

田块尺度苏打盐渍土盐化和碱化空间变异特征*

杨建锋 邓伟 章光新

(中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130026)

FIELD-SCALE SPATIAL VARIABILITY OF SOIL SALINITY AND ALKALINITY IN A SALINE-SODIC SOIL

Yang Jianfeng Deng Wei Zhang Guangxin

(Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130026, China)

关键词 苏打盐渍土; 盐化; 碱化; 空间变异

中图分类号 S152 文献标识码 A

土壤盐渍化是松嫩平原农业发展和生态环境安全面临的主要问题之一。据统计, 目前松嫩平原土壤盐渍化面积约 327 万 hm^2 , 占平原总面积的 21% 左右^[1]。研究表明: 盐渍土的盐分含量和化学特征常具有高度的空间变异性^[2-6]。盐渍土的这种空间变异性是由土壤的非均质性和各种随时空变化的外在因素引起的。这些外在因素包括浅埋深地下水、微地貌、季节性渍涝、人类活动等。定量描述苏打盐渍土盐分空间变异特征不仅有助于理解各种外在因素在土壤盐渍化过程中的作用, 深化对土壤发生盐渍化机制的认识, 而且将为苏打盐渍土的改良和治理提供必要的基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验小区

试验小区位于吉林省西部低平原区大安碱地生态试验站内, 周围遍布着中重度盐渍化草地。多年平均降水量 395.4 mm (1956 年~ 2000 年), 约 70% 的降雨集中在雨季 6~ 8 月份。多年平均气温在 4.3 $^{\circ}\text{C}$ 左右, 多年平均蒸发量 1 780~ 1 910 mm, 无霜期 140 d。试验小区面积为 5 000 m^2 , 南北长 100 m, 东西宽 50 m。小区内种植向日葵, 周围起 40 cm 高、40 cm 宽的垄, 防止降雨后小区外地表径流流入。将

小区分成 2 m \times 2 m 的网格, 从中随机选取 20 个网格, 作为定点测量点(图 1)。小区内地形平缓, 微有起伏, 高差小于 10 cm, 最高处位于小区的 2、3、4 号测点区域。

1.2 土壤 EC_a 的测定

田间土壤电导率 EC_a 与土壤盐分含量有密切的相关关系^[2]。 EC_a 易于田间实地测定, 所以它常被用来作为反映土壤盐分含量高低的指标。试验采用加拿大 Geonics 公司的 EM38 电导仪测量 20 个定点测量点的土壤 EC_a , 7~ 10 月份每月 18 日测量一次。

EM38 电导仪工作时有两种放置方式: 水平方式和垂直方式。水平方式敏感程度在地表最高, 并随深度降低^[8]。垂直方式在近地表敏感程度很低, 随深度增加, 敏感程度增高, 在 0.4 m 深度左右达到最高, 之后缓慢降低。EM38 电导仪最大测量深度为 1.5 m。这两种方式在近地表敏感程度的区别能够判断近地表土壤和下层土壤哪个导电性更好。如果水平方式的读数大于垂直方式的读数, 那么则说明近地表土壤电导率大于下层土壤电导率。如果两种方式的读数相差很小, 则说明在土壤 1.5 m 深度内, EC_a 变化不大。在试验中, 同时采用了这两种方式测量土壤 EC_a 。水平方式测定值表示为 EC_H , 垂直方式测定值表示为 EC_V 。

* 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-19-2-01)与国家自然科学基金项目(40501010)资助

作者简介: 杨建锋(1971~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为包气带水文过程。E-mail: jf.yang@sohu.com

