

赵 璐,刘子亭,陈 琳,等. 聊城市位山灌区耕层土壤磁化率和有机碳的空间变异分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):282-286.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.073

聊城市位山灌区耕层土壤磁化率和有机碳的空间变异分析

赵璐¹, 刘子亭¹, 陈琳¹, 陈亮², 陶宝先¹, 张保华¹, 汤庆新¹, 曹建荣¹

(1. 聊城大学环境与规划学院, 山东聊城 252000; 2. 河南大学环境与规划学院, 河南开封 475004)

摘要:为探究引黄灌溉对黄河下游地区农田土壤的影响,以山东省聊城市位山引黄灌区为研究区,测定农田土壤的磁化率和有机碳(SOC)含量,并运用地统计学方法研究其空间分布特征。结果显示,土壤低频磁化率(χ_{lf})、高频磁化率(χ_{hf})、频率磁化率(χ_{fd})、有机碳(SOC)平均含量分别为 $66.04 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 、 $61.53 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 、6.85%、8.68 g/kg;土壤 χ_{lf} 、 χ_{hf} 、 χ_{fd} 具有中等空间相关性,SOC 具有较强的空间变异性。研究表明,黄河沿岸农田土壤 χ_{lf} 和 χ_{hf} 低于其他地区,主要是受到引黄灌溉引沙入田的影响;农田土壤 χ_{fd} 呈条带状分布,由北向南逐渐增大,这与土壤母质、气候、地形等结构性因素有关;农田土壤 SOC 呈东西高、中部低的空间分布格局,主要是受到长期灌溉引沙入田、林地转为耕地等随机性因素的影响。

关键词:土壤低频磁化率;高频磁化率;频率磁化率;有机碳含量;地统计学;位山引黄灌区

中图分类号: S153 文献标志码: A 文章编号: 1002-1302(2018)19-0282-04

土壤作为农业生产的重要资源,其质量与变化须要深入探究。土壤在成土过程中受到母质、气候、人类活动等因素的综合影响^[1],具有高度空间异质性^[2]。磁化率和有机碳含量是表征土壤理化特征的重要指标。土壤磁化率受成土母质、气候、地形、人类活动等因素的综合影响^[3],其空间分布特征和变异规律是分析和合理利用土壤资源的基础资料。土壤磁化率空间分布特征可指示土壤发育过程、成土作用强度和土壤环境现状^[4-9],已经成为区域土壤与环境变化研究的重要手段。近年来农田土壤磁化率的研究主要集中于陕西、山西、辽宁、云南、广东等地区^[10-15]。引水灌溉是干旱、半干旱区农业生产的重要措施,然而关于引水灌溉地区农田土壤磁化率及有机碳含量空间分布特征的研究尚不多见。本研究选择黄河下游最大的引黄灌区和重要的粮食生产基地——山东省聊城市位山引黄灌区为研究区,运用地统计学方法分析该区农田土壤磁化率和有机碳含量的空间分布特征,旨在为土壤资源可持续利用提供基础数据与理论依据。

1 研究区概况

聊城市位于山东省西部,地理坐标为 $35^{\circ}47' \sim 37^{\circ}02'N$ 、 $115^{\circ}16' \sim 116^{\circ}32'E$ (图 1)。该区属黄泛冲积平原,地势平坦

收稿日期:2018-01-11

基金项目:山东省自然科学基金(编号:Y2008E27、ZR2016DM14);山东省软科学计划(编号:2016RKB01439);山东省教育厅科技发展计划(编号:J15LH09);聊城大学博士基金。

作者简介:赵璐(1991—),女,山西阳泉人,硕士研究生,主要从事
水土资源开发与保护研究。E-mail:511158641@qq.com。

通信作者:刘子亭,博士,副教授,主要从事水土资源开发与保护研究。E-mail:liuziting@lzu.edu.cn。

开阔,具有高地、缓平坡地、洼地相间的微地貌格局^[16],土壤以沙土、壤土、黏土为主。境内主要河流有黄河、马颊河、徒骇河、京杭运河、小运河等。该区气候属半干旱大陆性季风气候,降水时空分布不均,旱涝灾害频发。该区主要农作物有小麦、玉米和棉花,主要引黄河水灌溉。区内建有位山、陶城铺、郭口、彭楼 4 个引黄灌溉水利工程,覆盖全市域耕地。其中,位山引黄灌区始建于 1958 年,1962 年停灌,1970 年复灌,设计引水流量为 $240 \text{ m}^3/\text{s}$,设计灌溉面积为 $3.6 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占聊城市总耕地面积的 65%,控制 8 个市(县、区)的大部分耕地,是黄河下游最大的引黄灌区,是我国第五大黄灌区。

