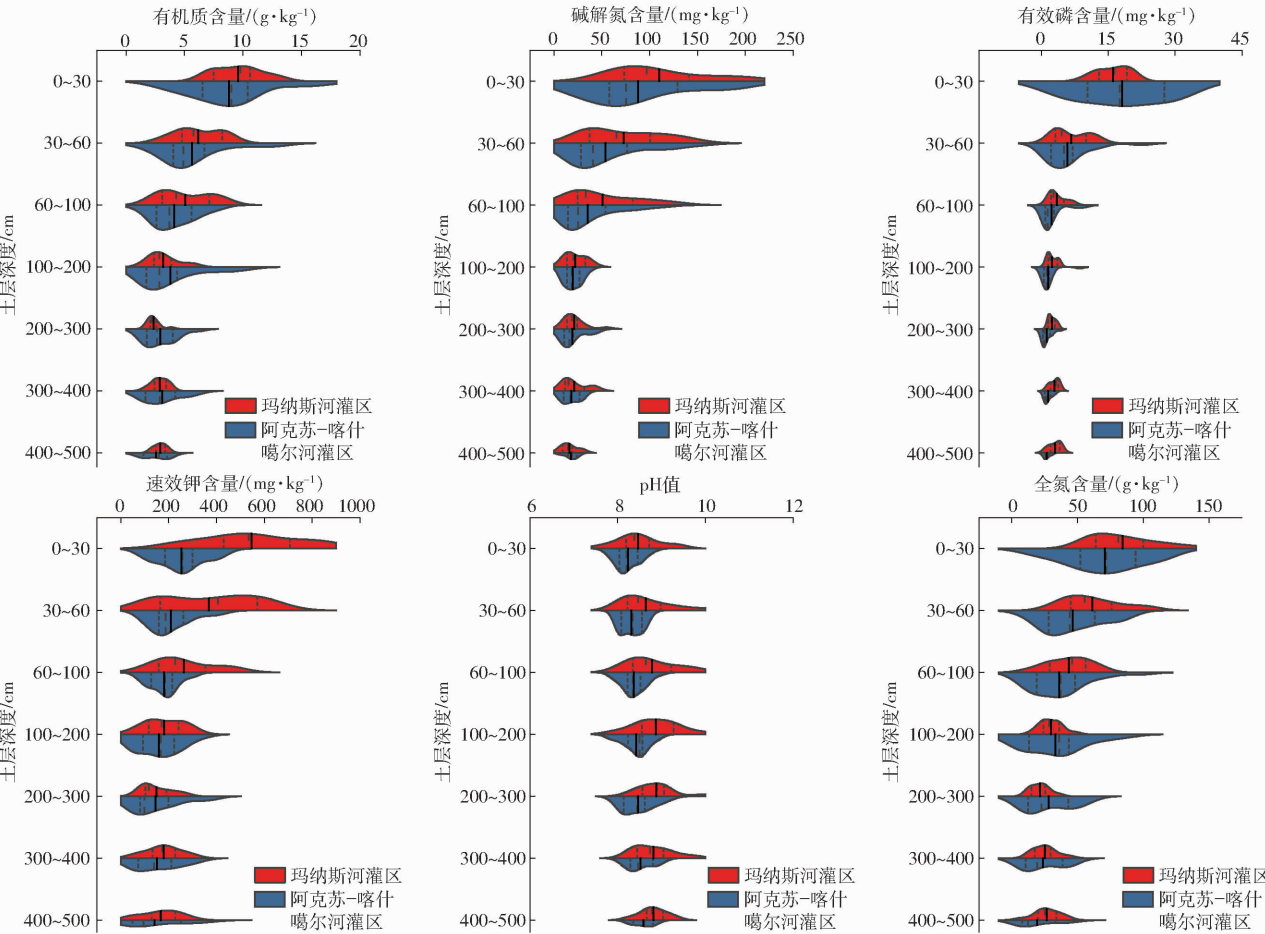


图 1 新疆典型绿洲灌区土壤养分分布特征

Fig. 1 Distribution characteristics of soil nutrients in typical oasis irrigation areas of Xinjiang

2.2 新疆典型绿洲灌区土壤含盐量及盐基离子组成分布特征

由图 2 可知,玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区 0 ~ 30 cm、30 ~ 60 cm、60 ~ 100 cm、100 ~ 200 cm、200 ~ 300 cm、300 ~ 400 cm、400 ~ 500 cm 土层含盐量平均值分别为 6.92、6.48、6.02、4.38、3.86、3.10、3.01 g/kg 和 8.39、6.47、4.96、4.50、5.07、3.63、5.30 g/kg,玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区土壤全盐量与电导率均呈现随土层深度

