

## 黑河中游地区水循环过程对土壤盐分特征的影响

孟雪, 张娟, 郑一\*, 田勇, 吴鑫, 吴斌, 李金国, 王赛, 朱宰元

北京大学工学院能源与资源工程系, 北京 100871

**摘要:** 干旱、半干旱区的土壤盐渍化是重要的生态环境问题。黑河流域是我国第二大内陆河流域, 研究该地区的土壤盐渍化问题对于我国西部地区的可持续发展具有重要意义。黑河的中游地区集中了流域内绝大部分人口和经济活动(以农业生产为主)。该研究对黑河中游地区表层土壤进行了全面采样, 测定了土壤含盐量及其离子构成; 并通过主成分分析确定了表征盐渍化程度的第一主成分和表征碱化程度的第二主成分。结合地表-地下水耦合模拟的结果, 探讨了研究区水循环过程对土壤盐分特征的影响。研究表明, 黑河中游表层土壤的盐渍化程度较高, 高台-金塔一带盐渍化最严重, 含盐量最高可达31.4%, 其次为酒泉北部和张掖南部地区, 含盐量在0.20%~0.37%之间。黑河中游土壤的盐渍化程度与地下水埋深密切相关。总体而言, 地下水埋深越浅, 土壤含盐量的均值越高, 而标准差越大。研究区土壤主要呈原生盐渍化, 次生盐渍化现象不显著。黑河中游土壤碱化程度较轻, 碱化程度和盐渍化程度的空间分布呈反向关系。黑河中游的灌溉活动未造成显著的次生盐渍化, 但一定程度上提高了土壤的碱化程度。与以往研究相比, 该研究更全面地覆盖了黑河中游地区的代表性地点, 并定量分析了区域水循环与土壤盐渍化之间的联系, 研究结果对于我国西部地区水土资源的可持续开发利用具有重要参考价值。

**关键词:** 黑河流域; 土壤; 盐渍化; 地下水; 绿洲农业; 灌溉

**DOI:** 10.16258/j.cnki.1674-5906.2015.07.004

**中图分类号:** S153; S151.9

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906(2015)07-1108-05

**引用格式:** 孟雪, 张娟, 郑一, 田勇, 吴鑫, 吴斌, 李金国, 王赛, 朱宰元. 黑河中游地区水循环过程对土壤盐分特征的影响[J]. 生态环境学报, 2015, 24(7): 1108-1112.

MENG Xue, ZHANG Juan, ZHENG Yi, TIAN Yong, WU Xin, WU Bin, LI Jinguo, WANG Sai, JOO Jaewon. Impacts of Hydrological Processes on Soil Salinity in the Middle Heihe River Basin [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(7): 1108-1112.

土壤盐渍化是指在特定气候、地质及土壤质地等自然因素以及人为引水灌溉不当引起的土地质量退化的过程(白福等, 2008)<sup>231</sup>。土壤盐渍化是干旱、半干旱地区突出的生态环境问题。我国的干旱、半干旱区约占国土总面积的一半, 其中盐渍土分布广泛(俞仁培, 2001)。土壤的积盐、脱盐过程受各种自然和人为因素影响, 故土壤盐分组成及离子比例存在显著地理差异(毛任钊等, 1997)。土壤盐渍化可分为原生盐渍化和次生盐渍化, 前者指未受人类干扰而保持天然状态的盐渍化过程, 后者通常指由于不合理的耕作灌溉引起的盐渍化过程。分析盐渍化土壤的盐分特征, 对于干旱、半干旱区农业可持续发展具有重要的意义(古丽格娜·哈力木拉提等, 2012)。土壤盐渍化问题的研究已在国内许多地区开展(张飞等, 2007; 范晓梅等, 2014; 范晓梅等, 2010)。黑河流域是我国第二大内陆河流域, 是我国干旱、半干旱区水土资源管理研究与实践的代表性区域(程国栋等, 2014)。黑河流域

的土壤盐渍化问题已获得一定研究。石迎春等(2009)在黑河中游高台县境内黑河干流两侧进行采样, 分析了当地的土壤盐分特征。白福等(2008)<sup>232-235</sup>对黑河中游平原土壤的盐渍化成因进行了定性讨论。总体而言, 现有研究尚未全面覆盖黑河中游地区的代表性地点, 且很少定量分析区域水循环与土壤盐渍化的关系。

