

# 果园土壤含水量适宜取样间距研究

谢恒星,张振华,刘继龙,李清翠,谭春英

(鲁东大学地理与资源管理学院,山东 烟台 264025)

**摘要:**在烟台一果园内进行土壤含水量采样后,对土壤水分空间变异特征和土壤水分适宜采样间距进行了研究。结果表明土壤水分实验变异函数符合球状模型,土壤水分空间分布存在几何各向异性,各向异性比为 1.01,方向容差为 60°,0°方向的滞后距离最大为 6.7 m,90°方向的滞后距离最小为 4.4 m;对比了东西方向 5.7 m、11.4 m、17.1 m 和南北方向 3 m、6 m 等不同采样间隔的插值精度,结果表明本果园适宜的采样间隔东西方向为 5.7 m,南北方向为 3 m。

**关键词:**半变异函数;土壤水分含量;插值;采样间距;果园

**中图分类号:**S152.7;S661.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2006)06-0311-03

## Research on Soil Water Content Sampling Distance in Orchard

XIE Heng-xing, ZHANG Zhen-hua, LIU Ji-long, LI Qing-cui, TAN Chun-ying

(College of Geography and Resources Management of Ludong University, Yantai 264025, China)

**Abstract:** After sampling in an orchard of Yantai city, researching on soil water spatial variability and proper soil water sampling distance were conducted. Results showed that soil water experiment variance function display a spherical model, the spatial distribution of soil water content was geometrical heterogeneous, the ratio was 1.01, the tolerance was 60°, the longest lag distance was 6.7 m in 0° direction, and the shortest lag distance was 4.4 m in 90°. The interpolation precision of different sampling distance of 5.7 m, 11.4 m, 17.1 m in west-east direction and 3 m, 6 m in north-south direction were compared, etc. Results showed that the proper sampling distance of this orchard were 5.7 m in west-east direction and 3 m in north-south direction.

**Key words:** semi-variance function; soil water content; interpolation; sampling distance; orchard

土壤取样是进行土壤属性研究的前提和基础。有研究表明,取样误差与实验室分析误差比较,通常认为取样误差更大,因此应更加重视土壤取样方法及取样的代表性<sup>[1]</sup>。经典统计学假设土壤样点相互独立,为减少取样误差而减小取样间距,增加取样数目,这样就形成了取样可靠性与取样工作量这一对矛盾。如何针对不同研究对象来协调这一对矛盾,既不降低取样可靠性,又能提高研究效率,降低研究成本就成为科研工作者关注的热点问题<sup>[2]</sup>。基于区域变量理论的地统计学既考虑了地物属性的结构性,又考虑了随机性,因此该分析方法在土壤属性变异的研究中得到了广泛应用<sup>[3-8]</sup>。本文应用地统计学理论分析了苹果园内土壤含水量的空间变异性,利用克里格插值方法实现空间数据的内插,比较不同取样间隔的插值精度,确定了该果园适宜的土壤水分采样间距,为果园土壤含水量合理采样提供科学依据。

### 1 材料与方法

实验点设在烟台市农科院苹果园内,所栽果树为 5 龄红富士,东西株距为 5.7 m,南北株距 3.0 m,果园面积为 2 770 m<sup>2</sup>,地势较为平坦。取样点设在每四棵果树的中间位置,取样点的空间分布如图 1,取样点包括 9 行 18 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 18 个样点。整个地块内共计 162 个取样点。

土壤水分采用德国产 TRIME-FM 土壤含水量测量系统测定,测定精度为 1%。测定深度为 0~15 cm,测定数值为土壤体积含水率(%),测定时间为 2005 年 4 月 20 日 10:00,历时约为 1 h。A、B、C、D 和 E 点为随机选取的 5 个待估点,之所以选择上述五点,是因为过去传统取样时一般把上述 5 点的采样数据平均值作为该地块土壤水分含量数据。保持南北方向采样间距不变,改变东西方向采样间距(5.7 m、11.4 m、17.1 m 和 22.8 m)和保持东西方向采样间距不变,改变南北方向采样间距(3 m 和 6 m)来进行插值计算。在插值过程中,上述 5 点不参与计算;插值后,用 5 点的插值与真实值进行对照,比较不同采样间距对插值结果的影响,从而确定适宜的采样间距。所得数据采用 DPS5.02 数据处理系统进行统计分析。

