

黑土坡耕地土壤有机质与生产力的空间关系

王平

(黑龙江省水土保持科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150070)

摘要: [目的] 从田块尺度上揭示黑土坡耕地生产力与土壤有机质和全氮的空间关系, 为坡耕地水土流失的治理和农业生产提供参考。[方法] 利用经典统计学和地统计学的方法对典型黑土区坡耕地大豆产量与土壤有机质、全氮、海拔高度的空间关系进行分析。[结果] 坡耕地大豆产量、土壤有机质和全氮含量存在较大变异, 分别为 0.05~0.26 g/kg, 19.27~52.64 g/kg 和 0.95~2.38 g/kg, 但大豆产量与土壤有机质和全氮之间不存在显著的空间相关关系, 与海拔高度之间存在负相关, 但不显著。土壤有机质和土壤全氮之间存在极显著相关关系。[结论] 坡耕地生产力受地形、地下水位、成土过程等结构性因子的影响约占 2/3, 受人类耕作、施肥、种植作物的影响只占 1/3。水土流失是造成黑土农田生产力降低的主要因素。

关键词: 黑土; 坡耕地; 生产力; 有机质; 全氮

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0049-04

中图分类号: S158, S157.1

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.011

Spatial Correlation of Soil Organic Matter Content and Productivity in a Black Soil Sloping Farmland

WANG Ping

(Institute of Soil and Water Conservation of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang 150070, China)

Abstract: [Objective] A case research in a black soil sloping farmland was conducted to illustrate the spatial correlations among productivity, organic matter and total nitrogen content, in order to provide some hints for controlling of soil and water loss and improving of agricultural production in similar slope farmlands. [Methods] Spatial correlations among productivity, organic matter and total nitrogen content were analyzed by classical statistics and geostatistics methods. [Results] There was no significant correlations of soil productivity with organic matter content and total nitrogen content. A insignificant negative correlation ($p < 0.05$) between soil productivity and altitude was found. There existed a significant correlation between soil organic matter content and total nitrogen content ($p < 0.01$). [Conclusion] The productivity of the sloping farmland was greatly affected by soil structure factors, such as terrain, groundwater level and soil forming process; about sixty-seven percent of the variance of productivity can be explained by them. Other thirty-three percent variance was affected by cultivation, fertilizer application and planting. Soil erosion was thought to be the dominated process that lead to the reduction of the black soil productivity on sloping farmland.

Keywords: black soil; sloping farmland; productivity; organic matter; total nitrogen content

东北典型黑土区是我国最大的商品粮基地, 地貌特征为漫川漫岗, 垦殖率 70% 以上, 约 60% 为坡耕地, 黑土坡耕地存在不同程度的水土流失, 其过程表现为坡上和坡中的表层土壤被剥离后, 多数迁移并沉积于坡脚^[1-2]。坡耕地长期侵蚀的结果是剥蚀区黑土层变薄, 沉积区原黑土层被上游搬运的土壤所掩埋, 坡面土壤质量和生产力下降, 对农业生产造成了严重的危害^[3-4]。黑土侵蚀研究多集中于坡耕地水土流失

特征与治理措施、土壤侵蚀分布特征以及侵蚀沟发育机理等方面^[5-7], 水土流失与作物产量关系的研究近年得到了学者们的关注, 多采取剥离小区试验, 研究黑土层、土壤有机质、施肥等对作物产量的影响, 也有在小流域尺度研究作物产量和土壤有机质的关系。坡耕地土壤性状在空间上存在高度的异质性, 且在不同空间尺度影响土壤性质的关键因素也有差异^[8]。一般认为在田块尺度, 微地形也会对土壤理化特性产

收稿日期: 2015-03-12

修回日期: 2015-03-18

资助项目: 国家自然科学基金项目“土壤有机质与作物生产力的关系研究”(41071201)

