

# 土壤溶液浓度的野外测定方法研究

何雨江<sup>1</sup>, 时磊<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050803;

2. 中国石油集团工程设计有限责任公司北京分公司, 北京 100085)

**摘要:** 为寻求一种野外快速有效测定土壤溶液浓度的方法, 于新疆自治区南疆地区开展了田间试验。利用负压计监测土壤水分, 在土壤达到饱和时, 在相同深度分别借助土钻和土壤水提取器同时取土样和土壤水样, 利用电导率仪测定土壤电导率( $EC_{1:5}$ )和饱和土壤电导率( $EC_e$ ), 使用火焰光度计和滴定法测定土壤水溶液浓度( $C$ ), 并利用 SPSS 17.0 软件对实测数据进行线性回归分析及检验。结果表明, 南疆砂壤土条件下,  $EC_{1:5}$  值在  $0\sim 10\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$  范围内,  $EC_{1:5}$  与土壤总盐含量呈显著线性关系; 土壤  $EC_e$  可用土壤  $EC_{1:5}$  进行推算, 二者关系系数可以根据饱和重量含水量确定; 在土壤达到饱和,  $EC_{1:5}$  在  $0\sim 3\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$  时, 土壤溶液浓度与  $EC_{1:5}$  呈显著线性关系。因此, 通过野外测得土壤样品的  $EC_{1:5}$ , 并确定其适用条件后, 根据相关关系可直接计算得到  $EC_e$  和  $C$ 。

**关键词:** 砂壤土; 土壤溶液浓度; 电导率; 测定方法

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)06-0213-03

中图分类号: S153.5

## A Study on Measuring Method of Soil Solution Concentration in field

HE Yu-jiang<sup>1</sup>, SHI Lei<sup>2</sup>

(1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang,

Hebei 050803, China; 2. Beijing Branch, China Petroleum Engineering Co., Ltd., Beijing 100085, China)

**Abstract:** Field experiment was conducted in South of Xinjiang Uygur Autonomous Region to find efficient method to measure soil solution concentration. Soil water content was measured by tensiometer. Soil water and soil were sampled by soil drill and soil water extractor with the same depth, respectively. Soil  $EC_{1:5}$  and  $EC_e$  were measured by conductivity meter. Soil solution concentration was measured by flame photometer and titrimetric method. Linear regression analysis on measured data was carried out by means of SPSS 17.0. The results showed that there was a significant linear relationship between  $EC_{1:5}$  and soil total salinity when  $EC_{1:5}$  was  $0\sim 10\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ;  $EC_e$  could be calculated by  $EC_{1:5}$  through the coefficient of relationship which was decided by soil saturation content( $C$ ); when soil water content was saturated and  $EC_{1:5}$  was  $0\sim 3\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ , there was a significant linear relationship between soil solution concentration and  $EC_{1:5}$ . Therefore, on the basis of measuring  $EC_{1:5}$  of the soil samples, and identifying the conditions under which it can be applied, the  $EC_e$  and  $C$  can be directly calculated through correlation.

**Keywords:** sandy loam; soil solution concentration; electricity conductivity; measuring method

土壤盐渍化问题在中国干旱半干旱地区非常突出, 土壤盐渍化主要表现为离子毒害和渗透胁迫, 因此, 为了及时有效判定当地土壤盐渍化程度及其危害, 必须确定土壤溶液浓度。目前测定土壤溶液浓度的方法较多<sup>[1]</sup>, 直接测定的代表方法是利用电磁波原理的测定仪器 TDR 和 HYDRA 等, 以其自动化、数据连续等优势发展迅速<sup>[2-4]</sup>, 但这些仪器价格昂贵且测定深度十分有限, 不适合面上或区域尺度应用; 间

接法的代表是土壤电导率间接表征土壤中可溶盐含量<sup>[5]</sup>, 土壤电导率通常用  $EC_{1:5}$  (采用每 1 g 土加水 5 g 的办法配制土壤与水的比例为 1:5 的土样, 然后测定 1:5 的土水比的土样浸提液电导率值<sup>[6]</sup>) 表示, 但这种方法的结果并不是土壤溶液浓度<sup>[7-8]</sup>。

