

DOI: 10. 11766/trxb201307080318

不同种植年限盐碱荒地土壤盐分离子分布特征*

宋楠¹ 杨思存^{1,2} 刘学录^{1†} 王成宝² 霍琳²

(1 甘肃农业大学资源与环境学院, 兰州 730070)

(2 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070)

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF SOIL SALT IONS IN SALINE LAND RELATIVE TO CULTIVATION HISTORY

Song Nan¹ Yang Sicun^{1,2} Liu Xuelu^{1†} Wang Chengbao² Huo Lin²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

(2 Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

关键词 种植年限; 盐碱荒地; 盐分离子; 分布特征; 引黄灌区; 甘肃

中图分类号 S156.4 **文献标识码** A

甘肃沿黄灌区是继河西走廊之后的第二个综合农业商品生产基地, 辖 19 个县区, 区域面积约 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省总土地面积的 10.54% 和总人口的 24.7%。由于有黄河及其众多支流的水源, 从 20 世纪 60 年代开始, 相继建成了景电、兴电、刘川、靖会、引大、皋兰西岔、榆中三角城等几十处电力提灌工程, 农田实灌面积达 $3.845 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 极大地改善了这一区域的农业生产条件, 产生了良好的经济和社会效益^[1-3]。在沿黄灌区, 高扬程灌溉是其农业的主体, 约占全区灌溉面积的 90% 左右, 也是甘肃省移民开发的主要区域。高扬程灌区的新垦荒地在引水灌溉前是在新构造运动和不断侵蚀过程中形成的山前倾斜平原、古老河成阶地、起伏土丘和土质低山, 由于气候干旱、降水稀少, 土壤中过去积累下来的盐分仍大量残留于土壤中。引水灌溉后, 土地经过平整, 形成多级梯度的台塬, 虽然能有一些产量, 但仍然面临土壤贫瘠、养分含量低、盐分含量高、保水保肥能力差、通气性和透水性不良等问题, 亟需通过脱盐改造来实现高产稳产^[4-6]。大量研究表明, 合理耕作、施肥、灌溉等措施可以

减少蒸发、破除板结、改善土壤通气状况, 促进土壤脱盐和抑制返盐^[7-10]。本研究通过比较和分析新垦盐碱荒地、种植 3 a 和 6 a 后土壤盐分、pH 及盐分离子在剖面上分布特征的差异, 来探讨综合改良条件下不同种植年限盐碱耕地土壤化学性质的变化规律, 从而为加强现代农业技术条件下新垦盐碱荒地的科学合理改良利用和区域盐碱地生产能力的提升提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省靖远县北滩乡景滩村 ($37^\circ 05' \text{ N}, 104^\circ 40' \text{ E}$), 属兴电灌区的中游, 海拔高度在 1 386 ~ 1 705 m, 是黄河水经 9 级泵站提升 480 m 形成的新灌区, 灌区总控制灌溉面积约 $2.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 其中盐碱耕地面积 $6.6 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 占 31.12%, 大多为新开垦的盐碱荒地, 成土母质为洪积黄土, 土层厚度 3 ~ 27 m, 土壤类型为灰钙土, 地下水埋深在 40 m 以下, 矿化度 $> 13 \text{ g L}^{-1}$ 。该区处在旱地农

* 公益性行业(农业)科研专项(200903001)资助

† 通讯作者, E-mail: liuxl@gsau.edu.cn

作者简介: 宋楠(1990—), 女, 甘肃庆阳人, 硕士研究生, 从事土地资源管理与利用研究。E-mail: 739720225@qq.com

收稿日期: 2013-07-08; 收到修改稿日期: 2013-08-29

业向荒地牧地过渡线以北,属黄土丘陵沟壑干旱区,由于受青藏高原和腾格里沙漠的影响,形成了大陆性干旱荒漠气候,年降雨量只有 200~300 mm,而蒸发量却在 2 000 mm 以上,蒸发量是降雨量的 5 倍~10 倍^[11];区内年平均气温 6.6℃,大于 0℃ 和 10℃ 的积温分别为 3 200℃ 和 2 600℃ 左右,无霜期 160~170 d,年日照时数 2 900 h 左右,辐射量 616.2 kJ cm⁻²。

