

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

刘 易,冯耀祖,黄 建,王新勇,祁 通,孟阿静

(新疆农科院土壤肥料与农业节水研究所,新疆 乌鲁木齐 830091)

摘 要: 利用5种不同的土壤改良剂,对矿化度在 $2\sim 3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的微咸水灌溉棉田土壤进行改良效果研究。结果表明:五种改良剂均降低土壤pH值和总盐含量,并能有效控制土体 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 积累;其中,磷石膏能显著降低土体 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 总含量($P<0.05$),DS1997能显著降低土体 Na^+ 、 HCO_3^- 总含量($P<0.05$),酸碱平衡剂显著降低土体 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 总含量($P<0.05$),禾康改良剂有效控制土体 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 含量;改良剂对土体中 Cl^- 改良效果不显著($P>0.05$)。研究得出:微咸水灌溉导致土壤pH值升高和含盐量增加,造成土壤盐分的积累;土壤改良剂可有效减少微咸水灌溉引起的盐分积累,改善土壤理化特性和盐分离子分布。

关键词: 土壤改良剂;微咸水灌溉;盐分离子;盐碱地改良

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A

Effects of modifiers on saline soil salt distribution under brackish water irrigation conditions

LIU Yi, FENG Yao-zu, HUANG Jian, WANG Xin-yong, QI Tong, MENG A-jing

(Xinjiang Academy of Agricultural Sciences of Soil Fertilizer and

Agricultural Water Saving Research Institute, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

Abstract: To clarify the influence of brackish water with $2\sim 3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ salinity on the improvement of cotton field soil, five kinds of soil amendments agents were used in this study. The results showed that all five agents could decrease pH values and total salt contents in the soil. Also, they could effectively control the accumulation of Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} and HCO_3^- . In particular, phosphogypsum could significantly decrease the total content of Na^+ , Ca^{2+} and SO_4^{2-} in the soil ($P<0.05$), and the DS1997 amendment could decrease the content of Na^+ and HCO_3^- significantly ($P<0.05$). The acid-base equilibrium amendment could significantly decrease the content of Ca^{2+} and SO_4^{2-} ($P<0.05$). In He Kang treatment, the contents of SO_4^{2-} and HCO_3^- in the soil were efficiently controlled. However, these five soil amendments did not show significant effects in controlling the accumulation of Cl^- ($P<0.05$) in this experiment. In conclusion, although brackish water irrigation could induce the increases of pH and saline contents in the soil, the soil amendments could limit and remit these effects significantly. In the meantime, soil amendments could improve the physicochemical characteristics and saline ion distribution in the soil.

Keywords: soil amendment agent; brackish water; saline iron; saline land improvement

新疆是我国最重要的后备耕地资源省区,耕地面积为501.1万 hm^2 ,其中盐渍化耕地面积164.0万 hm^2 ,占耕地面积32.8%^[1]。土壤盐渍化成为制约新疆农业健康可持续发展的主要障碍因子,而矿化

地下水是新疆形成大面积盐渍化土壤的重要因素之一^[2]。近年来,随着地表水的日益减少,地下水成为农业灌溉的主要水源之一。就农田灌溉而言,一般认为矿化度小于 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的为淡水, $2\sim 5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的为

收稿日期:2014-01-13

基金项目:新疆自治区公益性科研院所基本科研业务经费资助项目“新疆滴灌作物配套农艺调控技术研究与示范”(KY2013050);新疆农科院优秀青年科技人才基金项目“生物质碳输入对新疆盐渍化土壤水盐运移的影响”(xjnkq-2013012)

作者简介:刘 易(1983—),男,河北保定人,助理研究员,硕士,研究方向为盐渍化土壤改良与修复。E-mail:liuyun_5511@163.com。

通信作者:冯耀祖(1973—),男,甘肃武威人,副研究员,研究方向为土壤生态及农业节水。E-mail:fengyaozu@sina.com。

微咸水, $5 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的为咸水^[3]。实践和研究表明^[4-16], 微咸水利用具有双重效应: 一方面造成盐分在土壤中不同程度累积, 影响作物生长; 另一方面增加土壤水分, 降低土壤溶液浓度, 有利于作物根系对水分的吸收。如果不采取有效的措施, 微咸水灌溉就会造成土壤盐渍化。因此, 如何在保证土壤质量, 避免土壤退化和土地生产力水平下降的前提下, 最大限度地利用微咸水资源成为新疆农业可持续发展的瓶颈问题。前人结合土壤改良剂开展微咸水灌溉对于土壤结构影响的研究, 为土壤改良提供了理论指导意义^[17]。土壤改良剂的研究始于 19 世纪末, 距今已有 100 多年的历史^[18]。对改良剂在改良盐碱土上的应用研究很多, 其中, 改良剂则以石膏、硫酸铝、硫磺等为主, 有研究表明施用硫磺能有效降低土壤 pH 值, 增大 EC 值; 土壤中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量增加明显^[19]。施用适量的石膏可以增加土壤的总孔隙度, 土壤的 pH 值明显降低, 理化性质得到改善^[20]。研究主要集中在土壤理化性质的变化, 对于灌溉条件的影响因素研究较少。因此, 本文拟在微咸水滴灌条件下结合施用不同土壤改良剂, 以新疆主要经济作物棉花为试验材料, 对微咸水灌溉条件下施入改良剂后, 盐渍化土壤特性和盐分离子分布规律进行初步的研究。旨在明确不同土壤改良剂处

