

开都河流域下游绿洲土壤盐分特征分析

古丽克孜·吐拉克^{1,2}, 李新国^{1,2*}, 阿斯耶姆·图尔迪^{1,2}, 赖宁^{1,2}

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要: 以开都河流域下游绿洲为研究区, 通过野外调查、采样与室内实验分析, 采用数值统计方法与主成分分析方法对区域土壤盐分特征进行研究。研究表明: (1) 0~10 cm 土层, 土壤盐分含量为 $0.7348 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 10~30 cm 土层为 $0.2070 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 30~50 cm 土层为 $0.1852 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。随土层深度增加土壤盐分含量减少, 土壤盐分含量的变异系数分别为 319%、211% 和 193%, 呈现强变异性。(2) 0~10 cm、10~30 cm 和 30~50 cm 土层中, 随着土层深度的增加, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子的均值逐渐减少, 总体上盐分分布具有较强的表聚性。(3) 土壤盐渍化状况的特征因子是 Cl^- 与 SO_4^{2-} 。(4) 未利用地土壤总盐分均值高于其它土地利用类型, 耕地次之, 林地的最小, 分别为 $0.4420 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.0755 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.0414 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

关键词: 土壤盐分; 变异系数; 土壤盐渍化; 主成分分析; 开都河流域下游绿洲

中图分类号: Q156.4⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)03-0220-05

Analysis of soil salinity characteristics of oasis in the lower reaches of the Kaidu River

Gulikezi Tulake^{1,2}, LI Xin-guo^{1,2*}, Asiyemu Tuerdi^{1,2}, LAI Ning^{1,2}

(1. School of Geographic Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;

2. Xinjiang laboratory of lake environment and resources in arid zone, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

Abstract: Taking the oasis in the lower reaches of the Kaidu River as the case study area, through the field investigation, sampling and laboratory experimental analysis, adopted the application of statistical method and principal component analysis method to research the characteristics of regional soil salinity. The results showed that: (1) In 0~10 cm soil layer, the soil salinity content was $0.7348 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, in 10~30 cm, the soil salinity was $0.2070 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, in 30~50 cm, the soil salinity was $0.1852 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. The soil salinity was decreased with the increasing soil depth. The variation coefficient of the soil salinity was 319%, 211% and 193%, respectively. It was shown strong variability. (2) In the soil layer of 0~10 cm, 10~30 cm and 30~50 cm, with the increasing soil depth, the average value of Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} and $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ions was gradually reduced, on the whole salt distribution possessed a strong surface accumulation. (3) The characteristic factors of soil salinization were Cl^- and SO_4^{2-} . (4) The average value of total soil salt for unused land, farmland and forestland was $0.4420 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $0.0755 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $0.0414 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The unused land was higher than other land use types, the farmland was the second and forestland was the minimum.

Keywords: soil salinity; variation coefficient; soil salinization; principal component analysis; oasis of the lower reaches of Kaidu River

土壤盐分特征研究是土壤开发利用和土壤盐渍化防治的基础。盐渍土的发生受区域性因素的影响和制约, 其盐分组成及离子比例呈现地域性特点, 积盐、脱盐过程存在差异^[1]。盐渍化土壤积盐强度以及占优势盐类的组成随生物、气候、地带性土壤的发生过程不同差异很大^[2]。不同地区的气候特点、成土母质的差异致使土壤盐渍化成因不同, 因而土壤

总体盐分状况、盐基离子组成, 及盐基离子之间的相关性不同^[3]。前人对不同地区土壤含盐量及土壤盐分离子之间的关系进行了大量研究。麦提吐尔逊·艾则孜等^[4]运用半方差函数与克里格插值法, 对伊犁河灌区灌溉期与非灌溉期土壤盐分含量变异特征进行了分析; 莫洽新等^[5]对塔里木河中下游主要植物群系下的土壤盐分、地下水理化特征与群系最大

收稿日期: 2013-10-29

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2012211A053)

作者简介: 古丽克孜·吐拉克(1986—), 女, 新疆喀什麦盖提县人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区水土资源变化及其遥感应用。

