

宁夏引黄灌区土壤饱和导水率空间分异特征

赵云鹏, 白一茹, 王幼奇, 石磊

(宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:以宁夏引黄灌区农田土壤为例,采用 10 m×10 m 网格布点的方式,运用经典统计学和地统计学对土壤饱和导水率及相关因素的空间变异特征进行研究分析。结果表明:饱和导水率属于强烈变异;毛管孔隙度、饱和含水量和有机质属于中等变异性;容重和总孔隙度属于弱变异性。地统计结果表明,饱和导水率、饱和含水量和毛管孔隙度是随机性因素和结构性因素共同作用的结果;容重、总孔隙度和有机质主要受结构性因素影响。由其空间变异克里格插值图可知,饱和导水率有较明显的分布规律,但在局部区域呈现出高异质性;其余土壤性质均具有明显的分布规律。Pearson 相关性分析可知,影响土壤饱和导水率的主要因素是总孔隙度和容重,依次为饱和含水量、毛管孔隙度和有机质含量。通过分析土壤饱和导水率及其相关因素的空间变异特征可为该地区土壤水分有效利用和农田管理等提供一定的参考依据。

关键词:饱和导水率;地统计;克里格插值;引黄灌区;宁夏

中图分类号:S 152.7(243) **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)08-0166-06

土壤饱和导水率(K_s)反映了土壤的入渗和渗漏特性,是研究水分、溶质在土壤中运动规律的重要水力参数^[1-3],也是最具有空间变异性的参数^[4],它与土壤容重、孔隙分布以及有机质含量等土壤物理性质存在密切关系。因此,对土壤 K_s 及其相关因素进行研究具有重要意义。众多专家对土壤 K_s 及其相关因素进行研究,廖凯华等^[5]通过对大沽河流域的研究发现土壤类型和土壤质地是影响 K_s 的重要因素。陆斌等^[6]和 CAMEIRA 等^[7]分别对秦岭火地塘林区和葡萄牙南部地区进行研究发现,土壤孔隙与 K_s 有显著的相关关系。吴华山等^[8]通过对太湖地区水稻土壤研究发现影响 K_s 的因子主要为土壤容重、有机质等。李孝良等^[9]通过对西南喀斯特地区研究发现,土壤容重、孔隙度、有机质含量是影响 K_s

的主要因素。BORMANN 等^[10]通过对德国北部土壤研究发现,土地利用方式是影响土壤导水性能的重要因素。纵观国内外对土壤 K_s 及其相关因素的研究,大部分是基于大尺度的区域和流域范围的研究,但这往往会导致中小尺度下的土壤空间分异特征被掩盖,造成局部信息的缺失^[11-12],因此对中小尺度下土壤 K_s 及相关因素的研究必不可少。宁夏平原是我国重要的商品粮基地之一,种植水稻历史悠久。近年来,为了提高粮食产量,响应国家精准农业的号召,对宁夏引黄灌区农田土壤养分进行空间分异研究^[13-14],取得了十分显著的效果。但关于土壤 K_s 及相关因素的研究较少。因此该研究以宁夏引黄灌区农田土壤为例,运用经典统计学和地统计学方法,对研究区小尺度土壤 K_s 及相关因素进行研究,旨在揭示 K_s 以及相关因素的空间分异规律,为研究区土壤水分有效利用和农田管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

取样点选在宁夏引黄灌区北部平罗县水田(东经 106°26'32",北纬 38°42'55")。海拔 1 058 ~ 1 061 m,夏季酷热,冬季寒冷,气候干燥,为典型的温

第一作者简介:赵云鹏(1992-),男,山西武乡人,硕士研究生,研究方向为土壤水分运动。E-mail: zyp654951@163.com.