理条件下, 微咸水滴灌棉田中与土壤含盐量密切相关的阴离子和阳离子含量的变化、积累趋势的变化规律, 为新疆微咸水灌溉下盐渍土改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2013 年 4—10 月在喀什地区岳普湖县岳普湖乡 8 村三组进行。试验点土壤盐分类型是硫酸盐—氯化物盐渍化土壤。试验区土壤基本情况见表 1。

1.2 试验材料

试验所用棉花品种为鲁成二号, 土壤改良剂共 5 种, 采用前期试验总结的最佳施用量, 分别为: 禾康改良剂在播种后随水滴入处理小区, 用量为 $2 \text{ L} \cdot 667\text{m}^{-2}$ (处理 1); DS1997 固体改良剂在土地深翻前均匀撒入处理小区, 用量为 $300 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ (处理 2); 生物质黑炭在土地深翻前均匀撒入处理小区, 用量为 $1500 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ (处理 3); 磷石膏改良剂在播种前均匀撒入处理小区, 用量为 $300 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ (处理 4); 酸碱平衡剂在播种后以滴灌方式随水滴入处理小区, 用量为 $2 \text{ L} \cdot 667\text{m}^{-2}$ (处理 5); CK 为不施用改良剂 (处理 6)。

表 1 试验区土壤基本理化性质

Table 1 Basic conditions in the soil test area

pH 值 pH value	HCO_3^- $/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	Cl^- $/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	SO_4^{2-} $/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	Ca^{2+} $/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	K^+ $/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	Na^+ $/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$
7.38	0.1668	1.0546	7.1791	3.487	0.0648	1.0783
总盐 Total salt $/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	全氮 Total N $/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	有机质 Organic matter $/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	速效氮 Available N $/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	速效磷 Available P $/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	速效钾 Available K $/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	
13.7	0.229	6.047	33.3	8.65	169	

1.3 试验方法

试验采用微咸水膜下滴灌技术栽培棉花, 施用 5 种不同改良剂类型, 以不施用改良剂处理为对照, 共设 3 个重复, 小区面积为 125 m^2 。试验采用一膜单管滴管方式, 地膜宽幅 120 cm, 毛管单孔流量为 $3.2 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$; 播种前用土钻取土样, 测定土壤总盐为 $13.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 灌溉用水矿化度含量为 $2.67 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。棉花收获后用土钻取土壤样品进行分析, 取样分 3 个层次, 分别是: $0 \sim 20$ 、 $20 \sim 40$ 、 $40 \sim 60 \text{ cm}$ 。

土壤盐分离子测定方法^[21]: HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 用双指示剂滴定法; Cl^- 用 AgNO_3 滴定法; SO_4^{2-} 用 EDTA 间接滴定法; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用 EDTA 络合滴定法; K^+ 、 Na^+ 用火焰光度法测定; 土壤 pH 值采用数字酸

度计测定 (PHS.25 型)。

1.4 数据处理

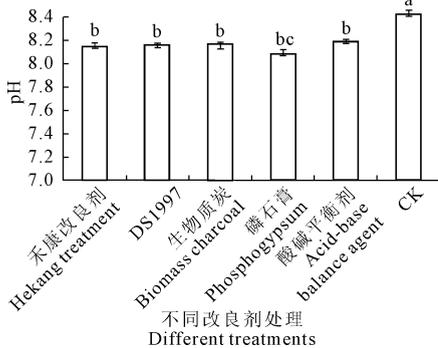
试验中所获得每处理 3 个重复的数据均采用 SPSS 16.0 统计软件进行方差分析和显著性检验 (Duncan 法, $P < 0.05$), 图形均采用 Microsoft Excel 绘制。

2 结果与分析

2.1 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对盐渍化土壤化学性质的影响

2.1.1 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对盐渍化土壤 pH 值的影响 pH 值是土壤重要的基本性质, 也是影响肥力的因素之一。它直接影响土壤养

分的存在状态、转化和有效性。播种前测定土壤 pH 值为 7.38, 微咸水灌溉条件下施用 5 种不同改良剂种植棉花后的土壤 pH 值都有所增加。对照 CK 的 pH 值达到了 8.44, 各改良剂处理土壤 pH 值都比对照低, 且差异显著, 其中磷石膏处理的 pH 值较对照低 4.04%, 各改良剂之间差异不显著。说明微咸水灌溉会导致土壤 pH 值增加, 这是由于滴灌的微咸水将水中的盐分带入土壤中, 使土壤中总盐增加, pH 值升高; 但施用改良剂能够控制由于微咸水灌溉导致的土壤 pH 值上升, 主要是由于大部分的改良剂为酸性改良剂, 施用后使土壤 H^+ 浓度上升, 因而对土壤酸碱度有一定的调节作用。



注: 不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著, 下同。

Note: Different letters hereinafter meant values showed significant differences at 0.05 levels. The same below.