* 通信作者: 李新国。E-mail: onlinelxg@sina.com。

盖度进行了相关分析和回归分析;古丽格娜·哈力木拉提等^[6]采用相关分析法与主成分分析法分析了喀什葛尔河流域盐渍化土壤盐分特征;王雪梅等^[7]以野外调查和实地测点为基础,对新疆典型盐渍化区渭干河—库车河三角洲绿洲土壤盐分特征进行研究。由于区域盐渍化成因不同,因此土壤总体盐分状况、盐离子组成与土壤含盐量的关系也不尽相同,且随季节的变化而发生改变。

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,积盐、脱盐过程存在差异^[8]。土壤盐渍化不仅严重地损害土壤生产潜力,给农业生产带来严重损失,而且盐分的积聚改变了植物生长环境,促进植物类型向盐生、荒漠类型转变,导致生态环境恶化^[9-10]。位于新疆焉耆盆地的开都河流域下游绿洲是典型的人工绿洲区域,由于前期盲目地扩大耕地和长期大量引用地表水进行不合理的灌溉,致使灌区地下水普遍升高,开都河流域下游绿洲土壤盐渍化日趋严重,使部分耕地退化而弃耕^[10]。因此,深入分析人工绿洲区域的土壤盐分分布特征,研究其土壤盐渍化的类型、程度、面积及其分布,为人工绿洲区域盐渍化土地的改良和合理利用,保障干旱区绿洲农业可持续发展提供理论依据。

1 研究区概况

开都河流域下游绿洲位于新疆焉耆盆地,地理位置界于 $82^{\circ}50' \sim 90^{\circ}30' E$, $39^{\circ}06' \sim 43^{\circ}14' N$ 之间,行政区域隶属新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州的和静县、和硕县、博湖县、焉耆县^[12-14]。研究区地处中亚内陆荒漠,为暖温带典型荒漠气候,年均气温 $8.0^{\circ}C \sim 8.6^{\circ}C$,绝对最高气温 $39.0^{\circ}C$,最低气温为 $-30.4^{\circ}C$;年降水量 $60 \sim 80 \text{ mm}$,主要集中在6—8月,占年降雨量60%以上^[15]。研究区内流水地貌、风沙地貌、湖泊地貌类型十分发育;主要的土壤类型为棕漠土、草甸土、沼泽土、灌耕土、潮土、盐土等;植被多为灌木荒漠、多汁木本盐柴类荒漠、芨芨草丛和芦苇沼泽^[16]。研究区内地下水资源较为丰富,地下水可开采量为 $9.05 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$,地下水埋深 $0.5 \sim 7.0 \text{ m}$,矿化度 $0.1 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[17]。

2 材料与方法

2.1 野外样品采集与处理

根据研究区的现状,依据野外调查,尽可能使采样点遍及研究区范围内的未利用地、耕地和林地等三种主要的土地利用类型。样品采样点地理位置采用GPS定位,采样时间为2013年8月10日至8月

13日,共采集50个样点的土壤样品,采样点分布如图1所示。每个采样点分3个采样层分层取样,分别为 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 、 $10 \sim 30 \text{ cm}$ 、 $30 \sim 50 \text{ cm}$ 。同时,对采样点周围的地形地貌、植被类型、植被覆盖度等要素进行描述。

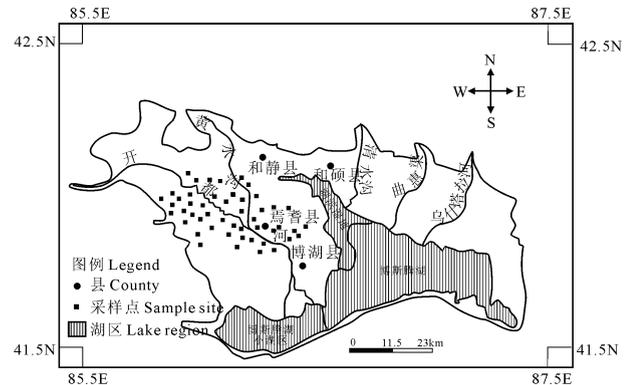


图1 开都河流域下游绿洲采样点分布图

Fig.1 The distribution of sample sites in oasis in the lower reaches of the Kaidu River