责任作者:王幼奇(1980-),男,安徽泾县人,博士,副教授,现主要从事水土资源与环境等研究工作。E-mail: wyq0563@163.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41461104);宁夏自然科学基金资助项目(NZ14028)。

收稿日期:2016-12-07

带大陆性气候。年均温 2.8~16.0℃, 年均降水量 173.2 mm, 无霜期为 171 d。土壤主要为灌淤土。采用 10 m×10 m 网格方式设计采样点, 共采集样品

108 个, 取样时同时取环刀样和表层土带回实验室分析。取样点位置分布详见图 1。

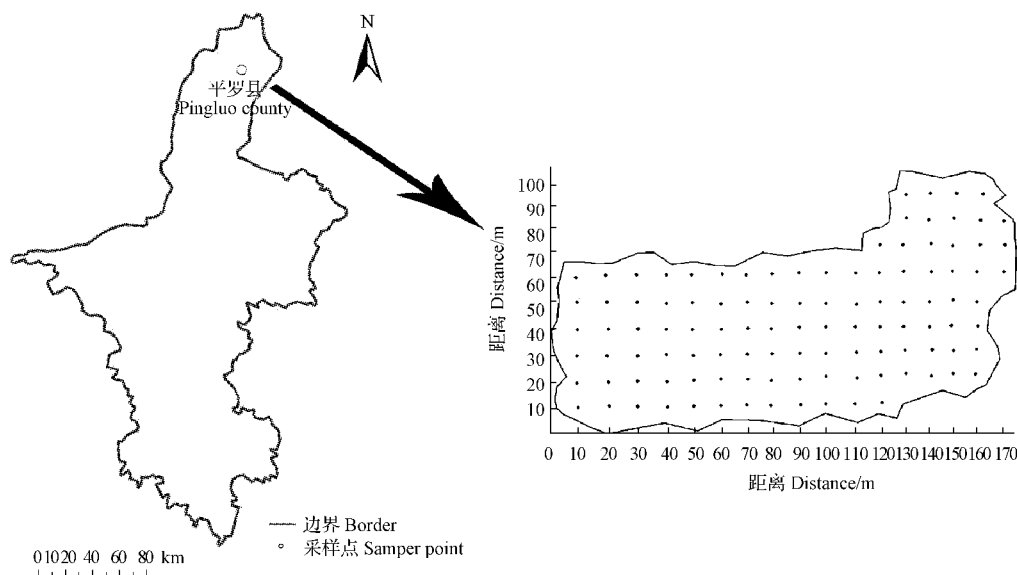


图 1 研究区样点分布

Fig. 1 Location of the sampling points

1.2 试验方法

土壤饱和导水率(K_s)采用定水头法(结果换算成 10℃时的饱和导水率)测定, 土壤容重、饱和含水量、总孔隙度和毛管孔隙度采用环刀法测定, 土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法测定。

1.3 数据分析

1.3.1 经典统计学原理 运用经典统计学对 K_s 、容重、饱和含水量、总孔隙度、毛管孔隙度和有机质含量进行空间变异分析, 其变异特征主要以变异系数 CV 表示, 其表达式为: $CV = s/\bar{x}$ 。式中: s 为标准差。 \bar{x} 为变量平均值。通常将变异程度分为 3 级, 即: 弱变异性($CV \leq 0.1$), 中等变异性($0.1 < CV < 1$)和强变异性($CV \geq 1$)^[3]。

1.3.2 半方差函数 运用地统计学半方差函数对 K_s 、容重、饱和含水量、总孔隙度、毛管孔隙度和有机质含量进行空间变异特征分析, 表达式为: $r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x) - Z(x+h)]^2$ 。式中: $r(h)$ 为半方差函数, h 为样点间距, $N(h)$ 为间距 h 的采样点对数, $Z(x)$ 和 $Z(x+h)$ 分别为采样点 x 和 $x+h$ 处的实测值^[15]。为了减少数据误差, 对数据中的特异值运用邻近点数据比较法进行剔除^[16]。利用 SPSS 20、GS+7.0 软件分别对 K_s 及相关性质进行经典统计

