

# 基于典范对应分析的干旱区春季 盐渍化特征研究\*

韩桂红<sup>1,2</sup> 塔西甫拉提·特依拜<sup>1,2†</sup> 买买提沙吾提<sup>1,2</sup> 张 飞<sup>1,2</sup>

(1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

(2 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

**摘要** 运用常规统计学和典范对应分析方法, 对干旱区盐渍土土壤全盐量(TS)、盐分离子组成、碱化度(ESP)、pH、电导率(EC)的空间分布特征进行了分析。结果表明, 该区土壤为重度至轻度盐化, 不同层次土壤中,  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$  保持较好的关联性。TS 的空间分布, 在 0~50 cm 全剖面上主要受控于  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{Na}^+$  离子; 分层与全剖面的情况略有不同,  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  在各个土层仍为主要控制离子。ESP 在全剖面上其空间分布受环境因子的影响较小, 0~10 cm 土层主要受  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$  离子的制约; 10~30 cm 土层内主要受  $\text{HCO}_3^-$  离子的制约; 30~50 cm 土层未表现控制因子。pH 在全剖面上受盐分离子影响较小, 分布较为均匀, 表层受离子影响很小, 在 10~30 cm、30~50 cm 土层内受  $\text{HCO}_3^-$  离子的影响微弱。EC 在全剖面上的空间分布受控于  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子, 30~50 cm 土层主要受  $\text{K}^+$  离子的控制, 其他土层与全剖面相同。

**关键词** 盐渍土; 盐分分布; 典范对应分析; 干旱区

**中图分类号** S156.4+1 **文献标识码** A

我国盐渍土分布广泛, 覆盖了热带和寒温带、滨海和内陆、低地和高原地区。中国盐渍土面积为 3 631 万  $\text{hm}^2$ , 占全国可利用土地的 4.88%, 西北干旱区共有盐渍土 2 506 万  $\text{hm}^2$ , 占其可利用土地面积的 9.4%, 占全国盐渍土面积的 69.03%<sup>[1]</sup>。土壤的盐渍化成为制约干旱区农业发展的主要问题, 也是影响绿洲生态环境稳定的重要因素<sup>[2]</sup>。盐渍土的发生受区域性因素的制约和影响, 其盐分组成及离子比例呈现地域性特点, 盐渍化土壤积盐强度以及占优势盐类的组成随生物、气候和地带性土壤的发生过程的不同差异很大<sup>[3]</sup>。目前, 许多学者采用不同方法在不同地区对土壤全盐量、土壤电导率及土壤盐分离子空间分布特征进行了大量的研究<sup>[4-9]</sup>。数量生态学中的典范对应分析方法(Canonical correspondence analysis, CCA)<sup>[10]</sup>能够直观地给出多变量间的相互作用关系, 但应用 CCA 研究盐分空间分布特征的还很少, 对研究干旱区盐渍化特征是很好的补充。因此本文以典型干旱区盐渍土为例, 采用典范对应分析方法, 探讨了干旱区土

壤盐化和碱化特征与盐分离子的数量关系, 旨在研究干旱区土壤的盐分特征, 为干旱区土壤资源的开发利用和绿洲生态环境建设提供可靠的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

渭干河—库车河三角洲绿洲位于新疆维吾尔自治区塔里木盆地北缘, 包括库车、沙雅和新和县, 具有典型的干旱区特征。该区光热资源丰富, 降水少, 蒸发量大, 气温差异显著, 夏季干热、冬季干冷, 无霜期长, 风力强。该区年均气温为 10.5℃~11.4℃, 年均降水量为 50.0~66.5 mm, 年均蒸发量为 2 001~2 863 mm, 干旱指数为 17.3~21.8, 属大陆性暖温带极端干旱气候。本区由于地下水位高, 土地下层构成物颗粒细, 透水性差, 造成该区土壤盐渍化现象比较普遍, 在古河道、河漫滩、泉水溢出带等地下水浅埋区, 分布着大面积的盐渍化土和盐土<sup>[11]</sup>。由于本区春季冰雪融水作用大幅度增强,

\* 国家自然科学基金项目(40961025, 40901163, U1138303/L08)、资源与环境信息系统国家重点实验室开放基金(2010kf0003sa)和新疆维吾尔自治区高校青年教师科研培育基金项目(XJEDU2011S07)资助