本研究在整个黑河中游地区进行采样, 测试表层土壤样品的含盐量及离子构成, 并对测试结果进行了多元统计分析。此外, 结合分布式地表-地下水耦合模拟的结果(Tian et al., 2014), 定量研究了土壤盐渍化与当地水循环过程的联系。研究结果对于黑河中游地区水土资源管理具有重要参考意义。

### 1 研究区概况

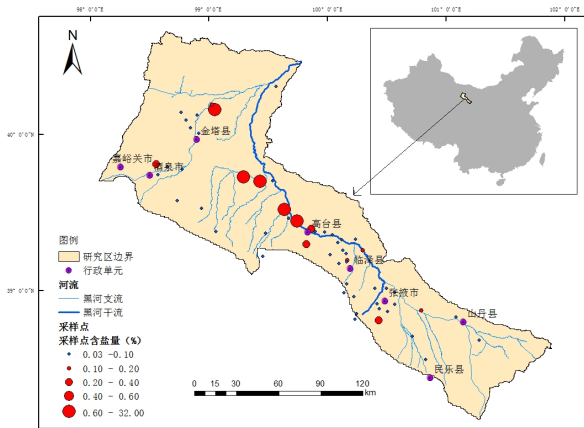
本研究利用 ArcSwat 软件根据河流特征划出黑河中游流域边界, 其中采样点位置分布如图所示(见图 1)。黑河中游地区总面积为 39 800 km<sup>2</sup>, 自东南向西北依次包括大马营盆地、张掖盆地、酒泉

**基金项目:** 国家科技支撑计划项目(2012BAC03B02); 国家自然科学基金重大研究计划集成项目(91225301)

**作者简介:** 孟雪(1993年生), 女, 博士研究生, 从事水文水资源研究。E-mail: mengxue@pku.edu.cn

\*通信作者。E-mail: yizheng@pku.edu.cn

**收稿日期:** 2015-05-25



样品量  $n=57$

图1 研究区范围(黑河中游)、采样点位置及表层土壤含盐量的空间分布

Fig. 1 The study area (the middle stream of Heihe River) and the soil sampling locations with the total salt content indicated

东盆地、酒泉西盆地和金塔盆地,涉及的行政单元包括张掖市的山丹、民乐、临泽、高台、甘州区四县一区,酒泉市及其下辖的金塔县。绿洲农业主要集中于张掖盆地,张掖盆地东起永固丘陵,西至榆木山前,南北以山为界,东西长 140 km,南北宽逾 60 km,面积达 8 100 km<sup>2</sup>,为大型山间盆地(作彦卿等, 2010)<sup>72</sup>。研究区整体地势南高北低,海拔介于 1 100 m 至 2 300 m 之间。区域气候为大陆性干旱气候,年降水量为 60~300 mm,多年平均实际蒸发量为 700~1 000 mm,远大于区内降水量。该区堆积了较厚的第四系松散沉积物,沉积物自南向北由粗变细,主要为洪积和冲洪积的砂、黏土和含砾砂岩;其间分布有较厚的黏土层。

## 2 研究方法

### 2.1 土样采集

绿洲农业是黑河中游主要的土地利用方式,故本研究重点关注耕层土壤的盐渍化问题。目前,当地农田仍主要采用传统耕作方式(即人力或小型农机具作业),耕层厚度通常为 12~15 cm。2014 年 8 月上旬在黑河中游采集表层(0~15 cm)土壤样品 57 个,采样点位置如图 1 所示。样点布设考虑了多方面因素:第一,空间上能对研究区有较好覆盖;其次,涵盖代表性的土地利用类型(以绿洲农田为主,兼顾草地、林地和荒漠戈壁);第二,涵盖代表性的土壤类型(盐土、灰钙土、灌淤土和风沙土等);第三,采样点具有交通可达性。每次采样时,先选定一块 10 m×10 m 的正方形样地,样地应能较好代表周边 1~2 km 范围内的典型土壤条件;然后,采用非系统 X 形线段采样方式(鲁如坤, 1998),在样地四角及中心位置分别采取适量土样,混合后装袋送回实验室处理。