分析、半方差分析和相关性分析, 普通克里格插值图在 ArcGIS 10.0 软件中完成。

2 结果与分析

2.1 土壤饱和导水率及相关因素描述性统计分析

由表 1 可得, 土壤容重和总孔隙度的变异系数($CV \leq 0.1$)属于弱变异性, 其变异范围分别在 1.21~1.73 g·cm⁻³ 和 34.54%~54.29%之间; 饱和含水量、毛管孔隙度和有机质含量的变异系数($0.1 < CV < 1$)属于中等变异性, 其变异范围分别在 18.80%~65.77%、16.47%~42.70% 和 5.23~12.75 g·kg⁻¹ 之间; K_s 的变异系数($CV \geq 1$)属于强变异性, 其变异范围在 0.001~5.108 mm·min⁻¹。从偏度值可知, K_s 、容重和饱和含水量呈正偏态分布; 其余土壤性质呈负偏态分布。峰度指标表明, K_s 、饱和含水量和毛管孔隙度呈现尖顶峰, 其余土壤性质的峰均较平缓。同时通过检验可知, K_s 符合对数正态分布, 其余土壤性质均符合正态分布。

2.2 土壤饱和导水率及相关因素半方差分析

对土壤物理性质进行描述性统计分析, 只能说明土壤物理性质的整体状况, 但不能反映其局部的变化特征, 为了更好的反映土壤 K_s 及相关因素的空间变异特征, 需要进一步运用地统计学方法进行分析。

析^[17]。通过利用半方差函数对土壤 K_s 及其相关因素进行计算和模型拟合,并按照残差(RSS)最小, R^2 最大选取模型参数值(表 2)。由表 2 可知, K_s 、饱和含水量和有机质含量符合指数模型;容重和总孔隙度符合高斯模型;毛管孔隙度符合线性模糊。从块金值、基台值以及块金系数可以看出,土壤饱和导水率及相关因素的空间相关性,其中机质含量、容重和

总孔隙度的块金系数小于 25%,具有强烈的空间相关性; K_s 、饱和含水量和毛管孔隙度的块金系数在 25%~75%之间,属于中等相关性。从变程可得,饱和导水率的空间相关性范围最大,为 491.4 m,有机质含量的范围最小,为 75.6 m,其余土壤性质的变程大小依次为:饱和含水量>容重>总孔隙度>毛管孔隙度。

表 1 引黄灌区农田土壤饱和导水率及相关因素描述性统计值

Table 1 Descriptive statistics for soil hydraulic characteristics and related properties in farmland in the Yellow River Irrigated Area

| 土壤性质 Soil properties | 平均值 Mean | 标准差 SD | 极小值 Min | 极大值 Max | 极差 Difference | 变异系数 CV | 偏度 Skewness | 峰度 Kurtosis | KS 检验 KS test | 分布类型 Distribution |
|---|-------------|-----------|------------|------------|------------------|------------|----------------|----------------|------------------|----------------------|
| 饱和导水率 $K_s/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$ | 0.62 | 1.20 | 0.001 | 5.108 | 5.107 | 1.94 | 2.53 | 5.71 | 3.34 | LN |
| 容重 Bulk density/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ | 1.48 | 0.11 | 1.210 | 1.730 | 0.520 | 0.07 | 0.02 | -0.51 | 0.51* | N |
| 饱和含水量 Saturation moisture/% | 30.47 | 6.20 | 18.800 | 65.770 | 46.970 | 0.20 | 2.46 | 12.29 | 1.25* | N |
| 总孔隙度 Total porosity/% | 44.28 | 4.32 | 34.540 | 54.290 | 19.570 | 0.10 | -0.02 | -0.51 | 0.56* | N |
| 毛管孔隙度 Capillary porosity/% | 34.75 | 3.77 | 16.470 | 42.700 | 26.230 | 0.11 | -1.35 | 4.86 | 1.05* | N |
| 有机质含量 Organic matter content / $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ | 8.96 | 1.38 | 5.230 | 12.750 | 7.520 | 0.15 | -0.03 | 0.42 | 0.94* | N |

注: * LN, 对数正态分布类型; N, 正态分布类型。* $P < 0.05$ 。

Note: LN, Lognormal distribution; N, Normal distribution. * $P < 0.05$.