† 通讯作者, E-mail: tash@xju.edu.cn

作者简介: 韩桂红(1983—), 女, 博士研究生, 主要从事干旱区生态环境及遥感应用研究。E-mail: hanguihong618@163.com

收稿日期: 2011-07-16; 收到修改稿日期: 2012-01-10

地下水位较高,加之蒸发量远远大于降水量,形成了春季土壤积盐明显的动态特征。

## 1.2 样品采样与分析方法

本文采样区位置选择  $41^{\circ}25'0''N \sim 41^{\circ}50'0''N$ ,  $83^{\circ}10'0''E \sim 83^{\circ}35'0''E$ ,样区地势较平坦,样区面积为  $625 \text{ km}^2$ 。采样根据样区盐渍化程度不同,由绿洲内部到外围,主要探究以自然因素为主导的绿洲外围盐渍化特征,如图 1 所示。于 2010 年 4 月 13 日至 4 月 18 日采集  $0 \sim 10 \text{ cm}$ 、 $10 \sim 30 \text{ cm}$ 、 $30 \sim 50 \text{ cm}$  土样,采集点 32 个,共计采集土壤样品 96 个。土样自然风干、磨碎、过  $2 \text{ mm}$  筛后备用,所有的土样均制备 1:5 土水质量比浸提液,并测定其电导率、pH 和离子组成含量。用 DDS-11A 型电导仪测定浸提液  $25^{\circ}\text{C}$  时的电导率;pH 按 1:2 土水质量比浸提,LP115PHMeter 酸度计测定。离子组成的具体测定方法为: $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^{-}$  采用双指示剂中和法测定; $\text{Cl}^{-}$  采用  $\text{AgNO}_3$  滴定法测定; $\text{SO}_4^{2-}$  采用 EDTA 间接滴定法测定; $\text{Na}^{+}$  和  $\text{K}^{+}$  采用差减法; $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  采用 EDTA 络合滴定法测定<sup>[12]</sup>。

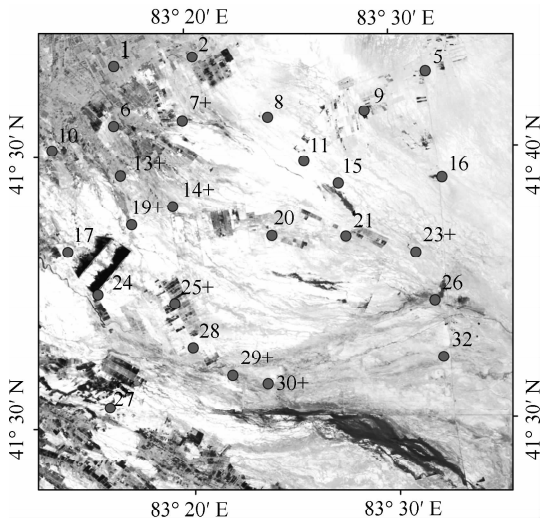


图 1 研究区采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling spots in the study area

## 1.3 数据处理

采用 Excel 2007 软件进行常规数据统计分析,应用国际标准通用软件 CANOCO 4.5 进行典范对应分析。采用经验公式<sup>[13]</sup>对碱化度(ESP)进行计算,计算公式为:

$$ESP = 100(-0.0126 + 0.01475SAR) / [1 + (-0.0126 + 0.01475SAR)], \text{ 其中钠吸附比, } SAR = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2]^{1/2}.$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤全盐量在垂直剖面上的分布

土壤全盐量对土壤盐渍化程度有重要的指示作用。 $0 \sim 50 \text{ cm}$  土层内各层土壤全盐量的平均值均在  $1.0 \text{ g kg}^{-1}$  以上,表明研究区各层土壤均呈盐化状态。从全盐量在整个剖面中的分布状况来看,研究区剖面土壤盐分具有明显的表聚作用,呈 T 型分布(见图 2)。 $0 \sim 10 \text{ cm}$  土层土壤全盐量的平均值为  $13.40 \text{ g kg}^{-1}$ ,明显高于其他土层,是盐分的积累层,为重度盐渍化。 $10 \sim 30 \text{ cm}$ 、 $30 \sim 50 \text{ cm}$  土壤含盐量平均值分别达到  $4.01 \text{ g kg}^{-1}$  和  $1.79 \text{ g kg}^{-1}$ ,分别呈中度盐渍化、轻度盐渍化。变异系数是反映变量离散程度的重要指标,在一定程度上揭示了变量的空间分布特性。整个剖面土壤全盐量的变异系数均介于 40% 和 180% 之间,表明研究区土壤含盐量具有中、强度的变异性<sup>[14]</sup>,说明干旱区盐渍土土壤含盐量的垂直分布不均匀,空间异质性极强。从变异系数在剖面垂直分布上看,随着土壤深度的增加,变异系数在中间层最大,呈 S 型变化(图 2)。 $0 \sim 10 \text{ cm}$  表层土壤主要受微地形因素的影响,空间异质性较强; $10 \sim 30 \text{ cm}$  土层变异系数最大。这与绿洲外围不断开垦荒地、灌水等土地利用方式的影响密切相关,土壤介质均一性较差,土壤含盐量垂直分布不均匀。 $30 \sim 50 \text{ cm}$  土层变异系数最小,随着深度的增加,这些外在因素的干扰作用逐渐减弱,土壤介质的均一性逐渐增强,盐分的变异系数逐渐减小并趋于稳定。此外,本区剖面底部土壤盐分逐渐均一化可能受到地下水的影响,地下水盐分组成的稳定性对剖面底部土壤盐分分布的均一性很大程度上起到一定的作用,使剖面底部土壤盐分更加均一化且趋于稳定。