### 2 结果与分析

#### 2.1 土壤水分空间分布规律

地块内土壤含水量原始数据统计结果如表 1。

由表 1 可知,土壤含水量数据符合正态分布,可以用来进行克里格插值计算而不会产生比例效应;最大值与最小值相差 16.9%,极差较大;变异系数为 0.16,属于中等变异强度<sup>[9]</sup>。因此,水分在整个地块内的分布是不均匀的,如果按照统一的规则进行土壤含水量采样,必然导致样本不具有代

\* 收稿日期:2006-01-04

基金项目:烟台师范学院重点基金项目(043201);人才引进基金(000444)资助;鲁东大学大学生科技创新基金

作者简介:谢恒星(1981-),男,山东兖州人,在读硕士研究生,主要从事区域水土资源高效利用研究;通讯作者:张振华(1971-),男,河北藁城人,博士,教授。

表性或浪费过多的人力、物力,从而导致实验成本的提高。

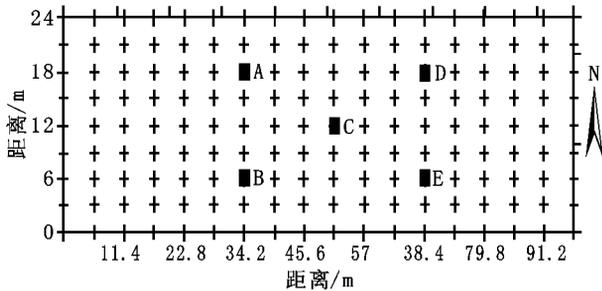


图 1 采样点的空间分布示意图

表 1 样点数据统计特征

样点数	偏度	峰度	分布类型	平均值 / %	标准差	最大值 / %	最小值 / %	变异系数
162	0.04	0.55	正态	27.61	2.72	35.7	18.8	0.10

为进一步验证地块内土壤含水量的分布状况,利用 162 个土壤含水量样点数据进行插值计算并绘制土壤含水量等值线图,结果如图 2。由图 2 可知,在整个地块内,土壤水分分布是不均匀的。西部偏高,东部偏低,西部的土壤含水量高值区表现为带状分布。因此统一的采样规则是不合理的,必须进一步确定不同方向上的适宜采样间隔。

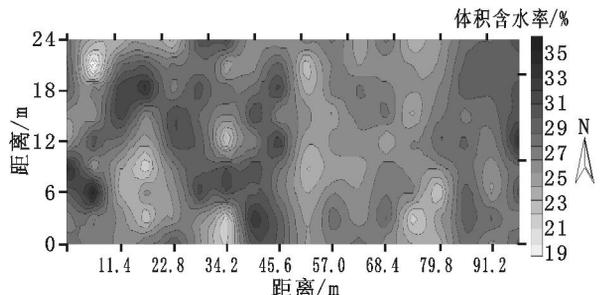


图 2 土壤水分等值线图

2.2 土壤水分含量实验变异函数分析

设  $Z(x)$  为土壤水分变量,它是空间点  $x$  的三个直角坐标  $x_u, x_v, x_w$  为自变量的随机场,在观测前可以看作是随机场,观测后就得到  $Z(x)$  的一个实现,每一个实现  $Z(x)$  就是一个普通的三元实函数<sup>[10]</sup>。 $Z(x)$  称之为区域化变量,具有结构性和随机性的双重属性。在此结构性是指土壤水分受区域化因素的影响程度,即指土壤水分在小尺度上与空间数据具有一定的相关性,而在大尺度上存在局部相关的特性。随机性则是指土壤水分受非区域化因素的影响程度,即指在细节上不可预测但具有可测定的统计属性。地统计学是研究空间变异最常用的方法,而变异函数是地统计学分析的主要内容。它既能描述区域化变量的空间结构性,也能描述其随机性。

