胶东果园土壤电导率的时空分布特征及 Kriging 估值

刘继龙,张振华*,谢恒星,李清翠,冯 雪 (鲁东大学地理与资源管理学院,山东烟台 264025)

摘 要:应用传统统计学和地统计学方法,分析了 2005 年 4~11 月期间烟台农科院苹果园土壤电导率的空间 变异性,并进行了 Moran's I 系数分析和 Kriging 估值。结果表明:土壤电导率具有明显的空间变异性,半方差函数 和 Moran's I 系数分析说明了 4 月 30 日、6 月 29 日和 11 月 16 日的空间自相关范围较大,相关性较强;4 月 20 日、7 月 14 日和 8 月 16 日的变程偏小,空间相关性较弱。土壤电导率的均值和变异系数随时间变化总体上近似呈现出 先增加后减小的趋势,在空间分布上不同时期果园表层土壤电导率分布格局差异较大,土壤电导率的破碎化比较 严重。

关键词: 土壤电导率;时空变异;Kriging 估值; Moran 's I 系数 中图分类号: S153.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-7601(2006)05-0193-05

土壤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[1~3]。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^[4]。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、十壤盐分及离子组成等丰富信息,日该参数具有 简便、快捷、可比性强等特点^[5]。当今国际研究中 大多直接用土壤浸提液电导率来表示土壤盐渍化程 度^[6~7],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。但土壤 本身是一个不均匀的多相体,空间结构上具有明显 的变异性^[8],这种变异性又与监测面积、时间、尺度 效应有关。土壤的这种特性严重影响了土壤含盐量 测定的重复性、精确性和动态可比性。因此对盐分 的空间变异性研究显得尤其重要,国内外一些学者 已进行了初步的研究^[9~11]。由于土壤的全盐含量 和土壤的电导率之间有很强的相关性,因此,本文采 用土壤电导率来分析土壤盐分的空间分布特征。应 用统计学和地统计学方法及 Moran's I 系数分析对 几个时期土壤电导率的空间变异性进行了研究,运 用克立格法估值并绘制了等值线图,并对几个时期 土壤电导率空间分布的动态变化进行了分析,从而 为果园采样数目和采样间距的确定及盐分运动特征 的监测和有效地控制和防治土壤盐碱化提供一定的 借鉴意义和参考作用。

1 材料与方法

试验点设在烟台市农科院苹果园内,试验地土 壤为棕壤粘土,试验地为 45.6 m(长)×24 m(宽), 面积 1 094.4 m²,果树行距为 5.7 m,南北株距为 3.0 m。取样点设在相邻四棵果树的中间位置,分 别于 2005 年 4 月 20 日、4 月 30 日、6 月 29 日、7 月 14 日、8 月 16 日和 11 月 16 日,分 6 次对表层土壤 含水量进行了测定。采样点以网格法(间距)布局 (图 1),取样点包括 9 行 9 列,其中南北方向每隔 3 m 取样,每列共取 9 个样点;东西方向每隔 5.7 m 取 样,每行共取 9 个样点。总共取样数为 81 个。土壤 电导率采用英国产 W·E·T 土壤水分、温度、电导率 测量仪测量,电导率单位为 PS/m,测量精度为士 0.01 PS/m。测量期间内有过几次不同强度的降雨 过程,中间进行过灌溉、施肥和耕作。

2 结果与分析

2.1 土壤电导率的经典统计特征值

传统统计方法为宏观揭示出土壤电导率的空间 总体统计特征,以土壤电导率为计算变量,通过计算 其均值、方差和变异系数来确定空间变异性。统计 分析可知,测定时期土壤电导率的变异系数均介于 0.11~0.19之间,属于中等变异强度;土壤电导率 (平均值)介于 0.10~0.24之间,变异幅度较大。土 壤电导率的平均值和变异系数随时间的变化没有规 律性且本身的变化较大,但两者之间总体上大致存

* 通讯作者:张振华(1971-),男,河北藁城人,博士,教授。E-mail: Zhangzh71@163.com。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

收稿日期:2006-03-20

基金项目:烟台师范学院重点基金项目(043201);学校人才引进基金(000444)

作者简介:刘继龙(1981一),男,山东五莲人,硕士,主要从事区域水土资源高效利用研究。E-mail:dragon^{6688495@}yahoo.com.cn。