### 2.2 土壤的离子组成

各阳离子在剖面中的分布态势见图 3。各土层中, $\text{Na}^{+}$  含量占阳离子总量比例均在 70% 以上,是研究区最为主要的阳离子, $\text{Ca}^{2+}$  次之, $\text{Mg}^{2+}$  再次, $\text{K}^{+}$  含量最低。 $\text{Na}^{+}$  含量在剖面中的分布态势与全盐量的分布态势基本一致,呈递减趋势, $0 \sim 10 \text{ cm}$  表层含量最高。 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  亦呈递减趋势。各土层间  $\text{K}^{+}$  含量差异不大,在垂直剖面上的分布较为稳定。 $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  在整个剖面均表现为中、强度变异,变异系数在 40%~250% 之间。其中,

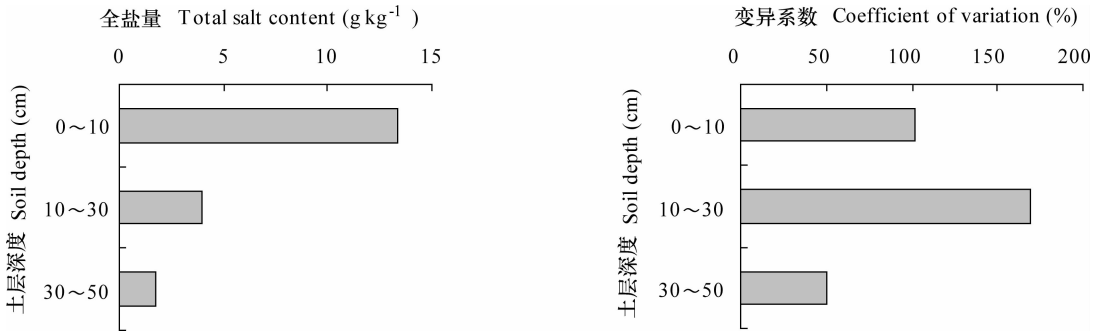


图2 土壤含盐量及其在剖面中的分布特性

Fig. 2 Soil salt contents and vertical variation in the soil profile

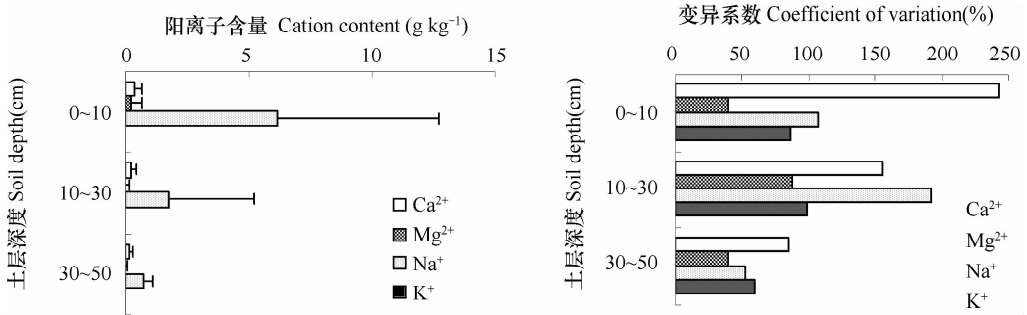


图3 土壤主要阳离子的含量及其在剖面中的分布特性

Fig. 3 Major cations and vertical variation in the soil profile

10~30 cm 土层变异最为强烈,变异系数达到 180% 以上。 $K^+$ 、 $Mg^{2+}$  也在 10~30 cm 出现变异系数的最大值,分别为 98.51%、87.48%,其他土层变异系数变化并不明显。 $Ca^{2+}$  在整个剖面上的变化呈 T 型分布,变异系数逐渐减小。