第一作者: 王平(1965—)女(汉族), 黑龙江省哈尔滨市人, 学士, 高级工程师, 主要从事土壤侵蚀机理及水土流失监测技术方面研究。

E-mail: wp626588@163.com。

生显著影响^[3,9]。土壤性状的空间差异,势必造成作物产量的空间变化,只有在全坡面上研究性状间的空间关系,才能揭示其影响。地统计学已成功地应用到土壤性状空间分布及其空间异质性研究,弥补了经典统计分析方法在结构和过程分析的不足,能更有效地解释养分的时空分布格局对生态过程和功能的影响^[10]。因此,本研究以典型黑土区坡耕地为对象,利用经典统计学和地统计学的方法,探讨典型黑土区坡耕地大豆产量、土壤有机质、土壤全氮含量空间变异特性,从田块尺度上揭示黑土坡耕地生产力与土壤有机质和全氮的空间关系,以期黑土坡耕地水土流失的治理和农业生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

试验区位于典型黑土区的黑龙江省海伦市前进乡光荣村,试验地为东西长 75.5 m,南北长 310 m,总面积 1.42 hm² 的坡耕地,北纬 47°20′21″—47°20′38″,东经 126°50′21″—126°50′24″。西侧为分水岭,东侧为侵蚀沟。地势西北略高,向东南倾斜。海拔高度在 186.7~205 m,1942 年由榛柴林开垦为农田。年平均气温 1.5 ℃,1 月平均气温 -23.5 ℃,7 月平均气温 21 ℃,年平均降水量 550 mm,作物有效生长季为 120~130 d。2003 年 10 月秋翻后起南北向垄,2004 年种植大豆,施种肥 N107.2 kg/km²,P18.6 kg/km²。土壤为侵蚀黑土。

1.2 研究方法

2004 年春季播种前,采用系统布点法,设置 102 个观测点(采样点),样点东西间距 10.5 m,南北间距 20 m。于 2004 年施肥前采集耕层(0—20 cm)土样,将风干样过 2 mm 筛,用德国产 Vario EL III 型元素分析仪测定土壤全量碳氮含量。于 2004 年 9 月 28 日在每样点旁边采集两垄(垄距 0.7 m)长 3 m 小区大豆,测定籽实产量,转换为 14% 含水量的籽实产量。样品的描述性分析采用 SPSS 10.0 软件包,用美国 Gamma Design Soft Ware 公司的地统计学软件 GS+5.3 b 进行地统计学分析。具体步骤为:(1) 利用 SPSS 10.0 的 K-S 检验,对土壤性状进行正态分布检验,不满足正态分布的进行对数转换,直至满足正态分布为止;(2) 利用 GS+5.3 b 进行半方差函数分析和 Kriging 插值绘图。

2 结果与讨论

2.1 经典统计学分析

2.1.1 变异性分析 样本的平均数和中数是样本数

据的代表值,表示资料观测值的中心位置。标准差、变异系数、最大值、最小值表示数据的异质性程度。中数和平均数有一定的差异,中数略小于平均数,说明了特异值对样本的数值有一定的影响。从表 1 可以看出,大豆产量、土壤有机质、全氮的变化范围均较大,分别为 0.05~0.26 g/kg,19.27~52.64 g/kg,0.95~2.38 g/kg,说明坡耕地空间异质性较大。它们的变异系数均大于 0.1,小于 1,说明为中等强度变异^[11]。样本的倾斜度和峭度检验表明,土壤有机质和全氮符合正态分布,大豆产量经对数转化后符合正态分布。

表 1 坡耕地产量、土壤有机质、全氮的描述性统计

项目	产量/ (kg·m ⁻²)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)
样本数	102	102	102
最大值	0.26	52.64	2.38
最小值	0.05	19.27	0.95
中值	0.13	30.20	1.39
平均值	0.13	31.19	1.45
标准偏差	0.04	6.76	0.30
变异系数	0.262	0.217	0.205
倾斜度	0.54*	0.84	0.83
峭度	1.54*	0.38	0.44