收稿日期: 2005-01-25; 收到修改稿日期: 2005-06-20

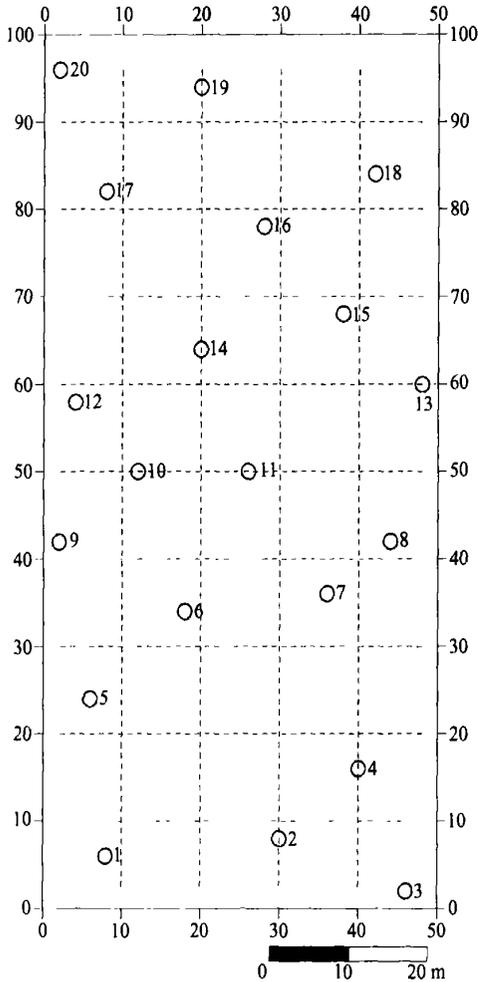


图1 试验小区测量点布置图

1.3 土壤水溶性盐分析

7月17日和10月17日,在小区各测点分别采一次土样,取样深度为0~10 cm。土样在室内晾干,过1 mm筛后,采用1:5土水比浸提水溶性盐。浸提液进行水溶性盐分析,分析项目包括: $\text{pH}_{1:5}$ 、 $EC_{1:5}$ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等。 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等采用原子吸收分光光度法测定, CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 采用双指示剂—中和滴定法测定, Cl^- 采用硝酸银滴定法测定, SO_4^{2-} 采用硫酸钡比浊法测定。

2 结果与讨论

2.1 土壤 EC_a 变化特征

土壤含水量的大小对土壤 EC_a 有一定的影响,一般土壤含水量越大,土壤 EC_a 越高。为了抵消土

壤含水量的影响,将各测点7月~10月的实测 EC_a 平均,观察 EC_a 平均值的变化情况。试验小区土壤 EC_a 测量值的统计特征参数列于表1。

表1 试验小区土壤 EC_a 测量值统计特征参数

项目	测点数	最小值	最大值	均值	标准偏差	离差系数
$EC_H(\text{mS m}^{-1})$	20	53	207	118	41	0.35
$EC_V(\text{mS m}^{-1})$	20	65	202	126	37	0.29
EC_H/EC_V	20	0.82	1.06	0.92	0.06	0.07

从表1可以看出,无论是 EC_H 还是 EC_V ,各测点数值变化较大。例如, EC_H 最小值 53 mS m^{-1} ,最大值 207 mS m^{-1} ,样本标准偏差 41 mS m^{-1} 。这说明土壤 EC_H 和 EC_V 随空间发生显著的起伏变化。 EC_H 和 EC_V 统计特征参数接近,表明二者具有相似的变化特征。土壤平均 EC_H 在空间上的变化如图2所示。从图2中可以看出,在 $50 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的试验小区内,土壤 EC_H 随空间显现出很大的起伏变化,低 EC_H 区和高 EC_H 区呈斑块状相间分布,低值区 EC_H 最低低于 70 mS m^{-1} ,高值区 EC_H 最高高于 190 mS m^{-1} ,二者相差近3倍。按照试验小区内向日葵与其间野草生长状况,将 EC_H 值分成 < 70 、 $70 \sim 90$ 、 $90 \sim 150$ 和 $> 150 \text{ mS m}^{-1}$ 四个区间。 EC_H 各区间分布面积和面积百分比列于表2。

表2 试验小区不同 EC_H 区间向日葵与株间野草特征

EC_H (mS m^{-1})	向日葵 生长特征	向日葵 株间野草	面积 (m^2)	面积百 分比 (%)
< 70	高大、茂盛	稠密、低矮	376	7.5
$70 \sim 90$	矮小、稀疏	稠密、茂盛	616	12.3
$90 \sim 150$	偶有生长、矮小	耐盐碱、稀疏	3396	68.0
> 150	稀疏出苗后枯死	寸草不生	612	12.2