土壤水分  $Z(x)$  是取样点  $x$  的函数,同样与  $x$  点相距  $h$  点的土壤水分记作  $Z(x+h)$ ,  $h$  为位差(每对取样位置的间隔);这样就可以组成位差为  $h$  的若干组数据。土壤水分的平均值为常数,与取样位置无关,即有:

$$E[Z(x)] = \mu \tag{1}$$

理论上,随机变量的半方差函数为:

$$(h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \tag{2}$$

区域化变量  $Z(x)$  的变异函数具有较为严格的数学定义,称为理论变异函数,适用于空间上连续分布的变量。但在实际工作中,采样点是离散的,因此式(2)改写为

$$(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \tag{3}$$

式中:  $(h)$  ——间距为  $h$  的半方差,该值随  $h$  的增加而增加;而  $N(h)$  是间距为  $h$  的数值对数。式(3)称为实验变异函数。

经分析知,果园内土壤含水量实验变异函数图像符合球状模型,存在几何各向异性,比例(基台值)为 7.1,方向容差为  $60^\circ$ ,0 方向存在最大滞后距离,最大滞后距离为 6.7 m,90 方向上存在最小滞后距离,最小滞后距离为 4.4 m,经各向异性自动拟合得各向异性比率为 1.01。

2.3 不同采样间距对插值结果的影响

克里格插值方法也称之为空间局部估计或空间局部插值,由地质学家克里格和统计学家西舍尔在 20 世纪 50 年代提出,并由法国地质学家麦斯龙于 1962 年加以完善。克里格插值是一种空间自协方差最佳内插法,以空间结构分析为基础,首先考虑的是空间属性在空间位置上的变异分布,确定对一个待插点值有影响的距离范围,然后用此范围内的采样点来估计待插点的属性值。该方法在数学上可对所研究的对象提供一种最佳线性无偏估计,充分利用了数据空间场的性质,在插值过程中可以反映空间场的各向异性,并且充分利用数据点之间的空间相关性,是变异函数理论在插值中的一种应用。

设  $x_0$  为未观测的需要估值的点,  $x_1, x_2, \dots, x_N$  为其周围的观测点,观测值分别为  $y(x_1), y(x_2) \dots y(x_N)$ 。未测点的估计值记为  $\hat{y}$ ,它由相邻观测点的已知观测值加权取和求得,即

$$\hat{y}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i y(x_i) \tag{4}$$

和以往所有各种内插方法不同,克里格内插法是根据无偏估计和方差最小来确定式(4)中的加权系数  $\lambda_i$  的,故称之为最优内插法。

保持南北方向采样间距不变(3 m),在东西方向分别以 5.7 m、11.4 m、17.1 m 和 22.8 m 间距的样点数据进行插值计算和保持东西方向采样间距不变(5.7 m),在南北方向分别以 3 m、6 m 和 9 m 间距的样点进行插值计算,插值结果与实际值残差结果如表 2。

