

松嫩平原苏打盐渍土钠吸附比的间接推算

迟春明¹, 王志春^{2*}

(1. 塔里木大学 植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102)

摘要: 土壤钠吸附比(SAR)的推算需要获得实测 Na^+ 浓度和推算 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (二价阳离子)浓度, 或者实测二价阳离子浓度和 Na^+ 浓度。本文应用两批土样数据, 采用实测 Na^+ 浓度与电导率(EC)推导阳离子总浓度(TCC)计算二价阳离子浓度(方法一)、实测二价阳离子浓度与推算 TCC 计算 Na^+ 浓度(方法二)、实测 Na^+ 浓度与实测阴离子总浓度(TAC)推算二价阳离子浓度(方法三)、实测二价阳离子浓度与 TAC 计算 Na^+ 浓度(方法四)四种方法推算 SAR。成对样本 T 检验结果表明, 四种方法获得的 SAR 推算值与实测值间无显著性差异($P > 0.05$)。但是, 第一和第三种方法推算 SAR 和实测值间回归方程斜率分别为 0.66 和 0.79; 而第二和第四种方法 SAR 推算和实测值回归方程斜率分别为 0.96 和 1.10, 非常接近 1.0。这表明, 实测 Na^+ 浓度和推算二价阳离子浓度方法推算的 SAR 准确性较差, 采用实测二价阳离子和推算 Na^+ 浓度方法推算的 SAR 值准确性较高。因此, 在实际工作中建议使用实测二价阳离子浓度的方法(方法二和方法四)推算 SAR。

关键词: 盐渍土; 钠吸附比; 电导率; 钠离子浓度; 二价阳离子浓度; 阳离子总浓度; 阴离子总浓度

中图分类号: S156.4; S151.9 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)06-0198-05

Estimating sodium adsorption ratio(SAR) of saline-sodic soils in songnen plain, northeast China

CHI Chun-ming¹, WANG Zhi-chun^{2*}

(1. College of Plant Science, Tarim University, Alar 843300 China;

2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102 China)

Abstract: The Sodium adsorption ration (SAR) of soil can be calculated from measured Na^+ concentration and predicted $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (bivalent cation) concentration or from measured bivalent cation concentration and predicted Na^+ concentration. In this study, four methods were used to estimate SAR of saline-sodic soils in Songnen Plain, Northeast China by using two set of soil samples. First method, the bivalent cation concentration was calculated by the total cation concentrations (TCC) that was derived from the measured Na^+ concentration and electrical conductivity (EC); second method, the Na^+ concentration was calculated from the predicted TCC and measured bivalent cation concentration; third method, the bivalent cation concentration was calculated from the measured Na^+ concentration and total anions concentrations (TAC); fourth method, the Na^+ concentration was calculated from the measured bivalent cation concentration and TAC. The Results by T-test for a paired-samples were showed that: There was no significant difference between the calculated SAR and measured SAR ($P > 0.05$). However, the slope of the regression between measured SAR and predicted SAR calculated from the first and third method was 0.66 and 0.79, respectively. This shown these methods by measured Na^+ concentration and predicted bivalent cation concentration to estimate SAR with a poor accuracy. For the second and fourth method, the slop of the regression between measured SAR and predicted SAR was 0.96 and 1.10, respectively, which was very close to 1.0 with a high accuracy. So in practical use, suggested that methods by measured bivalent cation concentration and predicted Na^+ concentrations to estimate SAR.