各阴离子在土壤剖面中的分布态势见图 4。 $Cl^-$  在各土层中阴离子总量中占据绝对优势,含量比均高于 60%,是研究区最主要的阴离子,其在剖面中的分布态势与  $Na^+$  和全盐量的分布态势几乎一致,也呈 T 型分布。 $Cl^-$  含量的变异强度随深度增

加呈 S 型变化,与土壤全盐量、 $Na^+$  的变异趋势基本一致。其中,10~30 cm 土层属强度变异性,变异系数大于 180%, $Cl^-$  含量的水平分布表现为强度的空间异质性。 $SO_4^{2-}$  含量次之,介于 5%~30% 范围内,是研究区土壤中另一重要的阴离子,其含量 0~10 cm、10~30 cm 比较接近,达到  $0.25 g kg^{-1}$ ,向底层递减幅度较小,但各层间变异强度均表现为中度变异性。 $HCO_3^-$  含量在各土层间分布较为稳定,变化强度较小,为中度变异性,较其他阴离子变异性小。 $CO_3^{2-}$  在测试过程中未测出数值,本文不予考虑。

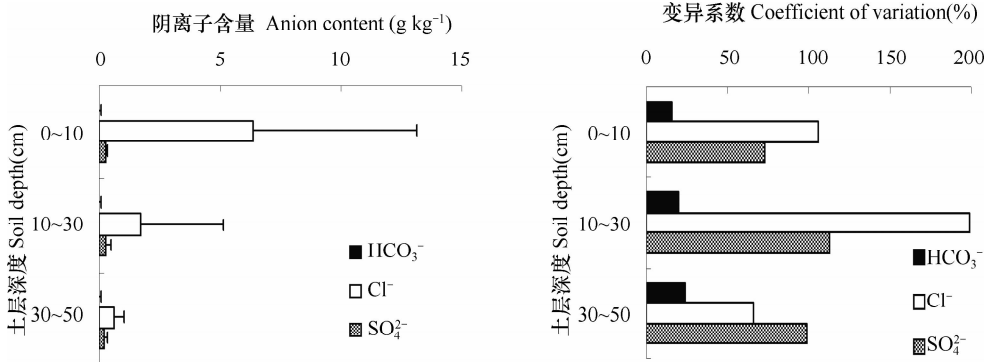


图4 土壤主要阴离子的含量及其在剖面中的分布特性

Fig. 4 Major anions and vertical variation in the soil profile

### 2.3 土壤的盐碱化特征参数

pH 和碱化度(ESP) 是判断土壤是否发生碱化以及土壤碱化程度的重要诊断指标<sup>[15]</sup>。研究区各层土壤 pH 平均值均介于 7.9 和 8.1 之间, pH 平均值从表层到底层呈现 S 型变化, 变化量极小, 与

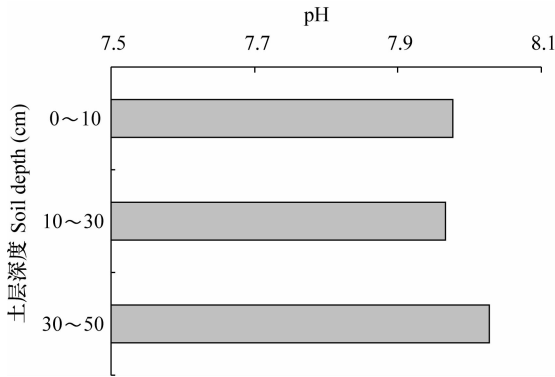
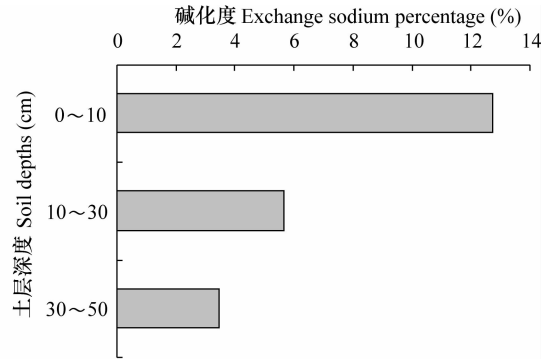


图5 土壤 pH 和碱化度垂直分布图

Fig. 5 Vertical variation of pH and soil exchange sodium percentage in the soil profile

$\text{HCO}_3^-$  含量的分布态势相一致, 说明 pH 在垂直剖面的变化与  $\text{HCO}_3^-$  含量的变化可能具有较大的相关性。ESP 与土壤全盐量、 $\text{Na}^+$  含量和  $\text{Cl}^-$  含量的分布态势相似, 说明 ESP 与  $\text{Na}^+$  含量、 $\text{Cl}^-$  含量和土壤全盐量可能有较好的关联性(图 5)。