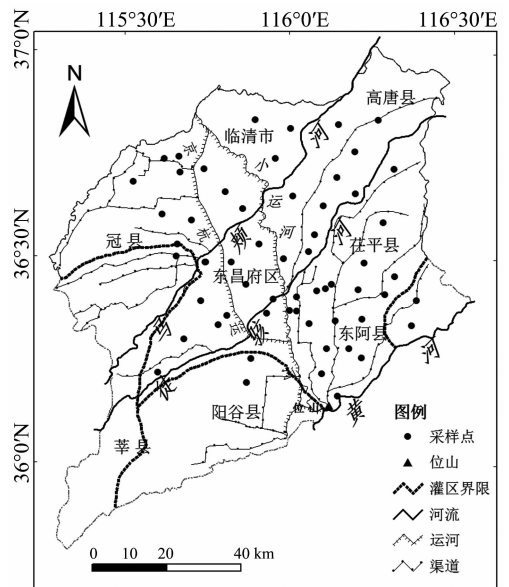


图1 位山引黄灌区及采样点分布

2 材料与方法

2.1 样品采集与指标测定

综合考虑聊城市位山引黄灌区典型土壤类型的分布、农田土壤利用方式等因素,选择引黄灌溉时间长、地块面积大、农作物种植时间久的农田为采样区,于 2016 年选择 60 个农田土壤样点制作土壤剖面(图 1),以 5 cm 为间隔对剖面上部 0~20 cm 耕作层自上而下采集样品。用手持全球定位系统(global position system,简称 GPS)定位仪记录采样点的地理坐标。将采集的样品在实验室内自然风干,剔除碎石、植物根系等杂质后研碎,分样装袋进行磁化率和有机碳指标测定。

样品磁化率的测定使用英国 Bartington MS-2 型双频磁化率仪进行。首先称取 10.00 g 待测样品用保鲜膜包紧,装入 10 mL 圆柱形聚乙烯样品盒中,然后分别在 0.47/4.70 kHz 频率下测定样品的低频磁化率(χ_{lf})和高频磁化率(χ_{hf})。每个样品重复测量 3 次,取平均值。频率磁化率(χ_{fd})的计算方法见公式(1)。

$$\chi_{fd} = \frac{(\chi_{lf} - \chi_{hf})}{\chi_{lf}} \times 100\% \quad (1)$$

样品有机碳(SOC)含量采用重铬酸钾外加热法进行测定。首先称取 0.2~0.5 g 待测样品置于锥形瓶中,加入 5 mL 重铬酸钾溶液,再加入 5 mL 浓硫酸并轻轻摇匀,置于 200 °C 电热板上加热,用蒸馏水定容,用硫酸亚铁溶液滴定。记录每个样品的质量(m)、滴定消耗的硫酸亚铁溶液体积(V)以及空白对照试验消耗的硫酸亚铁溶液体积(V_0)。同时进行空白对照试验。SOC 含量的计算见公式(2)。

$$\text{SOC 含量} = \frac{4(V_0 - V) \times 3 \times 1.08}{m \times V_0} \quad (2)$$

2.2 数据处理与地统计学分析

采用 SPSS 20.0 软件对全部样品数据进行统计学分析。采用柯尔莫诺夫-斯米尔诺夫(Kolmogorov-Smirnov,简称 K-S)法进行数据正态分布性检验。利用 ArcGIS 10.2 软件中的地统计分析模块进行半变异函数模型拟合和 Kriging 空间插值,得到土壤各变量含量的空间分布。