Keywords: saline soil; sodium adsorption ration; electrical conductivity; sodium concentration; bivalent cation concentration; total cation concentration; total anion concentrations

收稿日期: 2013-05-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161037); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001-06)

作者简介: 迟春明(1978—), 男, 副教授, 主要从事盐渍土生态研究。E-mail: chichunming@126.com。

* 通信作者: 王志春(1963—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事盐渍土生态研究。E-mail: wangzhichun@neigae.ac.cn。

盐渍土是一系列受土体中盐碱成分作用的、包括各种盐土和碱土以及其它不同程度盐化和碱化的各种类型土壤的统称,也称盐碱土^[1]。土壤盐渍化是一个世界性农业生态环境问题^[2-4],据联合国教科文组织(UNESCO)和粮农组织(FAO)不完全统计,全世界盐渍土面积约为9.5亿hm²,约占全球可耕作土地面积的10%,分布于100多个国家和地区^[3]。在这些土壤中,碱土总面积约为5.6亿hm²,占全球盐渍土总面积的58.9%^[3]。碱土由于物理性质恶化^[4-5],它对生态环境的破坏作用和对农业生产的阻碍作用远远大于盐土,而且其改良难度亦远远超过盐土。

钠吸附比(SAR)是表征土壤碱化程度的重要参数,美国土壤学会将土壤饱和浸提液 SAR = 13 (mmol_c · L⁻¹)^{1/2} 作为判断碱土与非碱土的阈值。SAR的计算公式为:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (1)$$

式中,SAR 钠吸附比 (mmol_c · L⁻¹)^{1/2}; Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 为离子浓度 (mmol_c · L⁻¹)。

根据公式(1),计算 SAR 需要获得土壤浸提液 Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 三种离子浓度。这三种离子可以通过原子吸收分光光度法测定;或者 Na⁺ 采用火焰光度法测定,Ca²⁺、Mg²⁺ 采用滴定法测定。但是,在进行大批土壤样品化学性质分析时,前一种方法费用较高,而后一种方法耗时较长。因此,为了达到省时、省力、节约资金的目的,可以对公式(1)中的一价或二价离子进行估算,进而推算土壤 SAR。

在土壤主要的四种阳离子中(Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺),K⁺ 含量很低,在计算时可以忽略,因此可认为

$$Ca^{2+} + Mg^{2+} \approx TCC - Na^+ \quad (2a)$$

$$Na^+ \approx TCC - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (2b)$$

式中,TCC 为阳离子总浓度 (mmol_c · L⁻¹)。将式(2a)和式(2b)分别代入方程(1)可得 SAR 间接推算的两种计算公式,即:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(TCC - Na^+)/2}} \quad (3a)$$

$$SAR = \frac{TCC - (Ca^{2+} + Mg^{2+})}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (3b)$$

其中,公式(3a)可称为实测 Na⁺ 离子 SAR 推算方法,公式(3b)可称为实测二价阳离子 SAR 推算方法。上述两式中,TCC 可通过两种途径获得,即:

$$TCC = k \times EC \quad (4a)$$

$$TCC = TAC \quad (4b)$$

式中,TCC 为阳离子总浓度 (mmol_c · L⁻¹); k 为经验系数; EC 为土壤浸提液电导率 (dS · m⁻¹); TAC 为阴离子总浓度 (mmol_c · L⁻¹)。

将式(4a)代入方程(3a)和(3b)得:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(k \times EC - Na^+)/2}} \quad (5a)$$

$$SAR = \frac{k \times EC - (Ca^{2+} + Mg^{2+})}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (5b)$$

公式(5a)可以称作实测 EC 和 Na⁺ 推算 SAR 方法,公式(5b)可以称作实测 EC 和二价阳离子推算 SAR 方法。

将(4b)式代入方程(3a)和(3b)得:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(TAC - Na^+)/2}} \quad (6a)$$

$$SAR = \frac{TAC - (Ca^{2+} + Mg^{2+})}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (6b)$$

公式(6a)可以称作实测 TAC 与 Na⁺ 推算 SAR 方法,公式(6b)可以称作实测 TAC 与二价阳离子推算 SAR 方法。

松嫩平原是国内仅次于黄淮海平原的第二大平原,其西部是中国五大盐渍土集中分布区域之一^[5]。土壤盐分以 NaHCO₃ 和 NaCO₃ 为主^[1,6-7],属典型苏打碱土^[5]。因此,SAR 是该区盐渍土化学性质描述的必要参数之一。因而,以省时、省力、节约资金为目标,研究该区盐渍土 SAR 推算的可行性与准确性具有一定的现实意义。

