

文章编号: 1007-6301 (2002) 06-0609-07

喷灌条件下农田土壤水分的 空间变异性研究

高 鹭¹, 陈素英², 胡春胜², 霍习良¹

(1. 河北农业大学资源与环境学院, 保定 071001;

2. 中国科学院石家庄农业现代化研究所, 石家庄 050021)

摘要: 本试验对喷灌区不同水分处理的麦田进行取样分析, 分别测定 0~ 10、10~ 20、20~ 40、40~ 60 cm 四个层次的土壤水分。应用传统统计学的方法对所取的数据进行了分析, 结果表明 10~ 20 cm 土层受降雨、蒸散和根系等因素的影响最大。通过地统计学的半方差函数分析, 发现不同处理的同一层次、同一处理的不同层次的空间相关性均存在差异以及喷灌对土壤水分空间相关性的影响。比较各处理相应层次的变程, 其随灌水量的增大而增大, 表明喷灌区灌水多的处理水分分布更均匀。所得结论可用于提高水分利用效率和精确农业(灌水)的研究和实践。

关 键 词: 喷灌; 土壤水分; 空间变异性; 地统计学

中图分类号: TU 991.38 **文献标识码:** A

土壤特性的空间变异性或其它农田特征变异定量化研究一直是关注的一个热点。70 年代后期, 国内许多学者从事土壤特性空间变异性规律方面的研究, 尤其是土壤物理性质的空间变异性研究, 并将地统计学理论用于土壤和水资源科学。灌区田间实际情况表明, 在土壤质地相同的区域内, 土壤特性(物理、化学及生物性质)在同一时刻, 各个空间位置上的量值并不相同, 这种属性即称为土壤特性的空间变异性^[1]。

近年来精确农业的研究更是以空间变异作为其理论基础, 研究土壤水分特性的空间变异性对于农业灌溉决策管理中实施土壤水分的动态监测, 根据有代表意义的土壤含水量值点进行管理, 科学地指导各种先进的灌溉设施, 提高灌溉精度, 提高农田水分利用效率和农作物产量有着重要的现实意义。它可将空间作用在土壤以及土壤-作物复合系统中的水因子更形象生动、更深入地呈现在人们眼前, 使人们能更好地理解空间作用对土壤作物关系的重要性, 对农田水循环与水资源安全和推动精确农业的实施具有重要意义。

应用地统计学的方法和原理仍是国内外定量化研究土壤空间变异的趋势之一。地统计学是一门用来分析土壤特性空间相关性的方法学, 它提供了一种统计工具来描述土壤特性的空间变异性并估算其变异属性。

收稿日期: 2002-07; 修订日期: 2002-09

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KXCX-SW-317-02; KZCX2-404-3)

作者简介: 高鹭(1977-), 女, 硕士生, 研究方向为土地资源。E-mail: hebeigao lu@263.net

1 材料与方法

1.1 基本理论

半方差函数: 半方差函数也可称为半变异函数, 是地统计学中研究土壤变异性的关键函数^[2]。实际计算可用:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} Z(x_i) - Z(x_i + h)^2$$

式中 $N(h)$ 是以 h 为间距的所有观测点的成对数目。半方差函数图通常是由 $\gamma(h)$ 对 h 作图而得。

SURFER 软件概述:

SURFER 软件有 6 个功能模块, 分别为: (1) GRID——数据网格化处理: GRID 模块可以由非均匀分布的实测数据插值生成或函数生成均匀分布的网格化数据; (2) TOPO——作等值线图: TOPO 模块以网格化的数据产生等直线图; (3) SURF——作三维立体图; (4) VIEW——屏幕显示; (5) PLOT——绘图; (6) UTIL——实用功能。

