

东北典型黑土区土壤养分空间分异影响因素分析^{*}

于 洋, 刘吉平, 徐艳艳

(吉林师范大学 旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000)

摘 要:结合常规统计方法与 GIS 空间分析方法,采用经典回归模型和空间滞后模型,定量研究了榆树市土壤养分空间变异的主要影响因素。研究表明,土壤中碱解氮元素的空间变异主要受河流、居民点、小路 3 个因子影响;土壤中速效磷空间变异的影响因子是到居民点的距离、到小路的距离,说明速效磷的空间变异主要受人文因素的影响;土壤中速效钾空间变异影响因素相对复杂,水文因素、人文因素、地貌因素对速效钾的空间分布均有影响,其中地貌因素的影响最为显著;土壤中有机质空间变异的影响因子包括湖泊、河流、大路、居民点、坡度,和速效钾空间变异的影响因子相同,但各个因素的影响相对均衡。比较两种模型发现,在土壤养分存在明显自相关的情况下,空间滞后模型的模拟效果明显优于经典回归模型。

关键词:GIS; 土壤养分空间变异; 空间滞后模型

中图分类号:S153.61; TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)05-0066-04

Spatial Variability Characteristics of Soil Nutrient Contents in the Black Soil Region of Northeastern China

YU Yang, LIU Jj-ping, XU Yan-yan

(College of Tour Management and Geography, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China)

Abstract:Combining the methods of Statistical Analysis and GIS spatial analysis, a quantitative study on the spatial variability characteristics of soil nutrient contents are made by taking the standard multiple linear regression model and spatial log regression model in Yushu city. The results showed that the spatial variability characteristics of nitrogen was mainly influenced by the distance of river, settlements and path. The influencing factors of the spatial variability characteristics of phosphorus was the distance of settlements and path, it is suggested that the spatial variability characteristics of phosphorus was mainly influenced by the humanity factors; the spatial variability characteristics of potassium is a very complicated process and might be influenced by multiple factors such as hydrological effects, humanity factors and topography, among these factors topography is the most striking; the influencing factors of the spatial variability characteristics of soil organic matter is same as potassium, but the influence of the factors is relatively balanced. Compared with the models, we can see that the spatial log regression model is superior to the classical regression model when the soil nutrients have remarkably spatial autocorrelation.

Key words:GIS; the spatial variability characteristics of soil nutrient; spatial log regression model

土壤性质受成土母质、地形及人类活动等自然因素和人为因素的影响,具有时间和空间的变化特征,东北平原是我国重要的农业区,其土壤类型以黑土为主,黑土具有良好的物理、化学和生物特性,是优良的耕作土壤,研究其土壤养分空间变异的影响因素,是土地利用规划、提高经济收益和完善管理措

施的前提,也是实施精准农业的理论依据。近年来,国内外关于土壤养分空间变异的研究很多,大多研究都是以某一种元素为例,具体研究其变化机理^[1-8],很少有对某个区域多个元素的影响因素做整体研究^[9],因此,将研究区域内土壤养分变异多个影响因素做整体分析,才能更科学地了解研究区的土

^{*} 收稿日期:2009-04-29

基金项目:国家 863 计划项目(2006AA10A309);吉林省科技支撑计划项目(20080207);吉林师范大学产学研示范基地项目(2008006)

作者简介:于洋(1981-),男,吉林省四平市人,硕士,研究方向:资源环境信息系统。E-mail:yuyang_0326@163.com

通信作者:刘吉平(1972-),男,山东省定陶县人,副教授,博士,研究方向:资源环境信息系统。E-mail:liujpjl@163.com

壤特性以及变化规律,更合理的指导农业生产。以典型黑土区——吉林省榆树市为例,应用地统学的基本原理和方法,结合 GIS 技术,对土壤养分的空间变异情况进行研究,探讨研究区不同的影响因子与土壤养分空间分布的相关性,从而为有效的指导农业生产提供科学依据。