表 2 引黄灌区农田土壤饱和导水率及相关因素半方差函数理论模型及参数

Table 2 Semivariogram model and corresponding parameters of soil hydraulic characteristics and related properties in farmland in the Yellow River Irrigated Area

| 土壤性质 Soil properties | 模型 Model | 基台值 Sill(C_0+C) | 块金值 Nugget(C_0) | 块金系数 $C_0/(C_0+C)/\%$ | 变程 Range/m | 决定系数 R^2 | 残差 RSS |
|------------------------------|-------------|------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|---------------|-----------------------|
| 饱和导水率 K_s | E | 9.410 | 3.200 | 34.00 | 491.40 | 0.767 | 1.09 |
| 容重 Bulk density | G | 0.019 | 0.003 | 15.80 | 242.66 | 0.984 | 3.12×10^{-7} |
| 饱和含水量 Saturation moisture | E | 0.055 | 0.021 | 38.20 | 381.90 | 0.955 | 7.04×10^{-6} |
| 总孔隙度 Total porosity | G | 0.026 | 0.005 | 19.20 | 219.45 | 0.979 | 1.04×10^{-6} |
| 毛管孔隙度 Capillary porosity | L | 0.015 | 0.009 | 60.00 | 83.23 | 0.650 | 1.15×10^{-5} |
| 有机质含量 Organic matter content | E | 0.233 | 0.005 | 0.02 | 75.60 | 0.989 | 1.06×10^{-6} |

注: G, 高斯模型, E, 指数模型, L, 线性模型。

Note: G, Gauss model, E, Exponential model, L, Line model.

2.3 土壤饱和导水率及相关因素空间分布特征

为了更好的说明 K_s 及相关因素的空间分布特征,运用 ArcGIS 10.0 进行普通克里格插值并绘制分布图。由图 2 可知,除局部地区外, K_s 和容重、饱和含水量、总孔隙度、毛管孔隙度在空间分布图上密集程度和走向都非常相似,与 DUFFERA 等^[18]、WANG 等^[19]的结果相一致。其中 K_s 、饱和含水量、总孔隙度和毛管孔隙度均在中部偏东区域出现最大值,并向两侧递减,递减速度东快西慢;在局部地区, K_s 空间分布较复杂,即在中西部地区出现斑点状较大值,并在最西部出现较大值。土壤容重在中部偏东区域出现最小值,并向两侧递增,递增速度西快东慢;有机质含量最大值出现在东部,最小值出现在西部,由东到西逐渐递减,递减速度先快后慢。

2.4 土壤饱和导水率及相关因素相关性分析

为了更好的说明土壤饱和导水率及相关因素之间的关系,运用 Pearson 相关性分析进行分析。由表 3 可知, K_s 与容重呈极显著负相关关系,与饱和含水量、总孔隙度、毛管孔隙度呈极显著正相关关系,与有机质含量呈显著正相关关系。从 Pearson 相关系数可得,与土壤 K_s 的相关性依次为:容重=总孔隙度>饱和含水量>毛管孔隙度>有机质含量,即影响农田土壤 K_s 的主要因素是总孔隙度和容重,其余依次为饱和含水量、毛管孔隙度和有机质含量。同时发现土壤容重与其它土壤性质呈极显著负相关关系;土壤总孔隙度与饱和含水量、毛管孔隙度和有机质含量之间相互呈极显著的正相关关系。