用 VAR DWN 2.2 软件进行地统计学分析, 然后用 Golden Software 公司开发的 SURFER 7.0 软件绘制成等直线图。

1.2 试验设计

试验于 2002 年春季在中国科学院栾城农业生态系统试验站喷灌区进行。土壤类型为褐土, 耕层 0~ 10 cm 质地为轻壤, 容重 1.41 g/cm³, 田间持水量 0.364 cm³/cm³。

取不同水分处理的 3 个试验小区, 面积均为 12m × 12 m。2002-3-9 灌水量分别为 A 小区: 50 mm; B 小区: 40 mm; C 小区: 30 mm。

从 3 个试验小区中各选择 9 m × 9 m 的测定区域, 以 1m × 1m 的网格布置 81 个测定点。每个测定点分别用土钻取土测定 0~ 10、10~ 20、20~ 40、40~ 60 cm 四个层次的重量含水量, 烘干法测定, 在 105~ 110 ℃ 下烘 6~ 8 h。测定时间是 2002-4-2。

试验设计图、样点分布图见图 1、图 2。

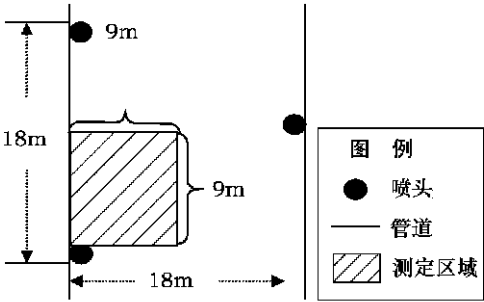


图 1 测定区域方位

Fig.1 Test area location

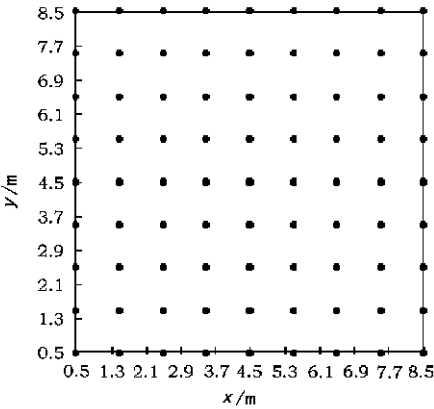


图 2 测定区域内样点分布

Fig.2 Sampling location of test area

2 结果与讨论

2.1 土壤含水量测定结果的统计特征值

从表 1 中的统计特征值来看, 各处理不同层次的土壤含水量为正态和对数正态分布类型, 变异系数的变化范围为 0.0688~ 0.1599, A、B 小区的第四层和 C 小区的第三、四层的变异系数< 10%, 属于弱变异; 其它层次变异系数均在 10~ 100% 之间, 属中等变异性^[8]。从各小区不同层次的变异系数、标准差来看, 每个小区的第二层变异系数、标准差均大于其它 3 个层次。考虑到喷灌区 10~ 20 cm 的层次内作物的根系密度最大, 受大气降水、灌溉、土面蒸发和作物根系吸水等因素的交替作用和影响, 土壤水分变化剧烈。

表 1 土壤水分统计特征值
Tab. 1 The statistical feature values of soil moisture

水分小区	测定深度	分布类型	均值	标准差	最小值	最大值	中值	样本方差	变异系数	峰值	偏斜度
A 小区	0~ 10	N	0.094 8	0.012 24	0.07	0.12	0.094	0.000 15	0.129 1	- 0.393	0.15
	10~ 20	N	0.112 1	0.015 68	0.08	0.15	0.112	0.000 46	0.139 9	- 0.293	0.10
	20~ 40	LN	0.128 6	0.014 47	0.09	0.16	0.130	0.000 21	0.112 5	- 0.602	- 0.38
	40~ 60	N	0.158 9	0.013 73	0.13	0.19	0.160	0.000 19	0.086 4	- 0.371	0.22
B 小区	0~ 10	N	0.097 7	0.013 99	0.06	0.13	0.098	0.000 20	0.143 2	1.601	- 0.41
	10~ 20	N	0.116 6	0.018 48	0.07	0.16	0.115	0.000 34	0.158 5	0.096	- 0.26
	20~ 40	N	0.137 0	0.013 81	0.11	0.22	0.167	0.000 19	0.100 8	12.348	2.08
	40~ 60	LN	0.3163 5	0.011 25	0.14	0.23	0.163	0.000 13	0.068 8	17.693	2.71
C 小区	0~ 10	LN	0.086 2	0.008 746	0.07	0.11	0.085	7.65e- 05	0.101 5	0.009	0.28
	10~ 20	N	0.104 6	0.011 47	0.07	0.13	0.106	0.000 13	0.109 7	0.085	- 0.10
	20~ 40	N	0.123 9	0.009 153	0.10	0.14	0.124	8.38e- 05	0.073 9	- 0.259	0.04
	40~ 60	LN	0.151 0	0.010 64	0.12	0.17	0.153	0.000 11	0.070 5	0.631	- 0.63