图 1 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对土壤 pH 值的影响

Fig. 1 Effects of saline water irrigation on soil pH values using different amendments

2.1.2 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对盐渍化土壤总盐的影响 6 个处理与灌溉前比较(表 1, 图 2), 仅有对照的总盐增加, 增加 8.76%, 其余处理总盐均低于灌溉前, 推测微咸水灌溉虽增加土壤中盐分, 造成土壤耕层盐分积累, 但改良剂能够减弱盐分积累的危害, 同时结合滴灌将盐分向深土层淋洗, 在作物耕层形成淡化区。从图 2 可以看出, 与对照 CK 相比, 各处理的总盐含量都有所下降, 且差异显著, 其中处理 4(磷石膏)和处理 2(DS1997)的降幅最大, 分别下降了 30.87% 和 26.31%。说明施用磷石膏能最大程度降低土壤总盐含量。施用改良剂后土壤总盐含量显著降低, 可能是提高了土壤的盐基交换能力, 使土壤中可溶性盐分减少, 土壤的阳离子交换量增大, 盐分溶解度大大降低, 加之土壤结构改善, 自然淋盐加强, 导致土壤中总盐含量降低。

2.2 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对盐渍化土壤盐分分布的影响

2.2.1 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂土壤含

盐量分布特征 由图 3 可知, 0~60 cm 土层对照处理含盐量均高于改良剂处理, 说明微咸水灌溉条件下施用不同改良剂能抑制盐分积累。对照处理在 0、40 cm 深度的土壤积盐量较高, 20 cm 土层的土壤盐分最低。这是由于试验区地处半干旱大陆性季风气候区, 降水量小于蒸发量, 地表蒸发强烈, 且地下水埋藏较浅, 加之微咸水携盐分随滴灌进入土层, 并不断积累, 导致盐分聚集, 土壤极易积盐返盐。

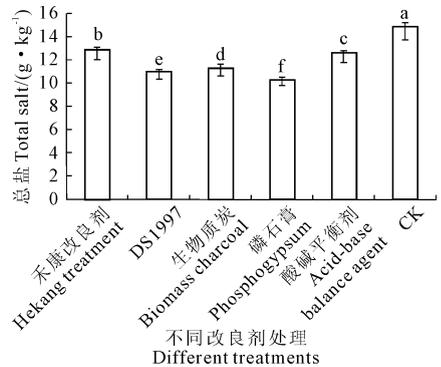


图 2 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对土壤总盐的影响

Fig. 2 Effects of saline water irrigation on soil total salt content using different amendments

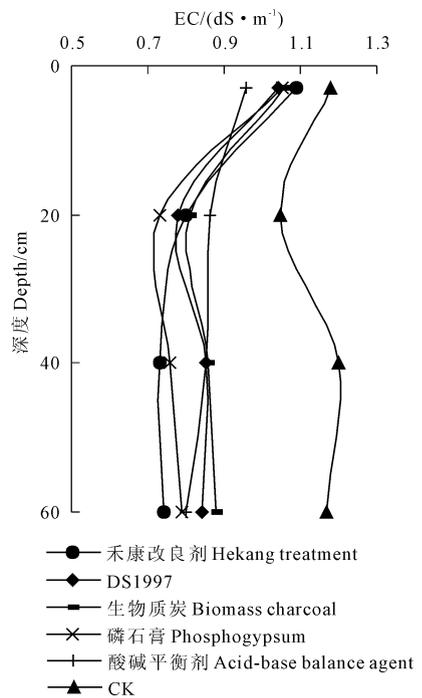


图 3 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对土壤电导率的影响

Fig. 3 Effects of saline water irrigation on soil conductivity using different amendments

改良剂处理在 20 cm 土层深度盐分含量最低, 随着土层深度的增加, 土层盐分小幅度增加。微咸水通过灌溉将盐分带入土壤导致盐分积累, 但施入

改良剂后 0~40 cm 土层内土壤盐分积累均受到不同程度的抑制,其中 10~20 cm 抑制效果最佳,0~10 cm 次之,改良剂通过离子交换、酸碱平衡等方式降低了微咸水灌溉带入盐分对土壤理化性质的影响,增加土壤渗透性和通气性,改善作物生长环境。20~40 cm 土层含盐量有回升趋势。滴灌措施使滴头下方形成耕层淡化区,盐分含量较低,但由于微咸水带入盐分和上层土壤盐分淋洗在湿润锋下端使盐分含量小幅度增加。

