

采用新电导率指标分析土壤盐分变化规律*

吴月茹 王维真[†] 王海兵 张智慧

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,兰州 730000)

ANALYSIS OF VARIATION OF SOIL SALT WITH NEW ELECTRIC CONDUCTIVITY INDEX

Wu Yueru Wang Weizhen[†] Wang Haibing Zhang Zhihui

(Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

关键词 土壤盐分;土壤饱和溶液电导率; EC_{sat} ; 土水比

中图分类号 S151.9; S153.5 文献标识码 A

土壤电导率(Electrical conductivity, EC)是限制植物和微生物活性的阈值,影响到土壤养分和污染物的转化、存在状态及有效性^[1],反映了在一定水分条件下土壤盐分的实际状况,且包含了土壤水分含量及离子组成等丰富信息^[2]。在一定浓度范围内,土壤溶液含盐量与电导率呈正相关,溶解的盐类越多,溶液电导率就越大,故可根据溶液电导率的大小,间接地测量土壤含盐量^[3-5]。电导法常被用作土壤盐分测定方法之一^[6],尤其近年来,国内外许多学者建议直接用电导率表示土壤含盐量^[7]。由电导率确定土壤含盐量的方法主要有两种:一是根据一定土水比(如,1:1,1:2.5,1:5等)土壤浸提液的分析结果进行推算,其中较为常用的为1:5;二是根据已有电导率的关系进行换算。第一种方法因为实验所用土水比与田间土壤实际土水比存在差异,并且各种土水比情况下所获电导率可比性较差,故该方法有其局限性。第二种方法则因为电导率与土壤含盐量的关系多是在特定土壤水分状况下获得的,所以仍有局限性。因此,如何较为精确地通过电导率测定土壤含盐量仍然是一个值得进一步商榷的问题^[8]。国外一般采用饱和泥浆浸提液的电导率来表示土壤盐渍化程度,但由于饱和泥浆的制备经验性很强,在国内普及应用条件还不成熟;

我国习惯上常用土壤含盐百分数表示盐渍度,电导法测定结果须经换算才能应用,由于使用的土水比及土壤盐分组成和全盐量等均有影响,使换算结果误差较大^[9]。目前通用的土壤溶液电导率应用指标至今尚未确立^[10]。

本文采用一个新的土壤饱和溶液电导率指标 EC_{sat} 来度量土壤根区层中最大可溶解盐分含量,但其不同于饱和泥浆浸提液的电导率。文中具体介绍了这一新指标的推导过程和计算方法,并给出了使用这一指标度量的试验区土壤盐分变化的有关结果和分析。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区(N 36°25.5', E 104°25.4')位于黄河上游的冲积河谷地段,海拔1461 m,地属甘肃白银靖远县,土壤盐渍化程度较高。受半干旱大陆季风气候影响,气候干热,蒸发量远大于降水量,年均气温8.9℃,年均降水量238.3 mm,降水主要集中在7月和8月。土壤物理属性见表1,85%的土壤直径小于0.075 mm,容易发生盐化。玉米、蔬菜和苹果是该区域的主要农产品。

* 国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421305)、国家自然科学基金项目(40875006)资助

[†] 通讯作者:王维真(1967—),男,山西万荣人,副研究员,2004年在日本九州大学获农学博士,主要从事土壤水文学和气象环境水文学研究。E-mail: weizhen@lzb.ac.cn

作者简介:吴月茹(1983—),女,内蒙古兴和县人,博士研究生,主要从事遥感反演土壤盐分研究。E-mail: wuyue_qr@163.com

收稿日期:2010-02-03;收到修改稿日期:2010-06-02

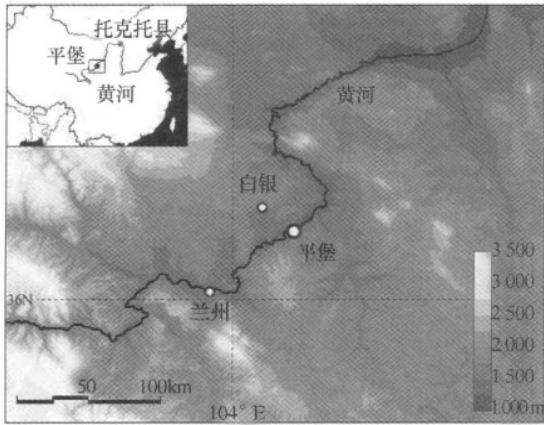


图1 试验区位置

1.2 研究方法

Wang 等^[11]提出如下关系式

$$EC_{1:x} = x^{-n} EC_{1:1} \quad n < 1$$

式中 $EC_{1:x}$ 是土水比为 1: x 时测定的土壤溶液电导率; n 为需要通过试验测定的一个参数。当且仅当

表1 试验区土壤物理属性

观测点	颗粒组成百分比 (%)				土粒密度 ($g\ cm^{-3}$)	容重 ($g\ cm^{-3}$)	孔隙度
	<0.002 mm	0.002 ~ 0.075 mm	0.075 ~ 0.25 mm	>0.25 mm			
P1	14.9	74.2	10.9	0	2.71	1.6	0.41
P3	14.7	72.1	13.2	0	2.68	1.5	0.43