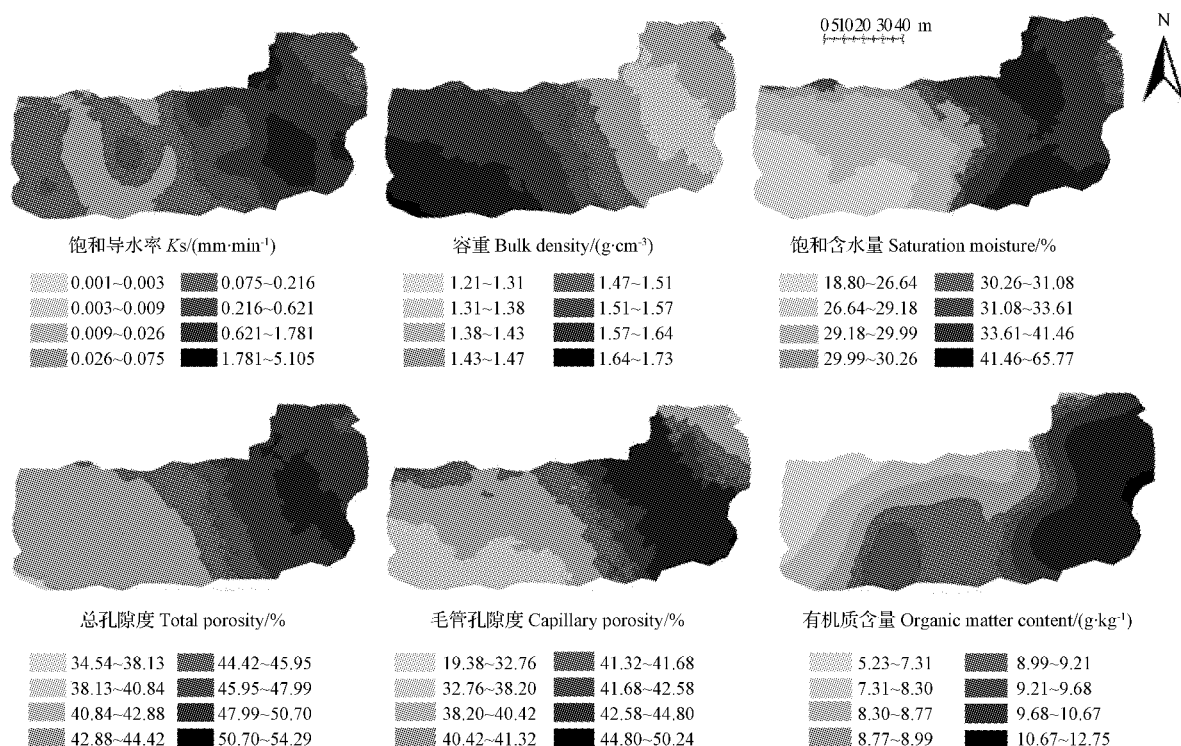


图2 引黄灌区农田土壤饱和导水率、容重、饱和含水量、总孔隙度、毛管孔隙度和有机质含量空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of K_s , bulk density, saturation moisture, total porosity, capillary porosity and soil organic matter in farmland in the Yellow River Irrigated Area

表3 引黄灌区农田土壤饱和导水率及相关因素 Pearson 相关性分析

Table 3 Pearson correlation among soil hydraulic characteristics and related properties in farmland in the Yellow River Irrigated Area

| | 饱和导水率 K_s | 容重 Bulk density | 饱和含水量 Saturation moisture | 总孔隙度 Total porosity | 毛管孔隙度 Capillary porosity | 有机质含量 Organic matter content |
|------------------------------|----------------|--------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 饱和导水率 K_s | 1 | | | | | |
| 容重 Bulk density | -0.468 ** | 1 | | | | |
| 饱和含水量 Saturation moisture | 0.346 ** | -0.718 ** | 1 | | | |
| 总孔隙度 Total porosity | 0.468 ** | -1.000 ** | 0.718 ** | 1 | | |
| 毛管孔隙度 Capillary porosity | 0.262 ** | -0.662 ** | 0.582 ** | 0.662 ** | 1 | |
| 有机质含量 Organic matter content | 0.247 * | -0.448 ** | 0.396 ** | 0.448 ** | 0.303 ** | 1 |

注: * 表示在 0.05 水平显著相关, ** 表示在 0.01 水平显著相关。

Note: * * correlation is significant at 0.01 level, * correlation is significant at 0.05 level.