### 2.2 样品处理与测试

在实验室内,将所采集的土样置于通风良好处自然风干。之后,除去草根,研磨过 1 mm 筛,装入自封袋中保存。在进行土壤离子含量测试时,取 50 g 处理后的土样与 250 mL 蒸馏水(水土比 5:1)进行混合浸提。提取液中 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的含量用美国戴安 ICS-2000 离子色谱测定;CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>的含量采用双指示剂中和滴定法测定(鲍士旦, 2000);pH 值和电导率则使用美国奥立龙便携式多参数测量仪(520M-01)测定。

### 2.3 地表-地下水耦合模拟

黑河中游地区的水循环过程十分特殊,地表水和地下水频繁转换,且受人类活动影响的强烈扰动。例如,张应华等(2005)运用同位素 δ<sup>18</sup>O 分析,发现农田灌溉活动对地表水和地下水的转化有显著影响。为定量分析黑河中游水循环过程对该地区土壤盐渍化的影响,本研究从 Tian et al.(2014)所建的黑河中下游地表-地下水耦合模型(基于美国地质调查局的 GSFLOW 建模平台)中提取了研究区 1 km×1 km 网格精度的水文变量数据集(2003—2012 年),具体包括降水、潜在蒸散发、实际蒸散发、地下水水位及埋深、气温、灌溉量、离排灌渠远近等。通过分析这些水文变量的空间规律,尝试揭示研究区土壤盐渍化与当地水循环过程的联系。

### 2.4 数据分析

本研究对土壤离子含量数据和水文变量数据进行了基本统计分析及主成分分析。水文变量以土壤采样点对应的模型网格数据作为样本点。如前所述,所选样地能较好代表周边 1~2 km 范围内的典型土壤条件,故样点数据可以合理体现所在模型网格(1 km×1 km)的平均情况。所有数据分析利用 Excel 及 SPSS18.0 软件完成。

## 3 结果与讨论

### 3.1 土壤盐分的基本统计特征

土壤样品的 pH 值在 6.58~8.79 之间,大部分呈中性或弱碱性。阳离子中, Ca<sup>2+</sup>含量最高,几何均值为 85.07 mg·kg<sup>-1</sup>;其次是 Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>和 K<sup>+</sup>,几何均值分别为 62.06、40.18 和 31.23 mg·kg<sup>-1</sup>。阴离子中, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量最高,几何均值为 242.78 mg·kg<sup>-1</sup>;其次是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 Cl<sup>-</sup>,几何均值分别为 161.59 和 54.80 mg·kg<sup>-1</sup>。CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>含量极少,部分土样并未检出。如表 1 所示,总含盐量(HYL)与 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量的相关系数都在 0.99 以上,而与 K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>的相关系数在 0.85 以上,表明土壤含盐量的空间变化规律主要受这五种离子控制。虽然 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量虽然很高,但与总含盐量却无相关性。pH 仅与 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>显著相关:pH 高的土样,通常都可检出 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>,且含量较高。

表 1 土壤盐含量的皮尔逊相关系数矩阵

Table 1 Correlation coefficient matrix of ions and total salt contents

项目	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HYL
pH	1.000									
Na <sup>+</sup>	0.198	1.000								
K <sup>+</sup>	0.0271	0.831*	1.000							
Mg <sup>2+</sup>	0.255	0.815*	0.992*	1.000						
Ca <sup>2+</sup>	0.143	0.654*	0.728*	0.714*	1.000					
Cl <sup>-</sup>	0.220	0.991*	0.896*	0.882*	0.691*	1.000				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.202	0.998*	0.853*	0.839*	0.701*	0.995*	1.000			
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.670*	0.284	0.526*	0.493*	0.402*	0.350*	0.308	1.000		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.291	-0.036	0.008	-0.015	-0.191	-0.028	-0.049	-0.140	1.000	
HYL	0.207	0.997*	0.866*	0.851*	0.696*	0.997*	0.999*	0.319	-0.041	1.000