国际上通常用饱和土壤溶液电导率  $EC_e$  (即土壤达到饱和点时的土壤溶液电导率) 表征土壤盐分, 常用的作物耐盐阈值也是  $EC_e$ <sup>[9]</sup>, 但是  $EC_e$  与土壤溶液

收稿日期: 2013-04-13

修回日期: 2013-05-26

资助项目: 国家自然科学基金项目“土壤结构分形与水动力特征关系研究”(41302186); 中国地质科学院基本科研业务专项(SK201211)

作者简介: 何雨江(1981—), 男(汉族), 湖北省红安县人, 博士, 主要从事水文循环与土壤环境方面的研究。E-mail: heyujiang86@163.com。

浓度一样,很难直接观测得到<sup>[10]</sup>。本研究以南疆地区砂壤土为对象开展田间试验,研究  $EC_{1:5}$  与土壤总盐(TS)、土壤溶液浓度(C)及饱和土壤溶液电导率( $EC_e$ )的关系,力求找到一种在野外快速简便确定土壤水溶液浓度的方法。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验区概况

试验于新疆自治区巴州国家重点灌溉试验站进行。试验区属于干旱内陆地区,降水稀少,蒸发强烈,年均降水量 53.3~62.7 mm,蒸发量为 2 273~2 788 mm。当地年平均气温 11.48 °C,最低气温 -30.9 °C,最高 42.2 °C。试验地土质以壤质砂土和砂质壤土为主,0—50 cm 主要为壤质砂土,50—120 cm 为砂质壤土,容重为 1.43~1.74 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 试验设计

在 8 个试验小区分别以不同灌水定额进行微咸水灌溉,灌水过程中共取样品 9 次,取样深度为 120 cm,间距为 10 cm,共 864 组样品。并在其中 2 个小区的 0—120 cm 深度安装负压计和土壤水提取器。为防止灌溉水浓度引起误差,在灌溉结束 1 d 后,土壤某深度达到饱和含水率时,立即提取土壤水溶液,共得到 45 组水样可供测定浓度和电导率。

### 1.3 数据处理

采用 1:5 土水浸提液测定土样电导率。将测得含水量后的烘干土样磨碎过 1 mm 筛后,称取 18 g 土加 90 ml 纯净水配成溶液,静置 12 h 后采用 DDS-307 电导仪测量溶液电导率  $EC_{1:5}$ 。饱和土壤水溶液电导率( $EC_e$ )通过电导率仪直接测定。

土壤总盐含量(TS)以 8 大离子含量之和代替<sup>[11]</sup>,根据国标 5273—2000 和相关测定方法<sup>[12]</sup>对 8 大离子进行测定,其中 Ca 和 Mg 离子采用 EDTA 滴定,K 和 Na 离子利用火焰光度计测定,碳酸根和重碳酸根采用双指示剂(酚酞和甲基橙)法测定,Cl 离子采用硝酸银滴定,硫酸根利用 EDTA 间接滴定。饱和土壤水溶液浓度 C 也通过测定 8 大离子含量之和来确定。

测定过程中损失和无效样品土样 21 组,余 843 组土样结果(包括  $EC_{1:5}$  和 TS)可供分析。45 组水样测定结果(包括  $EC_e$  和 C)全部可供分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤电导率 $EC_{1:5}$ 与土壤总盐含量 TS 的相关关系

图 1 为土壤  $EC_{1:5}$  与土壤总盐含量的关系曲线。由图 1 可以看出,电导率  $EC_{1:5}$  值在 0~10 000

$\mu\text{S}/\text{cm}$  范围内,土壤电导率  $EC_{1:5}$  及总盐含量之间存在线性关系。

利用 SPSS 17.0 进行线性回归分析。运用直接进入法进行线性回归,并在 95% 的置信区间内进行 F 检验,同时进行变量显著性 T 检验。回归模型运算结果表明,曲线线性拟合的优度系数 0.979,设定 F 检验统计量的值为 19 013.398,显著性水平的 p 值趋于 0,说明  $EC_{1:5}$  与 TS 之间具有高度显著的线性关系,同时变量显著性 T 检验值为 137.889,显著性水平趋于 0。