微咸水灌入土壤后,土壤溶液内部以及土壤溶液与土壤固相物质间将发生诸如溶解、沉淀、吸附、解吸、离子交换等一系列复杂的化学反应。停止灌水后,土壤溶液中的盐分也会随土面蒸发水分移动至地表。但改良剂输入能通过自身物理、化学特性抑制土壤盐分积累。其中,对 0~20 cm 土层盐分的抑制效果最为显著,且禾康改良剂和磷石膏改良剂的抑制效果较突出。

2.2.2 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对土壤阳离子的影响 如图 4 所示,各处理 Na⁺ 含量与含盐量的变化趋势具有高度的一致性,均随土层深度的增加逐渐增大。且对照 Na⁺ 含量在 0~60 cm 土层均高于改良剂处理,说明改良剂能够与土壤中以

及微咸水中的 Na⁺ 发生置换、中和等反应,降低土壤 Na⁺ 含量。对照处理 0~40 cm 土层,随土层深度增加,Na⁺ 含量逐渐增加,由 0.635 g·kg⁻¹ 增至 1.006 g·kg⁻¹,增幅达 58.43%。改良剂处理 Na⁺ 含量在 0~20 cm 土层均呈现减少或保持稳定的趋势,这是由于 Na⁺ 主要分布在湿润体外部,且分布不均匀,湿润体内 Na⁺ 含量相对较低。其中磷石膏和酸碱平衡剂处理 Na⁺ 含量减少 37.24%、12.38%,差异显著 ($P < 0.05$)。40~60 cm 土层,磷石膏和酸碱平衡剂处理 Na⁺ 含量逐渐增多,在 60 cm 土层达到最大。这主要与 Na⁺、Ca²⁺ 的盐基交换有关,微咸水以及改良剂中大量的 Ca²⁺ 在土壤表层将 Na⁺ 从胶体表面上置换出来,进入土壤溶液,部分 Na⁺ 被微咸水淋洗进入深层土壤溶液。其余改良剂处理 Na⁺ 含量在 0~20 cm 土层变化差异不显著 ($P > 0.05$),20~60 cm 土层呈现小幅度增加,在 40~60 cm 土层又逐渐减少。说明土壤深度 40 cm 以下的 Na⁺ 含量受灌溉水的影响较小。改良剂处理后土壤中 Na⁺ 含量总体表现为:对照处理 > 禾康改良剂 > 生物质炭 > 酸碱平衡剂 > DS1997 > 磷石膏,说明改良剂均降低土壤中 Na⁺ 含量,减轻 Na⁺ 危害,其中以磷石膏和 DS1997 较为显著 ($P < 0.05$),较对照分别降低 70.75% 和 65.14%。

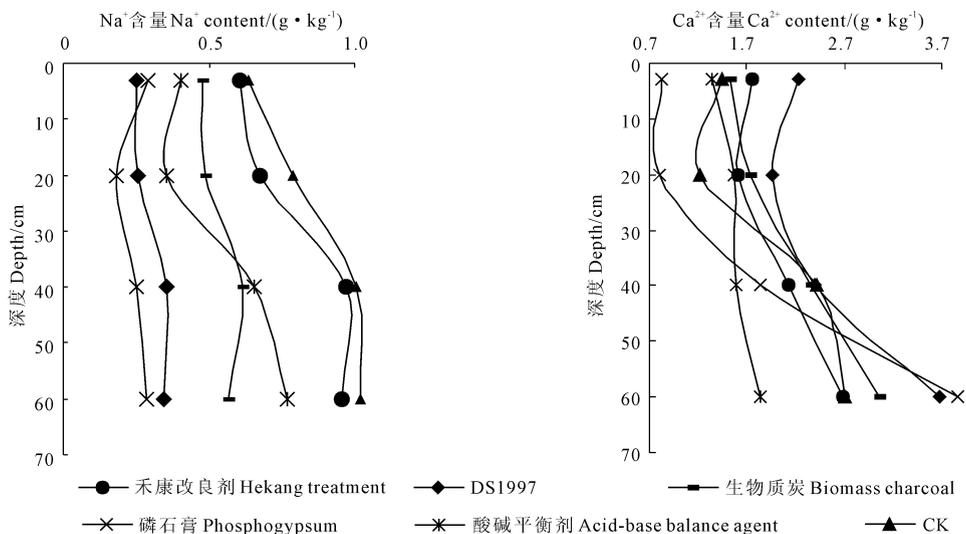


图 4 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对土壤阳离子分布的影响

Fig.4 Effects of saline water irrigation on cation distribution in the soil using different amendments