土壤水分在田间的分布是连续的, 同时具有地学的结构特征和统计学的随机特征, 这些统计值只能在一定程度上反映样本总体, 而不能定量地刻画土壤水分的随机性和不规则性, 独立性和相关性, 要解释并进行量化, 必须进行空间变异结构分析^[3]。

2.2 土壤含水量的空间变异结构分析

采用半方差函数分析检验土壤水分的空间变异性。A、B、C 三个小区表层 0~ 10 cm 土壤含水量的半方差函数图如图 3。

变异函数揭示了在整个尺度上的空间变异, 当变异函数 $\gamma(h)$ 随着间隔距离 h 的增大, 从非零值达到一个相对稳定的常数, 该常数称为基台值 $C_0 + C_1$, 此时的间隔距离为变程 a ; 当间隔距离 $h = 0$ 时, $\gamma(0) = C_0$, 该值称为块金值或块金方差。块金值通常表示由实验误差和小于取样尺度引起的变异, 较大的块金方差值表明较小尺度上的某种过程不容忽视; 基台值通常表示系统内总的变异, 块金值与基台值之比表示随机部分引起的空间异质性占系统总变异的比, 如果该比值高, 说明随机部分引起的空间异质性程度起主要作用^[4,7], 并且主要体现在小尺度上, 而由空间自相关引起的空间变异性主要体现在中尺度范围内 (相当于最大自相关范围)。变程表示水分观测值之间的距离大于该值时, 则说明它们之间是相

互独立的。若小于该值时,则说明它们之间存在着一定的相关关系^[9]。这里的尺度概念与采用的抽样间隔大小有关,小尺度相当与数据最小分辨率,大尺度上的变异可能超出空间相关变程 a 的范围,但它主要是产生空间异质性。

从图 3 可看出, A、B、C 三个小区表层土壤含水量的变程依次减小,这主要受各小区的灌水量影响。

在半方差函数模型的确定过程中,首先计算出 $\gamma(h) \sim h$ 的散点图,然后分别用不同类型的模型来进行拟和,得到模型的参数值,结果见表 2。

可知,各小区土壤含水量的空间结构均可用球状模型描述。土壤水分的变异既具有结构性,又具有随机性,是由土壤类型、地形、母质以及种植制度、耕作措施等各种因素在不同方向不同尺度共同作用的结果。

从表 2 中可看出,各小区不同层次的块金值均较小,并且块金值与基台值的比值也较低,范围为 0.048~0.293,这些表明较小尺度上的某种过程可以忽视,随机部分引起的空间异质性程度不占主要作用^[5,6]。即说明了土壤的空间结构、气候等结构性因素引起的空间异质性程度占主要作用。各小区的基台值均较小,表明总的空间异质性程度较低,其中随机部分引起的土壤水分的空间变异程度均较小,空间自相关部分的作用变大。

从各小区相应层次的变程来看,灌水多的小区变程要大,说明相关距离大,田间水分均匀性高。A 小区的变程范围: 5.307~ 6.100 m; B 小区的变程范围: 2.501~ 5.002 m; C 小区的变程范围: 1.708~ 2.013 m。

