

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*

刘广明 杨劲松 姚荣江

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 为评估土壤盐分化学性质对土壤溶液电导率的影响强度, 应用途径分析方法研究了滨海盐土的 1:5 土水比土壤浸提液电导率 ($EC_{1:5}$) 与土壤盐分化学性质各要素的关系。研究表明: 土壤浸提液盐分浓度 (SSC)、 Cl^- 和钠吸附比 (SAR) 是影响土壤浸提液电导率的最重要因素, 而 pH、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、可溶性钠百分率 (SSP) 和钠钙镁比 (SDR) 对土壤浸提液电导率的影响很微弱; SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 对土壤浸提液电导率的直接途径系数并不高, 但由于被其他各化学性质要素的间接效应所增强, 使得其对溶液电导率的间接途径系数之和较大。验证结果表明: $EC_{1:5}$ 与土壤浸提液盐分浓度 (SSC)、 Cl^- 和 SAR 的多元线性函数具有较高精度和良好可靠性, 在土壤盐分过高的情况下, 根据该关系函数推求所获得的土壤浸提液电导率的误差有所增大。

关键词 土壤盐渍化; 电导率; 影响因子; 化学性质

中图分类号 S156.4

文献标识码 A

土壤以及地下水中水溶性盐类的定量化分析, 是研究土壤盐分动态、确定土壤盐渍化程度以及进行盐渍土改良应用的关键环节之一^[1~6]。在描述土壤盐分状况时, 常用的指标是全盐量和土壤浸提液电导率。近年来土壤学的研究表明: 由于土壤水分含量的不同, 用全盐含量表示土壤盐渍状况时, 与田间土壤盐分实际有效状况之间差异很大, 尤其是在研究土壤盐渍程度与植物生长之间的关系时更是如此; 土壤溶液电导率这一参数反映了在一定水分条件下土壤盐分的实际状况, 并且包含了水分含量、土壤盐分及离子组成等丰富信息, 且该参数具有简便、快捷、可比性强等特点^[7~9]。当今国际刊物大多直接用土壤浸提液电导率来表示土壤盐渍化程度^[10~14], 国内也有人提倡并积极应用温度在 25℃ 时的土壤溶液电导率直接表示土壤盐渍状况。但由于样品制备工艺不统一、土壤盐分组成的差异以及习惯上所用土水质量比的不同等因素, 目前国际通用的土壤溶液电导率应用指标至今尚未确立。现在我国学者仍然比较普遍采用土壤全盐量表示土壤盐渍度^[11, 15]。

电导法测定土壤盐渍度比较简洁、准确, 其测定原理是电解质溶液的导电作用。目前国内外在测定土壤电导率时, 普遍采用的是浸提法。制备土壤浸提液的土水比例有多种, 例如 1:1、1:2、1:5、1:10 和饱和泥浆浸提液^[11, 16, 17], 其中最常用的土水比例是 1:5。浸提法具有一定的局限性: 所用的土水比与田间土壤实际土水比不可避免地存在差异, 且不同土水比下获得的土壤浸提液电导率可比性较差^[8, 18~20]。因而使用电导率法测定土壤盐渍度时, 浸提液土水比例、土壤盐离子组成、溶液盐分浓度、离子迁移速率、溶液温度和电导池常数等都会不同程度地影响土壤溶液电导率的大小^[21, 22]。在以上诸多影响因素中, 许多文献认为土壤溶液的离子组成和浓度对电导率的影响明显大于其余各因素^[9]。本研究旨在通过对滨海盐土 1:5 土水比土壤浸提液电导率与土壤全盐量、土壤溶液浓度、盐离子组成以及各主要土壤碱化指标之间相关性的系统分析, 探究影响滨海盐土浸提液电导率的主要土壤盐分化学性质, 并确定其影响的相对强度。