注:* 为对数转化后值。下同。

2.1.2 相关性分析 绝大多数研究表明土壤有机质与土壤全氮具有显著的相关性^[5]。在该黑土坡耕地上,土壤有机质与全氮存在极显著正相关,相关系数高达 0.97,而土壤有机质和全氮与大豆产量间的相关性不显著,说明土壤有机质和全氮含量并不是决定黑土坡耕地产量的主要因素,前期的研究表明坡耕地大豆产量同播种前后的土壤含水量存在显著的空间相关关系^[1],即水土流失加剧土壤水分胁迫远较因土壤有机质下降对作物产量的影响大^[12]。大豆产量与海拔高度存在不显著负相关,主要是由于水土流失导致水肥在坡耕地较低区域富积。土壤有机质和全氮与海拔高度之间也存在极显著正相关,这与土壤形成过程有关(表 2)。

表 2 坡耕地产量、土壤有机质、全氮、海拔高度的相关分析

项目	产量	有机质	全氮	海拔高度
产量	1			
有机质	0.030 0	1		
全氮	0.030 4	0.965 3**	1	
海拔高度	-0.093 7	0.505 8**	0.497 3**	1

注:* 表示相关性的显著水平 $p < 0.05$, ** 表示相关性的显著水平 $p < 0.01$ 。

2.2 地统计学分析

2.2.1 土地生产力、土壤有机质、全氮的空间变异函数特征 在性状空间变异性的经典统计分析中,是将性状看作随机的、彼此相互独立的。然而实际中,在一定的空间范围内,性状存在一定的空间依赖型。地统计学方法被成功地引入土壤空间性状分析,弥补了经典统计学的不足,在近 20 a 来被国内外土壤研究者广泛采用^[13-14]。由大豆产量、土壤有机质、全氮的半方差函数图分析可得,该典型黑土坡耕地的大豆产量的试验半方差函数符合指数模型,土壤有机质和全氮的半方差函数符合高斯模型,其相应的参数详见表 3。土壤有机质和全氮的块金值与基台值的比值均小于 25%,表明变量有强烈的空间相关性;大豆产量的块金值与基台值的比值为 33%,在 25%~75%之间,表明变量具有中等的空间相关性。变程(Range)反

映性状的有效空间相关距离,三者的最大空间相关距离分别均为 300 m 左右。因此,在对黑土坡耕地生产力、土壤有机质、全氮的空间取样调查的距离应小于 300 m。

土壤性状的空间异质性是由结构性因子和随机因子共同作用的结果。结构性因子包括是指土壤形成过程中的成土母质、地形、地下水位及形成的土壤类型等;随机因子是指土壤管理过程的施肥、种植的作物、耕作栽培措施等。通常,结构性因子促使土壤养分含量具有较强的空间相关性,而随机性因子促使土壤养分含量的空间相关性减弱。土壤有机质和全氮具有强烈的空间相关性,说明主要受结构性因子的影响,分别占 80.0%和 75.3%;大豆产量具中等强度空间变异,受结构性因子地形和成土过程等的影响占 67.0%,另 33.0%受人类活动的影响。

表 3 半方差函数理论模型及相应参数

项目	最佳模型	块金值 C_0	基台值 C_0+C	块金值/基台值 C_0/C_0+C	变程/ m	决定系数 r^2
大豆产量	指数模型	0.000 45	0.001 67	0.330	261.3	0.915
有机质	高斯模型	22.800 00	113.800 00	0.200	331.0	0.997
全氮	高斯模型	0.049 700	0.201 40	0.247	337.4	0.994

在自然界中,性状的空间异质性常常表现为各向异性。经地统计学的半方差原理计算出的分形维数 D 和各向异性半方差函数分析可反映各向异性下各方向的空间变异强度,分形维数 D 是对生态因子场结构复杂性的表征, D 越小,生态因子场的差异也就越大。表 4 为黑土坡耕地大豆产量、土壤有机质、全氮在各向异性下变异函数的计算结果。大豆产量在东北—西南(45°)方向上的空间变异最大,在西北—东南(135°)方向上的空间变异最小;有机质在东北—西南(45°)方向上的空间变异最大,在北—南(90°)方向上的空间变异最小;全氮在南—北(0°)方向上的空间变异最大,在西北—东南(135°)方向上的空间变异最小。地统计学的 Moran's I 分析可测定性状的空间自相关关系。Moran's I 分析结果表明,大豆产量、土壤有机质、全氮的最小空间自相关方向分别为 $158^\circ, 140^\circ, 142^\circ$,这与该坡耕地坡向大致相同,说明水土流失是导致空间变异强度加大的主要因素。该项结果也表明在野外对黑土坡耕地调查时,合理取样间距不但要考虑各向同性的有效空间相关距离,要充分考虑其空间各向异性特征,在空间自相关距离大的方向,取样间距可适当加大,在空间自相关距离小的方向上应适当缩短采样间距,例如沿坡降方向取样间距应适当缩短。