1.2 试验设计

甘肃引黄高扬程灌区的新垦盐碱荒地平整后,一般要经过 2 700~3 000 m³hm⁻² 的冬灌洗盐,之后采用玉米→玉米→油葵的轮作方式,第 1 年种植玉米时基施优质农家肥 90 t hm⁻²、磷肥(P₂O₅) 300 kg hm⁻²、氮肥(N) 150 kg hm⁻²,玉米大喇叭口期追施氮肥(N) 225 kg hm⁻²;第 2 年和第 3 年在旧膜上种植,只施氮肥,玉米施氮量与第 1 年相同,油葵施氮量(N) 为 180 kg hm⁻²,40% 作基施,60% 于现蕾期追施。灌溉方面通常采用当地生产栽培条件下已经成熟的灌溉制度,即玉米全年灌水 5 次,灌溉定额 6 750 m³ hm⁻²,灌水分配比例为出苗—拔节 13%、拔节—抽雄 22%、抽雄—乳熟 25%、乳熟—成熟 20%、冬灌 20%;油葵全年灌水 4 次,灌溉定额 4 800 m³ hm⁻²,灌水分配比例为出苗—现蕾 22%、现蕾—盛花 25%、盛花—成熟 28%、冬灌 25%。第 4 至第 6 年采用相同的轮作模式和施肥、灌溉管理方式。

本研究分别在新开垦盐碱荒地(平整后未灌水)和采用玉米—玉米—油葵轮作方式种植 3 a、6 a 的地块采集土样,采样是在 2010 年秋季作物收获后、冬灌前进行(10 月 16 日~18 日),此时土壤盐分变化受灌水和冻融影响较小,相对较稳定,基本能反映不同种植年限盐碱耕地的盐分变化情况。采样时每种类型的盐碱地各选 5 个样点,在每个样点周围 10 m 范围内分 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 随机采取 5 个样本,将相同层次的土样充分混合后代表该样点土样。将采集的土样带回实验室后自然风干,磨碎、过 2 mm 筛后装入自封袋中备用。

1.3 测定项目及方法

土壤样品室内分析选取的指标为水溶性总盐、pH 和盐分离子,其中:水溶性总盐用 DDS-308A 型电导率仪测定(土壤浸提溶液的水土比为 5:1);pH 使用德国 Sartorius 公司 pH 电极(PB-10 标准型酸度计)测定;CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 用双指示剂盐酸中和滴定

法测定;Cl⁻ 用 AgNO₃ 滴定法测定;SO₄²⁻ 用 EDTA 间接络合滴定法测定;Ca²⁺、Mg²⁺ 用 EDTA 滴定法测定;K⁺、Na⁺ 用火焰光度法^[12] 测定。

1.4 数据处理

钠吸附比(Sodium absorption ratio, SAR) 的计算:

$$SAR = [Na^+] / \sqrt{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) / 2}$$

由于在土壤剖面上的取样间距不一样,在分析数据时采用了加权平均值。加权平均值 = Σ (样品含量 × 取样深度 / 分析深度),文中的平均值均指加权平均值。

采用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据及制图,用 SAS8.0 统计软件进行相关的统计分析。

2 结果

2.1 不同种植年限盐碱耕地水溶性总盐分布特征

由图 1 可以看出,3 种类型耕地土壤剖面的含盐量均是上层最低,越往下层越高,说明该地区的土壤盐分存在底聚现象。随着种植年限的增加,各土层的含盐量均呈显著降低趋势。新垦盐碱荒地 0~100 cm 土层含盐量的平均值为 3 282 μ S cm⁻¹;种植 3 a 后下降至 1 838 μ S cm⁻¹,降低了 44%;种植 6 a 后进一步降至 827 μ S cm⁻¹,降幅达 75%。由此可见,种植作物,增加地面覆盖度是改良盐碱地的必要条件,而合理的轮作模式和施肥、灌溉管理方式加快了土壤脱盐过程。