增加而逐渐降低的趋势,2 个灌区盐分分布均有较强的表聚现象。阿克苏-喀什噶尔河灌区表层土壤 (0 ~ 30 cm) 全盐量和电导率平均值比玛纳斯河灌区分别高 21.14% 和 8.53%,60 ~ 100 cm 土层比玛纳斯河灌区分别低 17.55% 和 16.50%。

由图 3 (图中 MR 表示玛纳斯河灌区,AKR 表示阿克苏-喀什噶尔河灌区,下同) 可知,0 ~ 30 cm 和 30 ~ 60 cm 土层土壤离子含量明显大于其他土层,各层土壤离子含量总体上呈现自上而下减小的趋

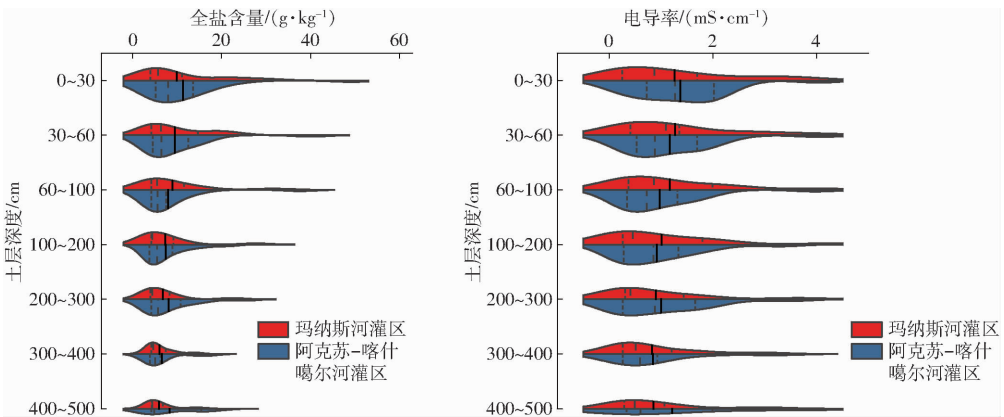


图 2 新疆典型绿洲灌区土壤全盐量与电导率分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of total salt content and electrical conductivity in typical oasis irrigation areas of Xinjiang

势。0~400 cm 土层中,玛纳斯河灌区各土层 Na^+ 含量高于阿克苏-喀什噶尔河灌区。除 0~30 cm 和 30~60 cm 土层,阿克苏-喀什噶尔河灌区土壤 K^+ 含量均高于玛纳斯河灌区。玛纳斯河灌区各土层 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 含量均高于阿克苏-喀什噶尔河灌区,阿克苏-喀什噶尔河灌区各土层 Mg^{2+} 含量均高于玛纳斯河灌区。阿克苏-喀什噶尔河灌区 0~30 cm 和 30~60 cm 土层 Cl^- 含量均高于玛纳斯河灌区。除 60~100 cm 土层,阿克苏-喀什噶尔河灌区土壤 SO_4^{2-} 含量均高于玛纳斯河灌区。总体而言,玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区阳离子均以 Na^+ 和 Ca^{2+} 为主,阴离子均以

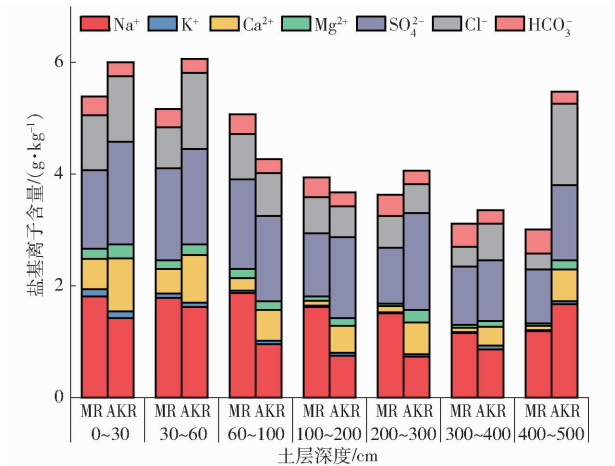


图3 新疆典型绿洲灌区土壤盐基离子分布特征
Fig.3 Distribution characteristics of salt ions in typical oasis irrigation areas of Xinjiang