分别于 2008 年 4 月 26 日、5 月 31 日、6 月 30 日、8 月 1 日、9 月 1 日、9 月 26 日在试验区区内 3 个不同点垂直向下挖深度约为 40 ~ 60 cm 的土壤剖面,并分别在土壤表面及 10、20、40、60 cm 处选取有代表性的土样带回实验室经风干、过筛、称重,然后加入定量预先计算好的纯净水($EC = 0.075\ dS\ m^{-1}$, $pH = 7.5$)配制成土水质量比分别为 1:1、1:3、1:5 的土壤溶液样品。用力振荡,使其混合均匀,并使土壤中的易溶解物和可溶解物充分溶解至土壤溶液中。振荡后的土壤溶液样品密封并静置 7 ~ 8 h,然后使用电导计(型号为 WM-22EP, DKK · TOA)测定上层悬浮液的电导率值,校正至 25°C。并对其指数拟合得到参数 n ,通过以上关系式推算土壤饱和溶液电导率 EC_{sat} 。

2 结果与分析

2.1 EC_{sat} 拟合曲线

图 2 列举了 7 月 1 日(上 3 幅)和 9 月 26 日(下 3 幅)的指数拟合图,横坐标为配制的土水比,

$x = \epsilon \rho_w / ((1 - \epsilon) \rho_s)$ 时,其对应的电导率为土壤饱和和溶液电导率,即 $EC_{sat} = EC_{1:x}$ 。式中 ϵ 为土壤孔隙度 ρ_s 为土壤颗粒密度 ρ_w 为水的密度。简单的推导过程如下:当土壤达到饱和,则气体被排除,土壤孔隙中全部占满水,此时土壤由液相和固相组成。假设此时土壤固相的体积为 V_s ,质量为 M_s ,则土壤水分所占的体积便为 $1 - V_s$,其质量为 M_w 。上面提到当土壤溶液中的土水质量比为 1: x 的时候,其对应的电导率即为土壤饱和和溶液电导率。所以有 $M_s : M_w = 1 : x$,代入体积转化为 $v_s \rho_s : v_w \rho_w = 1 : x$,从中可以得到 $x = (1 - v_s) \rho_w / v_s \rho_s$,在土壤饱和的状态下 $1 - V_s = \epsilon$,由此得到 $x = \epsilon \rho_w / ((1 - \epsilon) \rho_s)$, x 一般小于 1。通过计算,试验区的 x 约等于 0.27,即当土水比为 1:0.27 时,其对应的土壤溶液电导率即为 EC_{sat} 。实验室测定时,通常使用 3 个或更多不同土水比的土壤浸提液电导率($EC_{1:x}$, $x = 1 \sim 5$)进行回归分析。

纵坐标为测量得到的电导率,对其进行了对数转化。两者呈现较好的指数关系, R^2 高达 0.99,甚至 1。随着土水比的减小,即随着土壤溶液中水分含量的增加,其电导率在减小。说明土壤达到饱和状态后,盐分会受到强烈稀释,从而导致电导率降低。有研究证明,土壤未饱和时,土壤电导率随着土壤水分的增多反而会增加,是盐分得到充分的溶解,土壤溶液中的导电离子增多导致的^[12-13]。从图上还可以看出,土壤表层的电导率要明显高于其他深度。

理论上 EC_{sat} 并不等于国际上使用的饱和泥浆浸提液电导率 EC_e ,因为制备的饱和抽提液的孔隙度不同于实际情况下的土壤孔隙度^[14],但其具有同样的物理意义。 EC_{sat} 和 EC_e 各有优点和缺点,但认为 EC_{sat} 较 EC_e 更具有实际指示意义^[15]。因为前者不仅可以在实验室内、在没有特殊试验仪器的情况下测定,也可以在野外自动连续测定^[11,15];此外,分析水盐在土壤剖面的运动时,前者可以与地下水的电导率进行比较。当 EC_e 或者 EC_{sat} 低于 $4\ dS\ m^{-1}$ 时,认为土壤属于非盐化土壤^[16-17]。