1 材料与与方法

1.1 土样采集及准备

第一批土样采集范围较广,取样地点位于东经 123°34' ~ 123°51', 北纬 45°11' ~ 45°37' 范围内,包括吉林省西部的大安、乾安、通榆、洮南四个县/市。共 121 份样品,取样深度为 0 ~ 20 cm。第二批土样采自中国科学院大安碱地生态试验站 (N45°35'58" ~ N45°36'28", E123°50'27" ~ 123°51'31")。选取 4 块样地,每块样地用土钻按 20 cm 间隔取样,取样深度为 0 ~ 200 cm,即 10 层,每层取 3 点混合样。4 块样地共计 40 份土样。两批土样取样时间均为 2007 年 10 月下旬。将所有土样带回实验室,自然风干,粉碎,过 2 mm 筛。

1.2 土壤浸提液制备

制备土水比 1:5 浸提液。取 10 g 土样至 200 ml 锥形瓶内,加 50 ml 无二氧化碳的蒸馏水。在往复振荡机上震荡 15 min (150 ~ 180 次 · min⁻¹)。静止 1 h,再振荡 5 min。然后用布氏漏斗抽滤,得到浸提

液。

1.3 土壤浸提液化学性质分析

土壤浸提液电导率采用 DDS-307 型电导率仪测定; K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用 ICP 法测定; $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ 用中和滴定法测定^[8]; Cl^- 采用硝酸银滴定法^[9]; SO_4^{2-} 采用比浊法测定。阴离子总浓度和阳离子总浓度均由计算求得:

$$TCC = K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} \quad (7a)$$

$$TAC = HCO_3^- + CO_3^{2-} + Cl^- + SO_4^{2-} \quad (7b)$$

式中, TCC 为阳离子总浓度($mmol_c \cdot L^{-1}$); TAC 为阴离子总浓度($mmol_c \cdot L^{-1}$)。在离子分析时, 第一批土样仅测定四种阳离子, 第二批土样阴离子和阳离子全部测定。

1.4 推算公式有效性检验

第一批样品数据用于方程(5a)和(5b)有效性检验。首先, 应用 EC 和 TCC 数据确定方程(4a)中的 k 值, 然后将方程(5a)和(5b)求得的 121 份土样的 SAR 推算值分别与方程(1)获得的 SAR 实测值进行成对样本 T 检验和线性回归分析, 根据统计分析结果判断这两种 SAR 推算方法的有效性。

应用第二批样品数据对方程(6a)和(6b)的有效性进行验证。首先, 根据公式(7a)和(7b)计算每份土样的 TCC 和 TAC, 然后, 采用成对样本 T 检验判断 TCC 和 TAC 是否相等, 确定 TCC 和 TAC 相等后, 将方程(6a)和(6b)求得的 40 份土样的 SAR 推算值分别与方程(1)求得的 SAR 实测值进行成对样本 T 检验和线性回归分析, 根据统计分析结果判断这两种 SAR 推算方法的有效性。

2 结果与分析

2.1 苏打盐渍土基本特征

第一批样品化学性质统计分析结果表明, Na^+ 在阳离子中占主导地位, 其浓度(y)达到阳离子总浓度(x)的 90% 以上。而且, 回归分析表明, 两者呈极显著的线性关系, 其方程为: $y = 0.98x$ ($n = 121$, $r^2 = 0.998$, $P < 0.001$)。TCC 和 EC 的关系如图 1 所示。由图 1 可见, TCC 随 EC 的增加而升高。统计分析表明, 二者呈极显著的线性相关, 相关系数为 0.993。TCC 和 EC 的关系方程为:

$$TCC = 9.8EC \quad (r^2 = 0.986) \quad (8)$$

该方程经检验具有极显著的统计学意义 ($P < 0.001$)。将第二批土样测得的 EC 值代入式(8), 求得 TCC 的推算值, 将其与方程(5a)得到的 TCC 测定值进行成对样本 T 检验。结果表明: 双尾检验的相伴概率为 $0.304 > 0.05$, 即 TCC 推算值与实测值间