SO_4^{2-} 、 Cl^- 为主, Na^+ 是玛纳斯河灌区含量最高的盐基离子, SO_4^{2-} 是阿克苏-喀什噶尔河灌区含量最高的盐基离子。

2.3 新疆典型绿洲灌区土壤盐渍化程度与类型

为进一步分析玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区土壤含盐量的空间分布特征,按照第二次农业土壤普查盐渍化分级标准^[15]:非盐渍土(含盐量小于 0.20%)、轻度盐渍土(含盐量为[0.20%,0.40%))、中度盐渍土(含盐量为[0.40%,0.60%))、重度盐渍土(含盐量为[0.60%,2.00%))、盐土(含盐量大于等于 2.00%),以玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区各采样点土壤平均含盐量作为土壤盐渍化划分指标,计算分析各层土壤剖面盐渍化程度占比,结果如表 1 所示。玛纳斯河灌区 53.85% 的 0~30 cm 土层属于盐渍土,50.00% 的 30~60 cm 土层属于中度和重度盐渍土,25.00% 的 60~100 cm 土层属于重度盐渍土,100~200 cm、200~300 cm、300~400 cm、400~500 cm 土层属于盐渍土的比例分别为 38.46%、33.33%、41.67%、33.33%。阿克苏-喀什噶尔河灌区 78.26% 的 0~30 cm 土层属于盐渍土,其中重度盐渍土占比最高,60.86% 的 30~60 cm 土层属于轻度和重度盐渍土,39.13% 的 60~100 cm 土层属于非盐渍土,100~200 cm、200~300 cm、300~400 cm、400~500 cm 土层属于盐渍土的比例分别为 52.38%、58.82%、50.00%、50.00%。

表 1 新疆典型绿洲灌区土壤剖面盐渍化程度占比								
Tab.1 Proportion of salinization degree of soil profile in typical oasis irrigation areas of Xinjiang %								
研究区域	盐渍化等级	土层深度/cm						
		0~30	30~60	60~100	100~200	200~300	300~400	400~500
玛纳斯河灌区	非盐渍土	46.15	50.00	50.00	61.54	66.67	58.33	66.67
	轻度盐渍土	7.69		16.67	7.69		16.67	11.11
	中度盐渍土	15.39	16.67			16.67	8.33	11.11
	重度盐渍土	23.08	33.33	25.00	23.08	16.66	16.67	11.11
	盐土	7.69		8.33	7.69			
阿克苏-喀什噶尔河灌区	非盐渍土	21.74	30.43	39.13	47.62	41.18	50.00	50.00
	轻度盐渍土	17.39	30.43	21.74	14.29	23.53	33.33	16.67
	中度盐渍土	13.04	4.35	17.39	9.52	5.88		
	重度盐渍土	39.13	30.43	17.39	28.57	23.53	16.67	16.67
	盐土	8.70	4.36	4.35		5.88		16.66

根据《新疆农业技术手册》中 $\text{Cl}^-/(2\text{SO}_4^{2-})$ 当量比值进行土壤盐渍化类型分类^[16]:硫酸盐型(当量比值小于 0.2)、氯化物-硫酸盐型(当量比值为[0.2,1.0))、硫酸盐-氯化物型(当量比值为[1.0,2.0))、氯化物型(当量比值大于等于 2.0)。由图 4 可知,除 60~100 cm 和 200~300 cm 土层,玛纳斯

河灌区硫酸盐型盐渍土占主导地位,其次是氯化物-硫酸盐型盐渍土,30~60 cm、60~100 cm、100~200 cm、300~400 cm 土层主要是由硫酸盐型和氯化物-硫酸盐型盐渍土组成。除 30~60 cm 和 60~100 cm 土层,阿克苏-喀什噶尔河灌区氯化物-硫酸盐型盐渍土占主导地位,其次是硫酸盐型盐渍土。

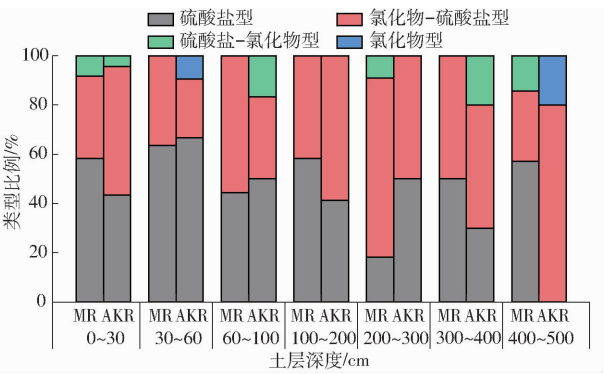


图 4 新疆典型绿洲灌区土壤盐渍化类型分类比例
Fig. 4 Classification proportions of salinization types in typical oasis irrigation areas of Xinjiang