* 国家自然科学基金项目(40371058)资助

- 通讯作者, E-mail: jyang@issas.ac.cn

作者简介: 刘广明(1975~), 博士, 助理研究员, 主要研究方向土壤盐渍化管理及其防治。E-mail: gmliu@issas.ac.cn

收稿日期: 2004-05-31; 收到修改稿日期: 2004-11-16

1 材料与方法

1.1 供试土样及制备

本研究所用土壤采自江苏省典型滩涂分布区(江苏东台市东川农场)。共采集 15 个典型剖面,每个剖面分别以 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~120 cm、120~150 cm、150~200 cm 分层采样(因部分剖面地下水位较高,共采集 117 个样品)。采集的土样带回实验室自然风干,磨碎、过 20 目筛。准确称取 10.0 g 的土壤置于离心管中,加入 50 ml 去 CO₂ 蒸馏水,将离心管置于振荡器上振荡 3 min 后,将以 4 500~5 000 r min⁻¹ 转速离心后获得的上清液倒入烧杯中,并立即测量其电导率、pH 值和盐离子组成。随机选择 3 个典型土壤剖面(按 1:5 土水比测定土壤浸提液的电导率 EC_{E5},分为高、中、低各 1 个剖面)作为独立于其余 12 个剖面的校验点(计 24 个样品)。

1.2 测试方法

土壤离子组成测定方法: HCO₃⁻、CO₃²⁻ 用双指示剂滴定法测定; Cl⁻ 用 AgNO₃ 滴定法测定; SO₄²⁻ 用 EDTA 间接滴定法测定; Ca²⁺、Mg²⁺ 用 EDTA 络合滴定法测定; K⁺、Na⁺ 用火焰光度法测定。

1.3 途径分析的方法与原理

途径分析(Path Analysis)是遗传学家 Swell Wright 在解决遗传学中的因果关系时于 1918~1921 年首先提出的一种分析方法^[23, 24]。途径分析不仅能测定两变量间的相互关系,而且还能给出因素对结果的重要性,并可将相关系数分解为直接作用和间接作用,揭示各个因素对结果的相对重要性。

对于一个相互关联的系统,有一个因变量 y 与 n 个自变量 x_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) 间存在线性关系,回归方程为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

将实际观测值代入(1)式,并用最小二乘法原理解方程组,即可得途径系数 P_{yx_i} 。途径系数是变量的标准化偏回归系数,表示各因素对结果的相对重要性。

式(1)通过数学变换,可建立正规矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_n} \\ r_{x_2x_1} & 1 & \dots & r_{x_2x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{x_nx_1} & r_{x_nx_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{yx_1} \\ P_{yx_2} \\ \vdots \\ P_{yx_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{x_1y} \\ r_{x_2y} \\ \vdots \\ r_{x_ny} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $r_{x_ix_j}$ 为 x_i 和 x_j 的简单相关关系, r_{x_1y} 为 x_1 和 y 的简单相关关系。解方程(2)即可求得途径系数 P_{yx_i} 。 P_{yx_i} 即为:

$$P_{yx_i} = b_i \delta_{x_i} / \delta_y \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中, b_i 为 y 对 x_i 的偏回归系数, δ_{x_i} 、 δ_y 分别为 x_i 、 y 的标准差。 P_{yx_i} 表示 x_i 对 y 的直接途径系数,用 $r_{x_ix_j}$ 、 P_{yx_j} 表示 x_i 通过 x_j 对 y 的间接途径系数。而剩余项的途径系数 P_{ye} 表示为:

$$P_{ye} = \sqrt{1 - (r_{x_1y}P_{yx_1} + r_{x_2y}P_{yx_2} + \dots + r_{x_ny}P_{yx_n})} \quad (4)$$

若 P_{ye} 数值较大,则表明误差较大或者还有另外更重要的因素未考虑在内。

2 结果与讨论

2.1 EC_{E5}和土壤全盐量的相关性

国内在土壤全盐量与土壤溶液电导率的关系方面做了大量的研究工作,得到了大量土壤全盐量和土壤溶液电导率之间的相关关系^[4, 9, 14, 16, 19]。但我国的土壤盐渍类型的多样性,不同地区、不同类型土壤的电导率换算成土壤全盐量的相关函数差异显著,因此这些相关函数具有区域差异性、适用土壤类型单一的特点。本实验中所用的土壤为典型的滨海盐土,具有一定的代表性,因此 1:5 土水比土壤浸提液电导率和土壤全盐量的特征关系有一定的实际运用价值。将土壤全盐量和 25℃ 的 1:5 土水比土壤浸提液电导率作相关性分析,从图 1 可以看出, EC_{E5} 和土壤全盐量(S_t) 具有极显著的相关性,其相关方程为:

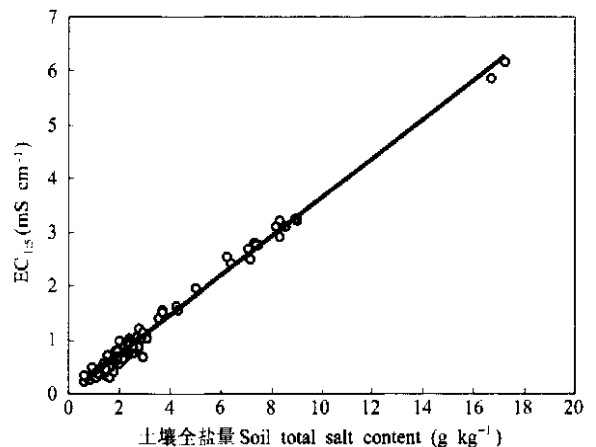


图 1 EC_{E5}与土壤全盐量的相关关系

Fig. 1 Correlation coefficient between EC_{E5} and soil total salt content

$$EC_{T5} = 0.365 8S_t - 0.015 2$$

$$(r = 0.994^{**}, p < 0.000 1, n = 93) \quad (5)$$

其中, S_t : 土壤全盐量($g \text{ kg}^{-1}$); EC_{T5} : 1: 5 土水比土壤浸提液电导率($mS \text{ cm}^{-1}$)。

由(5)式可见, 1: 5 土水比土壤浸提液电导率与土壤全盐量呈极显著线性关系, 应用该相关方程, 可采用 1: 5 土水比土壤浸提液电导率快速确定土壤全盐量, 也可根据土壤全盐量推导 1: 5 土水比土壤浸

提液电导率以供国内外同行交流。

2.2 土壤浸提液化学性质对 EC_{T5} 的通径系数

以 93 个土样为总体, 以各土样 25 °C 的 1: 5 土水比浸提液电导率 EC_{T5} 作为依变量, 以土壤浸提液盐分浓度(SSC, $g \text{ L}^{-1}$)、土壤浸提液离子组成($mmol \text{ L}^{-1}$)、钠吸附比(SAR)、可溶性钠百分率(SSP)、钠钙镁比(SDR)、pH 作为自变量进行相关分析, 相关系数如表 1 所示。

表 1 土壤浸提液化学性质与 EC_{T5} 相关系数($n = 93$)

Table 1 Correlation coefficient between chemical properties of soil extract and EC_{T5}

自变量 Independent variable	pH	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	SSC ¹⁾	SAR ²⁾	SSP ³⁾	SDR ⁴⁾
pH	1												
CO_3^{2-}	0.511	1											
HCO_3^-	0.460	0.203	1										
Cl^-	-0.305	-0.174	-0.415	1									
SO_4^{2-}	-0.318	-0.176	-0.417	0.839	1								
Ca^{2+}	-0.325	-0.243	-0.095	0.818	0.710	1							
Mg^{2+}	-0.294	-0.170	-0.297	0.951	0.852	0.817	1						
K^+	-0.241	-0.108	-0.413	0.894	0.782	0.684	0.868	1					
Na^+	-0.271	-0.129	-0.399	0.997	0.853	0.807	0.940	0.889	1				
SSC ¹⁾	-0.270	-0.138	-0.365	0.996	0.862	0.828	0.957	0.895	0.998	1			
SAR ²⁾	-0.143	0.022	-0.505	0.862	0.719	0.577	0.699	0.796	0.885	0.859	1		
SSP ³⁾	0.100	0.140	-0.449	0.316	0.244	-0.043	0.104	0.392	0.351	0.307	0.688	1	
SDR ⁴⁾	0.183	0.290	-0.365	0.218	0.140	-0.136	0.006	0.270	0.260	0.213	0.650	0.897	1
EC_{T5}	-0.313	-0.182	-0.427	0.997	0.847	0.813	0.946	0.903	0.995	0.994	0.869	0.330	0.230

1) SSC: 土壤浸提液盐分浓度 Soluble Salt Concentration ($g \text{ L}^{-1}$); 2) SAR: 钠吸附比 Sodium Adsorption Ratio, $SAR = Na^+ / \sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$;