无显著性差异。因此, 可以应用方程(8)推算 TCC, 即方程(4a)中的 k 值为 9.8。国内外其它研究结果显示 k 值约为 10 左右^[2, 10-13]。本实验研究结果与之相一致。这也进一步说明: $k = 9.8$ 在松嫩平原盐渍土地区应用是可行的。

第二批土样的土壤盐分以 $NaHCO_3$ 和 Na_2CO_3 为主。 Na^+ 浓度(y)占阳离子总浓度(x)的比例达 70% 以上, 二者呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关, 相关系数 $r = 0.95$, 二者的线性回归方程为: $y = 0.79x - 0.38$ ($n = 40$, $P < 0.001$)。 $HCO_3^{2-} + CO_3^{2-}$ 浓度高达 TAC 的 90% 以上, 二者相关系数 $r = 0.98$ ($P < 0.01$), 线性回归方程为: $y = 0.92x - 0.34$ ($n = 40$, $P < 0.001$)。

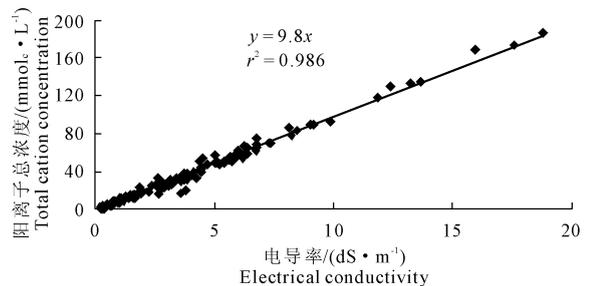


图 1 松嫩平原 121 份土样土水比 1:5 浸提液阳离子总浓度与电导率关系

Fig. 1 Relationship between total cation concentration and electrical conductivity of 1:5 soil/water extracts for 121 soil samples in Songnen Plain

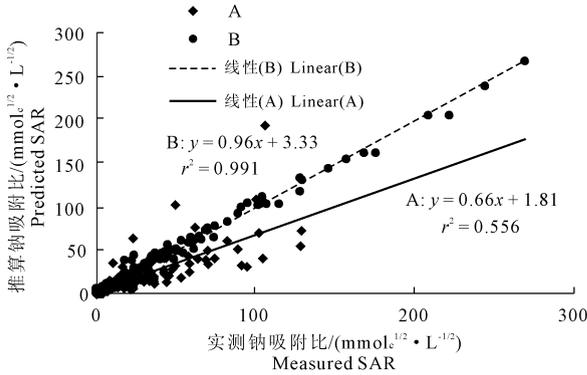
2.2 由 EC 推算 SAR

将 $k = 9.8$ 和第一批土样测定的 Na^+ 浓度代入公式(5a), 其中 22 份土样的 $9.8 \times EC - Na^+ < 0$, 因此这 22 份土样无法由公式(5a)计算 SAR。其余 99 份土样 SAR 推算值和实测值进行成对样本 T 检验, 相伴概率(双尾)为 0.688。这说明推算值和实测值间无显著性差异 ($P > 0.05$)。并且, 推算值(y)与实测值(x)间的相关性较强, 相关系数 $r = 0.745$ ($P < 0.01$), 二者的线性回归方程(图 2A)为: $y = 0.66x + 1.81$ ($n = 99$, $r^2 = 0.556$, $P < 0.001$)。