2.4 新疆典型绿洲灌区土壤理化性状与盐基离子相关性

从图 5 (图中 * 表示 $p < 0.05$, ** 表示 $p < 0.01$) 可知,玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河

灌区土壤理化性状与盐基离子含量相关性具有一定的相似性,有机质含量与碱解氮、有效磷、速效钾、全氮含量极显著正相关($p < 0.01$),与 pH 值极显著负相关($p < 0.01$),全盐量、电导率、 Na^+ 含量、 K^+ 含量、 Ca^{2+} 含量、 Mg^{2+} 含量、 SO_4^{2-} 含量、 Cl^- 含量之间均极显著正相关($p < 0.01$), K^+ 含量与碱解氮、有效磷、速效钾含量均极显著正相关($p < 0.01$),pH 值与有机质、碱解氮含量极显著负相关($p < 0.05$), HCO_3^- 含量与 Ca^{2+} 含量极显著负相关($p < 0.01$)。玛纳斯河灌区碱解氮含量与 HCO_3^- 含量显著负相关($p < 0.05$),有机质含量与 K^+ 含量显著正相关($p < 0.05$)。阿克苏-喀什噶尔河灌区有机质含量与盐基离子(HCO_3^- 除外)含量均无明显相关性, HCO_3^- 与 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 含量极显著负相关($p < 0.01$)。

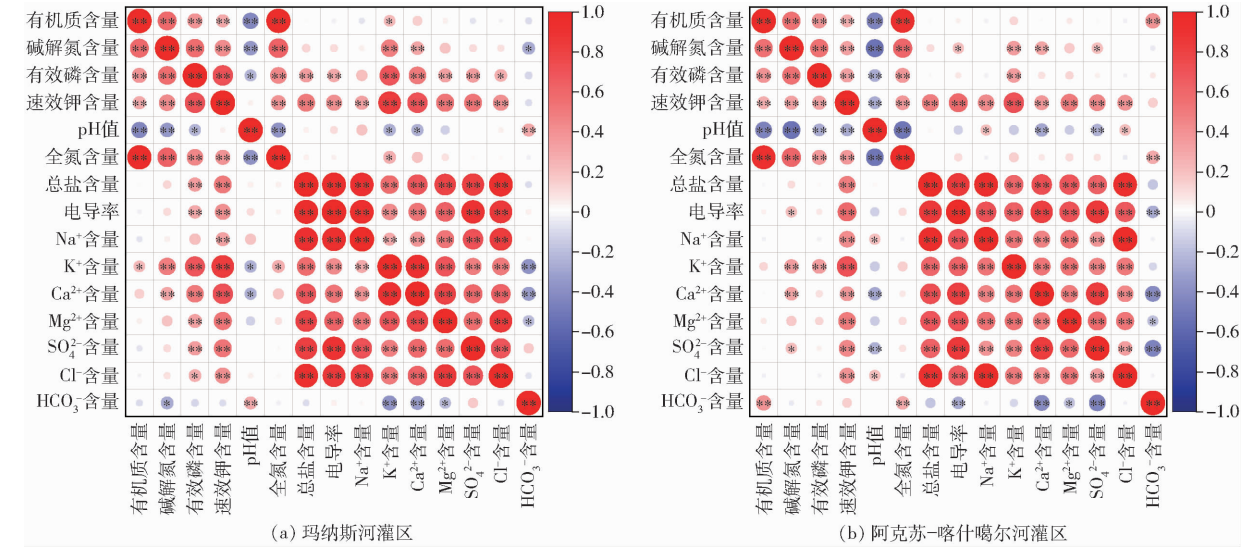


图 5 新疆典型绿洲灌区土壤理化性状与盐基离子含量相关性

Fig. 5 Correlations between soil physicochemical properties and salt ions in typical oasis irrigation areas of Xinjiang

