

喷灌条件下土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量的空间变异性研究*

高 鹭^{1,2} 胡春胜³ 毛仁钊³

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 中国科学院石家庄农业现代化研究所, 石家庄 050021)

STUDY ON SPATIAL VARIABILITY OF $\text{NO}_3\text{-N}$ CONTENT IN SOIL UNDER SPRINKLING IRRIGATION CONDITION

Gao Lu^{1,2} Hu Chunsheng³ Mao Renzhao³

(1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

(3 Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization, CAS, Shijiazhuang 050021, China)

关键词 喷灌; $\text{NO}_3\text{-N}$; 空间变异性; 地统计学
中图分类号 S158.3 文献标识码 A

作物生长所需的养分主要来源于土壤, 因而土壤作为作物生长的营养库, 其养分的变异必然会引起作物生长的变异。北方旱地土壤氮素形态一般以硝态氮为主, 所以开展土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量空间变异性研究对于科学合理地制定农田施肥方案, 提高氮肥利用率, 促进变量施肥技术的发展, 实现精确施肥具有重要意义^[1-3]。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^[4]。喷灌是一种节水效果十分显著, 适应性较强的灌水方式, 相比传统灌溉其湿润层要浅, 对硝态氮的淋洗以及对环境的影响必然也较传统灌溉不同。因此利用地统计学方法, 研究喷灌条件下土壤中硝态氮的空间变异性, 对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的空间监测、寻找土壤空间变异研究与作物生长空间变异研究的最佳切合点以及研究喷灌条件下硝态氮对环境的影响程度具有重要的指导意义。

1 材料与方 法

1.1 基本理论

半方差函数(也称为半变异函数)是地统计学中

研究土壤变异性的关键函数^[5], 实际计算可用:

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

式中: $r(h)$ 为半方差函数, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为在采样地点 x_i 和 $x_i + h$ 的测定值, h 为每对数据采样地点的间隔, $N(h)$ 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 $r(h)$ 对 h 作图而得。用 VARIOWIN 2.2 软件进行地统计学分析, 然后用 SURFER 软件绘制成等值线图。

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。土壤类型为潮褐土, 耕层 0~10 cm 质地为轻壤, 容重 1.41 g cm^{-3} , 田间持水量 $0.364 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 。

取同一施肥水平不同水分处理的 3 个试验小区, 面积均为 $12 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ 。2002 年 3 月 8 日撒施尿素, 2002 年 3 月 9 日灌水量分别为 A 小区: 50 mm; B 小区: 40 mm; C 小区: 30 mm。2002 年 4 月 2 日从 3 个试验小区中各选择 $9 \text{ m} \times 9 \text{ m}$ 的测定区域, 以 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 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 四个土

* 国家科技部攻关计划(2004BA520A14 C09)