3 讨论

描述性统计分析发现,研究区土壤容重和总孔隙度属于弱变异性;毛管孔隙度、饱和含水量和有机质含量的属于中等变异性; K_s 属于强烈变异性。同时该区域的土壤容重(均值为 $1.48 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)高于灌淤土表层容重($1.2 \sim 1.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$);有机质含量(均值为 $8.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)略低于灌淤土的有机质含量($10 \sim 12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$);土壤的孔隙度、饱和含水量符合当地实际情况。 K_s 普遍较高(均值为 $0.62 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$),具有良好的导水能力。其原因可

能与研究区土壤为灌淤土,土质疏松多孔,氮、磷、钾等养分含量较高有关^[20]。

地统计分析发现,研究区土壤 K_s 及相关因素具有较明显的基台值,说明该地区土壤性质具有较明显的空间依赖性和空间结构。从块金值可得, K_s 的值较大,表明对土壤进行空间分异研究过程中误差较大;其余土壤性质的块金值均较小,误差较小。土壤有机质含量、容重和总孔隙度的块金系数较低,表现为强烈的空间相关性,说明在当前尺度上,随机性因素对土壤有机质含量、容重和总孔隙度分布的影响较低,其空间变异主要由结构性因素如气候、地

形和土壤质地等引起的^[21]; K_s 、饱和含水量和毛管孔隙度块金系数较大,表现为中等空间相关性,说明在当前尺度上,其空间变异是随机性因素(人为过程)和结构性因素共同作用的结果。变程主要是衡量土壤性质在空间上的平均变异尺度。根据研究发现,研究区土壤毛管孔隙度和有机质含量变程较小,其空间连续性范围较小; K_s 、容重、饱和含水量、总孔隙度变程较大,其空间连续性范围超出了采样范围,说明采样范围需要进一步扩大。容重、饱和含水量、总孔隙度和有机质含量模型拟合的决定系数均大于 0.955,说明模型拟合很好地反映容重、饱和含水量、总孔隙度和有机质含量的空间分布特征, K_s 和毛管孔隙度模型拟合的决定系数均大于 0.650,较好的反映了 K_s 和毛管孔隙度的空间分布特征。

由普通克里格插值图可以发现,除局部地区外, K_s 和容重、饱和含水量、总孔隙度、毛管孔隙度分布规律非常相似。这说明 K_s 受土壤容重、水分含量以及孔隙分布等空间变量的影响,导致在空间分布上呈现出强烈的变异特征^[18-19]。在局部地区, K_s 呈现出高异质性,即在中部偏西出现斑点状较大值,在最西部出现较大值,这可能是人为过程与土壤结构共同作用的结果^[21]。土壤容重由中部偏东向两侧递增,递增速度东部快,西部慢,与坡度走向相似,主要是因为研究区中部偏东区域地势较高,土壤遭受侵蚀变得疏松,容重减小,东西两侧较低,泥沙淤积,土壤板结比较严重,容重较大,这与连纲等^[22]的研究结果一致。土壤饱和含水量、总孔隙度、毛管孔隙度分布与容重相反,主要是由于土壤疏松导致孔隙度增加,同时土壤饱和含水量也随之增大。土壤有机质含量由东到西逐渐递减,这可能与农作物生长情况以及土壤管理模式有较大关系^[23]。

Pearson 相关性分析发现,研究区 K_s 与容重呈显著负相关关系,即随着容重增大, K_s 降低,与吕殿青等^[24]研究结果一致,同时 K_s 与饱和含水量、总孔隙度、毛管孔隙度和有机质含量呈显著正相关关系,即当 K_s 减小时,土壤呈现出紧实、透水性、通气性差和有机质含量低的特点。从 Pearson 相关系数可得,即影响土壤 K_s 的主要因素是总孔隙度和容重,其余依次为饱和含水量、毛管孔隙度和有机质含量。与张扬等^[25]、吕殿青等^[24]和梁向锋等^[26]对 K_s 的研究结果不同,说明不同区域影响 K_s 主要因子存在差异性,需要根据研究区的实际情况进行具体分析^[27]。