3 讨论

了解土壤理化性质和养分分布是耕地地力评价、测土配方指导合理施肥和提高养分利用率的重要依据^[17]。受地形地貌、气候降雨等自然因素和灌排施肥、田间耕作管理等人为因素的影响,北疆玛纳斯河灌区和南疆阿克苏-喀什噶尔河灌区土壤理化性状、养分肥力分布存在较大差异。有研究表明玛纳斯河流域灌区土壤有机质含量随纬度的降低而降低,土壤养分含量随深度增加呈逐渐降低的趋势^[18-19]。玛纳斯河灌区表层(0~30 cm)和 0~100 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效钾、全氮含量平均值比阿克苏-喀什噶尔河灌区高,这与上述研究结果一致。玛纳斯河灌区土壤养分含量比阿克苏-喀什噶尔河灌区高可能与气候、土地利用方式、土壤

类型等多个因素有关。一方面是北疆和南疆气候条件和土壤类型存在差异,北疆降雨量比南疆高,蒸发量小,气候相对较为湿润,土壤对养分保持和供应能力相对较强^[20];另一方面是玛纳斯河灌区土地利用方式、农田管理和施肥量更加科学,而阿克苏-喀什噶尔河灌区气候干燥,风沙大,灌溉施肥等农业管理相对较为粗放,表层土壤养分保持能力差^[21]。因此,耕地地力提升需综合考虑土壤理化性质和养分肥力分布特征,科学的农田管理措施和施肥措施可以促进土壤养分的积累和保持。与北疆玛纳斯河灌区相比,南疆阿克苏-喀什噶尔河灌区表层土壤(0~30 cm)有机质含量较低,土壤磷含量较高,可以通过施用有机肥(包括农家肥、生物有机肥、菌肥)、秸秆还田、种植绿肥翻压还田等方式增加土壤有机质,改良土壤结构,提升土壤肥力;推广配方施

肥和增施农肥,适当减少部分化肥施用量,在作物生育期通过有机无机配施结合膜下滴灌水肥一体化进行精准施肥。

高山积雪和冰川融化汇集的水流将大量的可溶性盐冲刷至平原区,而强烈的蒸发加剧了地下水中的可溶性盐分向地表聚集,加剧了地表含盐量^[5,22]。同时,自然和人为因素的干扰,改变了土壤剖面盐分分布,导致土壤盐基离子空间分布的复杂性^[23]。景宇鹏等^[24]发现河套平原的前套地区主要是苏打盐土,土壤阳离子以 Ca^{2+} 为主,其次是 Na^{+} 、 K^{+} ,阴离子以 SO_4^{2-} 为主,其次是 Cl^{-} 。与之不同的是,本研究发现玛纳斯河灌区阳离子以 Na^{+} 为主,阿克苏-喀什噶尔河灌区阴离子以 SO_4^{2-} 为主,主要是由于不同地区土壤盐渍化特征不同导致的。膜下滴灌的长期应用,有限的灌水量未能将盐分淋洗到土壤深层;同时,不合理的灌溉方式,如漫灌和过度灌溉,也会使地下水位上升,土壤中的盐分也随之上升并积累在表层土壤^[25]。采取科学合理的农业生产和灌溉措施,可以减少土壤盐分积累,有利于土壤管理和保护,促进农业可持续发展。

玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区表层土壤(0~30 cm)属于盐渍土的比例分别为 53.85% 和 78.26%。北疆玛纳斯河灌区土壤剖面盐分分布上下较为均匀,大部分盐碱地只有很薄的盐结皮,没有明显的盐结壳,出现坚硬的盐结壳现象数量不多。然而,南疆阿克苏-喀什噶尔河灌区盐分表聚性则显著增强,盐分集中分布在表层土壤(0~30 cm),结壳盐碱土分布广泛,且坚硬的盐壳犁底层也很常见。南疆阿克苏-喀什噶尔河灌区可以通过加大高标准农田建设改造投入,实施农艺、工程、化学措施综合改良盐碱地,增强农田保土、保水、保肥能力。玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区阴离子均以 SO_4^{2-} 、 Cl^{-} 为主,降水量和蒸发量可能是影响南北疆表层土壤盐渍化程度的原因之一。有研究发现随着海拔降低,塔里木河下游典型绿洲灌区盐渍土类型自中游氯化物-硫酸盐型过渡到下游氯化物型^[26]。本研究发现玛纳斯河灌区各层土壤(除 60~100 cm