表 4 各向异性模型的分形维数

性状	项目	0°	45°	90°	135°
大豆产量	分形维数	1.715	1.618	1.681	1.764
	标准差	0.128	0.439	1.235	0.403
	决定系数	0.957	0.731	0.481	0.793
有机质	分形维数	1.659	1.622	1.741	1.705
	标准差	0.056	0.372	0.778	0.370
	决定系数	0.992	0.792	0.715	0.78
全氮	分形维数	1.716	1.743	1.764	1.804
	标准差	0.083	0.624	1.140	0.321
	决定系数	0.984	0.609	0.545	0.840
n		9	7	4	8

注:地统计学分析默认 0° 方向为北。

2.2.2 土地生产力、土壤有机质、全氮的空间分布 由图 1 可知,大豆产量以东南角最高,高于 0.15 kg/m^2 ;西北角次之,以中部最低,低于 0.1 kg/m^2 主要是由地势所决定的。东南角地势最低,相对较平缓,是流失水土主要的富积处,土壤有机质和全氮含量较高,因此产量最高。以中部地区的坡降最大,水土流失最为严重,土壤保水保肥能力最差,土壤有机质和全氮含量较低,因此土地生产力最低。西北角产量略高于坡中,主要是由于处于坡顶,地势较缓,水土流失低于中部区域。土壤有机质和全氮的空间分布极其相似,北部(坡上)较高,中部和西南部较低,东南部又略有