作者简介: 高 鹭(1977~), 女, 博士生, 研究方向为土地资源开发利用。E-mail: hebeigaolu@263.net

收稿日期: 2003-09-01; 收到修改稿日期: 2003-12-05

壤层次中的 NO_3^- -N 含量, KCl 溶液浸提后用流动注射法测定。试验设计图、样点分布图如图 1 和图 2。

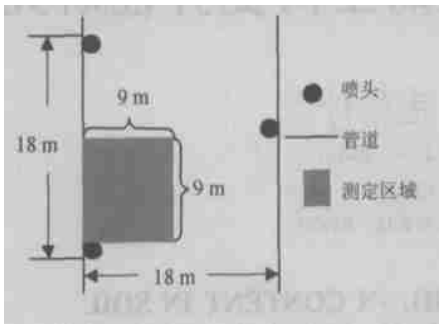


图 1 测定区域方位

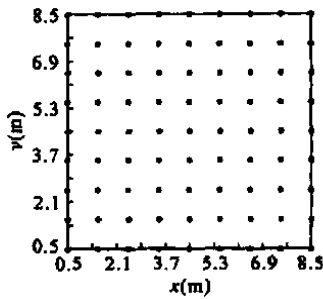


图 2 测定区域内样点分布

2 结果与讨论

2.1 土壤中硝态氮测定结果的统计特征值

利用 Kolmogorov-Smirnov 方法对 NO_3^- -N 含量的总体分布进行非参数检验, 检验结果表明各处理不同层次的土壤 NO_3^- -N 含量多数为对数正态分布类型。从表 1 中的统计值来看, 变异系数的变化范围为 0.615~1.31, B、C 小区表层的变异系数大于 100% 属于强变异性, 其他层次变异系数均在 10%~100% 之间, 属中等变异性。从各小区的变异系数来看, A、B、C 3 个小区之间相比, 0~10 cm 和 10~20 cm 两个层次的变异系数依次升高, 顺序为 $A < B < C$; 20~40 cm 和 40~60 cm 两个层次的次序则变为 $C < A < B$ 。这表明变异系数受不同灌水量的影响, 第一和第二两个层次的变异系数随灌水量的减少而增加, 即灌水量多的处理表层 NO_3^- -N 分布更均匀。相比之下, 第三、第四两个层次则受灌水量的影响较小, 虽然各处理之间有差异但差异不明显。

表 1 土壤中 NO_3^- -N 含量统计特征值

水分小区	测定深度 (cm)	分布类型	均值 (mg kg^{-1})	标准差	最小值 (mg kg^{-1})	最大值 (mg kg^{-1})	中值 (mg kg^{-1})	样本方差	变异系数	峰值	偏斜度
A 小区	0~10	LN	8.21	5.41	1.44	31.4	6.80	29.3	0.659	3.92	1.69
	10~20	LN	7.63	4.69	0.860	21.6	6.28	22.1	0.615	0.788	1.10
	20~40	LN	7.82	6.18	0.290	31.9	5.82	38.2	0.791	2.23	1.44
	40~60	LN	19.6	13.6	2.32	66.3	14.6	185	0.694	3.21	1.65
B 小区	0~10	LN	13.0	14.7	1.65	94.8	8.12	217	1.13	14.4	3.41
	10~20	LN	9.21	6.59	0	32.2	7.23	43.4	0.716	2.54	1.50
	20~40	LN	10.4	10.1	2.09	72.5	7.11	102	0.974	18.8	3.66
	40~60	N	18.9	13.4	0	81.0	18.0	181	0.713	6.19	1.96
C 小区	0~10	LN	19.8	25.9	2.03	146	11.0	673	1.31	11.1	3.16
	10~20	LN	11.5	9.26	1.79	63.6	8.18	85.8	0.803	11.6	2.72
	20~40	LN	12.3	9.64	1.58	69.9	9.66	92.9	0.786	15.5	3.17
	40~60	N	23.5	15.8	1.17	91.7	22.8	249	0.672	7.70	2.23

从均值来看, 各处理均表现出第一层高于第二层, 然后从第二层到第四层逐渐增高的趋势。处理之间相比相应层次的均值随灌水量的减小而增加。这说明随灌水量的减小硝态氮向下层淋洗的量也相应减小; 表层含量高于第二层是由于喷灌后水分蒸

发硝酸盐累积于表土^[6]或是施肥后表层含量要高的原因。和土壤含水率的空间变异性比较, 硝态氮的变异系数要大, 即比含水量的变异性大^[7]。

NO_3^- -N 在田间的分布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 NO₃-N 含量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^[8,9]。

2.2 土壤中硝态氮的空间变异结构分析

采用半方差函数分析检验土壤中硝态氮的空间变异性。A 小区 4 个层次的土壤 NO₃-N 含量的半方差函数如图 3。变异函数揭示了整个尺度上的空间变异,当变异函数 $r(h)$ 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, $r(0) = C_0$, 该值称为块金值或块金方差; 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例^[10, 11]。

从图 3 可看出, 0~ 10 cm 和 40~ 60 cm 的变程要大于其他两个层次。B、C 小区除去 C 小区的 0~ 10 cm 其他层次也符合此规律, 即表现出随着 NO₃-N 含量均值的增大而增大。