微咸水灌溉条件下施入改良剂后土壤垂直剖面内 Ca²⁺ 含量随土层深度增加逐渐增大,60 cm 处达到累积峰值。这表明 Ca²⁺ 在盐碱土壤中易随水分迁移,随着毛管水的运动,微咸水和改良剂中所含的 Ca²⁺ 运移到土壤深层。在微咸水滴灌处理土壤剖面 20 cm 处,Ca²⁺ 积累量显著降低,DS1997 处理 Ca²⁺ 含量下降较显著 ($P < 0.05$),由 2.23 g·kg⁻¹ 下降至

1.96 g·kg⁻¹,随后是对照处理、禾康改良剂、磷石膏。这表明,由于 Ca²⁺ 容易被土壤胶体吸附,微咸水灌溉带入大量 Ca²⁺ 在土壤剖面内分布较均匀,20 cm 处 Ca²⁺ 含量的显著降低可能与滴灌水源中过多的 Na⁺ 有关。磷石膏处理的 Ca²⁺ 含量在 0~20 cm 土层含量最低,但在 40~60 cm 土层呈现逐渐积累趋势,在 60 cm 的积累量达到最大,推测与磷石膏自

身所含 Ca^{2+} 含量相关。生物质碳处理 Ca^{2+} 含量在 0~60 cm 土层一直处于增加态势,由 $1.52 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加至 $3.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,推测与生物质碳的多孔结构导致土壤孔隙度和保水性能相关^[25]。改良剂处理后土壤中 Ca^{2+} 含量总体表现为:DS1997 > 生物质炭 > 禾康改良剂 > 对照处理 > 磷石膏 > 酸碱平衡剂,说明磷石膏和酸碱平衡剂显著降低土壤 Ca^{2+} 总含量($P < 0.05$)。

2.2.3 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对土壤阴离子的影响 由图 5 可知,在微咸水灌溉条件下施入不同改良剂后,0~60 cm 土层内 Cl^- 含量随着

土层深度的增加而增大。改良剂处理土壤 0~20 cm 内 Cl^- 变化差异不显著($P < 0.05$),但在 20~40 cm 土层深度显著升高($P < 0.05$),在 60 cm 土层中形成累积峰值。这是因为频繁的微咸水灌溉水分的淋洗作用下 Cl^- 主要分布在湿润体外部,湿润体内含量相对较低。其中,禾康改良剂处理土壤剖面所有层次 Cl^- 含量均显著高于其他处理($P < 0.05$),在 60 cm 土层处达到 $0.93 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。改良剂处理后土壤中 Cl^- 含量总体表现为:禾康改良剂 > 酸碱平衡剂 > 生物质炭 > DS1997 > 磷石膏 > 对照处理,说明改良剂处理在微咸水灌溉条件下均降低土壤中 Cl^- 含量。