地统计学以区域化变量理论为基础,以变异函数为主要工具,揭示土壤特性的空间分布特征及其变化规律^[17]。变异函数 $\gamma(h)$ 是地统计分析的核心,其计算公式为

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

式中: $N(h)$ 为样本对数; $Z(x)$ 是系统某属性在空间位置 x 处的区域化随机变量,并满足二阶平稳假设; h 为 2 个样本点空间分隔距离; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 处的实测值,其中 $i=1,2,\dots,N(h)$ ^[18]。

变异函数能够同时描述区域化变量的随机性和结构性,包括 3 个重要的参数,即块金值(C_0)、基台值($C_0 + C$)、变程(a)。块金值表示由试验误差和小于最小取样尺度引起的随机变异,较大的块金值表明较小尺度上的某些过程不容忽视。基台值是系统或系统属性中最大的变异,包括结构性变异和随机性变异,是系统内总的变异,基台值越高,表示系统总的空间异质性越高。变程表示要素的空间自相关范围,其变化可反映出引起要素变异主要过程的变化^[19]。

3 结果与分析

3.1 农田土壤磁化率和 SOC 含量特征

样品测定结果显示,聊城市位山引黄灌区农田土壤 χ_{lf} 的值范围为 $48.34 \times 10^{-8} \sim 78.88 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$,均值为 $66.04 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; χ_{hf} 的值范围为 $43.25 \times 10^{-8} \sim 74.08 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$,均值为 $61.53 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; χ_{fd} 的变化范围为 1.20%~10.75%,均值为 6.85%;SOC 含量范围为 4.17~13.69 g/kg,均值为 8.68 g/kg(表 1)。

从偏度、峰度、K-S 值综合判断,研究区土壤 χ_{lf} 、 χ_{hf} 、SOC 含量均服从正态分布。 χ_{fd} 经对数转换后, χ_{fd} 服从正态分布。从变异系数看, χ_{lf} 、 χ_{hf} 的变异系数为 10.18%、10.49%,参考相关研究结果^[20],属于弱变异强度; χ_{fd} 、SOC 的变异系数为 25.50%、25.68%,属于中等变异强度。

3.2 农田土壤磁化率和有机碳的空间结构特征

采用 ArcGIS 10.2 软件中的地统计分析模块进行土壤各变量的半变异函数模型拟合,充分考虑各变量的各向异性和趋势性,根据标准平均值(ME)最接近于 0、标准均方根预测误差(RMSS)最接近于 1、平均标准误差(ASE)与均方根预测误差(RMS)最接近这 3 个主要评判标准,经过模拟最终选取最优拟合函数模型(表 2)。

从拟合结果来看, χ_{lf} 、 χ_{hf} 符合球面函数模型, χ_{fd} 符合指数函数模型, SOC 符合三角函数模型。从变程看, χ_{lf} 、 χ_{hf} 、SOC 分

表 1 位山引黄灌区农田土壤磁化率和有机碳的描述性统计

项目	最大值	最小值	均值	中位数	标准差	变异系数	偏度	峰度	K-S 值	分布
χ_{lf}	78.88 ^①	48.34 ^①	66.04 ^①	66.15 ^①	6.73	10.18 ^②	-0.40	0.288	0.86	正态
χ_{hf}	74.08 ^①	43.25 ^①	61.53 ^①	61.49 ^①	6.46	10.49 ^②	-0.44	0.858	0.65	正态
χ_{fd}	10.75 ^②	1.20 ^②	6.85 ^②	6.61 ^②	0.02	25.50 ^②	-0.83	0.538	0.11	经对数转换服从正态
SOC	13.69 ^③	4.17 ^③	8.68 ^③	8.60 ^③	2.23	25.68 ^②	-0.10	-0.020	0.93	正态