2.2 室内样品分析与处理

将采集的所有土壤样品自然风干粉碎,采用20目筛子进行筛选土样,制备1:5土水比浸提液,参照《土壤农业化学分析方法》,对样品的钠、钾、钙、镁、氯、硫酸根、碳酸根、碳酸氢根等盐离子含量进行测定^[18]。 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 采用双指示剂中和法测定; Cl^- 采用 AgNO_3 滴定法测定; SO_4^{2-} 采用EDTA间接滴定法测定; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用EDTA络合滴定法测定; $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 采用差减法;土壤盐分含量采用离子总和法计算。采用SPSS 19.0和DPS 2006软件进行数据统计分析。

3 结果分析

3.1 土壤盐分垂直分布特征分析

从表1可知, $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层土壤盐分含量均值为 $0.7346 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $10 \sim 30 \text{ cm}$ 土层土壤盐分含盐量均值为 $0.2072 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $30 \sim 50 \text{ cm}$ 土层土壤盐分含盐量均值为 $0.1849 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;对比 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层土壤盐分含量均值, $10 \sim 30 \text{ cm}$ 与 $30 \sim 50 \text{ cm}$ 的土层土壤盐分含量均值分别减少71.79%和74.83%,总体上土壤盐分呈现表聚性。

变异系数(CV)能反映随机变量的离散程度,即可以看出土壤盐离子质量分数的空间变异性。一般认为: $CV \leq 10\%$ 为弱变异性; $10\% < CV < 100\%$ 为中等变异性; $CV \geq 100\%$ 为强变异性^[19]。由表1可知,土壤盐分垂直分布方面,不同深度土壤盐分含量的变异程度不同, $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层的变异系数为319%, $10 \sim 30 \text{ cm}$ 、 $30 \sim 50 \text{ cm}$ 土层土壤盐分含盐量的变异

系数分别为 211% 和 193%。随土壤深度的增加, 变异系数逐渐减小, 说明不同土层土壤盐分含量的变异随深度增加而逐渐减弱, 土壤盐分含量均属于强度变异程度。这主要是由于研究区内微地形起伏、

土地利用方式差异、灌溉制度以及耕作方式不同等因素引起; 随着土壤深度的增加, 这些因素对盐分的影响逐渐减弱, 导致盐分在水平方向上的变异强度趋弱, 表现为盐分的变异系数随深度增加而减小。

表 1 土壤盐分含量统计特征值

Table 1 The statistic characteristic value of soil salinity content

| 采样深度/cm Sampling depth | 最小值/(g·kg ⁻¹) Minimum | 最大值/(g·kg ⁻¹) Maximum | 均值/(g·kg ⁻¹) Average value | 标准差/(g·kg ⁻¹) Standard deviation | 变异系数/% Variation coefficient |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------------------|
| 0~10 | 0.0487 | 14.6051 | 0.7346 | 2.3361 | 319 |
| 10~30 | 0.0132 | 2.3289 | 0.2072 | 0.4329 | 211 |
| 30~50 | 0.0153 | 2.3293 | 0.1849 | 0.3872 | 193 |

3.2 土壤盐基离子分布特征

土壤中的盐分是由多种可溶性盐分离子组成的。不同类型盐碱土其土壤盐分离子组成差异显著, 通常每种类型盐碱土均由 1~2 种主要盐分离子组成。土壤盐基离子组成决定土壤的理化性质, 从而影响盐碱土壤脱盐的难易程度。从表 2 可知, 0~10 cm 土层 Cl⁻、SO₄²⁻、Mg²⁺ 和 K⁺ + Na⁺ 的均值均高于 10~30 cm 和 30~50 cm 土层的相应值, 0~10 cm 土层中相应离子平均值为 0.3576 g·kg⁻¹、0.0024 g·kg⁻¹、0.0041 g·kg⁻¹ 和 0.3614 g·kg⁻¹; 10~30 cm 土层中相应离子平均值为 0.0969 g·kg⁻¹、0.0012 g·kg⁻¹、0.0025 g·kg⁻¹ 和 0.0979 g·kg⁻¹; 30~50 cm 土层中相应离子平均值为 0.0857 g·kg⁻¹、0.0008 g·kg⁻¹、0.0023 g·kg⁻¹ 和 0.0893 g·kg⁻¹。这说明各层土壤平均盐分含量在垂直方向上变异较强, 随着土层深度的增加, Cl⁻、SO₄²⁻、Mg²⁺ 和 K⁺ + Na⁺ 离子的均值逐渐减少, 0~10 cm 的盐基离子平均值最大, 10~30 cm 的次之, 30~50 cm 的最小, 总体上土壤盐分分布呈现较强的表聚性。