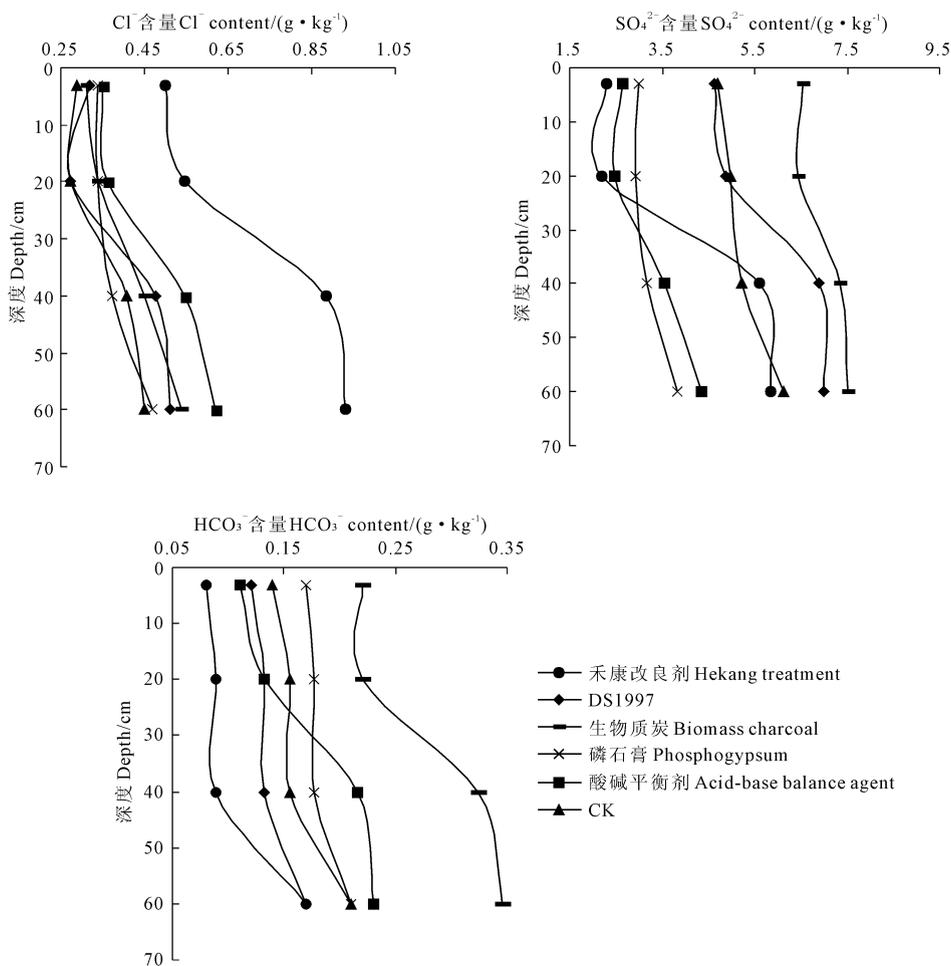


图 5 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对土壤阴离子分布的影响

Fig.5 Effects of saline water irrigation on anion distribution in the soil using different amendments

在微咸水灌溉条件下施用不同改良剂土壤剖面内 SO_4^{2-} 主要积累于土壤的深层,在 60 cm 处达到峰值。从不同处理来看,禾康改良剂、磷石膏和酸碱平衡剂在 0~20 cm 土层中 SO_4^{2-} 含量较低,20 cm 处仅为 2.19 、 $2.93 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $2.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,禾康改良剂处理在 20 cm 以下土层中 SO_4^{2-} 含量显著增加($P < 0.05$),60 cm 土层处达到 $5.84 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。酸碱平衡剂、磷石膏和生物质炭处理的 SO_4^{2-} 含量并未因淋

洗而发生显著降低,而在 40~60 cm 累积,推测因为磷石膏改良剂含有大量 SO_4^{2-} ,生物质炭具有极高的吸附能力。同时,生物质炭的吸附特性,导致该处理在不同土层中的 SO_4^{2-} 含量显著高于其他处理。改良剂处理后土壤中 SO_4^{2-} 含量总体表现为:生物质炭 > DS1997 > 对照处理 > 禾康改良剂 > 酸碱平衡剂 > 磷石膏,说明磷石膏、酸碱平衡剂和禾康改良剂降低土壤中 SO_4^{2-} 含量。

各改良剂处理土壤 HCO_3^- 含量在 0~20 cm 土层的变化不显著 ($P > 0.05$), 生物质炭和酸碱平衡剂处理在 20~40 cm 土层 HCO_3^- 含量显著增加, 分别达到 $0.32 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.22 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 推测可能与生物炭的吸附作用以及酸碱平衡剂自身携带的离子含量相关。其余 4 个处理增幅不显著 ($P > 0.05$)。各处理 HCO_3^- 含量在 40~60 cm 土层均有累积, 禾康改良剂、DS1997、磷石膏和对照的增幅较大, 生物质炭和酸碱平衡剂增幅较小。 HCO_3^- 在土壤剖面内的变化规律与其在土壤系统中属于易于被土壤胶体吸附的盐分离子有关, 当灌溉所用微咸水从滴头进入土壤后, HCO_3^- 大部分极易吸附在湿润体内部。改良剂处理后土壤中 HCO_3^- 含量总体表现为: 生物质炭 > 磷石膏 > 酸碱平衡剂 > 对照处理 > DS1997 > 禾康改良剂, 说明禾康改良剂和 DS1997 能有效降低土壤中 HCO_3^- 总含量。

3 讨 论

有效控制或减少土壤中盐的积累, 提高有害盐分从土壤耕层中的排出能力, 是实现微咸水农田安全灌溉的一个重要土壤技术环节, 也是目前利用微咸水进行农田灌溉中需要解决的难题^[20]。我国微咸水的农业利用方式是灌溉作物和淋洗盐碱土^[3], 改良剂的施用结合灌溉方式、栽培技术是微咸水利用的一个新方式。施用土壤改良剂能够提高土壤向土体外或向深层排盐能力, 改善作物生长的土壤环境。本研究表明, 在微咸水滴灌条件下施用改良剂均具有去盐效果。这一方面和改良剂自身具有的理化特性相关; 同时, 滴灌和铺膜栽培是微咸水利用中必要的栽培技术。高效用水离不开先进的灌溉技术, 滴灌这一灌溉方式可以有效地控制灌水量, 且灌水系统中水量分布均匀, 作物一直处于高水势环境下, 有利于作物生长平衡, 并能产生较好的盐分淋洗作用; 滴灌水分一滴滴渗入土体, 土壤中盐分分布为长球型, 球心部分含盐量最低, 外围含盐量较高, 空气可以从球体外围进入球心。球心部分的低盐区为作物生长创造了较为适宜的生长环境, 而且其中充足的氧气也可减轻盐分的毒害作用^[22-26]。覆膜栽培有效抑制因蒸发而上升的水分, 减少地表蒸腾作用, 一定程度上减少土壤盐碱化, 导致盐分离子在土层中累积深度与漫灌方式不同, 盐分离子被淋溶至耕层以下。优良的土壤改良剂配合先进的灌溉覆膜栽培技术, 有望为微咸水在盐渍化土壤上的应用提供一个新的思路。