注:①单位为 $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$;②单位为%;③单位为 g/kg。

表 2 位山引黄灌区农田土壤磁化率和 SOC 半变异函数模型参数及检验指标

变量	插值模型	变程 (km)	C_0	$C_0 + C$	$C_0/(C_0 + C)$ (%)	检验指标			
						ME	RMSS	ASE	RMS
χ_{lf}	球面函数	13.34~18.02	4.309 6	6.107 3	70.57	-0.005	0.929	7.269	6.730
χ_{hf}	球面函数	13.34~18.19	3.666 1	5.342 5	68.62	-0.012	0.920	6.778	6.225
χ_{fd}	指数函数	12.38~16.54	0.001 3	0.004 4	29.55	-0.035	1.043	0.013	0.014
SOC	三角函数	13.99~17.92	3.704 6	4.230 7	87.56	-0.004	1.063	2.177	2.315

别在 13.34 ~ 18.02 km、13.34 ~ 18.19 km、12.38 ~ 16.54 km、13.99 ~ 17.92 km 范围内存在空间相关性。土壤 χ_{td} 的自相关尺度最大,说明其在较大范围内具有相关关系,反映出结构性因素对其影响较大。

除 χ_{lr} 、 χ_{hr} 、SOC 外, χ_{td} 的块金值 (C_0) 为 0.001 3,说明由试验误差和小于试验取样尺度引起的土壤性质的变异较小;各变量的基台值 ($C_0 + C$) 均为正值,说明存在由采样误差、短距离的变异、随机性和结构性变异引起的各种正基底效应。由于块金值 (C_0)、基台值 ($C_0 + C$) 不能用于比较不同变量间的随机变异,而块金系数 [$C_0 / (C_0 + C)$] 可以反映块金值占总空间异质性变异的大小,即由随机性因素所引起的异质性占总空间异质性的大小。比值较高,说明由随机性因素引起的空间变异程度较大,比值较低,说明由空间自相关部分引起的空间变异程度较大。按照区域化变量空间相关性程度的分级标准^[21],土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 、 χ_{td} 的块金系数分别为 70.57%、68.62%、29.55%,均在 25% ~ 75% 之间,说明研究区农田土壤的磁化率含量具有中等空间相关程度;土壤 SOC 的块金系数为 87.56%,大于 75%,说明研究区农田土壤 SOC 含量的空间相关性很弱。参考相关研究成果表明,研究区农田土壤 χ_{td} 的块

金系数为 29.55%,小于 50%,说明由结构性因素(土壤母质、气候、地形等)引起的空间变异程度大于由随机性因素(灌溉、施肥、耕种和土壤改良等)产生的空间变异^[22];本研究土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 和 SOC 的块金系数均大于 50%,说明由随机性因素引起的空间变异程度大于由结构性因素产生的空间变异。

3.3 农田土壤磁化率和 SOC 的空间分布特征

运用半变异函数模型结果在 ArcGIS 10.2 软件中进行 Kriging 空间插值,得到研究区农田土壤磁化率和 SOC 的空间分布(图 2)。土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 的空间分布规律相似,研究区土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 值普遍较高,而高唐县北部、临清市西北部土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 值分布最高,阳谷县东部、东昌府区东南部和东阿县大部等黄河沿岸区域农田土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 值较低。研究区农田土壤 χ_{td} 值表现为东北—西南条带状延伸、由北向南逐渐增大的空间分布趋势。研究区农田土壤 SOC 含量的空间分布呈现出东西高、中部低的空间分布格局。其中,阳谷县东部、东阿县西部、东昌府区大部、冠县东北部和临清市大部引黄灌渠和河流交错密集区土壤 SOC 含量相对较低,临清市中部、东昌府区北部的小面积区域土壤 SOC 含量最低。总体而言,土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 、 χ_{td} 值、SOC 含量的空间分布具有明显差异。