将 $k = 9.8$ 和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度代入公式(5b), 得到 121 份土样的 SAR 推算值。将 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度代入公式(1)得到 121 份土样的 SAR 实测值。成对样本 T 检验表明, 推算值(y)与实测值(x)间无显著性差异 ($P > 0.05$)。二者间的相关系数为 $r = 0.996$ ($P < 0.01$), 二者的线性回归方程(图 2B)为: $y = 0.96x + 3.33$ ($n = 121$, $r^2 = 0.991$, $P < 0.001$)。

理论上, 如果推算值与实测值完全相等, 那么两者间直线回归方程的斜率应该等于 1.00, 截距应为

0.00, 决定系数 r^2 应等于 1.00。图 2 中直线方程 (B) 斜率 0.96 和决定系数 $r^2 = 0.991$ 都明显比直线方程 A 斜率 0.66 和 $r^2 = 0.556$ 接近 1.00。因此,就推算结果而言,EC 和二价阳离子浓度推算 SAR 的方法要明显好于 EC 和 Na^+ 浓度推算 SAR 的方法。



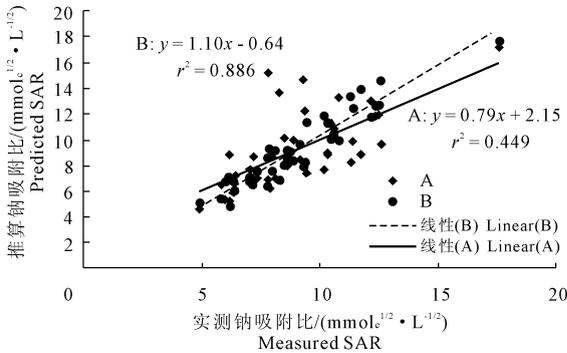
注: A: 由电导率 EC 和 Na^+ 浓度得到的推算值; B: 由电导率 EC 和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度得到的推算值
 Note: A: SAR were predicted by electrical conductivity and Na^+ concentration; B: SAR were predicted by electrical conductivity and Ca^{2+} and Mg^{2+} concentration

图 2 钠吸附比推算值与实测值关系

Fig.2 Relationships between predicted SAR and measured SAR

2.3 由 TAC 推算 SAR

将方程 (5a) 和 (5b) 求得的第二批土样的 TCC 和 TAC 数据进行成对样本 T 检验。其相伴概率 (双尾) 为 0.196, 因此, TCC 与 TAC 间无显著性差异 ($P > 0.05$), 即阴离子总浓度与阳离子总浓度相等。因此, 可以利用公式 (6a) 和 (6b) 推算 SAR。



注: A: 由阴离子总浓度和 Na^+ 浓度得到的推算值; B: 由阴离子总浓度和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度得到的推算值
 Note: A: SAR were predicted by total anion concentration and Na^+ concentration; B: SAR were predicted by total anion concentration and Ca^{2+} and Mg^{2+} concentration

图 3 钠吸附比推算值与实测值关系

Fig.3 Relationships between predicted SAR and measured SAR

将 TAC 和 Na^+ 浓度数据代入公式 (6a) 求得 SAR 推算值, 将 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度代入公式 (1) 得到 SAR 实测值。成对样本 T 检验的相伴概率 (双尾) 为 0.550, 即推算值 (y) 和实测值 (x) 间无显著性差异 ($P > 0.05$)。二者的相关系数为 0.67 ($P < 0.01$),

线性回归方程 (图 3A) 为: $y = 0.79x + 2.15$ ($n = 40$, $r^2 = 0.449$)。该方程经检验具有极显著统计学意义 ($P < 0.001$)。

由方程 (6b) 和公式 (1) 分别求得 SAR 的推算值和实测值。成对样本 T 检验分析表明, 二者间无显著性差异 ($P > 0.05$)。推算值 (y) 与实测值 (x) 呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关, $r = 0.941$; 二者的直线回归方程 (图 3B) 为: $y = 1.10x - 0.64$ ($n = 40$, $r^2 = 0.886$, $P < 0.001$)。图 3 中, 其方程 B 的斜率 1.10 和 $r^2 = 0.886$ 均比直线 A 的斜率 0.79 和 $r^2 = 0.449$ 更接近 1.00, 因此, 与采用 TAC 和 Na^+ 浓度推算 SAR 的方法相比, 由 TAC 和二价阳离子浓度推算得到的 SAR 效果更好。