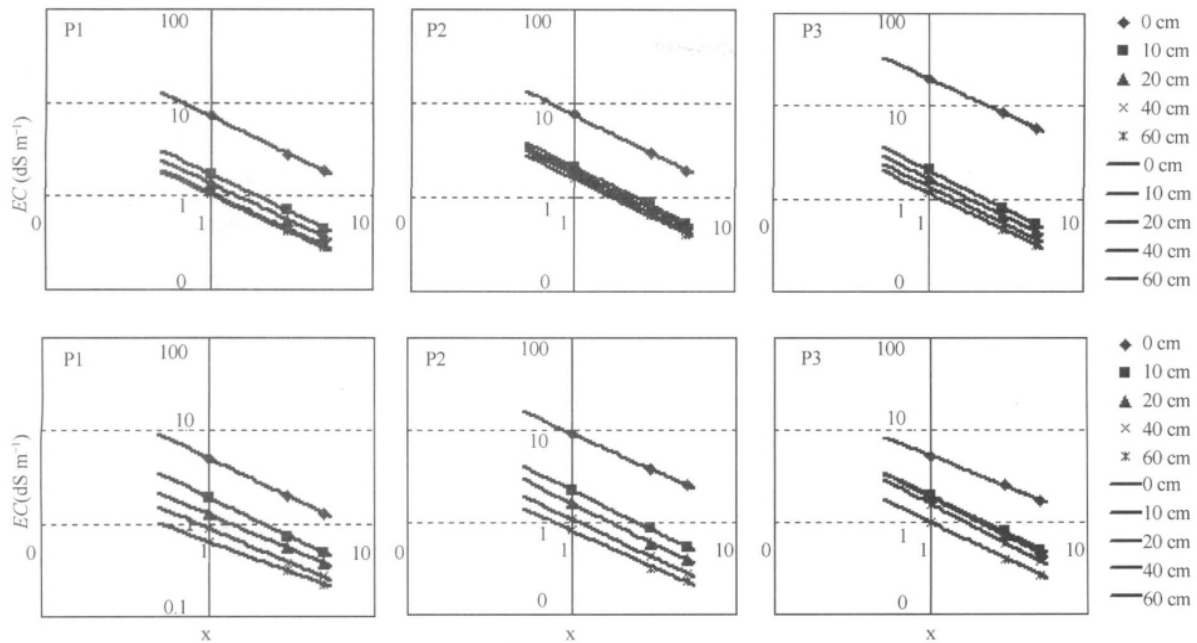


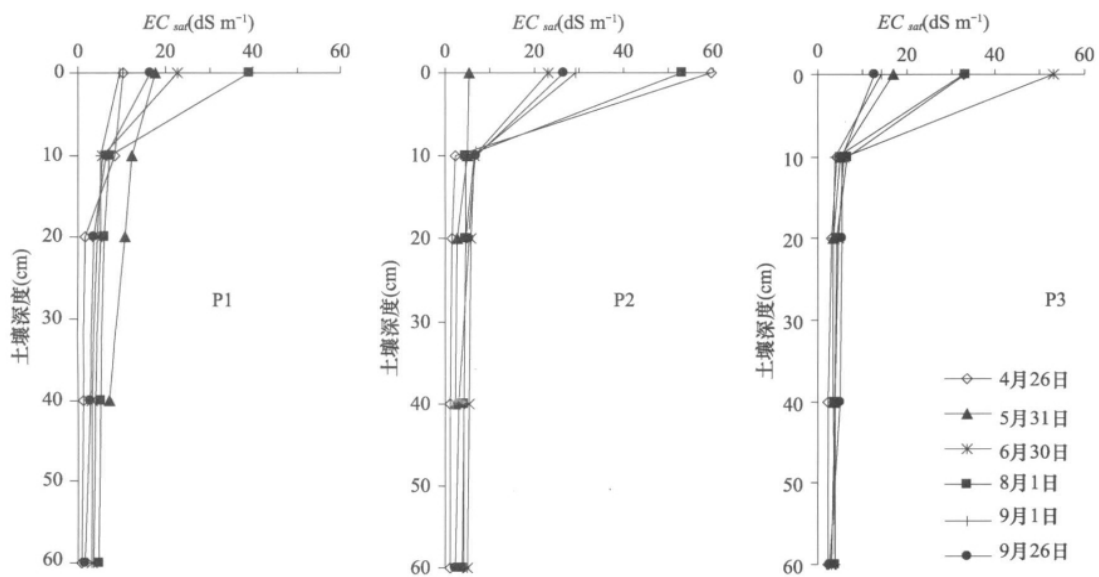
图2 土壤浸提液电导率与土水比的关系

2.2 试验区土壤盐分季节变化

图3为试验区不同观测点的 EC_{sat} 随深度变化曲线,可以看出,土壤盐分表聚性明显,并随着深度增加有降低趋势。观测点P1处土壤表层在春季积盐不明显,夏季达到最高 EC_{sat} 约为 40 dS m^{-1} ,秋季有所降低。观测点P2处土壤表层分别在4月26日和8月1日呈现两次高峰值,约为 60 dS m^{-1} 和 53 dS m^{-1} ;而观测点P3则是在7月初达到峰值,约为 53 dS m^{-1} ,均表现为春季及夏季土壤积盐,秋季脱盐。除观测点

P2在5月31日的 EC_{sat} 为 5 dS m^{-1} 外,各观测点表层 EC_{sat} 在不同时期均高于 10 dS m^{-1} ,表明土壤表层的盐化现象始终存在,且较严重。