从表 2 可知, 0~10 cm、10~30 cm 与 30~50 cm 表层土壤中盐分离子均值呈现 Cl⁻ > SO₄²⁻ > Ca²⁺ > Mg²⁺。根据盐分运动的规律, 以氯化物最为活跃, 硫酸盐次之, 碳酸盐较稳定。在易溶性盐类上行过程中, 氯化物表聚性最为强烈, 硫酸盐次之。土壤溶液中高浓度的 Cl⁻、SO₄²⁻ 是盐土的特征, 而高含量的 HCO₃⁻, 则是碱土的特点^[20-21]。

3.3 土壤盐分含盐量和离子间主成分分析

选择总盐、CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 和 K⁺ + Na⁺ 八个变量进行主成分分析, 按照累计贡献率达到 85% 确定主成分个数, 并计算主成分与各项指标的相关系数。从表 3、表 4 和表 5 可知, 0~10 cm 土层中第一、二主成分的方差贡献率为 58.42% 和 16.94%, 其累计贡献率达到 75.36%; 10~30 cm 土层中第一、二主成分的方差贡献率为

65.40%、14.19%, 其累计贡献率达到 79.59%; 30~50 cm 土层中第一、第二主成分的方差贡献率为 60.37%、14.75%, 其累计贡献率达到 74.12%; 0~10 cm 土层中与第一主成分密切相关的是总盐、SO₄²⁻、Cl⁻, 其相关系数为 0.99; 在 10~30 cm 土层中与第一主成分密切相关的是 Cl⁻、K⁺ + Na⁺、SO₄²⁻、Ca²⁺ 和总盐, 其相关系数大于 0.95; 在 30~50 cm 土层中与第一主成分密切相关的是 Cl⁻、K⁺ + Na⁺、总盐, 其相关系数大于 0.96; 由土壤盐分离子间主成分分析可知, Cl⁻、SO₄²⁻ 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。HCO₃⁻ 不仅是盐分离子组成, 所以这个主成分主要表征碱化特征对土壤积盐的影响^[4,6]。在整个土层中 HCO₃⁻ 与第一、二和第三主成分表现出一定的负向载荷, HCO₃⁻ 的负向载荷则代表了土壤的碱化状况。在第二主成分中, 0~10 cm、10~30 cm 和 30~50 cm 的土层中 CO₃²⁻ 的载荷较高, 呈正相关, 分别为 0.64、0.44 和 0.74, 说明该主成分是在第一主成分的基础上进一步反映了土壤盐渍化在一定程度上受到 CO₃²⁻ 的影响。根据各指标与第一主成分间的相关性系数, 第一层盐渍化状况的特征因子是 SO₄²⁻、Cl⁻、总盐; 第二层盐渍化状况的特征因子是 Cl⁻、K⁺ + Na⁺、SO₄²⁻ 和总盐; 第三层盐渍化状况的特征因子是 Cl⁻、K⁺ + Na⁺、SO₄²⁻ 和总盐。因此, 研究区土壤盐渍化状况的特征因子是 Cl⁻、SO₄²⁻ 和总盐。

3.4 不同土地利用类型与土壤盐分离子组成变化

在不同土地利用方式下, 由于抽取地下水、灌水入渗、蒸发等引起地下水位在时间和空间上变化, 由于地下水中溶质被移走或带人, 地下水发生淡化或浓缩, 浅层地下水矿化度发生时空变化, 并引起区域土壤盐分浓度与运移规律不同^[22-23]。因此, 选取了耕地、未利用地和林地三种土地利用类型, 分析土地利用和土壤盐渍化之间的关系。