3) SSP: 可溶性钠百分率 Soluble Sodium Percentage (%), $SSP = Na^+ / ((Ca^{2+} + Mg^{2+}) \times 2 + Na^+) \times 100$; 4) SDR: 钠钙镁比 Sodium Dianion Ratio, $SDR = Na^+ / (2 \times (Ca^{2+} + Mg^{2+}))$

将表 1 的数据代入方程(2), 解方程可得直接通径系数, 然后计算间接通径系数。通径系数计算结果如表 2, 剩余项的通径系数为 0.061。

2.3 EC_{T5} 与土壤浸提液化学性质的关系

从表 2 可以看出, 直接通径系数的大小顺序为: 浸提液盐分浓度 $Cl^- > SSC > SAR > Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > SDR > CO_3^{2-} > SO_4^{2-} > HCO_3^- > pH > SSP > Ca^{2+}$ 。pH、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、SSP、SDR 对土壤浸提液电导率的直接通径系数都较小, 而其通过其他因素对电导率的间接通径系数之和亦比较小, 说明它们对土壤浸提液电导率的直接效应和间接效应都较小, 不是影响溶液电导率的主要因子。 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SDR 的直接通径系数并不高, 但是它们通过其他化学性质要素对土壤浸提液电导率的间

接通径系数之和却较大, 这是由于它们对土壤浸提液电导率的间接效应为其他化学性质要素的直接效应所增强。 Cl^- 、土壤浸提液盐分浓度(SSC)和 SAR 对溶液电导率影响的直接通径系数较大, 而且它们通过其他化学性质要素对溶液电导率影响的间接通径系数之和也比较大, 说明它们对土壤浸提液电导率的影响除了直接效应外, 还具有显著的通过其他化学性质要素的间接效应。从表观上表现为与土壤浸提液电导率呈显著相关, 说明它们是影响土壤溶液电导率的最重要的因素。此外, Cl^- 、土壤浸提液盐分浓度(SSC)和 SAR 三者通过彼此之间对溶液电导率的间接通径系数比通过其他因素的间接通径系数要大, 说明它们彼此之间的相互作用对土壤溶液电导率也有较大的影响。

表2 土壤浸提液化学性质对 $EC_{1:5}$ 的通路系数Table 2 Path coefficients between chemical properties of soil extract and $EC_{1:5}$

自变量 Independent variable	pH	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	SSC	SAR	SSP	SDR	总和 Sum
pH	-0.0110 ¹⁾	-0.0134	-0.0089	-0.1496	0.0063	0.0012	-0.0140	-0.0125	0.0144	-0.0958	-0.0217	-0.0008	-0.0073	-0.3132
CO_3^{2-}	-0.0058	-0.0262 ¹⁾	-0.0039	-0.0851	0.0035	0.0009	-0.0081	-0.0056	0.0069	-0.0488	0.0033	-0.0011	-0.0116	-0.1815
HCO_3^-	-0.0052	-0.0053	-0.0193 ¹⁾	-0.2033	0.0083	0.0004	-0.0141	-0.0214	0.0212	-0.1292	-0.0766	0.0034	0.0146	-0.4266
Cl^-	0.0034	0.0045	0.0080	0.4899 ¹⁾	-0.0168	-0.0030	0.0451	0.0464	-0.0530	0.3529	0.1309	-0.0024	-0.0087	0.9973
SO_4^{2-}	0.0036	0.0046	0.0080	0.4109	-0.0200 ¹⁾	-0.0026	0.0404	0.0406	-0.0453	0.3055	0.1091	-0.0019	-0.0056	0.8474
Ca^{2+}	0.0037	0.0064	0.0018	0.4008	-0.0142	-0.0037 ¹⁾	0.0388	0.0355	-0.0429	0.2935	0.0876	0.0003	0.0054	0.8130
Mg^{2+}	0.0033	0.0044	0.0057	0.4657	-0.0170	-0.0030	0.0475 ¹⁾	0.0451	-0.0499	0.3391	0.1060	-0.0008	-0.0002	0.9458
K^+	0.0027	0.0028	0.0100	0.4379	-0.0156	-0.0025	0.0412	0.0519 ¹⁾	-0.0472	0.3169	0.1208	-0.0030	-0.0108	0.9030
Na^+	0.0031	0.0034	0.0080	0.4882	-0.0170	-0.0030	0.0446	0.0462	-0.0532 ¹⁾	0.3534	0.1344	-0.0027	-0.0104	0.9946
SSC	0.0030	0.0036	0.0070	0.4880	-0.0172	-0.0030	0.0454	0.0465	-0.0530	0.3543 ¹⁾	0.1303	-0.0024	-0.0085	0.9940
SAR	0.0016	0.0006	0.0097	0.4224	-0.0144	-0.0020	0.0332	0.0413	-0.0470	0.3042	0.1518 ¹⁾	-0.0053	-0.0259	0.8689
SSP	-0.0010	-0.0037	0.0087	0.1549	-0.0049	0.0002	0.0049	0.0204	-0.0187	0.1089	0.1045	-0.0077 ¹⁾	-0.0358	0.3306
SDR	-0.0021	-0.0076	0.0070	0.1069	-0.0028	0.0005	0.0003	0.0140	-0.0138	0.0755	0.0987	-0.0069	-0.0399 ¹⁾	0.2299