土壤表层春季积盐是由于冬春季节土壤的冻融过程,在土体内部温度梯度的作用下,似冻层的土壤水分由下向上迁移,盐分随着水分的运动,也自下而上运移,随着水分从土壤表层的蒸发损失,盐分弥留,并累积增加。加上此期间气候干燥,降雨量几乎为0,蒸发作用日渐强烈,在毛管水强烈上

图3 EC_{sat} 随深度变化情况

升作用下土壤盐分由下向上持续运动聚集,形成土壤积盐过程,并呈现出明显的表聚性。在灌溉洗盐和淋溶作用下土壤含盐量降低至适宜作物生长的上限值。之后气温回升,作物生长旺盛,试验样区内的降雨虽然有所增加,但相对土壤和作物的强烈蒸散发,降水量对土壤水分的补给作用微乎其微,蒸发作用仍占主导地位,土壤中的盐分随着土壤蒸发及作物蒸腾作用又转向地表迁移,使地表盐分呈现增加趋势,所以在夏季7月、8月里,土壤表层盐分含量再次呈现高峰期。其后,随着降雨量的增加及频繁浇灌,秋季土壤盐分被淋溶下渗至土壤剖面深层或入渗至地下水中。

图4给出了不包括表层的其他剖面深度土壤盐分在作物生长季节的变化规律。可以看出,土壤剖面其他深度的盐分季节性变化规律几乎一致,且下层盐化程度低于上层。与土壤表层相比,并无确定的逻辑可循,有时与其变化同步:随着表层盐分的增加或减小,其他深度的盐分也在相应的增加或减小;有时却相反。这种变化特点在不同观测点及不同时期表现并不完全相同,这是由于复杂的土壤水