和 200~300 cm)硫酸盐型盐渍土均占主导地位,其次是氯化物-硫酸盐型盐渍土。阿克苏-喀什噶尔河灌区各层土壤(除 30~60 cm 和 60~100 cm)氯化物-硫酸盐型盐渍土占主导地位,其次是硫酸盐型盐渍土。其原因可能与离子溶解度有关,硫酸盐溶解度比氯化物溶解度低,在土体中迁移缓慢,而氯化物移动性强,更容易在土体中迁移^[27]。北疆与南疆典型绿洲灌区盐渍化土壤理化性状与盐分离子分布特征均有差异性,因此在高标准农田改造与盐碱地综合利用过程中应根据灌区土壤养分、含盐量以及土壤盐渍化程度与类型,因地制宜合理进行灌排规划,根据作物需水需肥规律测土配方科学施肥,进一步提高盐渍化土壤利用率。

4 结论

(1)北疆玛纳斯河灌区和南疆阿克苏-喀什噶尔河灌区土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮含量均呈现随土层深度增加而逐渐降低的趋势。玛纳斯河灌区表层土壤(0~30 cm)和 0~100 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效钾、全氮含量和 pH 值平均值高于阿克苏-喀什噶尔河灌区,100~500 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效钾、全氮含量平均值低于阿克苏-喀什噶尔河灌区。

(2)阿克苏-喀什噶尔河灌区表层土壤(0~30 cm)全盐量和电导率平均值比玛纳斯河灌区分别高 21.14% 和 8.53%,60~100 cm 土层比玛纳斯河灌区分别低 17.55% 和 16.50%。玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区阳离子均以 Na^{+} 和 Ca^{2+} 为主,阴离子均以 SO_4^{2-} 、 Cl^{-} 为主, Na^{+} 和 SO_4^{2-} 分别为玛纳斯河灌区和阿克苏-喀什噶尔河灌区含量最高的盐基离子。

(3)玛纳斯河灌区 53.85% 的表层土壤(0~30 cm)属于盐渍土,硫酸盐型盐渍土占主导地位,其次是氯化物-硫酸盐型盐渍土。阿克苏-喀什噶尔河灌区 78.26% 的表层土壤(0~30 cm)属于盐渍土,氯化物-硫酸盐型盐渍土占主导地位,其次是硫酸盐型盐渍土。

参 考 文 献

[1] 李云霞,范军亮,关新元,等. 新疆灌区农业节水发展现状与对策建议[J]. 华中农业大学学报,2024,43(2):93-98.
LI Yunxia, FAN Junliang, GUAN Xinyuan, et al. Status and countermeasures of developing agricultural water saving in irrigation areas of Xinjiang[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2024, 43(2): 93-98. (in Chinese)

[2] BAI Zhentao, LIU Hongguang, LI Jing, et al. Eight-year comparison of agroeconomic benefits of open ditch and subsurface pipe drainage in mulched drip irrigated saline-sodic farmland[J]. Irrigation Science, 2023, 41: 687-699.

[3] 王小芳,李毅,姚宁,等.生物炭改良棉花-甜菜间作土壤理化性质与盐分效果分析[J]. 农业机械学报,2022,53(4):352-362.
WANG Xiaofang, LI Yi, YAO Ning, et al. Effects of biochar on soil physical and chemical properties and salt in cotton-sugarbeet intercropping field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(4): 352-362. (in Chinese)