1) 为直接通路系数,其余数据为间接通路系数 Direct path coefficient, the rest is indirect path coefficient

剩余通路系数为0.061,表明分析的误差非常小。

鉴于土壤浸提液盐分浓度(SSC)、 Cl^- 和SAR是影响土壤浸提液电导率的最主要因素,进一步得出1:5土水比土壤浸提液电导率与浸提液盐分浓度(SSC)、 Cl^- 和SAR的多元回归方程:

$$EC_{1:5} = 0.1011Cl^- + 0.1254SSC + 0.0087SAR + 0.1141 \quad (r = 0.9974, n = 93) \quad (6)$$

式中, $EC_{1:5}$: 1:5土水比土壤浸提液电导率($mS\ cm^{-1}$); Cl^- : 氯离子浓度($mmol\ L^{-1}$); SSC: 土壤浸提液盐分浓度($g\ L^{-1}$)。

在此类滨海盐土研究中,由以上线性方程可知,只要有 $EC_{1:5}$ 、 Cl^- 浓度以及SAR即可推算出此土壤溶液的盐分浓度,因此方程(6)具有良好的实用性。

2.4 线性方程的校验

为了验证方程(6)的准确性和适用性,以剩余3个剖面共24个样品作为独立于以上分析所用样品的校验样品,对其 $EC_{1:5}$ 测定值和根据线性方程(6)获得的计算值进行方差分析。这些检验样品的1:5土水比土壤浸提液电导率变化范围为0.14~8.01 $mS\ cm^{-1}$ 。分析结果表明:在 $p = 0.01$ 显著水平上,计算值和测定值之间差异并不显著,即这两组值近似来自同一样本,计算值可以作为实际测定值的无偏估计。方程(6)能比较准确地反映1:5土水比土壤浸提液电导率变化状况。

在一定浓度范围内土壤浸提液的盐分浓度和其电导率呈线性正相关;当土壤浸提液盐分浓度(或土壤全盐量)过高时,可能会有较大的误差。文献[13]和[18]认为电导率随着土壤全盐量的增大而增大的速率会逐渐减缓,相应的相关曲线为近似抛物线状。滨海盐土一般全盐量比较高,本项研究的土壤浸提液电导率变化范围较大,为进一步验证线性方程(6)的适用性,将这24个校验样品按照其全盐量分为小于 $2\ g\ kg^{-1}$ (L)、2~10 $g\ kg^{-1}$ (M)和大于 $10\ g\ kg^{-1}$