1 研究区概况

榆树市位于吉林省中北部,地处长春、吉林、哈尔滨 3 大城市构成的三角区中心,全市辖 30 个乡镇,4 个街道办事处,388 个村,总人口 122 万人。幅员面积 4 722 km²,耕地 29.07 万 hm²,占全市总面积 68%,是典型的黑土区,农业资源富足,是全国重点商品粮基地县(市)之一,盛产玉米、大豆、水稻、高粱,素有“粮豆之乡”、“松辽平原第一仓”的美誉。

以榆树市 3 个乡镇作为研究区域,位于 126°15′ - 126°30′ E、45°10′ N - 44°50′ N,海拔 135 ~ 230 m,地貌类型以平原,低山丘陵为主,研究区内河、湖、泡、居民点较多。研究区属中温带半湿润温和气候区,四季分明,日照充足(日照率达 60%),年均日照 2 800 h,最高气温 37.5℃,有效积温 2 800℃。年主导风向为西南风,最大风速 3 m/s。年均降雨量 620 mm,具备农作物和经济作物生长的良好气象条件。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

于 2006 年、2007 年利用 GPS 定位,采样方法为梅花五点采样法,采样网格大小为 40 m ×40 m、80 m ×80 m、160 m ×160 m 和 320 m ×320 m 不等,采集 2 356 个样方,共计 21 850 hm²。然后随机抽取得到 971 个采样点进行分析化验,分析每个样方中有机质、碱解氮、速效磷、速效钾的含量,有机质采用重铬酸钾容量法——外加热法,碱解氮采用碱解扩散法,速效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠法——钼锑抗比色法,速效钾采用醋酸铵浸提——火焰光度法测定。河流、湖泊、居民点、道路等是由 2007 年 TM/ETM 影像解译而来的,数字化该区(吉林省测绘局 2004)1:50 000 地形图,生成 DEM,可得到海拔高度、等高点信息。

2.2 研究方法

选择对土壤养分分布有可能影响的一些地貌、水文和人文因子,主要包括距河流的距离、距湖泊的距离、距居民点的距离、距大道(县级以上公路)的距离、距小道(县级以下公路)的距离、坡度、坡向 7 个变量作为影响土壤养分分布的因子。在 ArcGIS 下

利用克里格插值提取采样点坡度、坡向;使用 near 命令提取采样点的其它距离因子。为了消除量纲和数量级的影响,对各因子进行极值标准化处理和正态分布性检验,然后利用 SPSS 软件进行逐步回归分析,筛选出对土壤养分影响显著的因子。使用 GeoDa 软件,计算各土壤养分及其影响因子的全局 Moran's I 指数,并对其进行检验,分别采用经典回归模型和空间滞后模型对土壤养分空间变异进行模拟,并通过残差分析和 LIK 值比较模型的优劣。

3 结果与分析

3.1 经典回归模型

对影响土壤中碱解氮、速效磷、速效钾、有机质空间变异的因素进行逐步回归分析,结果显示:土壤中碱解氮的空间变异主要受河流、居民点、小路 3 个因子影响,呈现负相关性,其中小路对碱解氮的空间变异影响较大(见表 1)。

表 1 N 经典回归分析系数表

变 量	回归系数	标准误差	T 值	P 值
常 数	131.165	1.871	70.109	0.000
河 流	- 0.005	0.001	- 5.124	0.000
居民点	- 0.005	0.002	- 2.929	0.003
小 路	- 0.007	0.0031	- 2.208	0.027

土壤中速效磷空间变异的影响因子是到居民点的距离、到小路的距离,说明速效磷的空间变异主要受人文因素的影响(见表 2)。

表 2 P 经典回归分析系数表

变 量	回归系数	标准误差	T 值	P 值
常 数	59.907	1.707	35.096	0.000
居民点	- 0.006	0.002	- 3.196	0.001
小 路	- 0.008	0.004	- 2.282	0.023