3 讨论

在松嫩平原苏打盐渍土中, Na^+ 含量很高, 以至于土壤浸提液中 Na^+ 浓度与 TCC 十分接近。因此, 在使用实测的 Na^+ 浓度推算二价阳离子浓度时会产生两种情况: (1) 在一些情况下, 推算得到的二价阳离子浓度为负值, 所以, 无法计算出 SAR, 例如, 第一批 121 份土样中, 由公式 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \approx 9.8 \times \text{EC} - \text{Na}^+$ 计算得到的二价阳离子浓度推算值中, 有 22 份土样的计算结果为负值; (2) 即使二价阳离子浓度的推算值为正数, 但与其与实际测定值相差较大, 例如, 第二批土样中, 由 TAC 与 Na^+ 相减得到 40 个二价阳离子浓度推算值 (y), 其与实测值 (x) 的回归方程为 $y = 1.45x - 1.21$ ($n = 40$, $r^2 = 0.707$, $P < 0.001$) (图 4), 这表明推算值明显高于实测值, 进而导致计算得到的 SAR 和实际测定的 SAR 相差很大。

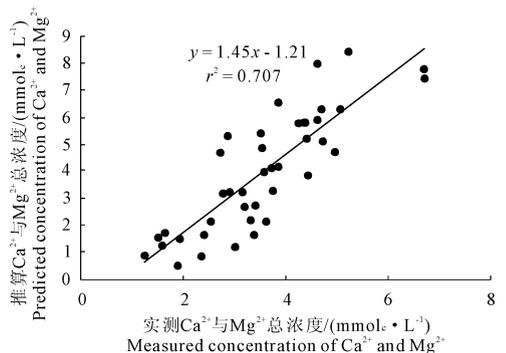
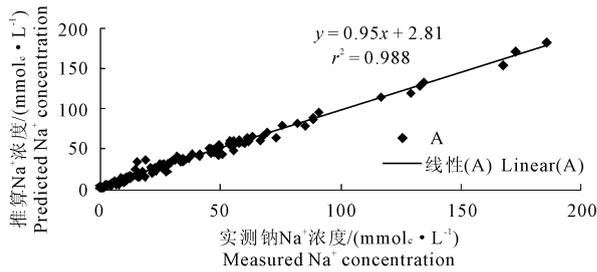


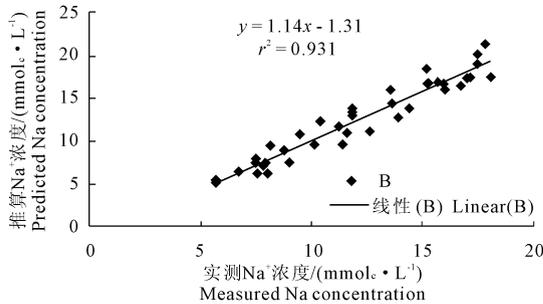
图 4 实测二价阳离子 ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) 浓度与其推算值 (阴离子总浓度减去 Na^+ 浓度) 的关系

Fig.4 Relationships between measured bivalent cation ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) concentration and predicted bivalent cation concentration equivalents (it was calculated as the total anions concentrations minus the Na^+ concentration)