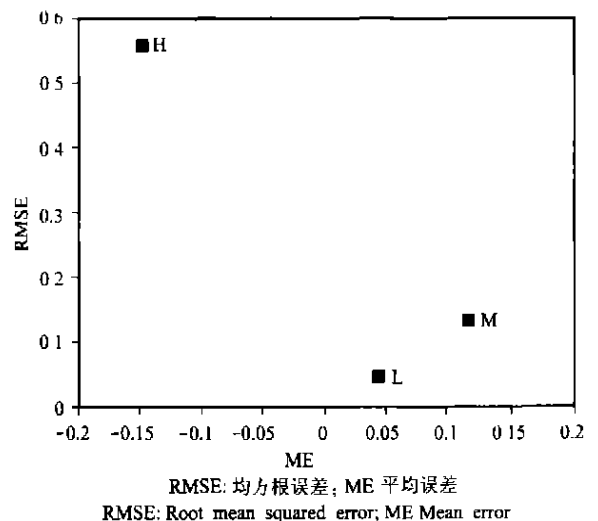


图2 不同全盐含量下 RMSE 和 ME 的关系

Fig 2 Pbt of RMSE vs. ME for various soil total salt contents

(H) 三类, 以其根据方程(6) 计算的电导率值和测定值的平均误差(ME) 为 X, 均方根误差(RMSE) 为 Y (图 2), 可以比较出方程(6) 在三种电导率变化范围内的精度和适用性。从图 2 所反映的情况来看, L 点、M 点离原点的距离较近误差相对较小, 而 H 点离原点较远, 误差偏大, 可见随着土壤全盐量的不断增加, 线性方程的精度有所降低, 误差增大, 这与其他学者的研究结论是一致的^[12, 13, 18]。

3 结 论

本试验所用的滨海盐土, 其 1: 5 土水比土壤浸提液电导率($EC_{1:5}$) 和土壤全盐量(S_t) 呈显著线性相关, 相关函数为: $EC_{1:5} = 0.365 8S_t - 0.015 2$ 。

影响土壤浸提液电导率的因素有许多, 本项研究表明影响土壤浸提液电导率的主导盐分化学性质是土壤浸提液盐分浓度(SSC)、 Cl^- 浓度和钠吸附比(SAR); 建立了 1: 5 土水比土壤浸提液电导率 $EC_{1:5}$ 与土壤浸提液盐分浓度(SSC)、 Cl^- 浓度和钠吸附比(SAR) 的相关方程: $EC_{1:5} = 0.101 1Cl^- + 0.125 4SSC + 0.008 7SAR + 0.114 1$, 此方程具有良好的精度并在滨海盐土分布区具有一定的应用前景和应用价值。

参 考 文 献

- [1] Marshal T J, Holmes J W. Soil Physics. London: Cambridge University Press, 1979
- [2] 中国土壤学会盐渍土专业委员会. 中国盐渍土分类分级文集. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989. Committee of Saline Soils of Soil Science Society of China. Corpus of Classification and Assortment of Chinese Saline Soils (In Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1989
- [3] 王遵亲, 等著. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993. 130~211. Wang Z Q, *et al.* eds. Saline Soils in China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993. 130~ 211
- [4] 毛创钊, 田魁祥, 松本聪, 等. 盐渍土盐分指标及其与化学组成的关系. 土壤, 1997, (6): 326~ 330. Mao C Z, Tian K X, Song B C, *et al.* The relationship between soil indices and chemical components of saline soils (In Chinese). Soils, 1997, (6): 326~ 330
- [5] Mehdi S M, Hassan G, Shah A H, *et al.* A new transplanting approach to enhance salt tolerance of tree saplings. Pedosphere. 2004, 14(1): 77~ 84
- [6] 陈阳, 王贺, 张福锁, 等. 盐渍生境下野生琵琶柴盐分分布及泌盐特点. 土壤学报, 2004, 41(5): 774~ 779. Chen Y, Wang H, Zhang F S, *et al.* Ions secretion in wild reaumuria soongorica under natural saline-alkali conditions (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(5): 774~ 779
- [7] Rhoades J D, Shouse P J, Alves N A. Determining soil salinity from soil electrical conductivity using different models and estimates. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54: 46~ 54
- [8] 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, 2000, 5(4): 39~ 41. Sun Y R. Experimental survey for the soil water content and soil salinity on soil electrical conductivity (In Chinese). Journal of China Agricultural University, 2000, 5(4): 39~ 41
- [9] Rhoades J D, Chanduvi F, Lesch S. Soil Salinity Assessment. FAO Irrigation and Drainage Papers, 1999, 57: 3~ 7
- [10] Tam N F Y, Wong Y S. Variations of soil nutrient and organic matter content in a subtropical mangrove ecosystem. Water, Air and Soil Pollution, 1998, 103: 245~ 261
- [11] 张瑜斌, 邓爱英, 庄铁诚, 等. 潮间带土壤盐度与电导率的关系. 生态环境, 2003, 12(2): 164~ 165. Zhang Y B, Deng A Y, Zhuang T C, *et al.* Relation between soil salinity in intertidal zone and electric conductivity (In Chinese). Ecology and Environment, 2003, 12(2): 164~ 165
- [12] Heydari N, Gupta A D, Loof R. Salinity and sodicity influences on infiltration during surge flow irrigation. Irrig. Sci., 2001, 20: 165~ 173
- [13] Hopkins D G, Richardson J L. Detecting a salinity plumb in an unconfined sandy aquifer and assessing secondary soil salinization using electromagnetic induction techniques, North Dakota, USA. Hydrogeology Journal, 1999, 7: 380~ 392
- [14] Ramsis B S, Clause J O, Robert W F. Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization Hydrogeology Journal, 1999, 7: 46~ 64
- [15] 谢森祥. 关于统一盐碱土化学分析方法和鉴定指标的几点建议. 土壤肥料, 1989, (2): 24~ 46. Xie S X. Suggestions of the unification of chemical analysis methods and identification indexes of saline and alkaline soils (In Chinese). Soil Fertilizer, 1989, (2): 24~ 26
- [16] 贺锦喜, 牛颖. 哲盟宜林地土壤电导率和可溶性总盐回归方程的推导. 内蒙古林业科技, 1997, (2): 40~ 44. He J X, Niu Y. Deduction of regression equation of soil conductivity and soluble total salt content in forested land of Zhemeng (In Chinese). Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 1997, (2): 40~ 44
- [17] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. 195. Committee of Agricultural Chemistry of Soil Science Society of China. ed. Conventional Analysis Methods of Soil Agricultural Chemistry (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983. 195
- [18] 武得礼, 王厦仙. 电导法测定全盐量应用条件的探讨. 土壤肥料, 1997, (4): 37~ 40. Wu D L, Wang X X. Study on the applied conditions of determining total salt content by methods of electrical conductivity (In Chinese). Soil Fertilizer, 1997, (4): 37~ 40
- [19] 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: 85~ 87. Liu G M, Yang J S. Study on the correlation of soil salt content with electrical conductivity and soil water content (In Chinese). Chinese Journal of Soil Sci-