土壤中速效钾元素空间变异的影响因素相对复杂,水文因素、人文因素、地貌因素对 K 的空间分布均有影响,其中地貌因素的影响最为显著(见表 3)。

表 3 K 经典回归分析系数表

变 量	回归系数	标准误差	T 值	P 值
常 数	208.523	6.396	32.603	0.000
湖 泊	0.013	0.002	6.090	0.000
居民点	- 0.025	0.004	- 5.904	0.000
大 路	- 0.009	0.002	- 4.575	0.000
坡 度	- 7.221	2.400	- 3.009	0.003
河 流	- 0.007	0.002	- 2.992	0.003

土壤中有机质空间变异的影响因子包括湖泊、河流、大路、居民点、坡度,和 K 元素空间变异的影响因子相同,但各个因素的影响力相对均衡(见表 4)。

表 4 有机质经典回归分析系数表

变 量	回归系数	标准误差	T 值	P 值
常 数	3. 3615	0. 1274	26. 3790	0. 0000
河 流	- 0. 0002	0. 0000	- 5. 0781	0. 0000
大 路	- 0. 0004	0. 0000	- 8. 4549	0. 0000
居民点	0. 0001	0. 0000	2. 5808	0. 0100
湖 泊	- 0. 0003	0. 0001	- 3. 0351	0. 0025
坡 度	- 0. 1042	0. 0478	- 2. 1791	0. 0296

3.2 空间滞后模型

使用 GeoDa 软件 ,计算各土壤养分及其影响因子的全局 Moran 's I 指数 ,并对其进行检验。结果表明 ,土壤养分碱解氮、速效磷、速效钾、有机质的全局 Moran 's I 指数分别为 0. 39 ,0. 24 ,0. 84 ,0. 35 ,都在 0. 01 水平上显著 ,因此可以对其建立空间自回归模型。通过 GS + 软件可以算出样本点碱解氮、速效磷、速效钾、有机质的空间变异的距离 ,其中碱解氮的最大变异距离为 176 m ,速效磷的最大变异距离为 141 m ,速效钾的最大变异距离为 239 m ,有机质的最大变异距离为 168 m。利用最大变异距离生成空间权重矩阵 ,运用 GeoDa 软件对影响碱解氮、速效磷、速效钾、有机质空间变异的显著因子做空间自回归分析 ,结果如下 :

表 5 N 空间滞后模型

变 量	回归系数	标准误差	Z 值	P 值
W_N	- 0. 00962	0. 01034	- 0. 93064	0. 35204
常 数	131. 69380	1. 95525	67. 35388	0. 00000
河 流	- 0. 00467	0. 00094	- 4. 94667	0. 00000
居民点	- 0. 00473	0. 00174	- 2. 72033	0. 00652
小 路	- 0. 00668	0. 00304	- 2. 1982	0. 02793

碱解氮元素空间自回归模型中 ,经典回归模型中的影响碱解氮空间变异的各显著因子依然显著 ,考虑空间自相关影响后各因子回归系数绝对值有所减小。

表 6 P 空间滞后模型

变 量	回归系数	标准误差	Z 值	P 值
W_P	0. 07967	0. 02128	3. 74348	0. 00018
常 数	59. 73760	1. 69140	35. 31846	0. 00000
居民点	- 0. 00782	0. 00202	- 3. 87271	0. 00011
小 路	- 0. 00869	0. 00354	- 2. 45303	0. 01417

与速效磷元素经典回归模型相比较 ,速效磷空间自回归模型中 ,各因子回归系数绝对值有所增加 ,并且各因子的显著性检验明显提高。

土壤中速效钾空间自回归模型中各影响因子与经典回归模型相比变化较大 ,其中河流的显著性检验明显提高 ,而坡度的显著性检验不如经典回归模型显著。

与经典回归模型相比 ,影响土壤有机质空间变

异的各因子中 ,河流、居民点、坡度的回归系数绝对值有所增加 ,大路和湖泊的回归系数有所减小 ;同时居民点显著性检验有所提高。

表 7 K 空间滞后模型

变 量	回归系数	标准误差	Z 值	P 值
W_K	0. 12850	0. 01896	6. 77830	0. 00000
常 数	187. 19430	7. 01778	26. 67430	0. 00000
湖 泊	0. 01330	0. 00212	6. 28304	0. 00000
河 流	- 0. 00773	0. 00231	- 3. 34584	0. 00082
大 路	- 0. 00806	0. 00186	- 4. 32448	0. 00002
居民点	- 0. 02624	0. 00418	- 6. 27721	0. 00000
坡 度	- 6. 04825	2. 33071	- 2. 59503	0. 00946