表2 不同深度土壤盐分及离子组成描述统计结果

Table 2 Descriptive statistic results of the soil salinity and ion components in different depth

| 采样深度/cm Sampling depth | 项目 Item | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ + Na ⁺ | 总盐 Total salt |
|---------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| 0~10 | 最小值 Minimum/(g·kg ⁻¹) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0192 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0194 | 0.0490 |
| | 最大值 Maximum/(g·kg ⁻¹) | 0.0029 | 0.0088 | 7.2540 | 0.0378 | 0.0507 | 0.0170 | 7.2519 | 14.6058 |
| | 均值 Average value/(g·kg ⁻¹) | 0.0001 | 0.0034 | 0.3589 | 0.0026 | 0.0050 | 0.0040 | 0.3607 | 0.7348 |
| | 标准差 Standard deviation/(g·kg ⁻¹) | 0.0004 | 0.0016 | 1.1599 | 0.0063 | 0.0090 | 0.0044 | 1.1621 | 2.3368 |
| | 变异系数 Variance/% | 344.5 | 47.4 | 323.2 | 239.8 | 180.4 | 109.3 | 322.2 | 318.0 |
| 10~30 | 最小值 Minimum/(g·kg ⁻¹) | 0.0000 | 0.0018 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0056 | 0.0138 |
| | 最大值 Maximum/(g·kg ⁻¹) | 0.0006 | 0.0061 | 1.1532 | 0.0173 | 0.0086 | 0.0147 | 1.1325 | 2.3291 |
| | 均值 Average value/(g·kg ⁻¹) | 0.0001 | 0.0037 | 0.0973 | 0.0011 | 0.0027 | 0.0026 | 0.0997 | 0.2070 |
| | 标准差 Standard deviation/(g·kg ⁻¹) | 0.0001 | 0.0010 | 0.2154 | 0.0031 | 0.0013 | 0.0035 | 0.2119 | 0.4327 |
| | 变异系数 Variance/% | 207.2 | 25.8 | 221.4 | 272.7 | 46.9 | 133.7 | 212.5 | 209.0 |
| 30~50 | 最小值 Minimum/(g·kg ⁻¹) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0024 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0068 | 0.0151 |
| | 最大值 Maximum/(g·kg ⁻¹) | 0.0011 | 0.0061 | 1.1532 | 0.0173 | 0.0086 | 0.0186 | 1.1325 | 2.3291 |
| | 均值 Average value/(g·kg ⁻¹) | 0.0001 | 0.0037 | 0.0859 | 0.0008 | 0.0029 | 0.0023 | 0.0894 | 0.1852 |
| | 标准差 Standard deviation/(g·kg ⁻¹) | 0.0003 | 0.0011 | 0.1928 | 0.0025 | 0.0014 | 0.0037 | 0.1895 | 0.3870 |
| | 变异系数 Variance/% | 226.5 | 30.9 | 224.4 | 298.4 | 49.8 | 161.2 | 212.0 | 209.0 |

表3 0~10 cm 土层盐分变量主成分分析的计算结果

Table 3 The calculated results for the soil salinity variables in 0~10 cm layer by the principle component analysis

| 项目 Item | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | SO ₄ ²⁻ | K ⁺ + Na ⁺ | 总盐 Total salt | 贡献率/% Contribution rate |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|
| 第一主成分 First primary factor | 0.05 | 0.14 | 0.99 | 0.91 | 0.44 | 0.84 | 0.99 | 0.99 | 58.42 |
| 第二主成分 Second primary factor | 0.64 | 0.74 | 0.05 | 0.12 | -0.60 | -0.18 | 0.06 | 0.06 | 16.94 |

表4 10~30 cm 土层盐分变量主成分分析的计算结果

Table 4 The calculated results for the soil salinity variables in 10~30 cm layer by the principle component analysis

| 项目 Item | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | SO ₄ ²⁻ | K ⁺ + Na ⁺ | 总盐 Total salt | 贡献率/% Contribution rate |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|
| 第一主成分 First primary factor | -0.23 | -0.38 | 0.96 | 0.95 | 0.65 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 65.04 |
| 第二主成分 Second primary factor | 0.44 | 0.67 | 0.22 | -0.06 | -0.57 | 0.15 | 0.23 | 0.22 | 14.19 |

表5 30~50 cm 土层盐分变量主成分分析的计算结果

Table 5 The calculated results for the soil salinity variables in 30~50 cm layer by the principle component analysis

| 项目 Item | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | SO ₄ ²⁻ | K ⁺ + Na ⁺ | 总盐 Total salt | 贡献率/% Contribution rate |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|
| 第一主成分 First primary factor | -0.14 | -0.27 | 0.97 | 0.81 | 0.70 | 0.89 | 0.96 | 0.97 | 60.37 |
| 第二主成分 Second primary factor | 0.74 | 0.75 | 0.03 | 0.27 | -0.03 | 0.01 | 0.04 | 0.04 | 14.75 |