2.2 不同种植年限盐碱耕地 pH 变化特征

从图 2 可以看出,新垦盐碱荒地 0~100 cm 土层的 pH 变幅不大,在 8.46~8.57 之间,加权平均值为 8.55,各土层之间没有明显的规律性。随着种植年限的增加,土壤 pH 有明显增加的趋势。种植 3 a 和 6 a 土壤 pH 的加权平均值分别达到 8.66 和 8.77,增加了 1.8% 和 3.2%,且越往上层越高,0~10 cm 土层分别达到 8.87 和 9.08,说明土壤有碱化的趋势。这可能是由于灌区耕地均呈梯级分布,又采用大水漫灌和串灌等方式,部分低矿化度的碱性水通过侧渗进入下一级水渠和农田,导致土壤发生了碱化^[2]。

2.3 不同种植年限盐碱耕地土壤阴离子分布特征

2.3.1 阴离子分布 从图 3a 可以看出,无论是新垦盐碱荒地,还是种植 3 a 和 6 a 后的耕地,0~100 cm 土层的 HCO₃⁻ 含量均没有明显的规律性。但从 0~10 cm 土层来看,其变化趋势与 pH 一致,

均是随着种植年限的增加而明显增加。种植 3 a 后增加了 0.155 g kg⁻¹,增幅达 79%;种植 6 a 后增加

了 0.349 g kg⁻¹,增幅达 178%,这也与灌区土壤脱盐改造后发生碱化的现象相吻合。

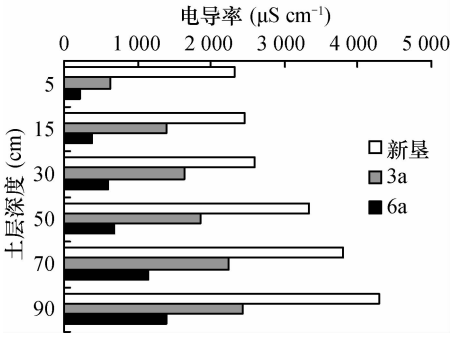


图 1 不同种植年限土壤盐分分布

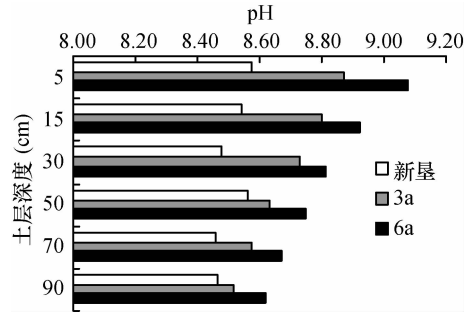


图 2 不同种植年限土壤 pH 的变化

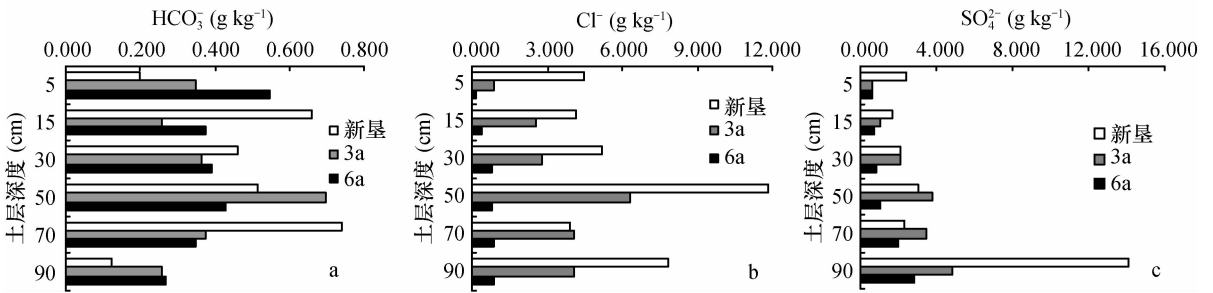


图 3 不同种植年限阴离子在 0~100 cm 土壤剖面的分布

从图 3b 可以看出,新垦盐碱荒地 0~100 cm 土层 Cl⁻ 含量的变幅较大,在 3.924~11.84 g kg⁻¹ 之间,40~60 cm 土层最高,全剖面的加权平均值为 6.618 g kg⁻¹。随着种植年限的增加,Cl⁻ 含量明显降低,变幅也进一步缩小。种植 3 a 的变幅在 0.843~6.334 g kg⁻¹ 之间,也是 40~60 cm 土层最高,加权平均值为 3.799 g kg⁻¹,降低了 43%;种植 6 a 的变幅在 0.136~0.886 g kg⁻¹ 之间,0~10 cm 土层最低,越往下层越高,全剖面的加权平均值为 0.723 g kg⁻¹,降低了 89%。