同时发现,土壤容重与总孔隙度、饱和含水量、毛管孔隙度和有机质相互之间存在极显著相关关系。

4 结论

该研究应用经典统计学和地统计学对宁夏引黄灌区农田土壤 K_s 及其相关因素的空间分异特征进行了研究分析,主要结论如下。

经典统计结果表明,除 K_s 符合对数正态分布,其余土壤性质均符合正态分布。土壤容重和总孔隙度属于弱变异性;毛管孔隙度、饱和含水量和有机质含量属于中等变异性; K_s 属于强烈变异。

地统计结果表明, K_s 、饱和含水量和毛管孔隙度表现为中等空间相关性,其空间变异是随机性因素和结构性因素共同作用的结果;有机质含量、容重和总孔隙度呈现出强烈的空间相关性,其空间分异主要受结构性因素影响。

由普通克里格插值分布图可知,除 K_s 外,其余土壤性质在研究区内具有明显的分布规律。 K_s 在整体上有较明显的分布规律,但在局部地区呈现出高异质性,空间分布较复杂,这可能是人为过程与土壤结构共同作用的结果。

相关分析结果表明, K_s 与容重存在极显著负相关关系,与饱和含水量、总孔隙度、毛管孔隙度以及有机质含量存在显著的正相关关系。同时土壤容重与总孔隙度、饱和含水量、毛管孔隙度和有机质相互之间存在极显著相关关系。

参考文献

- [1] 付同刚,陈洪松,王克林.喀斯特小流域土壤饱和导水率垂直分布特征[J].土壤学报,2015,52(3):538-546.
- [2] 刘春利,胡伟,邵明安,等.黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性[J].生态学报,2012,32(4):1211-1219.
- [3] 郑纪勇,邵明安,张兴昌.黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J].水土保持学报,2004,18(3):53-56.
- [4] 姚荣江,杨劲松,张同娟,等.滩涂围垦农田土壤饱和导水率的影响因素及转换函数研究[J].中国生态农业学报,2014,22(7):790-797.
- [5] 廖凯华,徐绍辉,程桂福.大沽河流域土壤饱和导水率空间变异特征[J].土壤,2009,41(1):147-151.
- [6] 陆斌,张胜利,李侃,等.秦岭火地塘林区土壤孔隙分布特征及对导水性能的影响[J].生态学报,2014,34(6):1512-1519.
- [7] CAMEIRA M R, FEMANDO R M, PEREIRA L S. Soil macropore dynamics affected by tillage and irrigation for a silty loam alluvial soil in southern Portugal[J]. Soil and Tillage Research, 2003, 70(2):131-140.
- [8] 吴华山,陈效民,叶民标,等.太湖地区主要水稻土的饱和导水率及其影响因素研究[J].灌溉排水学报,2006,25(2):45-49.