表 2 插值与实际值比较

采样方向	采样间隔/m	数据点	插值 / %	真实值 / %	绝对误差	相对误差 / %	残差平方和
东西	5.7	A	26.4	29.1	- 2.7	- 9.3	43
		B	27.3	27.4	- 0.1	- 0.4	
		C	25.8	25.2	0.6	2.4	
		D	27.5	31.5	- 4.0	- 12.7	
		E	28.2	27.8	0.4	1.4	
	11.4	A	25.9	29.1	- 3.2	- 11.0	
		B	27.3	27.4	- 0.1	- 0.4	
		C	27.9	25.2	2.7	10.7	
		D	26.5	31.5	- 5	- 15.9	
		E	28.5	27.8	0.7	2.5	
17.1	A	25.7	29.1	- 3.4	- 11.7		
	B	27.4	27.4	0.0	0.0		
	C	25.3	25.2	0.1	0.4	39.3	
	D	26.3	31.5	- 5.2	- 16.5		
	E	28.6	27.8	0.8	2.9		
南北	3	A	26.4	29.1	- 2.7	- 9.3	
		B	27.3	27.4	- 0.1	- 0.4	
		C	25.8	25.2	0.6	2.4	23.8
	6	D	27.5	31.5	- 4.0	- 12.7	
		E	28.2	27.8	0.4	1.4	
		A	28.2	29.1	- 0.9	- 3.1	
9	B	26.7	27.4	- 0.7	- 2.6		
	C	27.5	25.2	2.3	9.1	31.9	
	D	26.7	31.5	- 4.8	- 15.2		
		E	26.3	27.8	- 1.5	- 5.4	

由表 2 可知,东西、南北方向采样插值与真实值的残差平方和都有随采样间距增加而增大的趋势;对于东西方向采样,17.1 m 的采样间隔相对于 11.4 m 的采样间隔插值与真实值的残差平方和又略微减小。东西方向比南北方向采样间隔大,当两方向采样间距增加时,东西方向的插值与真实值的残差平方和变化更大(东西方向采样间隔由 5.7 m 增大到 11.4 m 时,插值与真实值的残差平方和由 23.8 增大到 43;南北方向采样间隔由 3 m 增大到 6 m 时,插值与真实值的残差平方和由 23.8 增大到 31.9)。

2.4 土壤含水量适宜取样间距的确定

传统的土壤含水量取样方法是假定样本之间相互独立,按土壤质地将土壤在平面上划分为若干个较为均一的区域,在每个区域上采取样点。这种方法不考虑土壤含水量在不

同方向上的变异和同一方向上土壤含水量样本之间的相关性,因而不能确切表达土壤含水量的实际空间分布状况,采样也不具有代表性。地统计学中的半变异函数充分考虑了土壤含水量的随机性和结构性,因而更能真实地确定适宜的采样间距。在方向容差为 60° 的情况下,0°(东西)方向的最大滞后距离为 6.7 m,5.7 m 的采样间隔在最大滞后距离之内,样点之间的土壤含水量存在相关性,因此插值与真实值的残差平方和最小;11.4 m 和 17.1 m 的采样间隔均在最大滞后距离之外,样点是独立的,相互之间不存在相关性,因此插值与真实值的残差平方和要大。90°(南北)方向的最大滞后距离为 4.4 m,3 m 的采样间隔在最大滞后距离之内,因此 3 m 的采样间隔比在最大滞后距离之外的 6 m 的采样间隔

(下转第 318 页)

(上接第 310 页)

TNTmips6.9 默认格式的数据,但 VBA 中有能实现从事本文件中读写数据的语句,故要将相关矩阵从 TNTmips6.9 导出到相应记事本文件,程序计算得到的地形指数也写入指定的记事本文件。

到相应的记事本文件,之后运行程序从相应记事本文件中读入数据并进行计算,计算完成后结果写入相应的记事本文件。

将计算结果从记事本文件导出到 Excel,在 Excel 中对两种算法下的结果进行统计,成果见表 1:

表 1 两组数据相关项目比较

类别	最大值	中值	最小值
单一流向算法	17.94787	6.214608	4.50986
多流向算法	10.47973	5.961601	3.911458

在 Excel 中对两种算法下的结果进行一系列处理,最终得到地形指数的累积频率分布(见图 6),图中纵坐标轴上的数值表示地形指数值落在某一区间的所有单元格的面积和与流域所有单元格面积和之比。