\*表示通过置信水平为 0.99 的双侧检验

### 3.2 盐渍土的空间分布特征

参照文献 (中国科学院南京土壤研究所, 1991), 将含盐量超过 0.1% 作为盐渍土的界定标准, 并根据 Cl<sup>-</sup>/2SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 毫克当量比值进行盐渍化类型划分。结果表明, 黑河中游地区盐渍土 (见图 1 中红色实心圆圈所示采样点) 主要分布在高台-金塔一带, 酒泉北部、张掖南部地区。高台-金塔一带盐渍化程度严重, 含盐量最高可达 31.4%, 盐渍土类型主要为亚硫酸盐渍土; 酒泉北部、张掖南部地区中度盐渍化, 含盐量在 0.20%~0.37% 之间, 主要为硫酸盐渍土。图 2 显示了由耦合模型模拟的 2012 年平均地下水埋深分布图。可见, 这些盐渍土分布集中的区域地下水埋深都很浅。其它水文变量与土壤盐渍化程度之间的关联性并不显著。

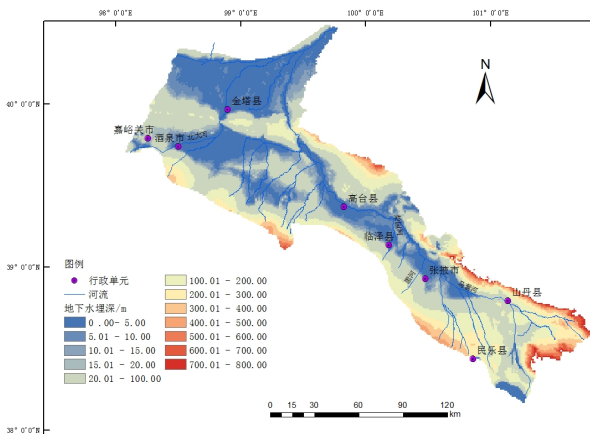


图 2 研究区 2012 年平均地下水埋深

Fig 2 Depth to water table in the study area as of 2012

为进一步分析地下水对当地土壤盐渍化程度的影响, 将土样按所在位置地下水埋深 (2003—2012 年均值) 进行分组 (0~5、5~10、10~20 m 及大于 20 m), 并计算了各组样品含盐量的几何均值及标准差 (见表 2)。土壤盐渍化是一个逐步发展的长期过程, 土样含盐量体现的是采样前相当长一段时间内当地水文过程的累积作用。因此, 本研究采

表 2 不同地下水埋深条件下的土壤含盐量

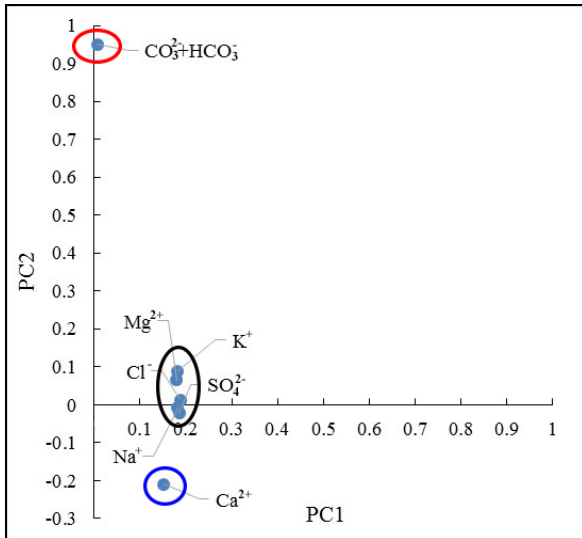
Table 2 Total salt contents for different levels of depth to water table

地下水埋深/m	含盐量几何均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	含盐量标准差/(mg·kg <sup>-1</sup> )
0~5	0.203	9.005
5~10	0.125	2.876
10~20	0.083	0.097
>20 m	0.051	0.071