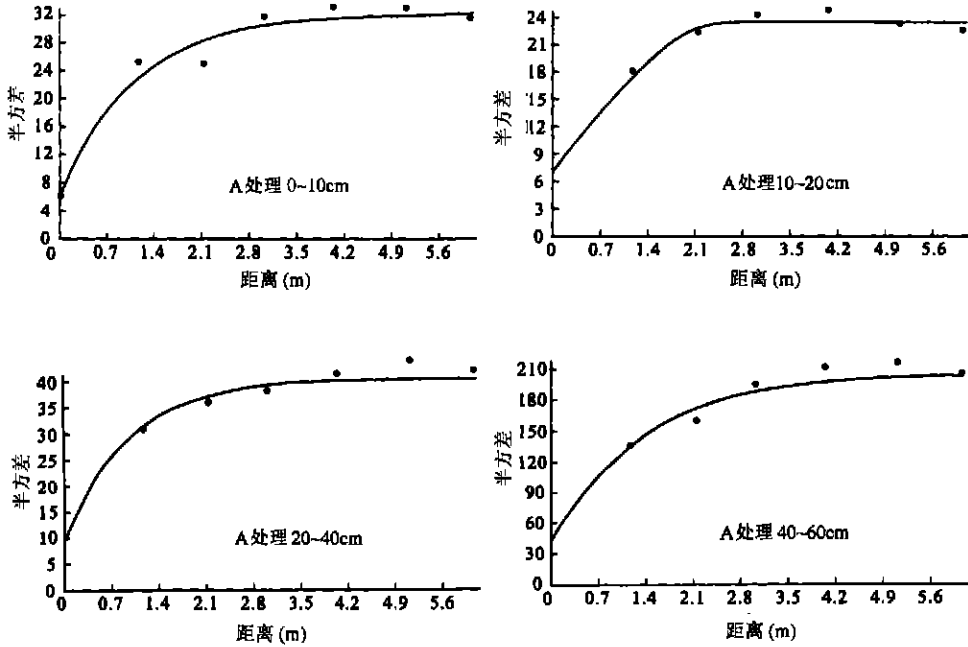


图 3 土壤中 NO₃-N 含量的半方差函数图(小区 A)

在半方差函数模型的确定过程中, 首先计算出 $r(h) \sim h$ 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。从模型类型可看出各小区土壤 NO₃-N 含量的空间结构多数可用指数模型描述。NO₃-N 含量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。各小区的块金值的变化很不规律, 表明其受随机因素的影响程度不同。但总体来看, 块金值与基台值的比值都较低, 范围为 0.011 ~ 0.525, 这表明随机部分引起的空间异质性程度不占主要作用, 即说明了土壤的空间结构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高, 表明总的空间异质性程度很高, 随机因素和结构因素共同对 NO₃-N 含量的空间异质性起到很强的

作用。

对数据进行的半方差分析表明, 土壤 NO₃-N 含量自相关性不显著, 且无规律性, 以上是在最小取样距离为 1.0 m 时得出的结论, 实际上取样距离一般都会超过 1.0 m, 因此在田间一般距离取样土壤 NO₃-N 含量可作为独立的随机变量。不同土层的 NO₃-N 含量均存在明显的空间变异性, 在田间进行 N 素的动态监测时, 应该考虑 NO₃-N 含量的空间变异性^[12]。

为了更加直观地描述硝态氮在土壤空间上的分布状况, 用 SURFER 软件绘制了硝态氮在土壤不同层次的等值线图。以 A 小区 4 个层次的等值线图 (图 4) 为例, 可以看出各层次 NO₃-N 含量的总体分布是一致的, 均呈现南边含量较高而北边含量较低, 这主要与喷灌的均匀度有关^[13, 14]。