表 8 有机质空间滞后模型

变 量	回归系数	标准误差	Z 值	P 值
W_有机质	- 0. 02560	0. 02088	- 1. 22562	0. 22034
常 数	3. 41339	0. 13523	25. 24079	0. 00000
河 流	- 0. 00040	0. 00005	- 8. 41468	0. 00000
大 路	- 0. 00020	0. 00004	- 5. 20278	0. 00000
湖 泊	0. 00010	0. 00004	2. 37513	0. 01754
坡 度	- 0. 11052	0. 04785	- 2. 30956	0. 02091
居民点	- 0. 00024	0. 00009	- 2. 78985	0. 00527

3.3 两种模型比较

残差分析是回归方程检验中的重要组成部分 ,所谓残差 ,是指回归方程计算得到的预测值与实际样本值之间的差距 ,定义为 $e_i = y_i - \hat{y}_i$ 。实际应用中经常使用残差平方和 (又称为误差平方和) 来衡量回归模型的优劣 ,误差平方和 (SSE) 值低 ,模型解释能力较强。但是误差平方和会受单位和量纲的影响 ,因此只能用于横向比较。

衡量回归模型优劣的参数还有 Maximized Log Likelihood (LIK) 和 R^2 。当样本存在空间自相关存在的情况下 ,传统的 R^2 不再适用于空间自回归方程 ,而用类 R^2 代替。 R^2 (类 R^2) 和 LIK 值越高 ,空间自回归模型解释能力越强^[18-19]。

比较两种模型的误差平方和 (SSE)、 R^2 、LIK 值 ,见表 9。

显然 ,土壤养分碱解氮、速效磷、速效钾、有机质的空间滞后模型的误差平方和均低于经典回归模型 ,且 R^2 和 LIK 值高于经典回归模型。说明当土壤养分存在明显自相关的情况下 ,空间滞后模型的模拟效果明显优于经典回归模型。

4 结论与讨论

(1) 土壤中的碱解氮、速效钾、有机质由于自身的理化特性使其具有较为相近的变异特点 ,由于降水 ,地表径流等使得土壤中的碱解氮、速效钾、有机质元素发生不同程度溶解和流失^[1-2,16-17] ,所以距离

河流越近的地方养分流失越严重。同时河流所携带的养分汇集湖泊,使得有机质及速效钾的含量增加,碱解氮和速效磷由于其自身特性^[10],增加的并不显著;降水淋溶土壤有机质、速效钾元素向土壤深层流失^[15],使得坡度对土壤养分变异产生影响,坡度越大养分流失越快。

表 9 模型检验参数表

检验方法 模 型	误差平方和(SSE)		R^2 /类 R^2		LIK 值	
	空间滞后模型	经典回归模型	空间滞后模型	经典回归模型	空间滞后模型	经典回归模型
N	249748.7	249977.1	0.038748	0.037869	- 4075.97	- 4076.40
P	338795.2	344161.6	0.034420	0.019126	- 4224.87	- 4231.79
K	1441601	1523753	0.130440	0.080887	- 4930.35	- 4954.87
有机质	603.8583	604.8911	0.089446	0.087889	- 1147.97	- 1148.69