用地下水埋深的多年平均值进行分析。埋深分组则基于如下考虑: 首先, 潜水蒸发极限 (4~4.5 m) 是土壤活性积盐和残余积盐的分界 (樊自立等, 2008), 故将 5 m 作为第一个分界点; 其次, 地下水埋深超过 10 m 的情况下, 绝大部分植物已无法利用地下水满足生长需要 (王希义等, 2013), 故将 10 m 作为第二个分界点; 再次, 为了进一步细化分组, 增加了 20 m 这个分界点。由表 2 可见, 总体上, 地下水埋深越浅, 土壤含盐量的均值越高, 而标准差越大。这表明研究区内土壤含盐量受到地下水的显著影响。在盐渍化程度较高的金塔-高台一带和酒泉北部地区, 地下水位埋深一般小于 10 m, 地下水化学类型主要为 Cl-SO<sub>4</sub>-Na-Mg、Cl-SO<sub>4</sub>-Na 和 Cl-Na (仵彦卿等, 2010)<sup>86</sup>, 矿化度高。这些地区夏季气温可高达 40 °C, 蒸发量远大于降水量, 含盐地下水的蒸发浓缩作用十分强烈, 导致盐分在土壤表层积聚, 尤其是 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的含量显著高于周边其它地区。另一方面, 在盐渍化程度整体较高的地区, 土样含盐量的标准差也显著高于其它地区, 说明除了地下水特征和气候条件外, 还有其它的重要影响因素存在。

### 3.3 主成分分析结果及讨论

对土样的八大离子含量进行了主成份分析, 并以累计方差贡献率大于 80% 为标准划分确定第一主成分 (PC1) 和第二主成分 (PC2)。由于部分土样未检测到 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, 故将 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 含量与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量相加作为一个变量纳入分析。7 个变量在两个主成分中的系数如图 3 所示。Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 这 5 个离子组分在 PC1 中的系数均在 0.2 左右, 显



样本数  $n=57$

图 3 各离子组分在第一主成分和第二主成分中的系数

Fig. 3 The coefficients of different ions in the first and second principal components

著大于它们在 PC2 中的系数 (-0.008~0.089)。如前所述，这 5 个离子均与含盐量呈高度正相关，表明 PC1 可代表土壤的盐渍化程度。 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  在 PC2 中的系数高达 0.95，表明 PC2 可代表土壤的碱化程度。 $\text{Ca}^{2+}$  在 PC1 和 PC2 中系数分别为 0.152 和 -0.209，数量级大致相当， $\text{Ca}^{2+}$  含量与研究区土壤盐渍化程度和碱化程度都相关。可见，主成分分析清楚的区分了土壤盐渍化和土壤碱化这两大特征。

图 4 展示了主成分得分的空间分布。PC1 得分的分布与土壤含盐量的分布 (图 1) 十分相似。PC2 得分的分布则与 PC1 呈明显的反向关系，即盐渍化程度高的地方碱度低。这在临泽县附近的灌区表现的最为突出。黑河中游地区每年的毛灌溉水量达到 22.6 亿  $\text{m}^3$  (2003—2012 年平均)，其中 80% 是地表

水。相比地下水，黑河中游的地表水矿化度较低 (温小虎等, 2004)，pH 较高 (郜银梁等, 2011)，具有高碱度、低矿化度的特点。而前人的研究已表明 (孟昭甫等, 1984)，碱性低矿化水用于灌溉易造成土壤的次生碱化。据此推断，PC2 得分较高的地点存在地表水灌溉引起的土壤碱度增加。根据文献中的碱化标准 (张杰, 2010)， $\text{pH} > 8.5$ ，碱化度  $> 5\%$  的土壤为碱化土，而采集土样  $\text{pH} > 8.5$  的样点极少，并且所有土样  $\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$  均  $< 1$ ，故目前黑河中游地区尚未达到碱化的程度。

为了进一步分析灌溉活动是否导致了土壤次生盐渍化，将 57 个土样按是否为农田样品分为两组，分别计算土壤含盐量的几何均值和标准差 (见表 3)。可见，灌区农田样品的含盐量总体上要远远低于非农田样品，表明灌溉对表层土壤的主要作用是淋洗脱盐，而不是造成次生盐渍化。非农田地区土壤含盐量相对较高，且标准差很大，主要是受到了地下水特征、气候条件等自然因素的综合影响。