从 EC_H 和 EC_V 的比值来看,其均值为0.92,标准偏差为0.06,说明总体上 EC_H 小于 EC_V ,但是二者相差不大。因此,试验小区的大部分区域土壤表层电导率略小于下层土壤电导率(图2)。 $EC_H/EC_V > 1$ 的区域主要分布在 EC_H 大于 130 mS m^{-1} 的区域,这意味着在土壤盐渍化程度重的地方土壤表层积盐多于下层土壤积盐。但是,在 $EC_H/EC_V < 1$ 的区域下层土壤电导率大于表层土壤电导率并不能说明下层土壤含盐量多于表层土壤。这是因为下层土壤体积含水量大于表层土壤体积含水量,而土壤电导率随土壤体积含水量的增加而增加。

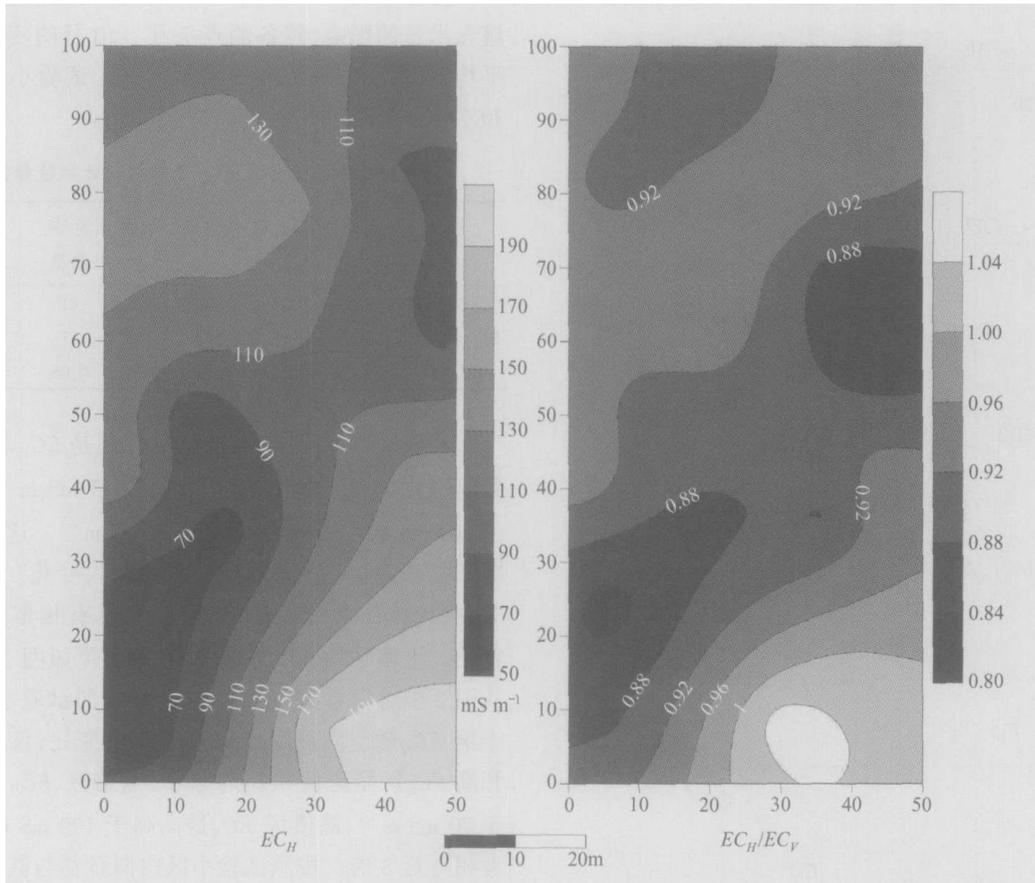


图2 试验小区土壤平均 EC_H 和 EC_H/EC_V 等值线图

从 EC_H 和试验小区微地貌的关系来看, EC_H 高值区均出现在地势稍高的区域, 而 EC_H 低值区均出现在地势稍低的区域。地势稍低的区域在降雨后多发生地面积水。 EC_H 和 EC_H/EC_V 比值随微地貌的变化趋势表明, 地势稍高的区域土壤积盐多于地势稍低的区域, 在地势稍高的区域土壤表层积盐多于下层积盐, 而在地势稍低的区域土壤表层积盐和下层积盐差别不大。