从图 3c 可以看出,除新垦盐碱荒地 80~100 cm 土层 SO₄²⁻ 含量较高外,其他土层无论是种植 3 a 还是 6 a,变幅均不大,分别为 0.645~3.756 g kg⁻¹ 和 0.644~2.818 g kg⁻¹,加权平均值也分别只有 3.006 g kg⁻¹ 和 1.470 g kg⁻¹,总体上越往下层越高。说明 SO₄²⁻ 虽然不易为水淋洗,但经过较长时间的灌溉后,仍有部分 SO₄²⁻ 被淋至下层或淋出 0~100 cm 土体。

2.3.2 Cl⁻/SO₄²⁻ 比值在剖面上的变化 从图 4 可以看出,随着种植年限的增加,0~100 cm 土层 Cl⁻/SO₄²⁻ 比值总体呈下降趋势,说明在灌耕过程中有越来越多的 Cl⁻ 被淋出了 0~100 cm 土体。但从

不同土层来看,Cl⁻/SO₄²⁻ 比值变化仍存在着较大差异。新垦盐碱荒地的 Cl⁻/SO₄²⁻ 比值在 0~50 cm 随土层增加而呈缓慢增加趋势,可能是土地闲置过程中降雨参与了盐分离子的运移,将 Cl⁻ 淋洗至下层,但该地区的年均降雨量不大,仅 250 mm 左右,淋洗作用不强,造成 Cl⁻ 在 40~60 cm 土层聚集;50~100 cm 随土层增加而呈快速下降趋势,可能是土壤母质中的 Cl⁻ 含量不高所致。种植 3 a 耕地 Cl⁻/SO₄²⁻ 比值在 0~20 cm 土层快速增加,20~40 cm 土层快速下降,40~100 cm 土层呈缓慢下降的趋势,说明随着灌水量的增加,Cl⁻ 在 20 cm 处形成了聚集。种植 6 a 耕地 Cl⁻/SO₄²⁻ 比值在 0~30 cm 随土

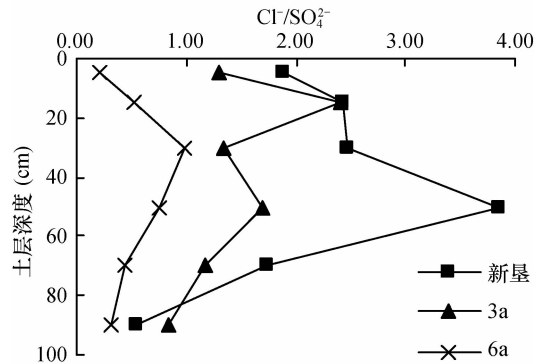


图 4 不同种植年限 Cl⁻/SO₄²⁻ 比值在不同土层中的变化

层增加而缓慢增加,30~100 cm 土层缓慢下降,说明 Cl^- 的聚集已下移至 30 cm 土层, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值变化在全剖面已趋于平缓。