影响土壤养分空间变异的人为因素比较复杂,居民点对土壤中碱解氮、速效磷、速效钾、有机质均有不同程度的影响,土壤养分比耕种区有明显减少,居民点内小区域环境不适合土壤养分的贮存和积累^[7],而在农耕区常年施肥^[4,13]、秸秆还田、烧荒等很多因素都会不同程度的增加土壤中各种养分的含量。道路对土壤养分变化的影响主要表现在,道路从构成上要高于周围的邻近地区,并且受到人为污染的干扰较大,使得道路附近的土质和小气候环境不利于农作物生长及养分的积累。

(2)土壤养分存在明显自相关的情况下,对经典回归模型与空间滞后模型模拟效果进行比较,影响土壤养分空间变异的各个因子之间也存在着相关性,这种相关性对影响因子反映土壤养分的显著性有影响,经典回归模型没有将这种相关性考虑在内,得出的结论是数值反映出的空间相关性,空间滞后模型考虑各因子间的空间自相关影响后对影响因子进行分析,能够更科学合理的反映出各个影响因子对土壤养分空间变异的显著性。通过对误差平方和、 R^2 和 LIK 值等指标的比较。说明当土壤养分存在明显自相关的情况下,空间滞后模型的模拟效果明显优于经典回归模型,模拟结果更科学、更准确。

参考文献:

[1] 单艳红,杨林章.土壤磷素流失的途径、环境影响及对策[J].土壤,2004,36(6):602-608.
[2] 胡玉福,邓良基.土壤氮素空间变异特征及影响因素研究[J].水土保持学报,2008,22(3):70-81.
[3] Jastrow J D, Boutton T W, Miller R M. Carbon dynamics of aggregate associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance [J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,1996,60:801-807.
[4] 陈肖,张世熔.成都平原氮素的空间分布特征及其影响因素研究[J].植物营养与肥科学报,2007,13(1):1-7.
[5] 武俊喜,焦家国.长江平原区乡土景观的结构、管理及

其对土壤氮磷的影响[J].生态学报,2008,8(8):3606-3617.
[6] 孙志高,刘景双.三江平原不同土地利用方式下土壤氮库的变化特征[J].农业系统科学与综合研究,2008,8(3):270-274.
[7] 张慧敏.城市复合土地利用系统中土壤磷素的积累和流失潜力的空间分异[J].浙江大学学报,2008,4(4):453-460.
[8] 姜勇,庄秋丽.东北玉米带农田土壤磷素分布特征[J].应用生态学报,2008,19(9):1931-1936.
[9] 王宗明,张柏.东北平原典型农业县农田土壤养分空间分布影响因素分析[J].水土保持学报,2007,21(2):73-77.
[10] 杨钰,莞晓红.土壤磷素循环及其对土壤磷流失的影响[J].土壤与环境,2001,10(3):256-258.
[11] 姜勇,梁文举.田块尺度下土壤磷素的空间变异性[J].应用生态学报,2005,16(11):2086-2091.
[12] 秦胜金,刘景双.影响土壤磷有效性变化作用机理[J].土壤通报,2006,37(5):1012-1016.
[13] 谭德水,金继运.长期施肥钾对东北春玉米产量和土壤钾素状况的影响[J].植物营养与肥科学报,2007,40(10):2234-2240.
[14] 刘淑霞,王海玲.吉林省主要耕作土壤钾素状况研究[J].安徽农业科学,2007,35(33):10771-10772.
[15] 丛日环,李小坤.土壤钾素转化的影响因素及其研究进展[J].华中农业大学学报,2007,26(6):907-913.
[16] 高海鹰,黄丽江.不同降水强度对氮元素淋失的影响及 LEACHM 模型验证 [J]. 农业环境科学学报,2008,27(4):1346-1352.
[17] 张兴昌,邵明安.坡地土壤氮素与降雨、径流的相互作用机理及模型[J].地理科学进展,2000,6(2):128-135.
[18] 谢花林,刘黎明,李波,等.土地利用变化的多尺度空间自相关分析[J].地理学报,2006,61(4):389-400.
[19] 邱炳文,王钦敏,陈崇成,等.福建省土地利用多尺度空间自相关分析[J].自然资源学报,2007,22(2):311-320.