试验分析结果表明,在南疆砂壤土条件下,土壤总盐含量直接影响土壤 1:5 浸提液电导率  $EC_{1:5}$ ,  $EC_{1:5}$  值在 0~10 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  范围内,土水比为 1:5 条件下土壤可溶性离子能完全被浸提, $EC_{1:5}$  能很大程度的表征土壤总盐含量。因此试图用  $EC_{1:5}$  表征土壤饱和时的土壤溶液浓度(C)。

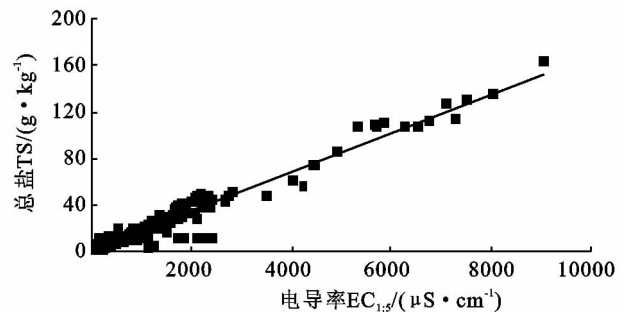


图 1 土壤电导率  $EC_{1:5}$  与土壤总盐含量 TS 的关系

### 2.2 土壤电导率 $EC_{1:5}$ 与饱和土壤电导率 $EC_e$ 的相关关系

对比分析 45 组水样  $EC_e$  和相应深度处土样  $EC_{1:5}$  的相关关系。图 2 为利土壤  $EC_{1:5}$  与  $EC_e$  的关系曲线。由图 2 可知,在土壤达到饱和, $EC_{1:5}$  在 0~1 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时,饱和土壤溶液电导率远远大于  $EC_{1:5}$  值,且随  $EC_{1:5}$  呈线性增长;电导率  $EC_{1:5}$  值在 0~2 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  范围内,土壤电导率  $EC_{1:5}$  与  $EC_e$  存在线性关系。

利用 SPSS 17.0 进行线性回归分析。运用直接进入法进行线性回归,并在 95% 的置信区间内进行 F 检验,同时进行变量显著性 T 检验,得到回归模型运算结果。曲线线性拟合的优度系数 0.862,决定系数为 0.742,修正后为 0.736。方差分析结果显示,设定 F 检验统计量的值为 19 013.398,显著性水平的 p 值趋于 0,说明  $EC_{1:5}$  与 TS 之间具有高度显著的线性关系,同时变量显著性 T 检验值为 123.792,显著性水平趋于 0,于是模型通过了设定检验,也就是说,  $EC_{1:5}$  与  $EC_e$  之间的线性关系明显。

西方一些学者偏向应用  $EC_e$  表征土壤盐分情况, Slavich 和 Petterson<sup>[7]</sup> 研究了二者的关系及数学计算方法, 并利用饱和重量含水量  $\theta_{sp}$  计算二者之间的关系系数  $f$ , 计算公式为:

$$f = 2.46 + 3.03/\theta_{sp}$$

根据该方法, 本试验地饱和重量含水量为 0.27 kg/kg, 则  $f$  为 13.682, 与实测数据拟合的非标准化系数 13.354 仅相差 0.328, 且只比实际拟合系数高 2.458%。因此, 在南疆砂壤土条件下, 土壤  $EC_e$  可以应用土壤  $EC_{1:5}$  来推算, 二者关系系数可以根据饱和重量含水量确定。

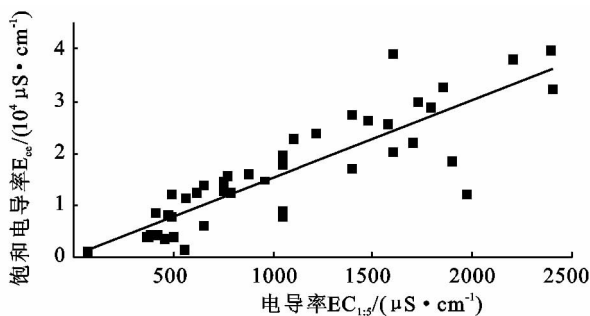


图2 土壤电导率  $EC_{1:5}$  与饱和土壤电导率  $EC_e$  的关系

### 2.3 土壤电导率 $EC_{1:5}$ 与土壤溶液浓度 $C$ 的相关分析

图3表明, 在土壤达到饱和,  $EC_{1:5}$  在 0~3 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时, 土壤溶液浓度随  $EC_{1:5}$  呈线性增长, 土壤电导率  $EC_{1:5}$  与  $C$  存在线性关系。