2.2 土壤水溶性盐变化特征

表3列出了小区所有测量点 0~10 cm 土层土壤水溶性盐测量值的统计特征参数。从平均值来看, 阳离子中含量最多的是 Na^+ , 远高于其他离子, 其平均含量为 $48.22 \text{ mmol kg}^{-1}$; 阴离子中含量最多的是 HCO_3^- , 远高于其他离子, 其平均含量为 $50.51 \text{ mmol kg}^{-1}$; $pH_{E:5}$ 均值为 9.58, 土壤浸提液呈碱性或强碱性。从最小值、最大值、标准偏差和离差系数来看, 各测点土壤浸提液 $EC_{E:5}$ 、 $pH_{E:5}$ 、阳离子和阴离子含量以及 $SAR_{E:5}$ 差异明显, 土壤盐分呈现出高度的空间变异性。

如图3, 土壤浸提液 $EC_{E:5}$ 、 $pH_{E:5}$ 、 Na^+ 浓度和

表3 向日葵子区土壤水溶性盐测量值统计特征参数

项目	测点数	最小值	最大值	均值	标准偏差	离差系数
$EC_{E:5} (\text{mS cm}^{-1})$	20	0.31	1.54	0.59	0.28	0.48
$pH_{E:5}$	20	8.11	10.31	9.58	0.65	0.07
$Na^+ (\text{mmol kg}^{-1})$	20	19.68	105.9	48.22	20.58	0.43
$K^+ (\text{mmol kg}^{-1})$	20	0.23	1.62	1.11	0.45	0.41
$Mg^{2+} (\text{mmol kg}^{-1})$	20	0.71	14.99	7.04	3.66	0.52
$Ca^{2+} (\text{mmol kg}^{-1})$	20	2.15	15.96	10.45	4.14	0.40
$CO_3^{2-} (\text{mmol kg}^{-1})$	20	0.30	13.80	4.98	3.34	0.67
$HCO_3^- (\text{mmol kg}^{-1})$	20	20.70	76.50	50.51	16.42	0.33
$Cl^- (\text{mmol kg}^{-1})$	20	3.13	27.88	7.91	5.57	0.70
$SO_4^{2-} (\text{mmol kg}^{-1})$	20	0.04	0.32	0.10	0.06	0.59
$SAR_{E:5}$	20	2.57	16.02	5.52	2.77	0.50