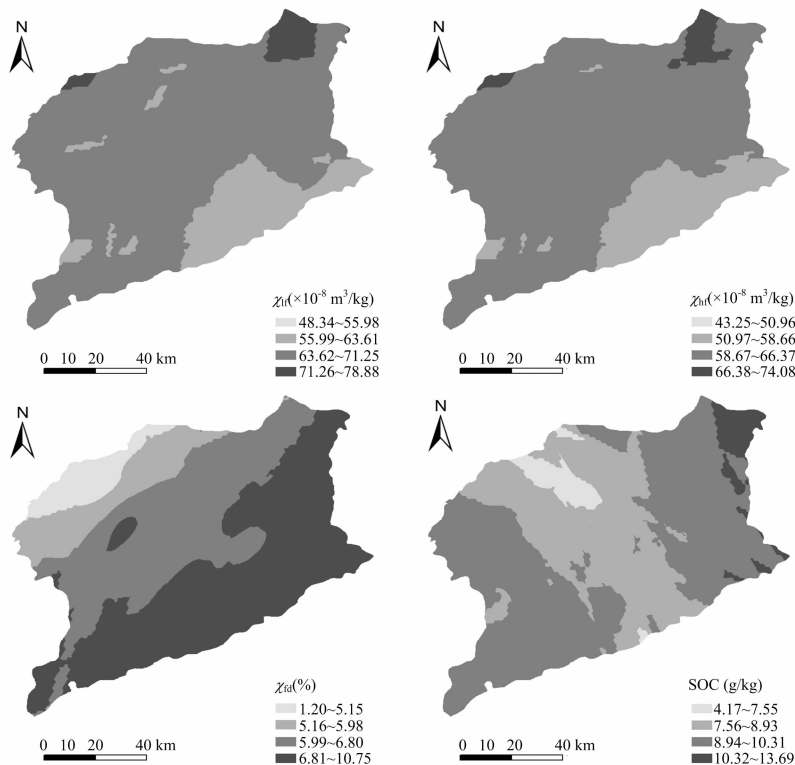


图2 耕层土壤磁化率和 SOC 空间分布

4 结论与讨论

4.1 农田土壤磁化率特征的影响因素

聊城市位山引黄灌区农田土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 平均值分别为 66.04×10^{-8} 、 61.53×10^{-8} m^3/kg ,其空间分布格局具有一定的空间变异性,主要受结构性和随机性因素共同影响。其中,结构性因素主要包括土壤成土母质、土壤类型、气候和地形等因素,随机性因素主要包括灌溉、施肥、种植制度和管理措施

等因素。黄河沿岸地区土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 值明显低于西北大部分地区,主要是由于沿黄河地区黄河泥沙输入较多所致。高唐县北部局部土壤 χ_{lr} 、 χ_{hr} 值较高,可能与该区域化石燃料的大量使用有关。相关研究表明,引黄灌溉会导致土壤磁化率变化^[23],而化石燃料的燃烧会产生大量亚铁磁性矿物^[24],加之研究区土壤耕作历史悠久,近年来聊城市各县区大力发展化工、有色金属加工、机械装备制造以及交通运输业等产业,这些都有可能研究区农田土壤磁化率的增强。

研究区农田土壤 χ_{fd} 在较大范围内具有较好的空间相关性。已有研究表明, χ_{fd} 反映粒径介于超顺磁 ($<0.03 \mu\text{m}$) 与单畴 ($0.03 \sim 0.10 \mu\text{m}$) 阈值范围内的颗粒对磁化率的贡献, 能够在一定程度上判断超顺磁颗粒的相对含量^[25]。研究区农田土壤的 χ_{fd} 特征表明, 引黄灌区农田土壤在成土过程中会形成大量的超顺磁颗粒。土壤 χ_{fd} 的空间自相关性主要与母质、气候、地形等结构性因素有关^[26]。在本研究区内, 全区属于黄泛冲积平原, 母质相同, 因而母质不是影响 χ_{fd} 空间分布的主要因素。聊城市境内地势西高东低, 表层土壤中超顺磁颗粒可能受地势坡度影响, 在空间上呈现随坡度减缓而逐渐积累增加的趋势。