土壤电导率(EC) 与土壤盐分含量之间存在密切的关系, 其常被作为反映土壤盐分含量高低的重要指标之一。EC 在分布态势上与土壤全盐量、 $\text{Ca}^{2+}$  含量和  $\text{Mg}^{2+}$  含量的相似, 说明 EC 与  $\text{Ca}^{2+}$  含量、 $\text{Mg}^{2+}$  含量和土壤全盐量可能有较好的关联性(图 6)。

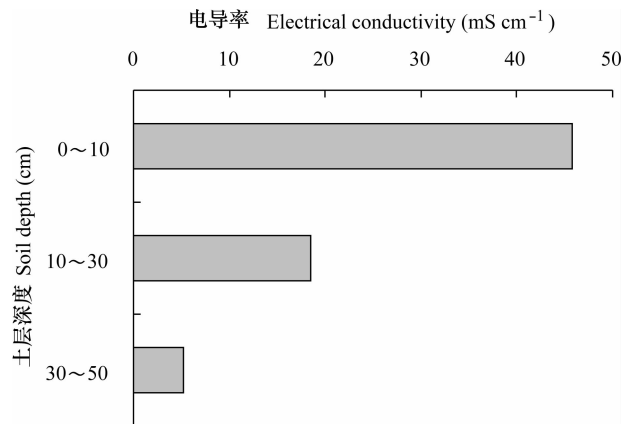


图6 电导率垂直分布图

Fig. 6 Vertical variation of electrical conductivity in the soil profile

### 2.4 剖面盐渍土的对对应分析

本文为了更好地研究盐离子与盐分指标的数量关系, 采用典范式对应分析法(CCA), 将研究区盐渍土的特征指标 pH、TS 和 ESP、EC 作为研究对象, 将土壤中的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  作为环境变量, 对 0~10 cm、10~30 cm、

30~50 cm 土层土壤盐分因子之间的关系进行了深入典范对应分析研究<sup>[9]</sup>。对于旱区 32 份剖面盐渍土进行研究时, 从各盐离子与土壤盐碱化参数的 CCA 排序图可以看出, 研究对象(盐碱化参数)、环境因子(盐离子)与第一个排序轴的相关系数均大于 0.90, 与第二个排序轴的相关系数均在 0.65 以上, 具有较高的相关性。环境因子前二个排序轴的相关系数为 0, 表明前二个排序轴是完全垂直的; 研究对象前二个排序轴的相关系数绝对值小于 0.015, 表明这两个排序轴也近乎完全垂直, 说明对各层土壤盐碱化参数和环境因子进行的 CCA 排序结果是可信的。

**2.4.1 土壤盐离子组成 CCA 分析** CCA 二维排序图能够直观地展示各环境变量(箭头表示)之间以及研究对象(角符号表示)与环境变量之间的关系。两个环境变量之间的夹角的余弦值代表其相关性, 夹角越小, 相关性越大; 研究对象到环境变量箭头的距离大小决定研究对象与环境变量之间的相关性大小, 距离越小, 关联性越大, 反之亦然<sup>[16-17]</sup>。

从图 7 可见, 各土层内,  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$  始终具有较好的关联性, 且在各土层内均呈正相关。0~50 cm 土层内其相关系数分别为 0.996 8 和 0.432 0。在 0~50 cm 全剖面内,  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$  的关联度低于  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$  的关联度。在 0~10 cm、10~30 cm 土层内  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$  的关联度均高于  $\text{Ca}^{2+}$