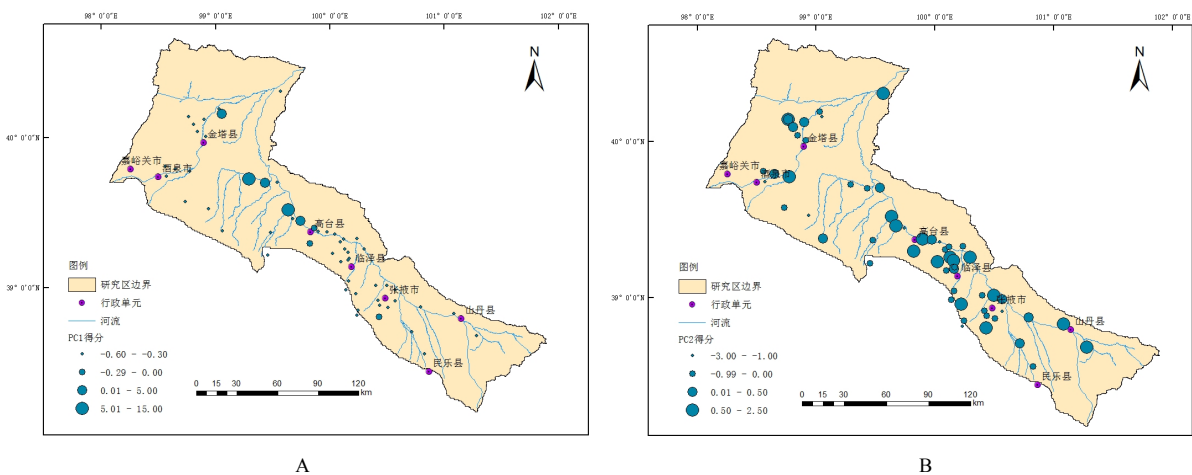
表 3 农田和非农田土样的含盐量对比

Table 3 Total salt contents of soil samples from farmlands and non-farmlands

土样类型	样本数	含盐量几何均值/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	含盐量标准差/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
农田样品	36	0.067	0.117
非农田样品	21	0.162	7.070

#### 4 结论

本研究对黑河中游地区表层土壤进行大范围采样，分析了土壤的盐分特征，并基于地表-地下水耦合模拟，探讨了区域水循环过程对土壤盐分特征的影响。研究所获得的主要结论包括：(1) 黑河中游表层土壤的盐渍化程度较高，高台-金塔一带盐渍化最严重，含盐量最高可达 31.4%，其次为酒泉北



A 和 B 子图分别为 PC1 和 PC2 的得分，样本数  $n=57$

图 4 主成分得分的空间分布图

Fig. 4 Maps of principal component scores

部和张掖南部地区,含盐量在0.20%~0.37%之间;(2)黑河中游土壤的盐渍化程度与地下水埋深密切相关,主要表现为原生盐渍化,次生盐渍化现象不显著;(3)目前,黑河中游土壤的碱化程度较轻,碱化程度和盐渍化程度的空间分布呈反向关系;(4)黑河中游的灌溉活动未造成显著的次生盐渍化,但一定程度上提高了土壤的碱化程度。