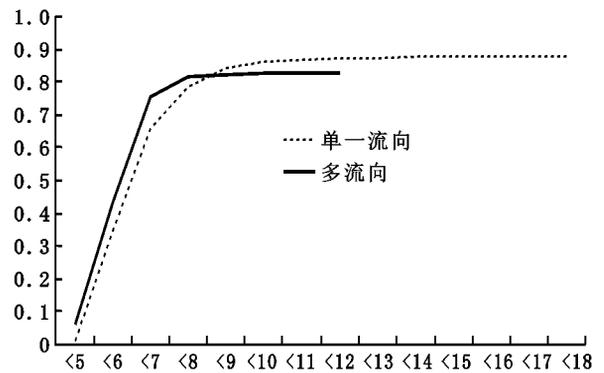


图 6 两种算法下的地形指数累积频率分布

最后,我们得出如下结论:

- (1) 从最大值、中值、最小值三项指标来看,单一流向算法的值均大于多流向算法的值。
- (2) 在区间(12,18)上,多流向算法下的地形指数在此区间无分布,而单一流向算法下的地形指数在此区间有分布。
- (3) 由于可以利用地理信息系统软件进行 DEM 预处理时的副产品,故单一流向算法在编程时比较简单;而多流向算法涉及到上游汇水面积再分配的问题,所以编程上较难,但多流向假设比单一流向假设更接近现实中的水流流向。
- (4) 计算某研究区域的地形指数及其频率分布时,应从可操作性及是否更符合实际情况等方面综合考虑,从而决定选择何种算法。

4 结果分析与结论

使用 TNTmips6.9 的 import/export 模块,将相关矩阵导出

参考文献:

[1] 李志林,朱庆.数字高程模型[M].武汉测绘科技大学出版社,2002.  
 [2] 邓慧平,李秀彬.地形指数的物理意义分析[J].地理科学进展,2002,21(2):103-110.  
 [3] 孔凡哲,芮孝芳.TOPMODEL 中地形指数计算方法的探讨[J].水科学进展,2003,14(1):41-45.  
 [4] 孔凡哲,芮孝芳.基于地形特征的流域水文相似性[J].地理研究,2003,23(6):709-715.



图 4 基于单一流向算法的程序界面



图 5 基于多流向算法的程序界面

较小,且随着工程的结束和环保措施的落实,对环境的影响也将消失。

(2) 水环境影响评价。伊犁河流域湿地恢复与保护工程实施过程中,供暖活动等将产生少量的污水排放,但基本不会对水体环境造成污染。而且开展的退耕(牧)还湿工程、绿化工程、环境监测工程以及污染控制、湿地动植物保护等将使工程区的植被覆盖度提高,减少水资源的无序开发和污染,及时监测和消除对水环境的潜在或明显威胁,都将对整个流域水环境的改善、水质量的提高及流域水环境的良性循环产生明显的促进作用。

(3) 土壤环境影响评价。从“Leopold 二维矩阵”分析可以看出,工程的实施对湿地范围内土壤环境的影响是积极的、有利的。通过退耕(牧)还湿、封山育林(草)、植树造林等措施,可以有效的增加森林植被,减少农药化肥污染,减少地表径流和表土的流失,从而有效控制水土流失和土壤侵蚀,改变土壤的理化性质和增加土壤肥力。但应该注意的是,退耕(牧)还湿、植树造林等,将使耕(牧)地减少,耕(牧)地的开发后移,增加了对湿地周围土壤环境的压力,需要有正确的对策与措施,消除对湿地周围环境产生的不利影响。

(4) 固体废物的环境影响分析。在湿地管理和基础设施建设中,将会产生少量的生活垃圾和工程废料,但随着建设施工单位的及时清理和工程的结束,这种不利影响也将随之结束,不会对环境造成较大的和持续的影响。

(5) 生物生境环境影响评价。工程实施后,在工程区内

参考文献:

[1] 崔丽娟,宋玉祥. 湿地社会经济评价指标体系研究[J]. 地理科学,1997,17(增):446-450.

[2] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 I 理论[J]. 生态学报,2001,22(7):1005-1011.