2.4 不同种植年限盐碱耕地土壤阳离子分布特征

2.4.1 阳离子分布

新垦盐碱荒地 0~100 cm 土层 Ca^{2+} 含量的变幅较大,在 0.353~2.271 g kg^{-1} 之间,加权平均值为 1.272 g kg^{-1} (图 5a)。随着种

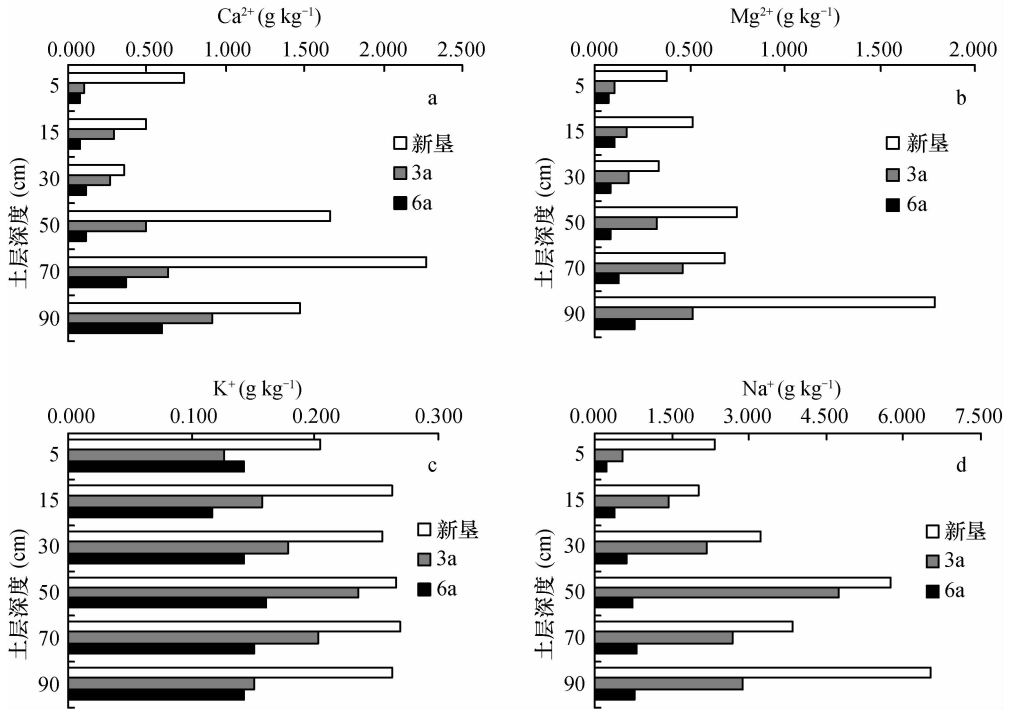


图5 不同种植年限阳离子在 0~100 cm 土壤剖面的分布

Mg^{2+} 在土壤剖面中的分布与 Ca^{2+} 相似,均是上层低、下层高,且随种植年限增加而显著降低(图 5b)。新垦盐碱荒地 0~100 cm 土层 Mg^{2+} 含量的变幅在 0.338~1.790 g kg^{-1} 之间,加权平均值为 0.802 g kg^{-1} 。种植 3 a 后降至 0.326 g kg^{-1} ,降幅为 59%;种植 6 a 后降至 0.121 g kg^{-1} ,降幅达到 85%。

从图 5c 可以看出,不管是新垦盐碱荒地,还是种植 3 a 和 6 a 后的耕地,0~100 cm 土层 K^+ 含量的变幅均不大,加权平均值分别为 0.257 g kg^{-1} 、0.182 g kg^{-1} 和 0.145 g kg^{-1} ,种植 3a 和 6a 后仅降低了 29% 和 43%。这一方面是由于没有施用钾肥,种植作物消耗了土壤中的一部分速效钾;另一方面,氮肥施入土壤后产生了 NH_4^+ ,可置换出被土壤胶体吸附的 K^+ ,造成一部分 K^+ 随灌水被淋出了 0~100 cm 土体。