4.2 农田土壤 SOC 特征的影响因素

位山引黄灌区农田土壤 SOC 含量为 $4.17 \sim 13.69 \text{ g/kg}$, 均值为 8.68 g/kg , 在空间上表现出东西高、中部低的分布格局, 这主要与人类活动等随机性因素相关。已有研究表明, 研究区土壤有机质具有东西高、中部低的空间分布特征, 且这一空间差异性有加剧趋势^[27], 这与本研究中的土壤 SOC 空间分布格局是一致的。作为重要的粮食主产区, 聊城市农业生产过程中长期施肥、燃烧秸秆还田等人为活动影响持久^[28-29], 这可能也是东、西部农田土壤 SOC 含量较高的主要原因。位于研究区中部的阳谷县东部、东阿县西部、东昌府区大部、冠县东北部、临清市大部农田土壤的 SOC 含量相对较低, 这可能与引黄灌渠、河流等带来的大量泥沙有关, 泥沙是导致土壤 SOC 含量减少的主要载体^[30-31]。该区域密集分布的引黄灌渠、京杭运河、小运河均携带着大量的泥沙, 农田土壤的 SOC 含量因灌溉过程中泥沙入田而下降。研究区临清市中部、东昌府区北部为农田土壤 SOC 含量最低区域 ($4.17 \sim 7.55 \text{ g/kg}$)。相关研究表明, 林地转换为耕地可导致土壤 SOC 含量下降^[32-36]。区内临清市中部、东昌府区北部区域农田土壤的 SOC 含量最低, 可能与林地转换为耕地有关。

聊城市位山引黄灌区耕层土壤 χ_{ir} 、 χ_{hr} 值分别为 $48.34 \sim 78.88 \times 10^{-8}$ 、 $43.25 \sim 74.08 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 均值分别为 66.04×10^{-8} 、 $61.53 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; χ_{fd} 的变化范围为 $1.20\% \sim 10.75\%$, 均值为 6.85% ; SOC 含量为 $4.17 \sim 13.69 \text{ g/kg}$, 均值为 8.68 g/kg 。

地统计分析结果表明, 变异函数的最优理论模型中, 土壤 χ_{ir} 、 χ_{hr} 为球面函数模型, χ_{fd} 为指数函数模型, SOC 为三角函数模型。土壤 χ_{ir} 、 χ_{hr} 、 χ_{fd} 的块金系数分别为 70.57% 、 68.62% 、 29.55% , 研究区耕层土壤的磁化率含量具有中等空间相关程度; 土壤 SOC 的块金系数为 87.56% , 具有较强的空间变异性。

采用 Kriging 最优内插法得到的土壤磁化率和 SOC 的空间分布结果表明, 研究区黄河沿岸农田土壤 χ_{ir} 、 χ_{hr} 低于其他大部分区域, 主要受到引黄灌溉引沙入田的影响。土壤 χ_{fd} 在空间上呈东北—西南方向逐渐增大的条带状分布格局, 主要取决于土壤母质、气候、地形等结构性因素影响; 土壤 SOC 含量呈东西高、中部低的空间分布格局, 主要与引黄灌溉引沙入田以及林地转为耕地等随机性因素有关。

参考文献:

[1] Ryan J, Ibrikci H, Singh M, et al. Response to residual and currently

applied phosphorus in dryland cereal/legume rotations in three Syrian mediterranean agroecosystems[J]. European Journal of Agronomy, 2008, 28(2): 126–137.

[2] Cheng X F, Shi X Z, Yu D S, et al. Spatial variance and distribution of total nitrogen and organic matter of soil in Xingguo County of Jiangxi, China[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2004, 10(1): 64–67.

[3] Thompson R, Bloemendal J, Dearing J A, et al. Environmental applications of magnetic measurements[J]. Science, 1980, 207(4430): 481–486.

[4] Mullins C E. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science – a review[J]. European Journal of Soil Science, 1977, 28(2): 223–246.

[5] Hoffmann V, Knab M, Appel E. Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66(1/2): 313–326.

[6] 潘 赞, 胡雪峰. 土壤磁性矿物的多元成因——成土作用成因与人为污染成因磁性的区分[J]. 土壤学报, 2010, 47(2): 206–215.

[7] 段雪梅, 胡守云, 闫海涛, 等. 南京某钢铁公司周边耕作土壤的磁学性质与重金属污染的相关性研究[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2009, 39(9): 1304–1312.

[8] 张 果, 胡雪峰, 吴小红, 等. 上海城市土壤磁化率的垂向分布特征及环境指示意义[J]. 土壤学报, 2011, 48(2): 429–434.

[9] 张 博, 刘卫国. 黄土高原及周边地区土壤有机质对现代土壤磁化率的影响[J]. 地球环境学报, 2016, 7(2): 153–162.