从表6可知,未利用地土壤总盐分均值高于其它土地利用类,耕地次之,分别为0.4420 g·kg⁻¹和0.0755 g·kg⁻¹,未利用地包括研究区内的盐渍化程度较高的裸地、荒地和已退化的草地等土地类型,该

土地类型的土地上植被稀疏,地下水埋深很深,盐分的表聚现象较严重,因此,总盐分均值高于其它任何的土地利用类型。耕地总盐分均值为0.0755 g·kg⁻¹,总盐分均值较低,说明部分农田出现次生盐渍

化,这与该区农田长期处于高集约化、高复种指数、高肥料施用量的生产状态,并缺乏科学管理措施有关^[4]。林地总盐分均值最低,其盐分平均值为 $0.0414 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,原因在于林地地表覆盖高,使地表温度下降,阻止水分大量蒸发,盐分不能大量上升到达

地表^[24]。研究区土壤盐基离子以 Cl^- 、 SO_4^{2-} 为主,三种土地利用类型中 SO_4^{2-} 和 Cl^- 的均值从高到低依次为未利用地、耕地和林地,表明三种土地利用类型中未利用地的盐渍化程度最高,耕地次之。

表 6 不同种土地利用类型盐分及离子组成变化

Table 6 Change of soil salinity and ion components for different land use types

| 土地利用 Land use type | 项目 Item | CO_3^{2-} | HCO_3^- | Cl^- | SO_4^{2-} | Ca^{2+} | Mg^{2+} | $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ | 总盐 Total salt |
|--------------------------|--|--------------------|------------------|---------------|--------------------|------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| 耕地 Cultivated land | 最小值 Minimum/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0000 | 0.0021 | 0.0144 | 0.0016 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0148 | 0.0388 |
| | 最大值 Maximum/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0006 | 0.0050 | 0.0612 | 0.0036 | 0.0084 | 0.0021 | 0.0673 | 0.1371 |
| | 均值 Average value/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0001 | 0.0038 | 0.0318 | 0.0024 | 0.0016 | 0.0004 | 0.0358 | 0.0755 |
| | 标准差 Standard deviation/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0001 | 0.0008 | 0.0123 | 0.0004 | 0.0016 | 0.0005 | 0.0124 | 0.0248 |
| | 变异系数 Variance/% | 182.5 | 21.7 | 38.7 | 17.7 | 104.4 | 128.9 | 34.5 | 32.9 |
| 未利用地 Unused land | 最小值 Minimum/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0000 | 0.0018 | 0.0300 | 0.0021 | 0.0007 | 0.0001 | 0.0344 | 0.0725 |
| | 最大值 Maximum/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0006 | 0.0043 | 0.8760 | 0.0078 | 0.0141 | 0.0139 | 0.8667 | 1.7733 |
| | 均值 Average value/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0001 | 0.0032 | 0.2145 | 0.0033 | 0.0041 | 0.0019 | 0.2149 | 0.4420 |
| | 标准差 Standard deviation/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0002 | 0.0008 | 0.2737 | 0.0015 | 0.0044 | 0.0039 | 0.2715 | 0.5497 |
| | 变异系数 Variance/% | 346.4 | 26.3 | 127.6 | 46.6 | 107.0 | 204.6 | 126.3 | 124.4 |
| 林地 Forest land | 最小值 Minimum/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0000 | 0.0027 | 0.0012 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0002 | 0.0056 | 0.0138 |
| | 最大值 Maximum/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0003 | 0.0061 | 0.0384 | 0.0028 | 0.0008 | 0.0005 | 0.0436 | 0.0895 |
| | 均值 Average value/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0002 | 0.0043 | 0.0144 | 0.0019 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0196 | 0.0414 |
| | 标准差 Standard deviation/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 0.0002 | 0.0017 | 0.0208 | 0.0011 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0209 | 0.0419 |
| | 变异系数 Variance/% | 86.6 | 39.8 | 144.6 | 57.2 | 11.5 | 57.6 | 107.0 | 101.2 |