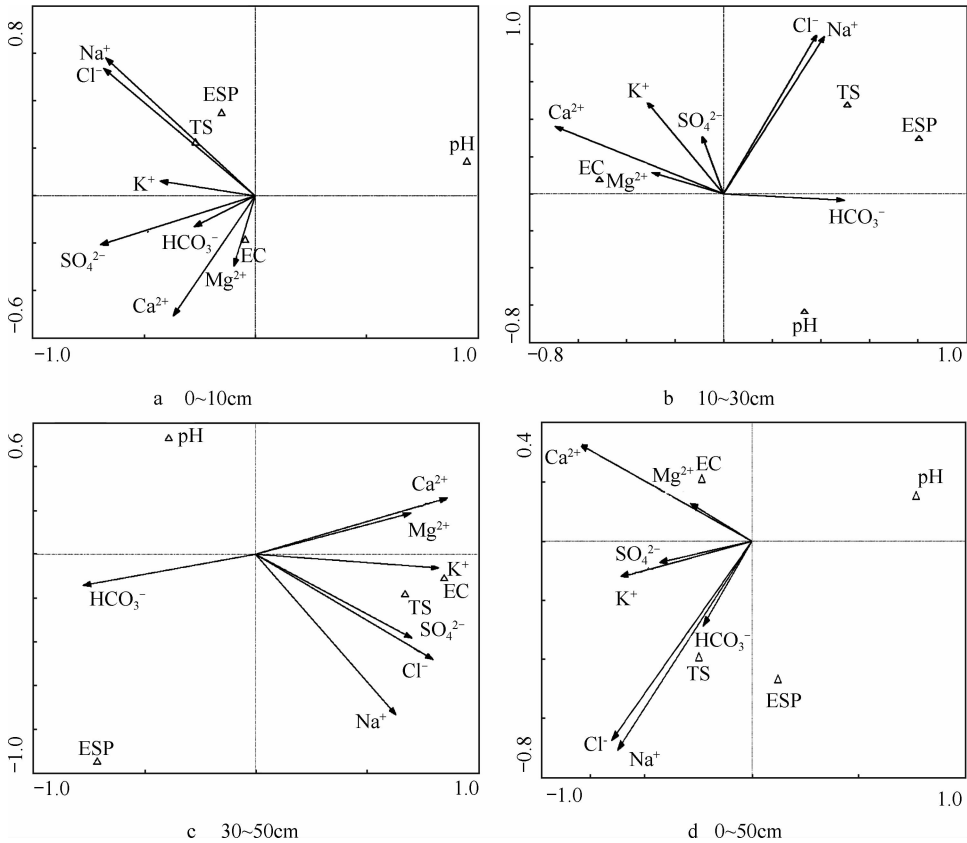


图 7 各土层土壤盐分的 CCA 二维排序图

Fig. 7 Two dimensional ordination diagram of canonical correspondence analysis of salts in various soil layers

与 Mg<sup>2+</sup> 的关联度。在 30 ~ 50 cm 土层内,与全剖面情况相同, Ca<sup>2+</sup> 与 Mg<sup>2+</sup> 的关联度较高。随土壤深度的增加, Na<sup>+</sup> 与 Cl<sup>-</sup> 的相关系数呈现出逐渐递减的趋势。这可能由不同深度土层土壤盐分运移的驱动因素不同所致。0 ~ 50 cm 土层盐分的运移主要受大气环境条件的影响,表层土壤受外界环境影响最大,水分的上下迁徙活动最为剧烈,相应的 Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 的同质运移活动也最为频繁,表现出 Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 具有较高的关联性。外界对下层土壤水盐的干扰逐渐减少, Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 的同质运移逐渐减弱,导致关联度逐渐减小。各土层内 Ca<sup>2+</sup> 与 Mg<sup>2+</sup> 均具有明显的相关性,且随着深度的增加,相关度不断增强说明 Ca<sup>2+</sup> 与 Mg<sup>2+</sup> 在研究区土壤剖面上具有相似分布特点。

**2.4.2 盐分离子与盐碱化参数的相关性 CCA 分析**

根据研究对象与环境变量之间的关联度研究,从图 7 可见,在 0 ~ 50 cm 全剖面上, TS 与 Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup> 离子距离较近,说明土壤全盐量的空间变异情况与 Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup> 离子相似,其空间分布主要受控于 Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup> 离子。EC 与 Ca<sup>2+</sup>、

Mg<sup>2+</sup> 离子距离较近,说明其空间分布受这两个离子影响较大。ESP、pH 则与各环境因子之间的距离均较远,说明其空间分布受环境因子的影响较小,在全剖面上分布较为均匀。就研究对象在各土层的受控因子而言,与全剖面情况有所不同。TS 在 0 ~ 10 cm 土层内与 Cl<sup>-</sup> 和 Na<sup>+</sup> 环境因子的距离较近,其空间分布主要受 Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup> 离子的制约; 10 ~ 30 cm 土层内仍受 Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup> 离子的制约,但其空间分布受因子的影响较弱; 30 ~ 50 cm 土层内主要受 Cl<sup>-</sup> 离子的制约之外,还受到 K<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 环境因子的控制。pH 在 10 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm 土层内与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 离子的距离相对较近,表层与各离子之间的距离较远,说明 pH 在 10 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm 土层内有受到 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 离子的微弱影响,表层受各离子的影响较小,其空间分布较为均匀。ESP 在 0 ~ 10 cm 土层内主要受 Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup> 离子的制约, 10 ~ 30 cm 土层内主要受 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 离子的制约; 30 ~ 50 cm 土层内与各离子之间的距离均较远,说明受各离子影响较小。EC 在 0 ~ 10 cm、10 ~ 30 cm 土层内与 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 离子距离较近,说明其空间变异情况与 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 离子相似,其