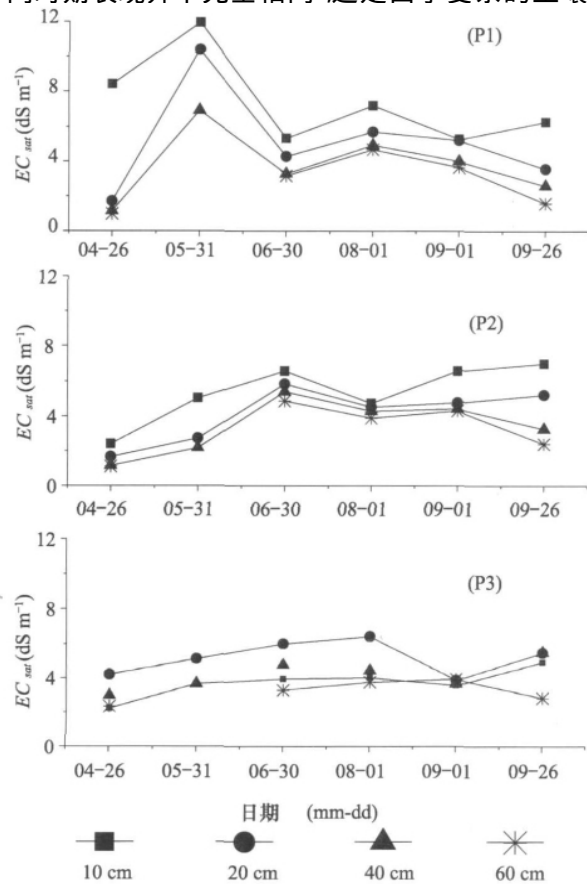


图4 EC_{sat} (不包括土壤表层) 随时间变化

盐运移机理导致的结果,当蒸发强度较大时,潜水中的盐分会随着水分的运移向地表积聚,土壤剖面不同深度的盐分含量均会有所增加。但随着蒸发的持续,盐分会继续向地表运移,导致各土壤剖面层中的含盐量减小。土壤表层盐分淋溶程度受灌溉及降雨量大小的影响,小规模的水或降雨,盐分只能下渗至土壤剖面下层,但不会超出土壤根层区范围,结果造成土壤剖面其他深度盐分的增加。但当强灌水或降雨发生时,盐分被淋洗至土壤深层,甚至会渗透至地下水中,结果使土壤剖面其他深度盐分减小。

3 结论和讨论

本文采用自定义的土壤饱和溶液电导率 EC_{sat} 这一新指标,既避免了操作上的复杂性,又不受土水比的影响,且理论上等同于土壤饱和溶液电导率,从而可以很好地指示土壤盐分含量。以 EC_{sat} 指示的土壤盐分变化来看,不同观测点土壤盐分随时间变化规律不尽相同,但在土壤表层,盐分变化十分剧烈。观测点 P1 处土壤表层春季积盐并不明显,土壤盐分夏季达到最高(约为 40 dS m^{-1}),秋季有所降低;观测点 P2 和 P3 处的表层土壤盐分具有类似的季节变化规律,春季及夏季土壤积盐均较严重,峰值分别为 60 和 53 dS m^{-1} ,秋季同样呈现降低趋势。从垂直向来看,土壤盐分表聚性明显,且随着深度增加有降低趋势。

此外,由于我国的土壤类型较多,不同地区、不同土壤类型电导率换算成土壤含盐量的质量分数所用的关系式不同,因此将 EC_{sat} 换算成土壤含盐量的质量分数,在目前乃至今后的一段时间内仍需继续研究。本文没有开展这一方面的工作,希望在以后的研究中可以涉足。

参考文献

- [1] 张华,张甘霖. 土壤质量指标和评价方法. 土壤, 2001, 33(6): 326—330
- [2] 刘广明,杨劲松,姚荣江. 影响土壤浸提液电导率的盐分化学性质要素及其强度研究. 土壤学报, 2005, 42(2): 247—252
- [3] 胡诞康. 溶液电导率测量的新进展. 机电一体化, 1995, 1(2): 42
- [4] 郭彩华. 土壤溶液常规分析中离子含量和电导率之间的关系. 科技情报开发与经济, 2006, 16(14): 153—154
- [5] 张建旗,张继娜,杨虎德等. 兰州地区土壤电导率与盐分含量关系研究. 甘肃林业科技, 2009, 34(2): 21—24, 30
- [6] 张祯,荀久玉,孔锦. 土壤电导率的测定中影响因素研究.

- 科技信息, 2007(28): 276—277
- [7] 张为政, 殷立娟. 电磁感应电导仪(EM38)测定土壤含盐量的研究. 应用生态学报, 1993, 4(3): 289—294
- [8] 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. 土壤通报, 2001, 32(S0 专辑): 85—87
- [9] 南京农业大学. 土壤农化分析. 第2版. 北京: 农业出版社, 1980: 117—137
- [10] Liu G M, Yang J S, Yao R J. Electrical conductivity in soil extracts: Chemical factors and their intensity. *Pedosphere*, 2006, 16(1): 100—107
- [11] Wang W, Watanabe E, Kobayashi T, et al. A method for measuring soil solution electrical conductivity in the field using TDR. *J Japan Soc Hydrol and Water Resour*, 2005, 18(1): 55—63
- [12] 吕桂军. 盐碱土壤中根系分区交替灌溉条件下水盐运动研究. 西安: 西北农林科技大学, 2006
- [13] 孙宇瑞. 土壤含水率和盐分对土壤电导率的影响. 中国农业大学学报, 2005, 5(4): 39—41
- [14] Rhoades J D, Chanduvi F, Lesch S. Soil salinity assessment. *FAO Irrigation and Drainage Papers*, 1999(57): 3—7
- [15] Kobayashi T, Wang W, Ikawa Y, et al. An easily measurable and practical index of soil salinity. *J Japan Soc Hydrol and Water Resour*, 2006, 19(3): 183—188
- [16] 张蔚榛. 盐渍化土壤的冲洗改良与排水. 中国水科技网. <http://www.watertech.cn/expert/ZWZ%20Yantu-1.pdf>
- [17] Essington M E. *Soil and water chemistry: An integrative approach*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2003