表2 土壤中 NO₃-N 含量的变异函数理论模型及相关参数

水分处理	测定层次 (cm)	模型类型	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	Exponential	6.09	32.7	3.47	0.187
	10~ 20	Spherical	7.25	23.4	2.56	0.310
	20~ 40	Exponential	9.93	40.9	2.91	0.243
	40~ 60	Exponential	44.8	207	4.17	0.217
B 小区	0~ 10	Exponential	48.4	211	4.82	0.229
	10~ 20	Exponential	0.430	39.4	1.83	0.0110
	20~ 40	Exponential	28.5	108	2.58	0.264
	40~ 60	Exponential	36.0	182	4.21	0.198
C 小区	0~ 10	Power	154	294	0.800	0.525
	10~ 20	Exponential	26.3	94.7	1.71	0.278
	20~ 40	Exponential	19.3	109	1.83	0.178
	40~ 60	Exponential	65.0	267	2.99	0.244

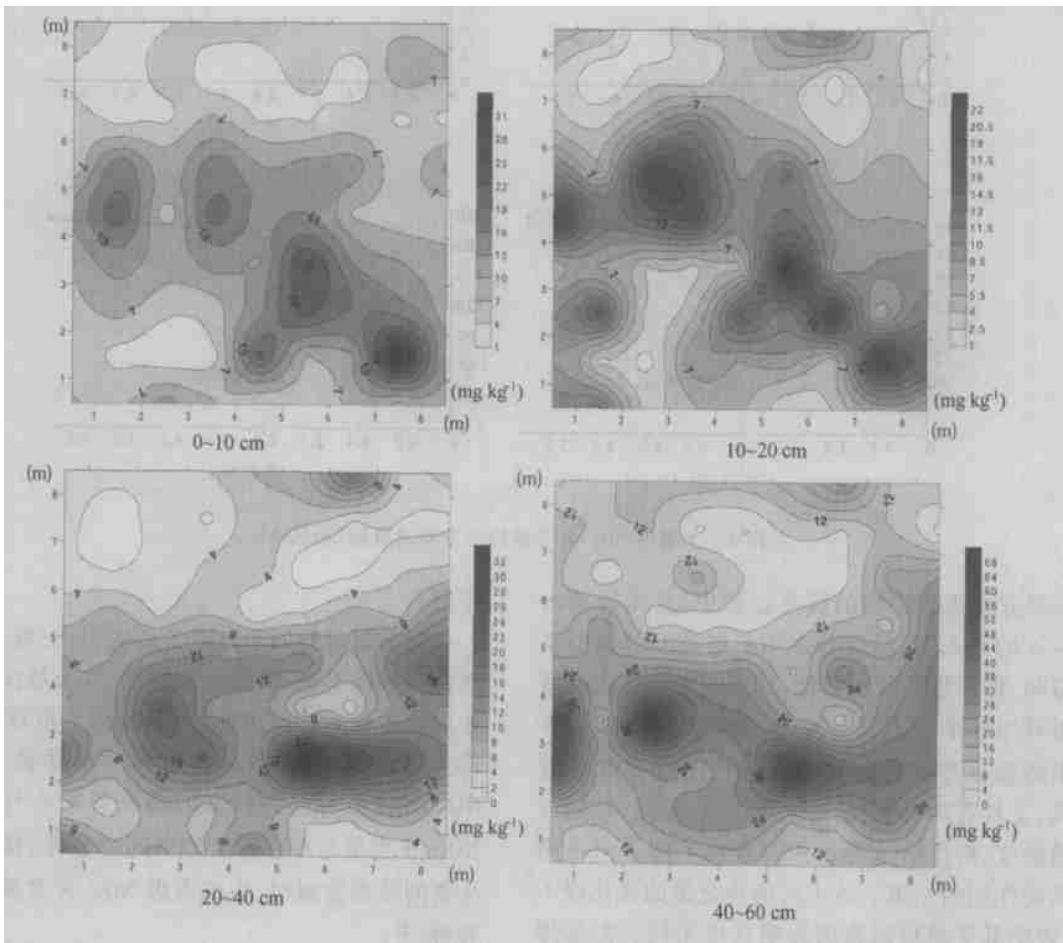


图4 A 小区土壤中 NO₃-N 含量等值线图

3 结论

从各水分处理不同层次 NO₃-N 含量的统计特征值来看, 变异系数的变化范围为 0.615~ 1.31, B、

C 小区表层的变异系数大于 100% 属于强变异性, 其他层次变异系数均在 10% ~ 100% 之间, 属中等变异性。表明表层受喷灌均匀度和人力撒施化肥的影响较大, 变异性强。从各小区的变异系数来看, A、B、C 3 个小区之间相比, 0~ 10 cm 和 10~ 20 cm 两个

层次的变异系数依次升高, 顺序为 $A < B < C$; 第一和第二两个层次的变异系数随灌水量的减少而增加, 即灌水量多的处理表层 NO_3^- -N 分布更均匀。相比之下, 第三、第四两个层次虽然各处理之间有差异但是差异不明显。

从均值来看, 各处理均表现出第一层高于第二层, 然后从第二层到第四层逐渐增高的趋势。和土壤含水率的空间变异性比较, 硝态氮的变异系数要大, 即比含水量的变异性大。

各小区的块金值的变化很不规律, 表明其受随机因素的影响程度不同。对数据进行的半方差分析表明, 土壤 NO_3^- -N 含量自相关性不显著, 且无规律性, 以上是在最小取样距离为 1.0 m 时得出的结论, 实际上取样距离一般都会超过 1.0 m, 因此在田间一般距离取样土壤 NO_3^- -N 含量可作为独立的随机变量。不同土层的 NO_3^- -N 含量均存在明显的空间变异性, 在田间进行 N 素的动态监测时, 应该考虑 NO_3^- -N 含量的空间变异性。

从 NO_3^- -N 含量的等值线图看, 各层次的分布主要与喷灌的均匀度相关。

参 考 文 献

[1] 杨玉玲, 文启凯, 田长彦, 等. 土壤空间变异性研究现状及展望. 干旱区研究, 2001, 18(2): 50~ 54