[10] 王 新, 夏敦胜, 王 博, 等. 西北干旱区农田土壤磁性特征及其环境意义[J]. 环境科学, 2017, 38(8): 3507–3518.

[11] 杨萍果, 杨 苗, 桂桂杰, 等. 山西临汾煤焦铁铸工厂周边土壤磁化率和有效态微量重金属含量的空间变异性[J]. 地球环境学报, 2013, 4(1): 1215–1221.

[12] 陈铁楠, 张永清, 张希云, 等. 晋南某钢厂周边土壤重金属与磁化率分布规律及其相关性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(1): 85–91.

[13] 许端平, 李晓波, 苗 丹, 等. 不同粒级土壤磁化率与重金属污染特征的相关关系[J]. 环境工程学报, 2015, 9(12): 6121–6127.

[14] 周鸿斌, 角媛梅, 史正涛, 等. 云南泔江沿岸农田土壤磁测分析与重金属污染评价[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1586–1591.

[15] 欧阳婷萍, 万洪富, 张金兰, 等. 珠江三角洲农业土壤磁化率空间分布特征及其影响因素分析[J]. 第四纪研究, 2012, 32(6): 1199–1206.

[16] 刘衍君, 李增福, 张保华, 等. 聊城市土壤微量元素含量及空间分布特征研究[J]. 江苏农业科学, 2010(4): 372–374.

[17] 吕真真, 刘广明, 杨劲松, 等. 环渤海沿海区域土壤养分空间变异及分布格局[J]. 土壤学报, 2014, 51(5): 944–952.

[18] 汤国安, 杨 昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[19] 张金萍, 张保华, 刘子亭, 等. 山东省禹城市耕层土壤有机质含量变化的空间变异[J]. 土壤通报, 2009, 40(2): 258–261.

[20] 张玉铭, 毛任钊, 胡春胜, 等. 华北太行山前平原农田土壤养分的空间变异性研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2049–2054.

[21] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field – scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1501–1511.

尹晓媛,李建华,付星基,等.基于分形理论的乌蒙山区建设用地空间结构研究[J].江苏农业科学,2018,46(19):286-291.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.074

基于分形理论的乌蒙山区建设用地空间结构研究

尹晓媛¹,李建华^{1,2},付星基¹,刘甲明¹,向冬蕾¹,陈运春^{1,2}

(1. 云南农业大学水利学院,云南昆明 650201; 2. 云南农业大学国土资源科学技术工程研究中心,云南昆明 650201)

摘要:基于大尺度区域卫星遥感影像,采用监督分类法提取乌蒙山区 2015 年建设用地信息,利用分形理论和地理信息系统(geographic information system,简称 GIS)空间分析方法,研究乌蒙山区建设用地空间结构特征及其区域差异规律,应用灰色关联法对分形特征影响因素进行探讨。结果表明:(1)乌蒙山区建设用地破碎化程度高,面积大于 10 km² 的斑块仅有 1 个,为云南省昭通市昭阳区,建设用地总面积为 908 km²; (2)建设用地分维数 D 排序为云南片区 > 四川片区 > 贵州片区,各片区稳定指数 SK 介于 0.392 0~0.421 3 之间,乌蒙山区建设用地空间结构稳定性总体较高;(3)乌蒙山区 38 县(市、区)建设用地分形特征差异明显,普格县空间结构最复杂,稳定性较低,赫章县空间结构最简单,稳定性较高;(4)建设用地分形特征主要受平均形状指数的影响,斑块数对建设用地分维数影响最弱。

关键词:建设用地;分形特征;影响因素;乌蒙山区

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)19-0286-06

Mandelbrot 以英国海岸线特征为例,研究其自相关性并测算出分形维数,自此产生了分形理论^[1]。该理论已被广泛应用于自然与社会等研究领域,成为目前许多学科的研究热点之一^[2-4]。分形理论主要被运用于描述不规则及破碎图像的几何形态^[1],能够解析自然界中复杂物体的几何特征,已成为研究建设用地空间形态的科学理论与方法^[5]。关于建设用地的现有研究主要涉及建设用地功能演变、扩张机制、抑制策略、模拟预测等方面^[6-8],一般基于“3S”、数理模型及统计分析,采用信息熵、景观格局指数、空间计量、转移矩阵等方