为了更加直观地描述不同层次土壤水分在空间上的分布状况,用 SURFER 软件绘制了水分的等值线图。

以 A 小区四个层次的等值线图(图 4)为例,可以看出随着深度的增加,土壤含水量逐渐增高;每一层次的水分分布基本一致,均呈现西北方向的含水量较高而东南方向的含水量较低,这主要与喷灌的均匀度相关^[10]。

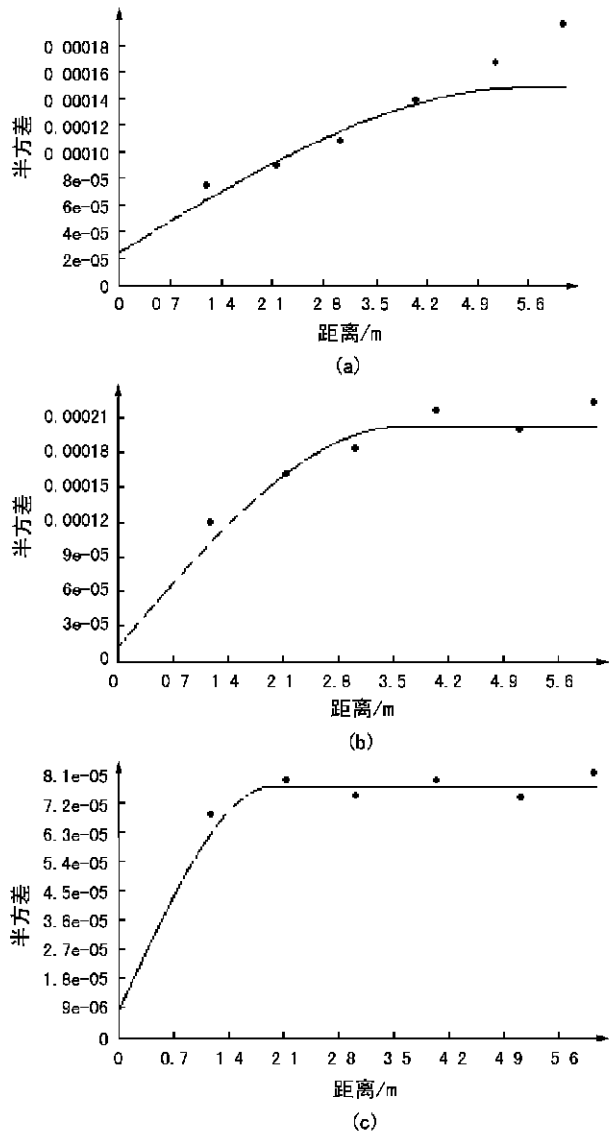


图 3 土壤水分半方差函数图(小区 A、B、C)

Fig. 3 Semivariance of soil moisture (plot A, B, C)

表 2 土壤水分变异函数理论模型及相关参数

Tab. 2 Best-fitted sem ivariogram models of soil moisture and corresponding parameters						
水分处理	测定层次 /cm	模型类型 Model	块金值 C_0	基台值 $C_1 + C_0$	变程 a/m	块金方差/基台值 $C_0 / (C_0 + C_1)$
A 小区	0~ 10	Spherical	2e- 05	0.000 13	5.551	0.133
	10~ 20	Spherical	2.7e- 05	0.000 22	5.307	0.109
	20~ 40	Spherical	3.9e- 05	0.000 16	6.039	0.196
	40~ 60	Spherical	3.6e- 05	0.000 14	6.100	0.205
B 小区	0~ 10	Spherical	1.4e- 05	0.000 19	3.599	0.069
	10~ 20	Spherical	3.2e- 05	0.000 30	3.965	0.096
	20~ 40	Spherical	5.8e- 05	0.000 14	2.501	0.293
	40~ 60	Spherical	3e- 05	8.2e- 05	5.002	0.268
C 小区	0~ 10	Spherical	8.8e- 06	6.88e- 05	1.952	0.113
	10~ 20	Spherical	6e- 06	0.00012	1.708	0.048
	20~ 40	Spherical	1.8e- 05	6.39e- 05	1.281	0.220
	40~ 60	Spherical	2e- 05	8.8e- 05	2.013	0.185