4 结 论

1) 0~10 cm 土层,土壤盐分含量均值为 $0.7348 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,10~30 cm 土层土壤盐分含量均值为 $0.2070 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,30~50 cm 土层土壤盐分含量均值为 $0.1852 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,随土层深度增加土壤盐分含盐量减少,0~10 cm、10~30 cm 与 30~50 cm 土层总盐的变异系数分别为 319%、211% 和 193%,呈现强变异性。

2) 三个采样层中,随着土壤采样深度的增加, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 盐基离子的均值逐渐减少,总体上土壤盐分分布具有较强的表聚性。

3) 主成分分析表明,第一层盐渍化状况的特征因子是 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、总盐;第二层盐渍化状况的特征因子是 Cl^- 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 SO_4^{2-} 和总盐;第三层盐渍化状况的特征因子是 Cl^- 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 SO_4^{2-} 和总盐。研究区土壤盐渍化状况的特征因子是 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和总盐。

4) 未利用地、耕地、林地土壤总盐均值分别为 $0.4420 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.0755 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.0414 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,未利用地土壤总盐远高于其它两种土地利用类型。土壤盐基离子以 Cl^- 、 SO_4^{2-} 为主,三种土地利用类型中

SO_4^{2-} 和 Cl^- 的均值从高到低依次为未利用地、耕地和林地;未利用地的盐渍化程度最高,耕地次之。

参 考 文 献:

- [1] 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.
- [2] 张体彬,康跃虎,胡伟.基于主成分分析的宁夏银北地区龟裂碱土盐分特征研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(2):39-46.
- [3] 付秋萍,张江辉,王全九,等.塔里木盆地土壤盐分变化特征分析[J].自然科学进展,2007,17(8):1091-1097.
- [4] 麦麦提·吐尔逊·艾则孜,海米提·依米提,艾尼瓦尔·买买提,等.天山西部伊犁河流域土壤盐分特征[J].环境科学,2010,23(6):774-781.
- [5] 莫治新,尹林克.塔里木河中下游不同植被群系下土壤盐分及地下水特征[J].干旱区资源与环境,2005,19(1):163-166.
- [6] 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.
- [7] 王雪梅,塔西甫拉提·特依拜,柴仲平,等.新疆典型盐渍化区离子特征分析[J].干旱区资源与环境,2009,23(12):183-187.
- [8] 张 飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽.渭干河-库车河三角洲绿洲盐渍化土壤特征研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):146-150.
- [9] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.