从图 5d 可以看出,随着种植年限的增加,土壤中的 Na^+ 含量呈显著下降的趋势。新垦盐碱荒地

种植年限的增加, Ca^{2+} 含量明显降低,变幅也进一步缩小。种植 3 a 的变幅在 0.106~0.908 g kg^{-1} 之间,加权平均值为 0.501 g kg^{-1} ,降低了 61%;种植 6 a 的变幅在 0.076~0.597 g kg^{-1} 之间,加权平均值为 0.253 g kg^{-1} ,降低了 80%。从不同土层 Ca^{2+} 含量来看,总体表现出上层低、下层高的趋势,说明随着灌耕年限的增加, Ca^{2+} 遭到了淋洗。

0~100 cm 土层 Na^+ 含量变幅在 2.003~6.543 g kg^{-1} 之间,加权平均值为 4.308 g kg^{-1} ;种植 3 a 的变幅在 0.541~4.733 g kg^{-1} 之间,加权平均值为 2.681 g kg^{-1} ,降低了 38%;种植 6 a 的变幅在 0.224~0.818 g kg^{-1} 之间,加权平均值为 0.652 g kg^{-1} ,降低了 85%。说明 Na^+ 并未在表层土壤中积累,而是随灌水向下层淋溶,灌区部分耕地表层土壤发生碱化并非 Na^+ 含量过高所致,而是低矿化度碱性水通过侧渗进入下一级水渠和农田,造成表层土壤 HCO_3^- 含量增加所致。从不同土层 Na^+ 的累积来看,不同种植年限盐碱荒地间表现出较大差异,新垦盐碱荒地各土层间没有明显的规律性,种植 3 a 的耕地在 40~60 cm 土层出现 Na^+ 聚集的峰值,种植 6 a 的耕地则是越往下层 Na^+ 含量越高。

2.4.2 钠吸附比 (SAR) 在剖面上的变化

SAR 反映了盐碱地的碱化程度,既是盐碱地分类的重要依据,也是盐碱地改良利用过程中反映土壤质量变化的重要指标^[13]。从图 6 可以看出,种植 3 a 的耕

地与新垦盐碱荒地相比,0~100 cm 土层的 SAR 变化不大,平均值分别为 4.246 和 4.401,种植 6 a 后降至 1.644,降低了 63%,其在土壤剖面中的分布态势与 Na^+ 相同,说明在灌区现有的大水漫灌条件下,土壤中的 Na^+ 仍以淋洗为主,种植 3 a 以上的耕地随种植年限的增加,淋出 0~100 cm 土体的 Na^+ 越多,耕地土壤在短期内不会大面积爆发碱化。从不同土层来看,新垦盐碱荒地各土层间的 SAR 变化没有明显规律性,这主要是由于土地平整后土体构造不均衡所致。种植 3 a 耕地的 SAR 在 0~50 cm 随土层增加而快速增加,在 50~70 cm 土层快速下降,此后随土层增加而缓慢降低,说明随着灌水量的增加, Na^+ 在 50 cm 处形成了聚集。种植 6 a 耕地的 SAR 在 0~50 cm 随土层增加而缓慢增加,50~100 cm 土层缓慢下降,说明 Na^+ 的聚集层虽没有发生变化,但 SAR 在全剖面的变化已趋于平缓。