但是, 本研究中仅提出了“滴灌 + 覆膜 + 改良

剂”这一微咸水灌溉土壤水盐调控模式, 许多方面并未进行深入细致地研究: (1) 土壤改良剂用量的多少直接影响改土效果, 若施用量过少, 团粒形成量少, 改良土壤效果不明显, 甚至无改土效果; 施用量太大, 成本提高, 造成浪费, 有时还会发生混凝土化现象, 起到反作用^[18]。因此根据土壤和土壤改良剂的性质确定改良剂最佳施用量是非常必要的; (2) 合适的灌溉量能起到较好的抑盐控盐效果, 灌溉量、灌溉次数、灌溉时期等对土壤和作物生长, 特别是作物耐盐敏感期的研究并未深入; (3) 就农田灌溉而言, 一般认为矿化度小于 $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的为淡水, $2\sim 5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的为微咸水, $5\sim 10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的为咸水^[3], 在“滴灌 + 覆膜 + 改良剂”模式下, 灌溉用水矿化度范围及应用效果与改良剂施用量的变量关系确定至关重要, 今后的试验将针对以上问题进行深入研究。

4 结 论

在微咸水灌溉条件下输入 5 种改良剂, 能改变土壤中盐分离子含量和运移: 1) 微咸水灌溉均导致土壤 pH 值上升, 改良剂施用能有效控制灌溉导致的土壤 pH 值变化, 并降低土壤总盐含量; 2) 与对照相比, 改良剂均降低土壤中 Na^+ 总含量, 20 cm 土层处 Na^+ 含量最低, 20~40 cm 逐渐累积, 60 cm 处达到最大。改良剂处理中磷石膏和 DS1997 能显著降低土壤 Na^+ 总含量 ($P < 0.05$), 较对照分别降低 70.75% 和 65.14%; 3) Ca^{2+} 含量在 0~20 cm 土层降至最低, 后随土层深度增加逐渐累积, 60 cm 处达到最大。改良剂处理中磷石膏和酸碱平衡剂显著降低土壤 Ca^{2+} 总含量 ($P < 0.05$); 4) 改良剂处理降低土体中 Cl^- 含量效果不显著 ($P > 0.05$), Cl^- 在 40~60 cm 深度的土层中有显著积累; 5) SO_4^{2-} 主要积累于土壤的深层, 在 60 cm 处达到峰值。禾康改良剂、磷石膏和酸碱平衡剂在 0~20 cm 土层中 SO_4^{2-} 含量较低, 分别为 2.19 、 $2.93 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $2.49 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 6) HCO_3^- 含量在 0~20 cm 土层的变化不显著 ($P > 0.05$), 但各处理 HCO_3^- 含量在 40~60 cm 土层均有累积。禾康改良剂和 DS1997 能有效降低土壤中 HCO_3^- 总含量; 7) 在微咸水灌溉条件下, 综合 5 种改良剂对土壤理化性质改良效果得出, 磷石膏具有更好的盐碱改良效果。

综上所述, 微咸水灌溉会增加土壤的 pH 值和含盐量, 造成土壤盐分的积累。而改良剂能在不同程度上降低土壤的 pH 值、总碱度, 使土壤的理化性质得到改善, 调节土壤水、肥、气、热状况中的某些部分或全部, 最终促使土壤向良性方向转化。

参考文献:

- [1] 樊自立, 乔木, 李和平. 新疆绿洲盐渍化耕地的水盐动态类型及改良分区[C]//中国土壤学会第十一届全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥科学术交流研讨会论文集. 北京: 中国土壤学会, 2008.
- [2] 文振旺. 新疆土壤地理[M]. 北京: 科学出版社, 1965.
- [3] 郑九华. 咸水灌溉[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [4] 白 瑛, 张祖锡. 灌溉水污染及其效应[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1988.
- [5] 陈邦本. 江苏滨海地区回归水灌溉对土壤碱化可能性的探讨[J]. 土壤通报, 1987, 18(5): 193-195.
- [6] 崔金荣, 刘 辉. 不同矿化度咸水造墒对棉花、玉米出苗的影响[J]. 农田水利与小水电, 1994, (11): 11-13.
- [7] 鲁纯养, 凌礼章, 孙建华, 等. 咸水灌溉对小麦产量及籽粒品质的影响[J]. 农田水利与小水电, 1986, (12): 3-7.
- [8] 毛建华. 碱性水和咸水灌溉对土壤的影响及其改造与利用研究[J]. 土壤通报, 1984, 21, (1): 79-86.
- [9] 乔玉辉. 微咸水灌溉对盐渍化地区冬小麦生长影响与土壤环境效应[J]. 土壤肥料, 1999, (4): 11-14.
- [10] 肖振华. 灌溉水质对土壤化学特征和作物生长的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(3): 272-285.
- [11] 张展羽. 微咸水灌溉对苗期玉米生长和生理性状的影响[J]. 灌溉排水, 1999, 18(1): 18-22.
- [12] 杨树青, 史海滨, 杨金忠, 等. 干旱区微咸水灌溉对地下水环境影响的研究[J]. 水利学报, 2007, (5): 565-574.
- [13] 张俊鹏, 孙景生, 张寄阳, 等. 棉花微咸水灌溉技术研究现状与展望[J]. 节水灌溉, 2010, (10): 56-63.
- [14] 杨建国, 樊丽琴, 邵日坤, 等. 微咸水灌溉对土壤盐分和春玉米生长发育的影响[J]. 浙江农业学报, 2010, (6): 813-817.
- [15] Ahmed O, Inoue M, Moritani S. Effect of saline water irrigation and manure plication on the available water content, soil salinity, and growth of wheat[J]. Agricultural Water Management, 2011, 97(1): 165-170.
- [16] Li F, Yan Hong, Pang Changle, et al. Soil hydraulic conductivity affected by slight saline water irrigation in North China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(2): 73-80.
- [17] 王全九, 毕远杰, 吴忠东. 微咸水灌溉技术与土壤水盐调控方法[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, (5): 559-564.
- [18] 杨丽丽, 董肖杰, 郑 伟. 土壤改良剂的研究利用现状[J]. 河北林业科技, 2012, 4(2): 28-32.
- [19] 李新平, 刘 刚, 吕家珑, 等. 银北地区硫磺改良盐碱土初探[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(4): 79-82.
- [20] 高玉山, 朱知运, 等. 石膏改良苏打盐碱土田间定位试验研究[J]. 吉林农业科学, 2003, 28(6): 26-31.
- [21] 史瑞和, 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1980.
- [22] 李维江, 董合忠. 以色列盐水灌溉及研究现状[J]. 作物杂志, 1998, (3): 14-16.
- [23] 张 伟, 吕 新, 李鲁华, 等. 新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律[J]. 农业工程学报, 2008, (8): 15-19.
- [24] 马富裕, 周治国, 郑 重, 等. 新疆棉花膜下滴灌技术的发展与完善[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 202-208.
- [25] 阮明艳. 咸水膜下滴灌对棉花产量效应及土壤水盐环境的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [26] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Amelioration physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review[J]. Biol Fertil Soils, 2002, 35: 219-230.
- [23] 王振忠, 董百舒, 吴敬民. 太湖稻麦地区秸秆还田增产及培肥效果[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(2): 269-271, 274.
- [24] 高利伟, 马 林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179.
- [25] 姜 涛. 氮肥运筹对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 559-565.
- [26] 邹晓锦, 张 鑫, 安景文. 氮肥减量后移对玉米产量和氮素吸收利用及农田氮素平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011, (6): 25-29.
- [27] 刘立军, 徐 伟, 唐 成, 等. 土壤背景氮供应对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(4): 343-349.
- [28] 李久生, 李 蓓, 宿梅双. 冬小麦氮素吸收及产量对喷灌施肥均匀性的响应[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1600-1607.
- [29] 徐国伟, 谈桂露, 王志琴, 等. 秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2736-2746.
- [30] Singh Y, Gupta R K, Singh G, et al. Nitrogen and residue management effects on agronomic productivity and nitrogen use efficiency in rice – wheat system in Indian Punjab[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 84(2): 141-154.
- [31] 徐凤花, 刘永春, 王伟东, 等. 秸秆还田的增磷作用及对植株全磷含量干物质积累的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1997, 9(3): 1-5.
- [32] 李秋梅, 陈新平, 张福锁, 等. 冬小麦 – 夏玉米轮作体系中磷钾平衡的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 152-156.
- [33] 刘学军, 巨晓棠, 张福锁. 减量施氮对冬小麦 – 夏玉米种植体系中氮利用与平衡的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 458-462.
- [34] 赵炳梓, 徐富安. 水肥条件对小麦、玉米 N、P、K 吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(3): 260-266.
- [35] Pathak H, Mohanty S, Jain N, et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium budgets in Indian agriculture[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 86(3): 287-299.
- [36] Gallejones P, Castellón A, Del Prado A, et al. Nitrogen and sulphur fertilization effect on leaching losses, nutrient balance and plant quality in a wheat-rapeseed rotation under a humid Mediterranean climate[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2012, 93(3): 337-355.
- [37] Pardo G, Cavero J, Aibar J, et al. Nutrient evolution in soil and cereal yield under different fertilization type in dryland[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 84(3): 267-279.

(上接第 84 页)