$SAR_{E:5}$ 在空间上呈现出了与土壤 EC_e 相似的变化特征。土壤盐化和碱化程度高的地方与程度低的地方呈不规则椭圆斑块状相间分布, 并且盐化程度高的

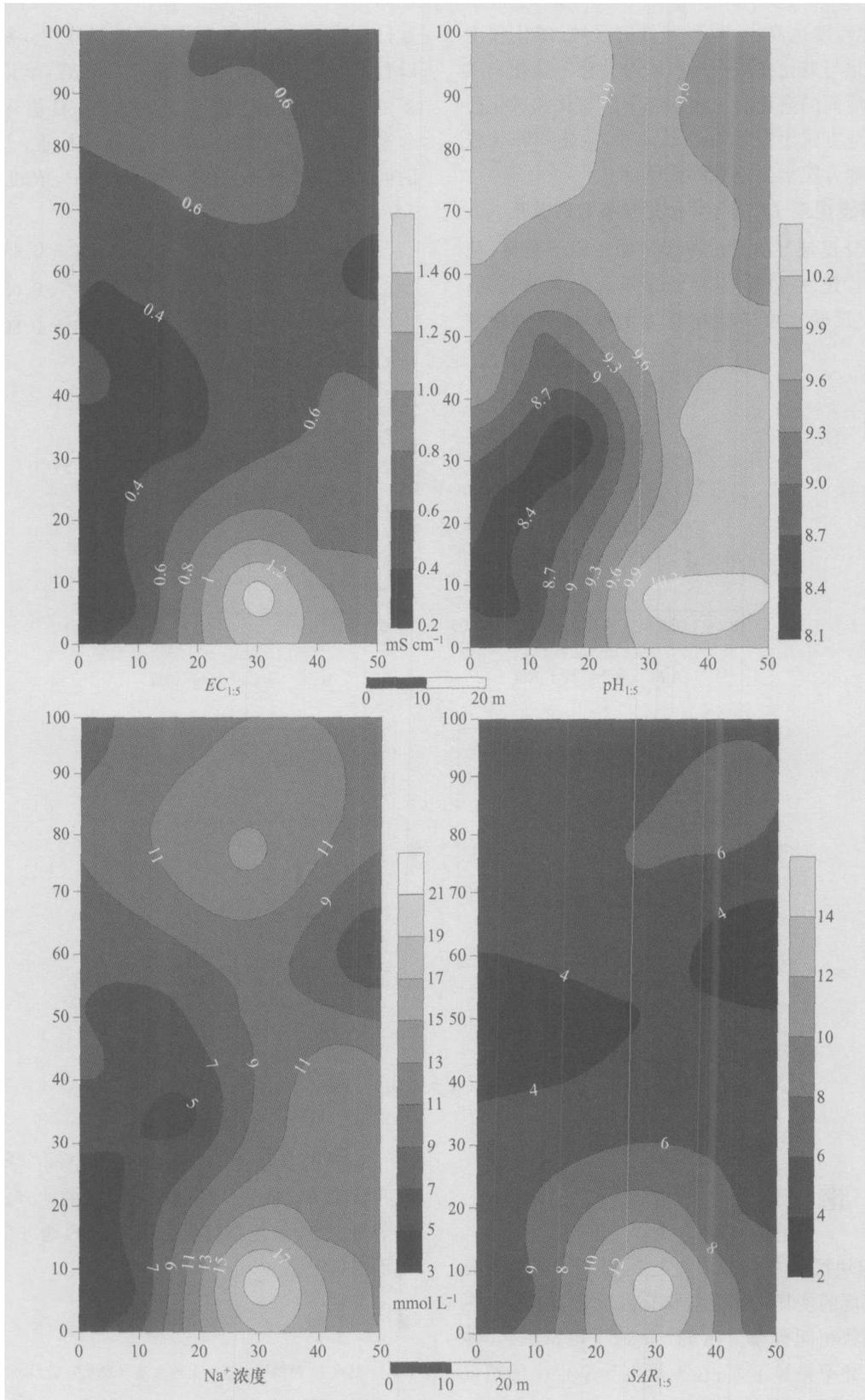


图 3 向日葵子区土壤 1:5 浸提液 $EC_{1:5}$ 、 $pH_{1:5}$ 、 Na^+ 浓度和 $SAR_{1:5}$ 空间变化

区域, 碱化程度也高; 盐化程度低的区域, 碱化程度也低。盐化与碱化在同一地点同时共存。盐化和碱化程度与地面的高低起伏密切相关。盐化和碱化程度最重的地方位于微地貌的最高处, 盐化和碱化程度最轻的地方位于微地貌的最低处。

2.3 土壤浸提液 $EC_{1:5}$ 与其他化学参数的关系

土壤浸提液 $EC_{1:5}$ 比其他参数更易于测量, 测量成本低。建立 $EC_{1:5}$ 与其他化学参数间的关系, 使用 $EC_{1:5}$ 反映土壤的盐化与碱化程度, 对于指导

苏打盐渍土改良和开发具有重要的作用。从图 4 可以看出, $EC_{1:5}$ 与 Na^+ 浓度、 $pH_{1:5}$ 、 $SAR_{1:5}$ 呈正相关关系, 说明随着土壤盐分含量的增加, pH 值升高, Na^+ 含量增加, SAR 升高, 土壤碱化程度加重, 土壤盐化的同时伴随着碱化。 $EC_{1:5}$ 与 Na^+ 浓度、 $pH_{1:5}$ 、 $SAR_{1:5}$ 关系如下:

$$[Na^+] = 13.5EC_{1:5} + 1.7 \quad R^2 = 0.855 \quad (1)$$

$$pH_{1:5} = 10.2 - 9.9e^{-5.7EC_{1:5}} \quad R^2 = 0.689 \quad (2)$$

$$SAR_{1:5} = 0.8EC_{1:5} + 0.3 \quad R^2 = 0.808 \quad (3)$$

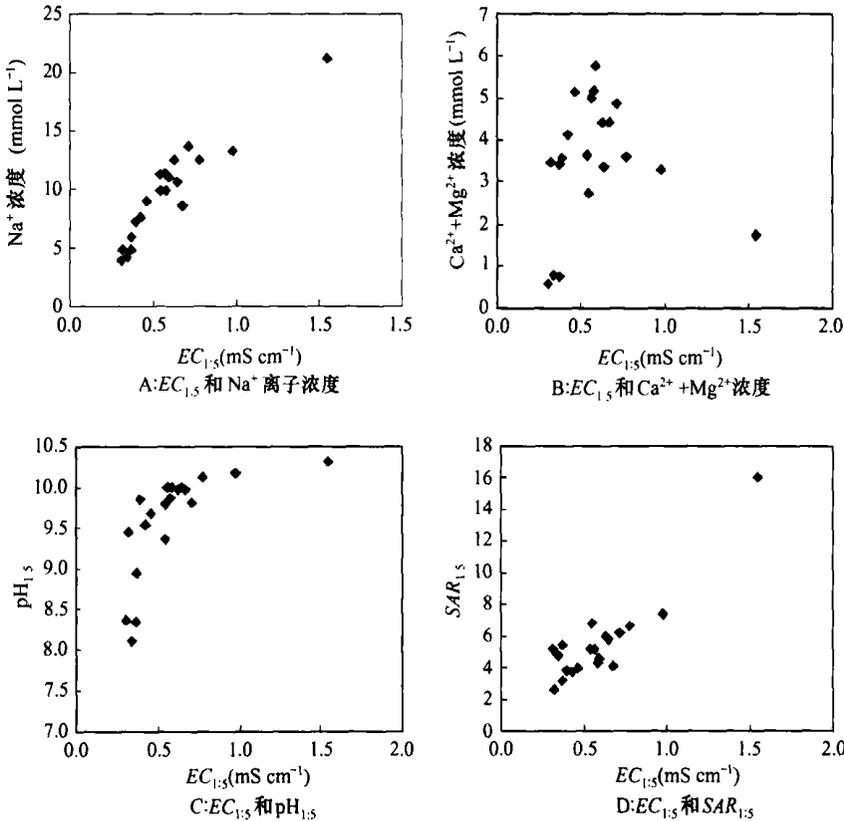


图 4 土壤 1:5 浸提液 $EC_{1:5}$ 与 Na^+ 、 $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ 、 $pH_{1:5}$ 、 $SAR_{1:5}$ 的关系 (N = 20)

3 结论

1) 田块尺度苏打盐渍土盐化和碱化在地表显现出了高度的变异特征。盐渍化区域和非盐渍化区域呈斑块状相间分布。在 1.5 m 深度范围内, 总体上土壤电导率差异不大; 在土壤电导率很高的情况下, 土壤表层积盐量多于下层。

2) 苏打盐渍土盐化和碱化并存, 盐化程度与碱化程度成正相关关系, 盐化程度越重的地方碱化程度也越重。

3) 苏打盐渍土盐化和碱化的空间变异与微地貌密切相关。盐化和碱化程度最重的地方位于微地貌的最高处, 盐化和碱化程度最轻的地方位于微地貌的最低处。

参考文献

- [1] 刘兴土. 松嫩平原退化土地整治与农业发展. 北京: 科学出版社, 2001. 83~130
- [2] Lesch S M, Strauss D J, Rhoades J D. Spatial prediction of soil salinity using electromagnetic induction techniques: 1. Statistical prediction models: A comparison of multiple linear regression and cokriging. Water Resources Research, 1995, 31: 373~386

- [3] Pozdnyakova L, Zhang R. Geostatistical analyses of soil salinity in a large field. *Precision Agriculture*, 1999, 1: 153~ 165
- [4] Shirokova Y, Forkutsa I, Shanaftdinova N. Use of electrical conductivity instead of soluble salts for soil salinity monitoring in Central Asia. *Irrigation and Drainage Systems*, 2000, 14: 199~ 205
- [5] Ardahanlioglu O, Ozas T, Evren S, *et al.* Spatial variability of exchangeable sodium, electrical conductivity, soil pH and boron content in salt and sodium affected areas of the Igdir plain (Turkey). *Journal of Arid Environments*, 2003, 54: 495~ 503
- [6] 李昌华, 何万云. 松嫩平原盐渍土主要类型、性质及其形成过程. *土壤学报*, 1963, 11(2): 196~ 208
- [7] 李韵珠, 李保国. *土壤溶质运移*. 北京: 科学出版社, 1997. 48~ 49
- [8] Berle R. *Working with the EM38 Earth Conductivity Meter: Geophysical Survey at the Hopeton Earthwork, Chillicothe, Ohio*. Clay Cultural Resource Analysts, Inc. Lexington, 2001