法来探讨建设用地的空间变化^[9-11],然而该类方法较难深入研究。应用分形理论相关方法,通过研究建设用地的内在复杂性和稳定程度,诠释建设用地空间分形特征^[3],可有效弥补景观格局指数等传统理论方法的不足^[12-14],能够为土地利用/覆盖变化(LUCC)的相关研究提供理论支撑^[15-16]。

乌蒙山区是我国 14 个集中连片的特殊困难地区之一^[17],属长江流域金沙江、乌江、清江三大水系,是我国新一轮扶贫攻坚的主战场。该区地形地貌复杂,常年存在建设用地不合理利用和无序扩张等问题。随着城镇化的快速推进,建设用地需求激增,加剧了乌蒙山区建设用地空间形式的破碎化,使得单位土地产出愈发低效,人地矛盾日益突出,加深了贫困状态的严重程度。目前,相关研究以定性探讨乌蒙山区扶贫开发的理论、方法与策略为主,较少开展应用分形理论定量地分析乌蒙山区建设用地空间特征等问题的研究。本研究基于乌蒙山区 2015 年遥感影像,以遥感(remote sensing,

收稿日期:2018-01-03

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项(编号:201511003-1)。

作者简介:尹晓媛(1994—),女,云南楚雄人,硕士研究生,主要从事土地整治与利用研究。E-mail:14787893986@163.com。

通信作者:陈运春,硕士,副教授,主要从事土地整治与规划研究。

E-mail:2837973986@qq.com。

[22] 罗由林,李启权,王昌全,等.四川省仁寿县土壤有机碳空间分布特征及其主控因素[J].中国生态农业学报,2015,23(1):34-42.

[23] 王幼奇,白一茹,王建宇.引黄灌区不同尺度农田土壤重金属空间分布及污染评价:以银川市兴庆区为例[J].环境科学,2014,35(7):2714-2720.

[24] 孙蓉花,陈学刚,董煜,等.克拉玛依城市土壤磁化率、有机质和 pH 值的特征及关系研究[J].生态科学,2016,35(6):152-158.

[25] Dearing J A, Hay K L, Baban S M J, et al. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set [J]. Geophysical Journal International, 2007, 127(3): 728-734.

[26] 杨萍果.山西襄汾农田土壤磁化率和养分空间变异性[J].中国沙漠,2013,33(3):813-818.

[27] 赵鲁全.1985—2005 年聊城市土壤有机质的时空变异分析[J].环境科学研究,2011,24(4):421-427.

[28] 张保华,张金萍,汤庆新,等.引黄灌溉对耕层土壤肥力的影响研究[J].人民黄河,2008,30(10):67-68.

[29] 曹建荣,董杰,刘衍君,等.聊城市耕层土壤养分时空变化特征[J].湖北农业科学,2010,49(6):1340-1343.

[30] 贾松伟,贺秀斌,陈云明,等.黄土丘陵区土壤侵蚀对土壤有机碳流失的影响研究[J].水土保持研究,2004,11(4):88-90.

[31] 郭太龙,谢金波,孔朝晖,等.华南典型侵蚀区土壤有机碳流失机制模拟研究[J].生态环境学报,2015,24(8):1266-1273.

[32] 周涛,史培军.土地利用变化对中国土壤碳储量变化的间接影响[J].地球科学进展,2006,21(2):138-143.

[33] 王存龙,刘华峰,王红晋,等.山东黄河下游流域土壤碳储量及时空变化研究[J].地球与环境,2014,42(2):228-237.

[34] 周涛,史培军,王绍强.气候变化及人类活动对中国土壤有机碳储量的影响[J].地理学报,2003,58(5):727-734.

[35] 杨玉盛,谢锦升,盛浩,等.中亚热带山区土地利用变化对土壤有机碳储量和质量的影响[J].地理学报,2009,62(11):1123-1131.

[36] 崔永琴,马剑英,刘小宁,等.人类活动对土壤有机碳库的影响研究进展[J].中国沙漠,2011,31(2):407-414.