- [2] 黄绍文, 金继运, 杨俐苹, 等. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 79~ 88
- [3] Li Y, Chen D L, White R E, *et al.* Coupling GIS with nitrogen leaching models. *Pedosphere*, 2000, 10(3): 193~ 206
- [4] 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. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 80~ 85
- [5] 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. 土壤学报, 1998, 35(1): 10~ 15
- [6] 郭大应, 谢成春, 熊清瑞, 等. 喷灌条件下土壤中的氮素分布研究. 灌溉排水, 2000, 19(2): 76~ 77
- [7] 高鸢, 陈素英, 胡春胜, 等. 喷灌条件下农田土壤水分的空间变异性研究. 地理科学进展, 2002, 21(6): 609~ 615
- [8] 李小昱, 雷廷武, 王为. 农田土壤特性的空间变异性及 Kriging 估值法. 西北农业大学学报, 2000, 28(6): 30~ 35
- [9] Liang W J, Li Q, Jiang Y, *et al.* Effect of cultivation on spatial distribution of nematode trophic groups in black soil. *Pedosphere*, 2003, 13(2): 97~ 102
- [10] 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. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 59~ 66
- [11] Zhang R D, Vance G F, Miller S D. Micro-Spatial variability of soil nitrate following nitrogen fertilization and drip irrigation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1999, 116: 605~ 619
- [12] 许翠平, 沈言俐. 田间土壤 NO_3^- -N 含量空间变异性初步研究. 灌溉排水, 2000, 19(4): 5~ 9
- [13] 胡克林, 李保国, 林启美, 等. 农田土壤养分的空间变异性特征. 农业工程学报, 1999, 15(3): 33~ 38
- [14] Allaire-leung S E, Wu L, Mitchell J P, *et al.* Nitrate leaching and soil nitrate content as affected by irrigation uniformity in a carrot field. *Agricultural Water Management*, 2001, 48: 37~ 50