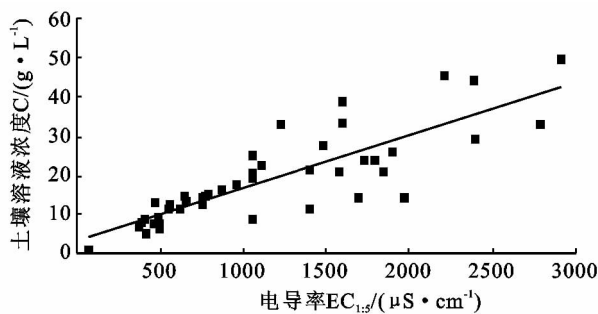


图3 土壤电导率  $EC_{1:5}$  与土壤溶液浓度  $C$  的关系曲线

利用 SPSS 17.0 进行线性回归分析。运用直接进入法进行线性回归, 并在 95% 的置信区间内进行  $F$  检验, 同时进行变量显著性  $T$  检验, 得到回归模型运算结果。曲线线性拟合的优度系数 0.839, 决定系数为 0.704, 修正后为 0.697。方差分析表显示, 设定  $F$  检验统计量的值为 102.031, 显著性水平的  $p$  值趋于 0, 说明  $EC_{1:5}$  与  $TS$  之间具有高度显著的线性关系, 由回归系数表和变量显著性检验得到:  $EC_e$  的  $T$  值为 11.126, 显著性水平趋于 0, 于是模型通过了设

定检验, 也就是说,  $EC_{1:5}$  与  $C$  之间的线性关系明显。相关关系分析结果表明, 在土壤达到饱和,  $EC_{1:5}$  在 0~3 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时, 土壤可溶性盐离子能较大程度溶于土壤水, 该条件下, 可以应用  $EC_{1:5}$  转换为土壤水溶液浓度来评价土壤盐分。

## 3 结论

通过对南疆地区砂壤土水盐分和电导率的野外试验, 以及数据的线性回归检验。结果表明,  $EC_{1:5}$  值在 0~10 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  范围内, 土水比为 1:5 条件下土壤可溶性离子能完全被浸提,  $EC_{1:5}$  能够表征土壤总盐含量和  $EC_e$ , 关系系数可以根据饱和重量含水量确定; 在土壤达到饱和,  $EC_{1:5}$  在 0~3 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时, 土壤可溶性盐离子能较大程度溶于土壤水,  $EC_{1:5}$  能够表征土壤水溶液浓度。因此, 利用  $EC_{1:5}$  推算饱和土壤溶液电导率  $EC_e$  和土壤水溶液浓度  $C$ , 是一种快速有效的野外测定方法。

### [参考文献]

- [1] 吴月茹, 王维真, 王海兵, 等. 黄河上游盐渍化农田土壤水盐动态变化规律研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 80-84.
- [2] Castiglione P, Shouse P J. The effect of ohmic cable losses on time-domain reflectometry measurements of electrical conductivity[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2003, 67(2): 414-424.
- [3] Massuel S, Favreau G, Descloitres M, et al. Deep infiltration through a sandy alluvial fan in semiarid Niger inferred from electrical conductivity survey, vadose zone chemistry and hydrological modelling [J]. Catena, 2006, 67(2): 105-118.
- [4] 王维真, 小林哲夫. 利用 TDR 对土壤含水量及土壤溶液电导率的同步连续测量[J]. 冰川冻土, 2008, 30(3): 488-493.
- [5] 刘广明, 杨劲松. 土壤含盐量与土壤电导率及水分含量关系的试验研究[J]. 土壤通报, 2001, 32(S): 85-87.
- [6] 张粹雯. 土壤水溶性的分析[C]//土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983: 195.
- [7] Slavich P G, Petterson G H. Estimating the electrical conductivity of saturated paste extracts from 1:5 soil: water suspensions and texture [J]. Soil Res., 1993, 31(1): 73-81.
- [8] Chi Chunming, Wang Zhichun. Characterizing salt-affected soils of songnen plain using saturated paste and 1:5 soil-to-water extraction methods[J]. Arid Land Research and Management, 2010, 24(1): 1-11.