- ence, 2001, 32: 85~ 87
- [20] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 196~ 211. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. ed. Analysis of Soil Physics and Chemistry (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978. 196~ 211
- [21] 蔡阿兴, 陈章英, 蒋正琦, 等. 我国不同盐渍地区盐分含量与电导率的关系. 土壤, 1997, (1): 54~ 57. Cai A X, Chen Z Y, Jiang Z Q, *et al.* Correlation of soil salt content and electrical conductivity of different saline soils in China (In Chinese). Soils, 1997, (1): 54~ 57
- [22] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 86. Lu R K. ed. Analysis Methods of Soil Agricultural Chemistry (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999. 86
- [23] 明道绪. 通径分析. 雅安: 四川农业大学出版社, 1990. Ming D X. Path Analysis (In Chinese). Yaan: Sichuan Agricultural University Press, 1990
- [24] Bhatt G M. Significance of path coefficient analysis in association. Euphytica, 1973, 22(2): 338~ 343

CHEMICAL FACTORS TO ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SOIL EXTRACT AND THEIR INTENSITY

Liu Guangming Yang Jingsong Yao Rongjiang

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract In order to assess effects of chemical properties of soil salinity on electrical conductivity of 1: 5 soil water extract ($EC_{1:5}$), the relations between $EC_{1:5}$ and chemical properties of soil salinity were studied through Path Coefficient analysis. The results obtained show that total soluble salt concentration (SSC), Cl^- , and sodium adsorption ratio (SAR) were the most primary factors to $EC_{1:5}$ of coastal salt-affected soils, while pH, content of CO_3^{2-} or HCO_3^- , soluble sodium percentage (SSP) and sodium dianion ratio (SDR) affected $EC_{1:5}$ very faintly. Though direct path coefficients between content of SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ or Na^+ and $EC_{1:5}$ were not high, they were enlarged by influence of other chemical factors, making the summation of indirect path coefficients between $EC_{1:5}$ and these factors relatively higher. Verification showed that the multifactor regression function between $EC_{1:5}$ and most of the primary factors had sound reliability and very good accuracy, while errors in deducing electrical conductivities based on the function would somewhat be greater when soil salinity was excessively high.

Key words Soil salinization; Electrical conductivity; Factor; Chemical property