由于 Na^+ 浓度占 TCC 的比例很高,因而由实测二价阳离子浓度推算 Na^+ 浓度时,推算值与实测值间误差相对较小。例如,第一批土样,其由方程 $\text{Na}^+ \approx 9.8 \times \text{EC} - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 计算得到的 Na^+ 浓度推算值(y)与实测值(x)间的回归方程为 $y = 0.95x + 2.81$ ($n = 121, r^2 = 0.988, P < 0.001$) (图 5A); 第二批土样,其由 $\text{Na}^+ \approx \text{TAC} - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 计算得到的 Na^+ 浓度推算值(y)与实测值(x)间的回归方程为 $y = 1.14x - 1.31$ ($n = 40, r^2 = 0.931, P < 0.001$) (图 5B)。上述两方程表明,推算 Na^+ 浓度与实测值相差很小,因而由其推算的 SAR 和实际测定的 SAR 相差较小。



注: A是由电导率和二价阳离子浓度获得 Na^+ 的推算值
Note: A refers Na^+ concentration was predicted by EC and bivalent cation concentration



注: B是由阴离子总浓度及 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度获得 Na^+ 的推算值
Note: B refers Na^+ concentration was predicted by total anion concentration and bivalent cation concentration

图 5 实测 Na^+ 浓度与其推算值的关系

Fig.5 Relationships between actual Na^+ concentration and predicted Na^+ concentration

4 结 论

1) 松嫩平原苏打盐渍土的阳离子中 Na^+ 占主导地位,其占阳离子总浓度(TCC)的比例达 70% 以上;

2) TCC 与 EC 间存在极显著($P < 0.001$)的线性关系,其方程为 $\text{TCC} = 9.8 \times \text{EC}$,因此可用 EC 推算

TCC;

3) 由于 Na^+ 占 TCC 比例很高,导致由其推算得到的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 总浓度与实测值相差较大,从而致使由 EC 推算的 TCC 与实测 Na^+ 浓度推算 SAR 或者由 TAC 与实测 Na^+ 浓度推算 SAR 的方法准确度较低,因此,在实践中不建议使用实测 Na^+ 浓度与推算二价阳离子浓度的方法间接计算苏打盐渍土的 SAR;

4) 苏打盐渍土推算 Na^+ 浓度与其实测值相差很小,因而使用实测二价阳离子总浓度与推算 Na^+ 浓度得到的 SAR 推算值的准确度很高,因此,在实际工作中建议使用实测二价阳离子浓度、再由 TAC 或 EC 推算得到的 TCC 与其相减计算 Na^+ 浓度,进而计算 SAR。

参 考 文 献:

- [1] 王遵亲,祝寿权,俞仁配,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
- [2] United States Salinity Laboratory Staff. Diagnoses and improvement of saline and alkali soils[M]. Agric. Handbook No. 60. Riverside: USDA, 1954.
- [3] Tanji K K. Agricultural Salinity Assessment and Management[M]. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71. New York: ASCE, 1990.
- [4] Sumner M E, Naidu N. Sodic Soils: Distribution, Properties, Management, and Environmental Consequences[M]. New York: Oxford University Press, 1998.
- [5] 俞仁培,陈德明.我国盐渍土资源及其开发利用[J].土壤通报,1999,30(4):158-159.
- [6] 李 彬,王志春,梁正伟,等.吉林省大安市苏打碱土碱化参数之间的关系[J].土壤通报,2007,38(3):443-446.
- [7] 李 彬,王志春,梁正伟,等.吉林省大安市苏打碱土盐化与碱化的关系[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):151-155.
- [8] 鲍士旦.土壤农业分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [9] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996.
- [10] Rengasamy P, Greene R S B, Ford G W, et al. Identification of dispersive behaviour and the management of red-brown earths[J]. Australian Journal of Soil Research, 1984,22:413-431.
- [11] 石元春,李韵珠,陆锦文,等.盐渍土的水盐运动[M].北京:北京农业大学出版社,1986:151-158.
- [12] Sumner M E. Sodic Soils: New perspectives[J]. Australian Journal of Soil Research, 1993,31:683-750.
- [13] Chi Chunming, Wang Zhichun. Characterizing salt-affected soils of Songnen Plain using saturated paste and 1:5 soil-to-water extract methods[J]. Arid Land Research and Management, 2010,24(1):1-11.