- [4] 程昱润,肖国举,毕江涛,等.微生物肥料对贺兰山东麓土壤盐渍化特征及酿酒葡萄品质的影响[J].西南农业学报,2023,36(2):356-365.
CHENG Yurun, XIAO Guoju, BI Jiangtao, et al. Effects of microbial fertilizer on soil salinization characteristics and wine grape quality in the eastern foot of Helan Mountain[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(2): 356-365. (in Chinese)
- [5] 张东辉,赵英俊,秦凯,等.高光谱土壤多元信息提取模型综述[J].中国土壤与肥料,2018(2):22-28.
ZHANG Donghui, ZHAO Yingjun, QIN Kai, et al. A review of hyperspectral multivariate information extraction models for soils[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2018(2): 22-28. (in Chinese)
- [6] 张智韬,陈钦达,黄小鱼,等.基于加权算法的空-天遥感升尺度土壤含盐量监测模型[J].农业机械学报,2022,53(9):226-238,251.
ZHANG Zhitao, CHEN Qinda, HUANG Xiaoyu, et al. UAV-satellite remote sensing scale-up monitoring model of soil salinity based on dominant class variability-weighted method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(9): 226-238, 251. (in Chinese)
- [7] 吕真真,刘广明,杨劲松.新疆玛纳斯河流域土壤盐分特征研究[J].土壤学报,2013,50(2):289-295.
LÜ Zhenzhen, LIU Guangming, YANG Jinsong. Soil salinity characteristics of Manas River Valley in Xinjiang[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(2): 289-295. (in Chinese)
- [8] 李维弟,史晓艳,宋江辉,等.玛纳斯河流域不同地貌类型土壤理化性状与盐分离子组成主导因子分析[J].石河子大学学报(自然科学版),2022,40(1):75-83.
LI Weidi, SHI Xiaoyan, SONG Jianghui, et al. Analysis of dominant factors of soil physical and chemical properties and salt ion composition in different geomorphic types of Manas River Basin[J]. Journal of Shihezi University(Natural Science), 2022, 40(1): 75-83. (in Chinese)
- [9] 古丽格娜·哈力木拉提,木合塔尔·吐尔洪,于坤,等.喀什葛尔河流域盐渍化土壤盐分特征分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(1):169-173.
GLGGN·Halmurat, MHTR·Turhun, YU Kun, et al. Analysis on the characteristics of saline soil on Kashghar River Valley[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(1): 169-173. (in Chinese)
- [10] 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.
LI Xinguo, FAN Zili, LI Huizhi, et al. Analysis on the characteristics of soil salinization in the downstream of Kaidu River irrigation areas, Xinjiang[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(2): 147-151. (in Chinese)
- [11] 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.
ZHAI Jiangrui, BAI Yungang, 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. (in Chinese)
- [12] 陶汪海,邓铭江,王全九,等.西北旱区农业高质量发展体系的生态农业内涵与路径[J].农业工程学报,2023,39(20):221-232.
TAO Wanghai, DENG Mingjiang, WANG Quanjiu, et al. Ecological agriculture connotation and pathway of high-quality agricultural development system in northwest arid region[J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(20): 221-232. (in Chinese)
- [13] 梁飞,李云霞,关新元,等.长期大田滴灌对新疆农田水盐环境影响的研究进展[J].华中农业大学学报,2023,42(5):1-11.
LIANG Fei, LI Yunxia, GUAN Xinyuan, et al. Progress of effects of long-term field drip irrigation on water and salt balance of farmland in Xinjiang[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(5): 1-11. (in Chinese)
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:22-23.
- [15] 李会志.基于RS/GIS的开都河流域下游绿洲土壤盐渍化动态变化研究[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2010.
LI Huizhi. Study on dynamic changes of the oasis soil salinization in the lower reaches of Kaidu River Basin, Xinjiang based on RS and GIS[D]. Urumqi: Xinjiang Normal University, 2010. (in Chinese)
- [16] 任云霞.基于RS/GIS的绿洲土壤盐渍化特征分析——以开都河流域下游绿洲为例[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2011.
REN Yunxia. Characteristics analysis of salinization in the oasis based on RS/GIS: a case study in the oasis of the lower reaches of Kaidu River Basin[D]. Urumqi: Xinjiang Normal University, 2011. (in Chinese)
- [17] 周昌明,李授农,陈朋朋.一次性施肥模式对覆膜夏玉米产量与氮素利用的影响[J].农业机械学报,2020,51(10):329-337.
ZHOU Changming, LI Yuannong, CHEN Pengpeng. Effects of single application of fertilizer on yield and nitrogen utilization of mulching summer maize[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(10): 329-337. (in Chinese)
- [18] 杨磊,熊黑钢.不同地貌类型上的耕地土壤盐分因子与有机质含量特征分析及盐渍化风险评价[J].江苏农业科学,2019,47(10):256-261.
YANG Lei, XIONG Heigang. Analysis of soil salinity factor sand organic matter content and risk assessment of salinization for cultivated land with different landform types[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(10): 256-261. (in Chinese)