空间分布主要受控于  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子;30 ~ 50 cm 土层内主要受到  $\text{K}^+$  离子的制约。

### 3 结 论

1) 研究区内表层土壤(0 ~ 10 cm)盐化严重,呈现重度盐化。10 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm 土层分别呈中度盐渍化、轻度盐渍化,春季整个剖面盐分分布呈表聚型。剖面中可溶性盐阳离子以  $\text{Na}^+$  为主,占各层中阳离子总量的 70% 以上;阴离子以  $\text{Cl}^-$  为主,其中  $\text{Cl}^-$  超过阴离子总量的 50%。土壤各层 pH 平均值介于 7.9 和 8.1 之间,ESP 介于 3.46% ~ 12.75% 之间,EC 介于 5.21 ~ 45.72 之间。

2) 运用典范对应分析方法对各盐分离子与土壤盐碱化参数的分析结果表明,  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$  始终具有较好的关联性,在全剖面上其相关系数分别为 0.996 8 和 0.432 0。在 0 ~ 50 cm 全剖面上,土壤含盐量的空间分布主要受控于  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$  离子;EC 的空间分布受控于  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子;碱化度、pH 空间分布受环境因子的影响较小,在全剖面上分布较为均匀。

3) 各土层的受控因子与全剖面情况有所不同,TS 在 0 ~ 10 cm 土层内的空间分布主要受  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  离子的制约,10 ~ 30 cm 土层内仍受  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  离子的制约,但其空间分布受因子的影响较弱,30 ~ 50 cm 土层内主要受  $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  影响较大。ESP 在 0 ~ 10 cm 土层内主要受  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$  离子的制约,10 ~ 30 cm 土层内主要受  $\text{HCO}_3^-$  离子的制约,30 ~ 50 cm 土层内未表现出明显的控制因子。pH 在 10 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm 土层内受到  $\text{HCO}_3^-$  离子的微弱影响,在 0 ~ 10 cm 土层内未表现出明显的控制因子。EC 在 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 30 cm 土层内主要受  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子影响,在 30 ~ 50 cm 土层内主要受  $\text{K}^+$  离子的控制。

### 参 考 文 献

[1] 盛敏,唐明,张峰峰,等. 土壤因子对甘肃、宁夏和内蒙古盐碱土中 AM 真菌的影响. 生物多样性,2011,19(1): 85—92. Sheng M, Tang M, Zhang F F, et al. Effect of soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in saline alkaline soils of Gansu, Inner Mongolia and Ningxia (In Chinese). Biodiversity Science, 2011, 19(1): 85—92

[2] 任加国,郑西来,许模,等. 新疆叶尔羌河流域土壤盐渍化特征研究. 土壤,2005,37(6): 635—639. Ren J G, Zheng X L, Xu M, et al. Characteristics of soil salinization of Yarkand River

Basin in Xinjiang (In Chinese). Soils, 2005, 37(6): 635—639

[3] 张小由,龚家栋,周茂先. 额济纳三角洲土壤盐分特征分析. 中国沙漠,2004,24(4): 442—447. Zhang X Y, Gong J D, Zhou M X. Study on characteristics of soil salinity Ejin Delta (In Chinese). Journal of China Desert, 2004, 24(4): 442—447

[4] 艾天成,李方敏,黄志新. 设施土壤盐分组成特征分析. 湖北农业科学,2006,45(3): 316—317. Ai T C, Li F M, Huang Z X. Study on characteristics of soil salt component in greenhouse (In Chinese). Hubei Agricultural Sciences, 2006, 45(3): 316—317

[5] 张红,杨建锋,章光新,等. 苏打盐渍土剖面盐分动态变化特征分析. 干旱区资源与环境,2007,21(4): 117—122. Zhang H, Yang J F, Zhang G X, et al. Analysis of salt dynamic characters in salinesodic soil sections (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(4): 117—122

[6] 张飞,丁建丽,塔西甫拉提·特依拜,等. 干旱区典型绿洲土壤盐渍化特征分析——以渭干河—库车河三角洲为例. 草业学报,2007,16(4): 34—40. Zhang F, Ding J L, Tiyip T, et al. Analysis on characteristics of soil salinization in the arid regions: A case study (In Chinese). Acta Prataculturae Sinica, 2007, 16(4): 34—40