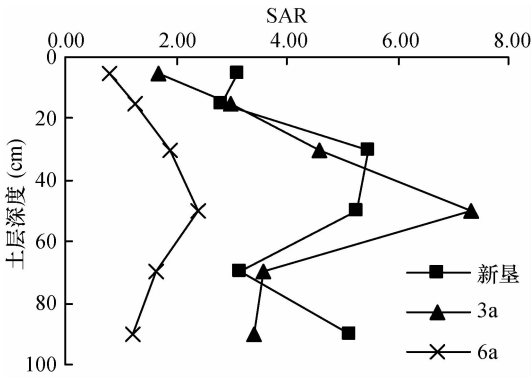


图 6 不同种植年限 SAR 在不同土层中的变化

3 讨论

土壤蒸发量大于降水量是盐碱地形成的主要原因之一。在没有耕作植被条件下,降低潜水蒸发是防止土壤盐渍化的关键;但在耕作条件下,土壤水分蒸发中作物蒸腾占绝大多数,只有少数为裸间蒸发,这使得土壤生态环境向着脱盐化方向演变。田昌玉等^[14]研究表明,种植作物能促进土壤表层淋洗、脱盐,不种植作物的土壤 5 a 后土壤盐分由 0.440% 增加至 0.770%,种植作物的土壤经过 5 a 的耕作土壤盐分由 0.432% 降低至 0.130%。本研究选择种植 3 a 和 6 a 的盐碱耕地作为研究对象,刚好是 1 个和 2 个轮作周期,这在甘肃引黄高扬程灌区有典型代表性。研究结果表明,随着种植年限的增加,0~100 cm 土层含盐量呈显著降低趋势,这与其他学者的研究结果一致。只是由于各种离子的

迁移能力不同,土壤脱盐过程中各离子的相对含量也发生变化, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 含量均明显降低, K^+ 降低幅度不大,表层土壤 HCO_3^- 含量增加,导致盐分的化学类型不断发生变化,由 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^- - \text{Na}^+$ 型逐渐转化为 $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Na}^+$ 型,并有向 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$ 型转化的趋势。此外,该地区地下水水位低,灌溉水除满足作物生长外均用于盐分淋洗,地下水并未参与盐分运移过程,因此剖面含盐量均是上层最低,越往下层越高,说明土壤盐分剖面分布为底聚型,不存在次生盐渍化威胁。

对土壤脱盐过程 pH 的变化,不同学者有不同解释。有人认为是由胶体上交换性 Na^+ 水解所致^[15];也有人认为是由于脱盐导致可溶性 Ca^{2+} 的淋失,受活度积支配的 CaCO_3 发生部分溶解,提高了溶液中 HCO_3^- 含量,所以 pH 也随之上升^[16]。在本研究中,随着种植年限的增加,pH 在土壤全剖面表现出增加趋势, HCO_3^- 仅在表层增加,其他土层并未表现出与 pH 同步增加的趋势,而土壤中的 Na^+ 则一直呈显著降低趋势,由此初步判断土壤碱化只是发生在部分耕地的表层土壤,其原因是灌区采用不合理灌溉方式,部分低矿化度的碱性水通过侧渗进入下一级水渠和农田,增加了表层土壤 HCO_3^- 含量所致,具体原因还有待更进一步地深入研究。但从大的范围而言,随着土壤脱盐过程的逐步深入,土壤盐分的化学类型逐渐向 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$ 型转变,土壤 pH 也有下降的可能,只要加强渠道衬砌、土地平整等田间灌水配套工程建设,灌区耕地短期内不存在大面积爆发碱化的危险。

土壤脱盐过程伴随着盐分离子相对含量和化学类型的变化,这种变化对判断盐碱地改良效果和选择作物种植类型均至关重要。本研究选择 $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ 比值作为土壤中阴离子组成变化和淋洗状况的指标,一方面是因为项目区盐碱耕地中的阴离子以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主,占到了阴离子总量的 80% 以上;另一方面,土壤中的 Cl^- 容易随水移动,而 SO_4^{2-} 不易随水移动。选择 SAR 作为土壤中阳离子组成变化和判断土壤碱化程度的指标,可以具体反映土壤中 Na^+ 和盐分浓度的具体变化情况。从结果来看, $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ 比值准确反映了 Cl^- 随种植年限在土壤剖面中的运移和累积情况,SAR 准确反映了 Na^+ 的变化情况,同时也准确判断出灌区部分耕地表层土壤发生碱化并不是土壤脱盐所致。因此,用 $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ 比值和 SAR 来判断该区盐碱耕地改良情况和