- RONG Dian. Study on rapid detection of navel orange surface defect based on machine vision and embedded system application [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017. (in Chinese)
- [25] 朱立学, 赖颖杰, 张世昂, 等. 基于改进 U-Net 的火龙果采摘图像分割和姿态估计方法[J]. 农业机械学报, 2023, 54(11): 180–188.
- ZHU Lixue, LAI Yingjie, ZHANG Shi'ang, et al. Image segmentation and pose estimation method for pitaya picking robot based on enhanced U-Net[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(11): 180–188. (in Chinese)
- [26] KARRAS T, AITTALA M, HELSTEN J, et al. Training generative adversarial networks with limited data[J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2020, 33: 12104–12114.
- [27] WANG Chienyao, BOCHKOVSKIY Alexey, LIAO Hongyuan. YOLOv7: trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors[J]. arXiv e-prints, arXiv: 2207. 02696, 2022.
- [28] HUSSAIN Muhammad, AL-AQRABI Hussain, MUNAWAR Muhammad, et al. Domain feature mapping with YOLOv7 for automated edge-based pallet racking inspections[J]. Sensors, 2022, 22(18): 6927.
- [29] ZHANG Yuan, SUN Youpeng, WANG Zheng, et al. YOLO v7 – RAR for urban vehicle detection[J]. Sensors, 2023, 23(4): 1801.
- [30] PAN Xuran, GE Chunjiang, LU Rui, et al. On the integration of self-attention and convolution [C] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2022: 815–825.
- [31] 王金鹏, 周佳良, 张跃跃, 等. 基于优选 YOLOv7 模型的采摘机器人多姿态火龙果检测系统[J]. 农业工程学报, 2023, 39(8): 276–283.
- WANG Jinpeng, ZHOU Jialiang, ZHANG Yueyue, et al. Multi-pose dragon fruit detection system for picking robots based on the optimal YOLOv7 model[J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(8): 276–283. (in Chinese)

(上接第 364 页)

- [19] 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, 7: 621.
- [20] 申孝军, 张笑培, 姚宝林, 等. 气候变化对新疆膜下滴灌花生适宜播期的影响[J]. 农业工程学报, 2023, 39(2): 107–115.
- SHEN Xiaojun, ZHANG Xiaopei, YAO Baolin, et al. Effects of climate change on the suitable sowing dates for peanut under mulched drip irrigation in Xinjiang[J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(2): 107–115. (in Chinese)
- [21] 邓铭江, 陶汪海, 王全九, 等. 西北现代生态灌区建设理论与技术保障体系构建[J]. 农业机械学报, 2022, 53(8): 1–13.
- DENG Mingjiang, TAO Wanghai, WANG Quanjiu, et al. Theory and technical guarantee system construction of modern ecological irrigation district in Northwest China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(8): 1–13. (in Chinese)
- [22] 苏媛, 田长彦, 买文选, 等. 滴灌条件下西北干旱区农田生物排盐研究进展与展望[J]. 土壤学报, 2023, 60(4): 925–938.
- SU Yuan, TIAN Changyan, MAI Wenxuan, et al. Progress and prospect of biological salt removal from farmland under drip irrigation in arid area of northwest China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2023, 60(4): 925–938. (in Chinese)
- [23] 王宁, 熊黑钢, 叶红云, 等. 准格尔盆地不同程度人类干扰下土壤盐分及离子组成特征[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 71–77, 189.
- WANG Ning, XIONG Heigang, YE Hongyun, et al. Different kinds of organic fertilizers and amounts on dryland soil fertility and corn yield in the current season[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019(6): 71–77, 189. (in Chinese)
- [24] 景宇鹏, 连海飞, 李跃进, 等. 河套盐碱地不同利用方式土壤盐碱化特征差异分析[J]. 水土保持学报, 2020, 34(4): 354–363.
- JING Yupeng, LIAN Haifei, LI Yuejin, et al. Analysis on the difference of soil salinization characteristics in Hetao saline-alkali soil with different land use[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(4): 354–363. (in Chinese)
- [25] 刘洪光, 白振涛, 李开明. 基于 HYDRUS-2D 模型的膜下滴灌暗管排水棉田土壤盐分变化[J]. 农业工程学报, 2021, 37(2): 130–141.
- LIU Hongguang, BAI Zhentao, LI Kaiming. Soil salinity changes in cotton field under mulched drip irrigation with subsurface pipes drainage using HYDRUS-2D model[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(2): 130–141. (in Chinese)
- [26] 丁邦新, 刘雪艳, 白云岗, 等. 塔河下游典型绿洲灌区土壤盐分空间变异特征[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(2): 264–273.
- DING Bangxin, LIU Xueyan, BAI Yungang, et al. Spatial variation of soil salinity in the typical oasis irrigation area of the lower reaches of Tarim River[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2020, 57(2): 264–273. (in Chinese)
- [27] 朱君, 李婷, 谢添, 等. 负水头环境土壤水分湿润锋运移三维模拟[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(4): 42–51, 58.
- ZHU Jun, LI Ting, XIE Tian, et al. Three-dimensional model and verification of soil wetting front migration in negative head environment[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(4): 42–51, 58. (in Chinese)