- 198-183.
- [2] 邓振镛,王强,张强,等.中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施[J].生态学报,2010,30(22):6278-6288.
- [3] 王修兰.二氧化碳、气候变化与农业[M].北京:气象出版社,1996.
- [4] 高辉明,张正斌,徐萍,等.2001—2009年中国北部冬小麦生育期和产量变化[J].中国农业科学,2013,46(11):2201-2210.
- [5] Tao F L, Yokozawa M, Xu Y L, et al. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981—2000[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 138:82-92.
- [6] Daniel R, Chavas R, Csar I, et al. Long term climate change impacts on agricultural productivity in eastern China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149:1118-1128.
- [7] 杨建莹,梅旭荣,刘勤,等.气候变化背景下华北地区冬小麦生育期的变化特征[J].植物生态学报,2011,35(6):623-631.
- [8] Tao Fulu, Zhang Shuai, Zhang Zhao. Spatiotemporal changes of wheat phenology in China under the effects of temperature, day length and cultivar thermal characteristics[J]. European Journal of Agronomy, 2012, 43:201-212.
- [9] Xiao Dengpan, Tao Fulu, Liu Yujie, et al. Observed changes in winter wheat phenology in the North China Plain for 1981—2009[J]. Int J Biometeorol. 2013, 57:275-285.
- [10] 姬兴杰,朱业星,刘霄迎,等.气候变化对北方冬麦区冬小麦生育期的影响[J].中国农业气象,2011,3(4):576-581.
- [11] 余卫东,赵国强,陈怀亮.气候变化对河南省主要农作物生育期的影响[J].中国农业气象,2007,28(1):9-12.
- [12] Estrella N, Sparks T H, Menzel A. Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany[J]. Global Change Biology, 2007, 13:1737-1747.
- [13] Garcia-Mozo H, Mestre A, Galan C. Phenological trends in southern Spain: A response to climate change[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150:575-580.
- [14] 王斌,顾蕴倩,刘雪,等.中国冬小麦种植区光热资源及其配比的时空演变特征分析[J].中国农业科学,2012,45(2):228-238.
- [15] 姬兴杰,朱业星,刘霄迎,等.气候变化对北方冬麦区冬小麦生育期的影响[J].中国农业气象,2011,3(4):576-581.
- [16] 余卫东,赵国强,陈怀亮.气候变化对河南省主要农作物生育期的影响[J].中国农业气象,2007,28(1):9-12.
- [17] 杜莉,李燕,王志伟.我国西北冬小麦生长发育对气候变化相应分析[J].山西农业科学,2011,39(8):872-876.
- [18] 陈书涛,王让会,许遐祯,等.气温及降水变化对江苏省典型农业区冬小麦、水稻生育期的影响[J].中国农业气象,2011,2(2):235-239.
- [19] 段金省.气候变暖对陇东塬区冬小麦成熟期的影响与适宜收获期预报[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):158-161.
- [20] 谷永利,林艳,李元华.气温变化对河北省冬小麦主要发育期的影响分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(12):141-145.
- [21] 曹倩,姚凤梅,林而达,等.近50年冬小麦主产区农业气候资源变化特征分析[J].中国农业气象,2011,32(2):161-166.
- [22] 张文宗,赵春雷,康西言,等.河北省冬小麦旱灾风险评估和区划方法研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):10-16.
- [23] 谭方颖,王建林,宋迎波.华北平原气候变暖对气象灾害发生趋势的影响[J].自然灾害学报,2010,19(5):125-131.
- [24] 王力,李凤霞,徐维新,等.气候变化对柴达木灌区小麦生育期的影响[J].中国农业气象,2010,209(3):356-362.
- [25] Porter J R, Gawith M. Temperatures and the growth and development of wheat: a review[J]. European Journal of Agronomy, 1999, 10(1):23-36.
- [26] 张明捷,王运行,赵桂芳,等.濮阳冬小麦生育期气候变化及其对小麦产量的影响[J].中国农业气象,2009,30(2):223-229.
- [27] 万信,王润元.气候变化对陇东冬小麦生态影响特征研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):80-84.

(上接第224页)

- [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):147-158.
- [11] 李新国,樊自立,李会志,等.开都河下游灌区土壤盐渍化动态变化研究[J].水土保持研究,2011,18(3):64-72.
- [12] 张建平.博斯腾湖流域生态环境现状及治理对策浅析[J].环境科技,2010,23(增刊2):76-79.
- [13] 兰文辉,阿比提,安海燕.新疆博斯腾湖流域水环境保护与治理[J].湖泊科学,2003,15(2):148-152.
- [14] 张飞,塔西甫拉提·特依拜,孔祥瑞.干旱区绿洲土地利用景观空间格局动态变化研究——以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J].资源科学,2006,28(6):167-174.
- [15] 董新光,弥爱娟,吴永光.四水平衡模型在博斯腾湖流域水资源利用与保护中的应用[J].资源科学,2005,27(3):131-134.
- [16] 张俊,周成虎,李建新.新疆焉耆盆地近40年土地利用与土地覆被演化[J].资源科学,2004,26(6):30-37.
- [17] 王水献,董新光,刘延峰.焉耆盆地绿洲区近50年地下水文时空变异及水盐演变[J].地质科技情报,2009,28(5):101-108.
- [18] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [19] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002:30-35.
- [20] 王耿明,姜琦刚,高永志,等.松辽平原土壤盐渍化现状及盐分特征分析[J].水土保持研究,2008,15(3):105-111.
- [21] 卢磊,乔木,周生斌.新疆渭干河流域土壤盐渍化及其驱动力分析[J].农业现代化研究,2011,32(3):357-361.
- [22] 刘延峰,靳孟贵,金英春.焉耆盆地土壤盐渍化状况的主成分分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):165-171.
- [23] 马兴旺,朱靖蓉,李保国.绿洲土地利用对地下水矿化度时空变化影响的定量评估[J].自然资源学报,2009,24(3):466-475.
- [24] 何贵平,陈益泰,黄一青,等.杭州湾海涂造林后土壤盐分和水份动态变化[J].林业科学研究,2006,19(2):257-260.