在如下的对应关系:电导率(平均值)越大,其变异系数越大。随时间的变化,土壤电导率的平均值变异很大,而表1中的其它统计值都与均值有关。因此,这些统计值只能在一定程度上反映样本总体,传统

统计方法对土壤特性的表达不能定量地刻画土壤特性的随机性和不规则性、独立性与相关性,要解释并进行定量化,必须进一步进行空间变异结构分析。







表1 不同测定时间土壤电导率的统计分析结果

Table ⊥	The statistics of	f soil	electrical	conductivity	in	different	measuring	time
---------	-------------------	--------	------------	--------------	----	-----------	-----------	------

日期(月一日) Date(m ⁻ d)Nu	样本数 umber of sample	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 SD	方差 Variance	变异系数 CV	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis
04-20	81	0.08	0.14	0.1005	0.01086	0.00012	0.108061	1.706	1.404
04 - 30	81	0.12	0.23	0.1558	0.02248	0.00051	0.144326	0.859	0.946
06 - 29	81	0.14	0.32	0.2046	0.03673	0.00135	0.179486	1.006	1.357
07 - 14	81	0.16	0.44	0.2378	0.04505	0.00203	0.189428	1.599	4.623
08-16	81	0.12	0.24	0.1636	0.02111	0.00045	0.129020	0.888	1.261
11-16	81	0.12	0.26	0.1687	0.02669	0.00071	0.158233	0.799	0.847

2.2 土壤电导率的时空变异特征分析

地统计学分析的土壤电导率空间结构的变异函 数具有块金值(C_0),变程(α)和基台值($C_0 + C$)三 个主要参数。 C_0 表示块金方差,反映的是最小抽样 尺度以下变量的变异性及测量误差。C为结构方 差,表示非随机原因形成的变异。 α 为变程,表示研 究变量的空间自相关变异的尺度范围。 $C_0 + C$ 为 基台值,表示变量的最大变异程度,块金值与基台值 之比 $C/C_0 + C$ 表示系统变量的空间相关性的程 度,比值小于 25%表示系统具有强烈的空间相关 性;比值大于 75%表示系统具有弱空间相关性;介 于两者之间表示系统具有中等空间相关性。

表² 是根据土壤电导率变异函数理论模型得出的相应参数,对各个时期土壤电导率进行结构分析 发现,所有土壤电导率性质的块金值均为正值,说明 存在着由采样误差、短距离的变异、随机和固有变异 引起的各种正基底效应。测定时期内对土壤电导率 的半方差值进行拟合的模型并不相同,其效果也存 在明显的差别(*R²*和 RSS 的值存在较大的差别), 差值得拟合效果较好(R^2 较大),块金值也偏大,如 4月30日、6月29日和11月16日的变程为39.56 m、34.75 m 和 21.21 m, 决定系数 R² 为 0.976、 0.675和 0.956, 块金值分别为 0.513、0.807 和 0.428。4月30日和6月29日土壤电导率的空间 自相关范围较大可能是由于进行过人工施肥或者进 行过降雨(或灌溉),但降雨强度不大只是增加了上 层土壤中盐分的含量,并没有造成表层盐分的淋溶, 使得土壤电导率分布的均匀性增强而引起的;11月 16日空间自相关范围较大的原因可能是这段时间 土壤的蒸发量大于降雨量,土壤中低层盐分向表层 积聚,同样使得土壤电导率的分布趋向均匀,因而导 致了表层电导率自相关范围增加。4月20日、7月 14日和8月16日土壤电导率的空间自相关范围较 小,可能是由于此时随机因素的影响明显、降雨强度 较大引起表层盐分淋溶以及土壤电导率分布比较离 散等因素造成的。

2.3 土壤电导率的 Moran's I 系数分析

在明显的差别(R^2 和RSS的值存在较大的差别), Moran's I系数可定量描述研究变量在空间上 但当电导率的空间自相关范围较大时,模型对半方_{Publi}的依赖关系。A某计算公式为 d_{tot} http://www.cnki.net

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_{ij} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$$
(1)

式中, x_i 和 x_i 分别为研究变量 x 在空间 i 和 i 处的观 测值, \bar{x} 为 x 的平均值, w_{ii} 为相邻权重, n 为采样总数。