[7] 杨帆,邓伟,章光新,等. 苏打盐渍土地区芦苇地土壤盐分离子空间变异与群落关系研究. 土壤学报,2008,45(4): 594—600. Yang F, Deng W, Zhang G X, et al. Spatial variation of soil saline ions and its relations with vegetation community of *Phragmites australis* in a saline sodic soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(4): 594—600

[8] 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. 水土保持研究,2009,16(2): 87—91. Wang X M, Chai Z P, Tiyip T, et al. Analysis on the characteristics of soil salinization in a typical oasis of the north-west arid area (In Chinese). Soil and Water Conservation Research, 2009, 16(2): 87—91

[9] 赵秀芳,杨劲松,姚荣江. 基于典范对应分析的苏北滩涂土壤春季盐渍化特征研究. 土壤学报,2010,47(3): 422—428. Zhao X F, Yang J S, Yao R J. Analysis on characteristics of soil salinity of arid area based on canonical correspondence analysis (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(3): 422—428

[10] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社,2004. Zhang J T. Quantitative ecology (In Chinese). Beijing: Science Press, 2004

[11] 新疆渭干河流域管理处. 渭干河流域水盐监测技术报告. 2003: 11—32. Xinjiang Weigan River Basin Administrative Office. Weigan river basin water salt monitor fitness report. 2003: 11—32

[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. Lu R K. Analytical methods for soil and agricultural chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999

[13] 石元春,辛德惠. 黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理. 石家庄: 河北人民出版社,1983. Shi Y C, Xin D H. Water salt movement and the comprehensive treatment of salinealkali soil of droughts and floods (In Chinese). Shijiazhuang: Hebei People's Press, 1983

[14] 姚荣江,杨劲松,刘广明,等. 黄河三角洲地区典型地块土壤

- 盐分空间变异特性研究. 农业工程学报, 2006, 22(6): 61—66. Yao R J, Yang J S, Liu G M, et al. Spatial variability of soil salinity in characteristic field of the Yellow River Delta (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 61—66
- [15] 李小刚, 曹靖, 李凤民. 盐化及钠质化对土壤物理性质的影响. 土壤通报, 2004, 35(1): 64—72. Li X G, Cao J, Li F M. Influence of salinity, sodicity and organic matter on some physical properties of salt affected soils (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(1): 64—72
- [16] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique form ultrivariate direct gradient analysis. Ecology, 1986, 67: 1 167—1 179
- [17] Mench M, Bes C. Assessment of ecotoxicity of topsoils from a wood treatment site. Pedosphere, 2009, 19(2): 143—155

## CHARACTERIZATION OF SOIL SALINIZATION IN ARID AREA BASED ON CANONICAL CORRESPONDENCE ANALYSIS

Han Guihong<sup>1,2</sup> Tashpolat · Tiyip<sup>1,2†</sup> Mamatsawt<sup>1,2</sup> Zhang Fei<sup>1,2</sup>

(1 College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

(2 Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

**Abstract** Analysis of characteristics of spatial distributions of total salt content (TS), ion composition, exchangeable sodium percentage (ESP), pH value and electrical conductivity (EC) of salt-affected soils in the Arid Area was conducted, using conventional statistics and canonical correspondence analysis. Results show that (1) the soils in the region are heavily to slightly alkalized, e. g. heavy in topsoil (0 ~ 10 cm) and slight in bottom (30 ~ 50 cm); (2) close correlation exists between  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , and between  $\text{Ca}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$  in all soil layers; (3)  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Na}^+$  are the main factors controlling spatial distribution of soil total salt throughout the whole profile (0 ~ 50 cm), which though varies slightly from layer to layer, where  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  remain to main factors; (4) the spatial distribution of ESP in the profile is less affected by environmental factors, however, it is restricted mainly by  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  in the 0 ~ 10cm soil layer, by  $\text{HCO}_3^-$  in the 10 ~ 30 cm soil layer, and by none in the 30 ~ 50 cm soil layer; (5) pH is quite evenly distributed throughout the profile and only slightly affected by salt ions, that is, it is very slightly affected by ions in the 0 ~ 10 cm soil layer, and only weakly influenced by  $\text{HCO}_3^-$  in the 10 ~ 30 cm and 30 ~ 50 cm soil layers; (6) the spatial distribution of EC is controlled by  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  throughout the whole profile, except in the 30 ~ 50 cm soil layer where  $\text{K}^+$  is the dominant controlling factor.

**Key words** Salt affected soil; Salt distribution; Canonical correspondence analysis; Arid area