### 参考文献:

- TIAN Y, ZHENG Y, ZHENG C M, et al. 2014. Exploring scale-dependent ecohydrological responses in a large endorheic river basin through integrated surface water-groundwater modeling [J]. *Water Resources Research*, 51(6): 4068-4073
- 白福, 范高功. 2008. 西北典型内流干旱盆地土壤盐渍化特征及成因分析—以黑河流域为例[J]. *工程勘察*, 增刊(1): 230-235.
- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 程国栋, 肖洪浪, 傅伯杰, 等. 2014. 黑河流域生态—水文过程集成研究进展[J]. *地球科学进展*, 29(4): 431-437.
- 樊自立, 陈亚宁, 李和平, 等. 2008. 中国西北干旱区生态地下水埋深适宜深度的确定[J]. *干旱区资源与环境*, 22(2): 1-5.
- 范晓梅, 刘高焕, 刘红光. 2014. 基于Kriging和Cokriging方法的黄河三角洲土壤盐渍化评价[J]. *资源科学*, 36(2): 321-327.
- 范晓梅, 刘高焕, 唐志鹏, 等. 2010. 黄河三角洲土壤盐渍化影响因素分析[J]. *水土保持学报*, 24(1): 139-144.
- 部银梁, 陈军锋, 张成才, 等. 2011. 黑河中游灌区水化学空间变异特征[J]. *干旱区地理*, 34(4): 575-583.
- 古丽格娜·哈力木拉提, 木合塔尔·吐尔洪, 于坤, 等. 2012. 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*, 26(1): 169-173.
- 鲁如坤. 1998. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社.
- 毛任钊, 田魁祥, 松本聪, 等. 1997. 盐渍土盐分指标及其与化学组成的关系[J]. *土壤*, (6): 326-330.
- 孟昭甫, 俞仁培, 王遵亲. 1984. 碱性低矿化地下水灌溉对土壤碱化的影响[J]. *土壤学报*, 21(1): 79-86.
- 石迎春, 辛民高, 郭娇, 等. 2009. 西北地区黑河中游盐渍化地区土壤盐分特征[J]. *现代地质*, 23(1): 28-37.
- 王希义, 徐海量, 凌红波, 等. 2013. 塔里木河中游荒漠河岸林物种多样性对地下水埋深变化的响应[J]. *西北植物学报*, 33(10): 2071-2076.
- 温小虎, 仵彦卿, 常娟, 等. 2004. 黑河流域水化学空间分异特征分析[J]. *干旱区研究*, 21(1): 1-6.
- 仵彦卿, 张应华, 温小虎. 2010. 中国西北黑河流域水文循环与水资源模拟[M]. 北京: 科学出版社.
- 俞仁培. 2001. 对盐渍土资源开发利用的思考[J]. *土壤通报*, 32(S0): 138-140.
- 张飞, 丁建丽, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 2007. 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[J]. *草业学报*, 16(4): 34-40.
- 张杰. 2010. 大庆地区土壤理化性质及盐碱化特征评价[D]. 哈尔滨: 东北林业大学: 2-3
- 张应华, 仵彦卿, 丁建强, 等. 2005. 运用氧稳定同位素研究黑河中游盆地地下水与河水转化[J]. *冰川冻土*, 27(1): 106-110.
- 中国科学院南京土壤研究所. 1991. 中国土壤系统分类(首次方案)[M]. 北京: 科学出版社.

## Impacts of Hydrological Processes on Soil Salinity in the Middle Heihe River Basin

MENG Xue, ZHANG Juan, ZHENG Yi\*, TIAN Yong, WU Xin, WU Bin, LI Jinguo, WANG Sai, JOO Jaewon

Department of Energy and Resources Engineering, College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China

**Abstract:** Soil salinization is a typical ecological and environmental problem in arid and semi-arid areas. Heihe River Basin (HRB) is the second largest inland river basin in China. Investigation on the soil salinization issue in HRB can provide valuable information to the sustainable development of the western China. The population and economic development (mainly agriculture) in HRB are concentrated in its middle stream area. This study conducted a field campaign of soil sampling in the entire middle HRB. The total salt content and ion composition of top-soil samples were analyzed. Principal component (PC) analysis was performed on the data, which identified the first and second PCs as the indicators of soil salinization and soil alkalization, respectively. Results of integrated surface water-ground water modeling for the study area were also referred to, and the impacts of hydrological processes on the soil salinity were discussed. The major study results include the following. First of all, the top soil of the study area has a high salinity, and soil salinization is most severe along the main Heihe River from Gaotai to Jinta, where the highest total salt content reaches 31.4%. The northern part of Jiuquan and southern part of Zhangye also have significant soil salinization, but not as severe as Gaotai to Jinta, and the salt content ranges from 0.20% to 0.37%. The degree of soil salinization is closely related to the depth to water table, which implies primary salinization. In general, both mean and standard deviation of topsoil salinity increase with depth to water table. As present, soil alkalization is not a problem in the middle HRB, and the spatial distribution of soil alkalinity is negatively correlated with that of soil salinity. The intensive irrigation in the study area has not caused significant secondary salinization, but enhanced the soil alkalinity to a certain extent. Compared to previous studies, this study better covers the typical soils and land uses in the entire middle HRB, and quantitatively analyzed the connection between hydrologic processes and soil salinization in this area. The study results provide insights into the sustainable utilization of water and land resources in the western China.

**Key words:** Heihe River Basin; soil; salinization; groundwater; oasis agriculture; irrigation