	表 2	土壤电导	率变异函数的	り理论	;模型及相	目关参数	
Table 2	Theoretical	model and	parameters	of soil	electrical	conductivity	variogram

日期(月一日) Date(m ⁻ d)	理论模型 Theoretical model	块金值 Co Nugget	变程 a(m) Range	基台值 C ₀ +C Sill	$C_0/(C_0+C)$ (%)	R^2	RSS
04-20	指数 Exponential	0.255	5.220	0.967	26.37	0.242	0.0329
04 - 30	线性 Linear to sill	0.513	39.56	1.450	35.38	0.976	0.0189
06 - 29	线性 Linear to sill	0.807	34.75	1.099	73.44	0.675	0.2950
07 - 14	线性 Linear to sill	0.208	4.300	1.008	20.63	0.358	0.0936
08-16	指数 Exponential	0.296	5.970	1.008	29.37	0.366	0.0282
11-16	线性 Linear to sill	0.428	21.21	1.113	38.45	0.956	0.0193

I的取值范围为-1~1。I>0表示变量在空 间上呈现正相关, I < 0 表示研究变量在空间上呈现 负相关, I=0 表示研究变量在空间依赖性小或空间 随机变异较大。由果园土壤电导率的 Moran's I 系 数可知,4月20日、7月14日和8月16日有相似的 变化趋势,即相关性一致比较弱(I值介于-0.184 ~0.296 之间,除个别值外大部分 I 值接近 0)。4 月30日、6月29日和11月16日 I 值波动范围较 大,相关性较显著且大约在 3~14.12 m 范围内呈

现较强的正相关,在随后的范围内呈现较强的负相 关。其中以 $4 \ \beta \ 30$ 日的相关性最为明显, I 值的变 化范围为-0.263~0.400;3~14.12 m 表现出显著 的正相关,17.97 m 以后表现出明显的负相关。结 合表 2 中变异函数的相关参数知, 4 月 20 日、7 月 14日和8月16日的空间自相关范围较小;4月30 日、6月29日和11月16日的空间自相关范围较 大。这表明 Moran's I 系数和变异函数两者一致地 说明了表层土壤电导率的变异特征。



果园土壤电导率的 Moran's I 系数 图 2

Fig. 2 The Moran's I coefficients of soil electrical conductivity in orchard

2.4 运用 Kriging 最优内插法进行估值

空间取样只能获得有限的样点数据,为了更直 观地反映整个田块的土壤电导率的空间分布情况, 需对未抽取样点的变量进行插值估计,本文根据所 得到的半方差函数模型,利用 Kriging 最优内插法, 绘制了土壤电导率分布等值线图。对未采样点土壤 电导率性质的变化运用克立格法进行估值,估值后 的等值线图表明克立格插值的平滑性减少了土壤电 导率性质的突然变化(图³)。





Fig. 3 The spatial and temporal isoline of soil electrical conductivity in orchard

通过对测定时期内各次取样数据的分析,得出 了测定区域内土壤电导率在时间和空间上的分布状 况。在时间尺度上,研究期间内测定的各次电导率 平均值依次为 0.1005、0.1558、0.2046、0.2328、 0.163 6 \mu_s/m 和 0.168 7 \mu_s/m,测量期间内土壤电 导率(平均值)总体上近似呈现出随时间先逐渐增加 然后又逐渐降低的变化趋势,平均电导率之间的最 大差值为 0.1343 \mus/m, 变异幅度较大, 6 月 29 日 与7月14日及8月16日与11月16日之间的差值 分别为0.0332、0.0051,随时间变化其变异程度较 小。时间尺度上的变化与果园内不同时间作物对养 分的吸收不同、土壤的温度不同、含水量不同及其它 一些土壤特性随时间的变化有着密切的关系。在空 间尺度上,根据 Kriging 最优内插法绘制的等值线 图,可以发现不同时期果园表层土壤电导率空间分 布格局差异较大,表层土壤电导率的破碎化比较严 重,土壤电导率的这种分布现象可能是施肥和土壤 结构等因素在空间上的不均和不同以及因表层覆盖