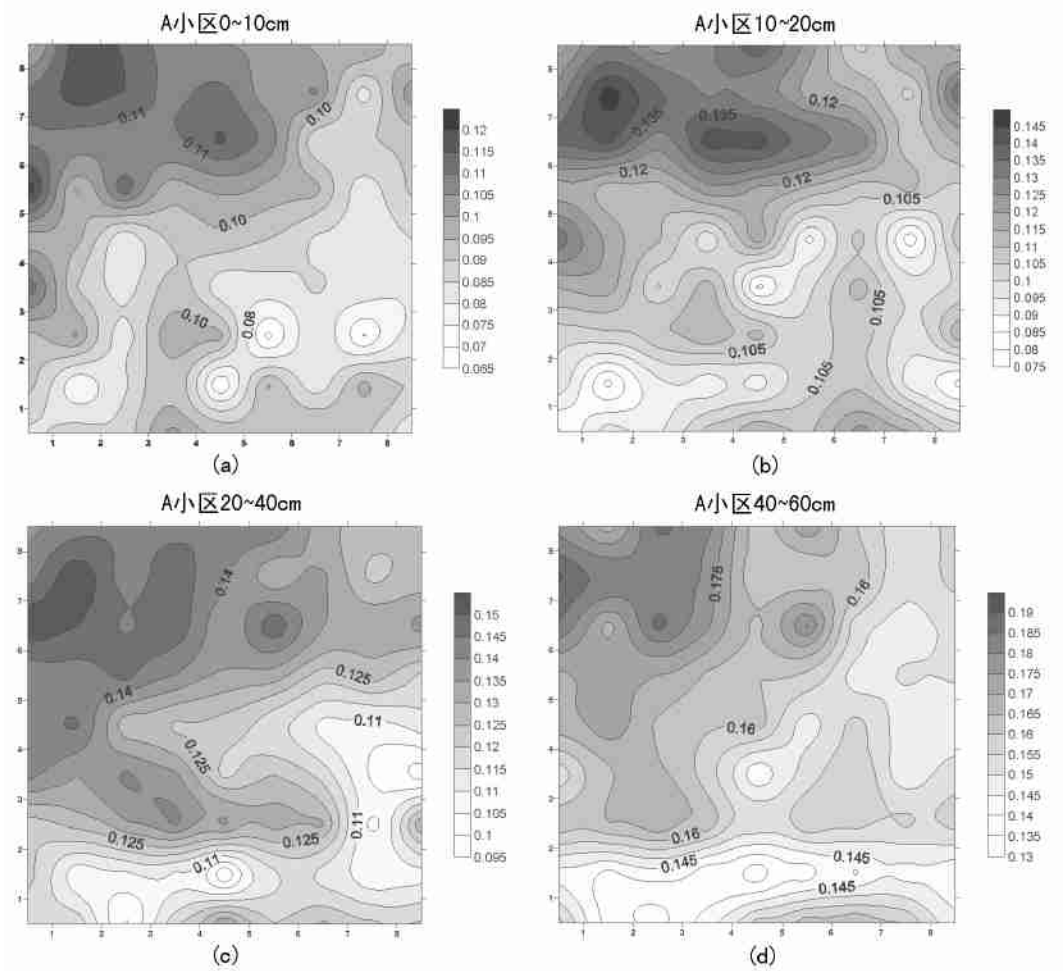


图 4 土壤水分等直线图 (小区 A)

Fig.4 Isogram of soil moisture (plot A)