升高。主要是由于地势走向和南北垄向导致的水土流失强度不同所致,东南部是由于冲刷下来的肥沃表土沉积所致(图 2—3)。

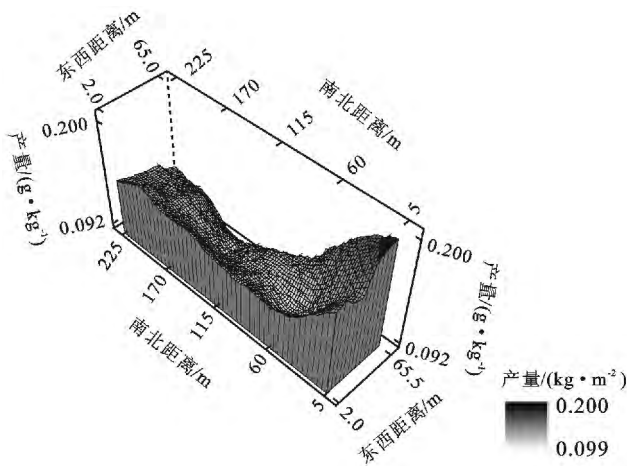


图 1 大豆产量的空间分布

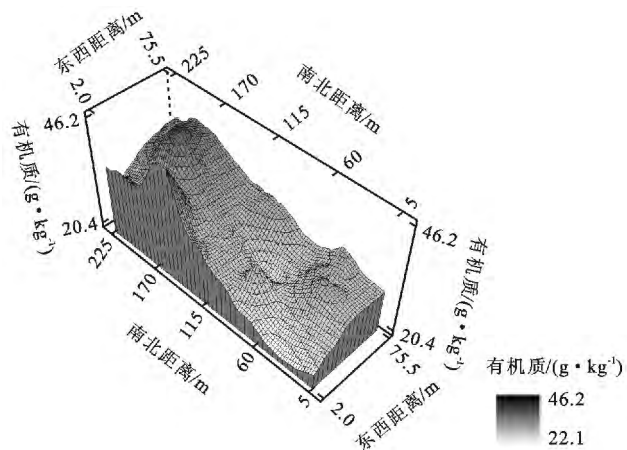


图 2 土壤有机质的空间分布

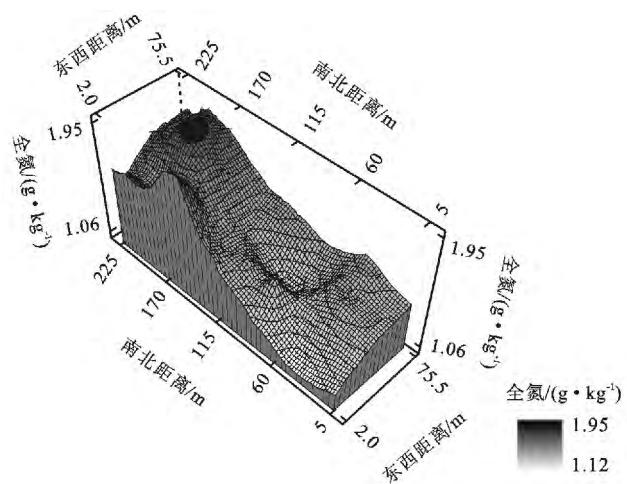


图 3 土壤全氮的空间分布

3 结论

供试的黑土坡耕地开垦 62 a 后,土壤有机质和

全氮空间异质性仍主要受成土过程和地形等结构性因子影响,受人类活动影响小于 25%;坡耕地生产力受地形、地下水位、成土过程等结构性因子的影响约占 2/3,受人类耕作、施肥、种植作物的影响只占 1/3。土地生产力与土壤有机质和全氮之间不存在显著的相关关系,与海拔高度之间存在负相关,但不显著。土壤有机质和土壤全氮之间存在极显著相关关系。就黑土坡耕地总体而言,以坡下生产力最高,坡顶次之,以坡中土地生产力最低,这主要是由于坡降不同导致的水土流失程度不同所致,但土壤有机质含量并不是造成黑土坡耕地生产力降低的主要因素,作物产量主要受土壤水分影响,说明黑土坡耕地水土流失防治应将保水作为首要目标。

[参 考 文 献]

- [1] 张兴义,王其存,隋跃宇,等. 黑土坡耕地土壤湿度时空演变及其与大豆产量空间相关性分析[J]. 土壤, 2006, 38(4):410-416.
- [2] 张伟,陈洪松,王克林,等. 喀斯特峰丛洼地土壤养分空间分异特征及影响因子分析[J]. 中国农业科学, 2006, 39(9):1828-1835.
- [3] 张兴义,刘晓冰,隋跃宇,等. 人为剥离黑土层对大豆干物质积累及产量的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(2):123-126.
- [4] 王志强,刘宝元,王旭艳,等. 东北黑土区土壤侵蚀对土地生产力影响试验研究[J]. 中国科学(D辑):地球科学, 2009, 39(10):1397-1412.
- [5] 卢秀琴. 黑龙江省黑土区坡耕地的水土流失特征与治理措施[J]. 国土与自然资源研究, 1997(1):30-31.
- [6] 孟令钦,李勇. 东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1):7-11.
- [7] 范昊明,蔡强国,崔明. 东北黑土漫岗区土壤侵蚀垂直分带性研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6):8-11.
- [8] 赵海霞,李波,刘颖慧,等. 皇甫川流域不同尺度景观分异下的土壤性状[J]. 生态学报, 2005, 25(8):2010-2018.
- [9] 庞凤,李廷轩,王永东. 土壤速效氮、磷、钾含量空间变异特征及其影响因子[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1):114-120.
- [10] 郭旭东,傅伯杰,马克明. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4):557-563.
- [11] 姜勇. 沈阳市郊耕地土壤交换性铁含量的空间异质性[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1):119-121.
- [12] Miller M P, Singer M J, Nielsen D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills [J]. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52(4): 1133-1141.
- [13] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999:10-149.
- [14] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: State of the art and perspectives[J]. Geoderma, 1999, 89(1):1-45.