[3] 黄桂林,张建军,李玉祥. 辽河三角洲湿地分类及现状分析—辽河三角洲湿地资源及其生物多样性的遥感监测系列论文之一[J]. 林业资源管理,2000,(4):51-56.

[4] 何池全,崔保山,赵志春. 吉林省典型湿地生态评价[J]. 应用生态学报,2001,12(5):754-756.

[5] 姜文来. 湿地资源开发可持续环境影响评价研究[J]. 中国环境科学,1997,17(5):406-409.

(上接第 313 页)

所得的插值与真实值的残差平方和要小。对于本实验的土壤含水量采样研究,适宜的采样间隔为东西方向上的 5.7 m 和南北方向上的 3 m,这样可以保持土壤含水量样点之间的相关性,又可消耗较小的人力、物力,从而降低取样成本。

3 结论

从果园土壤含水量等值线图可以看出,在整个地块内土壤水分分布是不均匀的,西部偏高,东部偏低,西部的土壤含水量高值区表现为带状分布。地块内土壤含水量变异函数符合球状模型,存在几何各向异性,比例(基台值)为 7.1,方

参考文献:

[1] SSSA Special Publication No 40. Soil Testing: Prospects for improving nutrient recommendation[M]. Soil Sic. Soc. Am., Inc., Am. Soc. Agro. Inc., Madison SA, 1994.

[2] 贺立源,项雅玲. 农业环境中土壤取样误差研究[J]. 应用生态学报,1999,10(3):353-356.

[3] Manuela R over, Ernst - August Kaiser. Spatial heterogeneity within the plough layer: low and moderate variability of soil properties[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999,31(2):175-187.

[4] Gerd Dercon, Jozef Deckers, Gerard Govers et al. Spatial variability in soil properties on slow - forming terraces in the Andes region of Ecuador[J]. Soil and Tillage Research, 2003,72(1):31-41.

[5] Rim a B Franklin, Aaron L M ills. Multi-scale variation in spatial heterogeneity for microbial community structure in an eastern Virginia agricultural field[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2003,44(3):335-346.

[6] 周慧珍,龚子同. 土壤空间变异[J]. 土壤学报,1996,3(3):232-240.

[7] 李艳. 地统计学在土壤科学中的应用及展望[J]. 水土保持学报,2003,17(1):78-83.

[8] 李晓燕,张树文,王宗明,等. 吉林省德惠市土壤特性空间变异特征与格局[J]. 地理学报,2004,59(6):989-997.

[9] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报,1985,(9):10-21.

[10] 孙洪泉. 地质统计学及其应用[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1990.31-35.

植被增加,湿地面积增大,化学污染减少,森林砍伐和滥垦滥牧、不合理的开垦湿地、沼泽和过度利用土地、水资源将被禁止,生物的生境条件将得到有效保护和恢复,野生动植物的生长和繁殖、栖息环境将相应改善和提高,其栖息条件改善,饵料也更丰富,生物资源的减少和破坏将得到有效控制和防止,有利于生物种群增加。同时,对伊犁河流域湿地范围内的野生动植物资源、区系、自然条件、种群资源贮量、历史变化、社会情况等进行了考察、研究、监测,并根据不同的条件采取不同的保护措施。总之,伊犁河流域湿地恢复与保护工程的实施,将对湿地范围内的生物生态环境产生积极和深远的影响,生物资源将进一步丰富,实现生态环境的良性循环和生物多样性。

(6) 景观影响评价。通过湿地恢复与保护工程的实施,流域的湿地环境得到整体提高,原有的湿地景观资源将得到更有效的保护和利用,同时,更多更好的多类型湿地景观也将被开发和形成,如湿地森林景观、湿地动植物景观、人工湿地景观等等,湿地景观资源的多样性和生动性将全面展现出来。

4 结论

新疆伊犁河流域湿由于各种自然与人为干扰因素综合作用地处于中度脆弱状态。湿地保护与恢复工程建设在对湿地环境产生不利影响的同时,积极作用更为明显,对湿地生态环境的恢复、保护、管理有利。