程度不同而引起淋溶不同造成的。

3 结 论

通过对 6 个时期果园表层电导率的统计分析结 果表明,测定其间内表层电导率(平均值)的变化较 大,最大变异幅度为 0.134 3 μ S/m;变异系数介于 0.108~0.189 之间,属于中等变异强度。但电导 率的平均值和变异系数之间存在大致的对应关系即 平均值愈大,其变异系数愈大。这可能是数据的离 散性、峰度和偏度较大而造成的。通过对果园电导 率时空特征的半方差、Moran's I 系数及克立格插值 结果的分析,可以得出以下结论:土壤电导率具有明 显的空间变异性,测量期间内 4 月 30 日、6 月 29 日 和 11 月 16 日的空间自相关范围较大且此时决定系 数 R^2 和块金值都偏大,4 月 20 日、7 月 14 日和 8 月 16 日的空间自相关范围较小时,其决定系数 R^2 和块金值也都偏小。Moran's I 系数分析表明 4 月 20 日、7 月 14 日和 8 月 16 日的 I 值除个别值外太 部分都接近0值,变化范围很小,两种方法得出的结 论一致。克里格插值后的等值线图表明土壤电导率 (平均值)随时间变化总体上大致呈现出先增加后减 小的趋势且最大差值较大,不同时期果园表层土壤 电导率空间分布格局差异较大,表层土壤电导率的 破碎化比较严重。这对果园盐分的采样数目和采样 间距的确定及监测、土壤盐碱化的防治和施肥等农 田管理具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 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[J].土壤,1997,(6):326-330.
- [2] Mehdi S M, Hassan G, Shah A H, et al. A new transplanting approach to enhance salt tolerance of tree saplings[J]. Pedosphere, 2004, 14(1):77-84.
- [3] 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[J].土壤学报,2004,41(5):774-779.

- [4] 刘广明,杨劲松,姚荣江,等.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[J].土壤学报,2005,42(2):247-252.
- [5] 孙宇瑞·土壤含水率和盐分对土壤电导率的影响[J].中国农业 大学学报,2000,5(4):39-41.
- [6] 张瑜斌,邓爱英,庄铁诚,等,潮间带土壤盐度与电导率的关系[J].生态环境,2003,12(2):164-165.
- [7] Heydari N, Gupta A D, Loof R. Salinity and sodicity influences on infiltration during surge flow irrigation[J]. Irrig. Sci., 2001, 20,165–173.
- [8] 杨诗秀,雷志栋.田间土壤含水率的空间结构及其取样数目确 定[J].地理学报,1993,48(5):447-456.
- [9] Stein A , Sylla M. Spatial variability of soil salinity at different scales in the mangrove rice agro—eco system in West Africa[J]. Agric—ecosyst—environ, 1995, 54(1-2);1-15.
- [10] 徐 英,陈亚新,史海滨,等.土壤水盐空间变异尺度效应的 研究[J].农业工程学报,2004,20(2):1-5.
- [11] 杨玉玲,田长彦,盛建东,等,灌淤土壤可溶性盐分空间变异 性与棉花生长关系研究[J].干旱区地理,2002,25(4):329-335.

Spatio-temporal distribution characteristics and Kriging estimation of soil electrical conductivity in orchard in Jiaodong

LIU Ji-long, ZHANG Zhen-hua, XIE Heng-xing, LI Qing-cui, FENG Xue (Department of Geography and Resources Management, Ludong University, Yantai, Shandong 264025)

Abstract: Spatial variability of soil electrical conductivity in Yantai orchard from April to November in 2005 was analyzed with the classical statistics and geo-statistics, and the Moran's I coefficient analysis and Kriging estimation were also processed. The results showed that soil electrical conductivity had obviously spatial variability, and semi-variance and Moran's I coefficient analysis accordantly illuminated that the spatial correlation range was large and the relativity was strong on 30 April, 29 June and 16 November; while the spatial correlation range was small and the relativity was weak on 20 April, 14 July and 16 August. The mean value and variation coefficient of soil electrical conductivity increased at first and then decreased as a whole; the electrical conductivity of surface soil at different periods was obviously different in spatial distribution, and the distribution fragmenting of soil electrical conductivity was very serious.

Keywords: soil electrical conductivity; spatio-temporal variability; Kriging estimation; Moran's I coefficient