(下转第 221 页)

- [12] 李晓刚,黄春长,庞奖励,等. 关中西部漳水河全新世古洪水滞流沉积地层研究[J]. 地层学杂志, 2009, 33(2): 198-205.
- [13] 李瑜琴,黄春长,查小春,等. 泾河中游龙山文化晚期特大洪水水文学研究[J]. 地理学报, 2009, 64(5): 541-552.
- [14] 万红莲,黄春长,庞奖励,等. 渭河宝鸡峡全新世特大洪水水文学研究[J]. 第四纪研究, 2010, 30(2): 430-440.
- [15] 魏海燕,黄春长,查小春,等. 黄河中游晋陕峡谷段全新世晚期洪水滞流沉积研究[J]. 地质论评, 2010, 56(5): 745-752.
- [16] 杨晓燕,夏正楷,崔之久. 黄河上游全新世特大洪水及其沉积特征[J]. 第四纪研究, 2005, 25(1): 80-85.
- [17] 谢悦波,杨玉荣,王辉. 三峡河段古洪水滞流沉积指标体系[J]. 人民长江, 1999, 30(8): 4-6.
- [18] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Sedimentary records of the extraordinary floods at the ending of the mid-Holocene Climatic Optimum along the upper Weihe River, China[J]. Holocene, 2012, 22(6), 675-686.
- [19] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Holocene palaeoflood events recorded by slackwater deposits along the lower Jinghe River valley, middle Yellow River basin, China[J]. Journal of Quaternary Science, 2012, 27(5), 485-493.
- [21] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Extraordinary floods related to the climatic event at 4200 a BP on the Qishuihe River, middle reaches of the Yellow River, China[J]. Quaternary Science Reviews, 2011, 30(3/4), 460-468.
- [22] 黄春长,庞奖励,查小春,等. 黄河流域关中盆地史前大洪水研究:以周原漆水河谷地为例[J]. 中国科学, 2011, 41(11): 1658-1669.
- [23] 李晓刚,黄春长,庞奖励,等. 黄河壶口段全新世古洪水事件及其水文学研究[J]. 地理学报, 2010, 65(11): 1371-1380.
- [24] 郝高建,黄春长,邢莹莹等. 黄河晋陕峡谷吉县段全新世古洪水滞流沉积特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(3): 106-112.
- [25] 王夏青,黄春长,庞奖励,等. 黄河壶口至龙门段全新世古洪水滞流沉积物研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(4): 781-787.
- [26] 黄河中游水文水资源局. 黄河中游水文—河口镇至龙门区间[M]. 河南 郑州:黄河水利出版社, 2001: 1-207.
- [27] 徐建华,李晓宇,陈建军,等. 黄河中游河口镇至龙门区间水利水保工程对暴雨洪水泥沙影响研究[M]. 河南 郑州:黄河水利出版社, 2009: 1-340.
- [28] 黄河水利委员会. 黄河干支流主要断面 1919—1960 年水量、沙量计算成果[M]. 河南 郑州:黄河水利委员会, 1962: 30.
- [29] 张文河,穆桂金. 烧失法测定有机质和碳酸盐的精度控制[J]. 干旱区地理, 2007, 30(3): 455-459.
- [30] 刘秀铭,刘东生, John S. 中国黄土磁性矿物特征及其古气候意义[J]. 第四纪研究, 1993, 13(3): 281-287.
- [31] 任明达,王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京:科学出版社, 1981: 8-26.
- [32] Passega R, Via B. Grain-size Image of Clastic Deposits [J]. Sedimentology, 1969, 13(3/4): 233-252.

(上接第 215 页)

- [9] Maas E V, Hoffman G J. Crop salt tolerance in current assessment[J]. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 1977, 103(2): 115-134.
- [10] Zhang H, Schroder J L, Pirrman J J, et al. Soil salinity using saturated paste and 1 : 1 soil to water extracts [J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(4): 1146-1151.
- [11] Amente G, Backer M J, Reece C F. Estimation of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity in sandy soil[J]. Soil Sci. Am., 2000, 64(6): 1931-1939.
- [12] 魏复盛. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.