3 结论

从各水分处理不同层次土壤水分的统计特征值来看, 各小区 10~ 20 cm 土层的变异系数均大于其它 3 个层次, 表明 10~ 20 cm 的层次受降水、蒸散和根系分布等因素的综合影响最大。从变异系数的范围来看, A、B 小区第四层和 C 小区的三、四层属于弱变异, 其它层次为中等变异。各小区不同层次的块金值均较小, 并且块金值与基台值的比值也较低, 这些表明较小尺度上的某种过程可以忽视, 随机部分引起的空间异质性程度不占主要作用, 土壤的空间结构、气候等结构性因素引起的空间异质性程度占主要作用。各小区的基台值均较小, 表明总的空间异质性程度较低。

从各小区相应层次的变程来看, 灌水多的小区变程要大, 表明相关距离大, 田间水分分布的均匀性高。从水分等值线图看, 各层次的水分分布主要与喷灌的均匀度相关。水分的等值线图对喷灌区水分动态监测起着指导作用。

中国科学院石家庄农业现代化研究所毛仁钊研究员、李红军硕士对数据分析中的软件应用给予了具体指导, 特此致谢。

参考文献:

- [1] 李毅, 门旗, 罗英. 土壤水分空间变异性对灌溉决策的影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 80-85.
- [2] 龚元石, 廖超子, 李保国. 土壤含水量和容重的空间变异及其分形特征[J]. 土壤学报, 1998, 35(1): 10-15.
- [3] 李小昱, 雷廷武, 王为. 农田土壤特性的空间变异性及Kringing 估值法[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(6): 30-35.
- [4] 李子忠, 龚元石. 农田土壤水分和电导率空间变异性及确定其采样数的方法[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 59-66.
- [5] 李海滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法[J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 651-657.
- [6] 胡克林, 李保国, 林启美 等. 农田土壤养分的空间变异性特征[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 33-38.
- [7] Zhang Renduo, George F V ance, Stephen D M iller. Micro- Spatial variability of soil nitrate follow ing nitrogen fertilization and drip irrigation[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1999, 116: 605-619.
- [8] 许迪, R SCHM ICL. 田间土壤特性的空间相关结构分析及其分布描述[J]. 灌溉排水, 1996, 15(4): 16-20.
- [9] 张建辉, 何毓蓉, 唐时嘉. 四川丘陵区土壤湿度的空间变异分析[J]. 土壤通报, 1996, 27(2): 61-62.
- [10] A llaire-leung S E, W u L, M itchell J P et al. Nitrate leaching and soil nitrate content as affected by irrigation uniformity in a carrot field[J]. *A gricultural W ater M anagement*, 2001, 48: 37-50.

A Study on Spatial Variability of Soil Moisture in Wheat Field Under Sprinkling Irrigation Condition

GAO Lu¹, CHEN Su-ying², HU Chun-sheng², HUO Xi-liang¹

(1. College of Resource and Environment Science, Hebei Agriculture University, Baoding 071001 China;

2. Shijiazhuang Institute of Agriculture Modernization the Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021 China)

Abstract: This experiment was carried in a wheat field with different water treatments under sprinkling irrigation conditions. Soil samples were obtained from each point under four layers of 0~10cm, 10~20cm, 20~40cm and 40~60cm. Soil water content was measured. The classical statistics was applied to analyze the data, and the results indicated that the 10~20 cm layer was affected most by rainfall and evapotranspiration. Furthermore, Semivariance analysis found that the difference of spatial correlation existed among different treatments with the same layer or different layers with the same treatment, and that effect of sprinkling irrigation on spatial correlation of soil moisture existed. In addition, when comparing the same layers' range with different treatment, range tended to increase and water was more uniformly distributed in the soil as the irrigating amount increased. These results showed some merits in increasing water use efficient and precision agriculture.

Key words: sprinkle irrigation; soil moisture; spatial variability; geostatistics