- [9] 李孝良,陈效民,周炼川,等. 西南喀斯特地区土壤饱和导水率及其影响因素研究[J]. 灌溉排水学报,2008,27(5):73-76.
- [10] BORMANN H, KLASSEN K. Seasonal and land use dependent variability of soil hydraulic and soil hydrological properties of two Northern German soils[J]. *Geoderma*,2008,145(3):295-302.
- [11] 王幼奇,白一茹,展秀丽. 在不同尺度下宁夏引黄灌区农田土壤养分空间变异分析[J]. 干旱区研究,2014,31(2):209-215.
- [12] 邓红眉. 江汉平原土壤中、小尺度下的空间分异研究[D]. 武汉:华中师范大学,2013.
- [13] 米丽娜,王芳,李友宏,等. 宁夏平原灌淤土土壤养分与作物产量的空间变异性[J]. 干旱区研究,2009,26(4):508-513.
- [14] 李友宏,董莉丽,王芳,等. 宁夏银北灌区灌淤土营养元素空间变异性研究[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(6):67-72.
- [15] 刘欢,张荣群,郝晋民,等. 基于半方差函数的银川平原土地利用强度图谱分析[J]. 农业工程学报,2012,28(23):225-231.
- [16] 刘全明,陈亚新,魏占民. 土壤水盐时空变异数据中特异值处理方法与调控技术[J]. 灌溉排水学报,2004,23(2):25-29.
- [17] BAI Y R, WANG Y K. Spatial variability of soil chemical properties in a Jujube slope on the Loess Plateau of China[J]. *Soil Science*,2011,176(10):550-558.
- [18] DUFFER A M, WHITE J G, WEISZ R. Spatial variability of Southeastern US Coastal Plain soil physical properties; Implications for site-specific management[J]. *Geoderma*,2007,137(3):327-339.
- [19] WANG Y Q, SHAO M A. Spatial variability of soil physical properties in a region of the loess plateau of PR China subject to wind and water erosion[J]. *Land Degradation & Development*,2013,24(3):296-304.
- [20] 史成华,龚子同. 我国灌淤土的形成与分类[J]. 土壤学报,1995,32(4):437-448.
- [21] 张川,陈洪松,张伟,等. 喀斯特坡面表层土壤含水量、容重和饱和导水率的空间变异特征[J]. 应用生态学报,2014,25(6):1585-1591.
- [22] 连纲,郭旭东,傅伯杰,等. 黄土高原小流域土壤容重及水分空间变异特征[J]. 生态学报,2006,26(3):647-654.
- [23] 武婕,李玉环,李增兵,等. 南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素[J]. 生态学报,2014,34(6):1596-1605.
- [24] 吕殿霄,邵明安,刘春平. 容重对土壤饱和和水分运动参数的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(3):154-157.
- [25] 张扬,赵世伟,华娟. 宁南山区草地植被恢复方式对土壤饱和导水率的影响[J]. 中国水土保持科学,2009(7):100-104.
- [26] 梁向锋,赵世伟,张扬,等. 子午岭植被恢复对土壤饱和导水率的影响[J]. 生态学报,2009,29(2):636-642.
- [27] 姚淑霞,赵传成,张铜会. 科尔沁不同沙地土壤饱和导水率比较研究[J]. 土壤学报,2013,50(3):469-477.

Spatial Variability of Soil Saturated Hydraulic Conductivity in the Yellow River Irrigated Area in Ningxia

ZHAO Yunpeng, BAI Yiru, WANG Youqi, SHI Lei

(College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: The classical and geological statistics were combined to identify the spatial variability of soil saturated hydraulic conductivity and its influencing factors with 10 m×10 m grids in farmland in the Yellow River Irrigated Area in Ningxia Hui Autonomous Region, China. The results showed that the soil saturated hydraulic conductivity had strong variation, capillary porosity, saturation moisture content and soil organic matter showed moderate variations, soil bulk density and total porosity showed weak variation. The geological statistics indicated that saturated hydraulic conductivity, capillary porosity and saturation moisture content were affected by random factors and structural factors, while bulk density, total porosity and soil organic matter primarily affected by structural factors. According to the spatial distribution patterns, saturated hydraulic conductivity had an obvious distribution, while showing high spatial heterogeneity in the local area. The other soil properties had obvious distribution. The total porosity and bulk density was the key influencing factors in saturated hydraulic conductivity by Pearson correlation analysis, followed by saturation moisture content, capillary porosity and soil organic matter. Spatial variability of soil saturated hydraulic conductivity and its influencing factors could provide theoretical guidance for water use efficiency and farmland management.

Keywords: soil saturated hydraulic conductivity; geostatistical statistics; Kriging interpolation; Yellow River Irrigated Area; Ningxia