脱盐后土壤碱化发生情况是可行的。

4 结 论

种植 3 a 和 6 a 后盐碱耕地 0 ~ 100 cm 土层盐分和 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 含量均明显降低,表明土壤环境质量在逐步得到改善。由于各种离子的迁移能力不同,导致脱盐过程中各离子的相对含量和化学类型不断发生变化,由 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^-$ — Na^+ 型逐渐转化为 $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ — $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Na}^+$ 型,并有向 SO_4^{2-} — Ca^{2+} 型转化的趋势。土壤中 K^+ 的降幅不大,土壤 pH 在垂直方向上呈下降趋势,但随着种植年限的增加,0 ~ 100 cm 土层的 pH 总体呈升高趋势。灌区地下水位低,并未参与盐分运移过程,剖面含盐量越往下层越高,表现为底聚型,说明在该地区不存在次生盐渍化威胁。 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值以及 SAR 随灌耕年限的增加均有降低的趋势,它们能很好地反映 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 Na^+ 在土壤剖面中的运移和累积情况,可以作为盐碱地改良情况和判断是否发生碱化的指标。

参 考 文 献

- [1] 甘肃农村年鉴编委会. 甘肃农村 2010 年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2011
- [2] 甘肃省土壤普查办公室. 甘肃土壤. 北京: 中国农业出版社, 1993
- [3] 牛叔文, 陈作芳. 农业区域开发探索——甘肃省沿黄灌区农

业综合开发研究. 兰州: 兰州大学出版社, 1998

- [4] 荆向田. 白银高扬程灌区土壤次生盐渍化成因及改良措施. 甘肃农业科技, 1997(10): 22—24
- [5] 李朝刚, 杨虎德, 胡关银, 等. 干旱高扬黄灌区盐碱地恢复治理. 干旱区研究, 1999, 16(1): 57—62
- [6] 李小刚, 崔志军, 王琳英. 甘肃景电灌区次生盐化土壤的性质及其发生机理. 土壤通报, 2001, 32(1): 4—8
- [7] 买买提·阿扎提, 艾力克木·卡德尔, 吐尔逊·哈斯木. 土壤盐渍化及其治理措施研究综述. 环境科学与管理, 2008, 33(5): 29—33
- [8] 石元亮, 王晶, 李晓云. 盐渍土区域水分调控与综合治理研究进展. 土壤通报, 2001, 32(6): 102—105
- [9] 刘春卿, 杨劲松, 陈德明. 管理调控措施对土壤盐分分布和作物体内盐分离子吸收的作用. 土壤学报, 2004, 41(2): 231—235
- [10] 余世鹏, 杨劲松, 杨晓英. 不同调控措施对黄淮海平原盐碱障碍农田作物及土壤质量动态的影响. 干旱区资源与环境, 2009, 23(8): 150—154
- [11] 马传明, 靳孟贵. 西北地区盐渍化土地开发中存在问题及防治对策. 水文, 2007, 27(1): 78—81
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [13] 宋新山, 邓伟, 章光新, 等. 钠吸附比及其在水体碱化特征评价中的应用. 水利学报, 2000(7): 70—76
- [14] 田昌玉, 许建新, 林治安, 等. 种植作物是抑制土壤盐渍化的关键因素. 垦殖与稻作, 1997(1): 27—28
- [15] 陈欢, 王淑娟, 陈昌和, 等. 烟气脱硫废弃物在碱化土壤改良中的应用及效果. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 38—42
- [16] 殷仪华, 陈邦本. 江苏滨海盐土脱盐过程 pH 上升原因探讨. 土壤通报, 1991, 22(1): 5—7

(责任编辑: 卢 萍)