

不同研究尺度下土壤有机质和全氮的空间变异特征 ——以北京市平谷区为例

王淑英, 路 苹, 王建立, 杨 柳, 杨 凯, 于同泉*

(农业应用新技术北京市重点实验室 北京农学院, 北京 102206)

摘要:在北京郊区面积为 1075 km² 的中尺度(平谷区)以 400 m × 400 m 网格采样,共采集 1076 个样点,同时在平谷区内面积为 28.8 km² 的小尺度(马昌营镇)以 100 m × 100 m 网格采样,共采集 171 个样点,测定其耕层土壤有机质和全氮的含量。应用传统统计学和地统计学方法,对两个研究尺度下的数据进行了分析,结果表明:有机质和全氮的变异系数范围为 0.31 ~ 0.40,均属中等变异强度,随着研究尺度的缩小,土壤全氮的变异系数减少。半方差函数分析结果表明,两个研究尺度下,有机质和全氮均在一定范围内存在空间相关关系,区级尺度有机质和全氮的空间相关距离较大,分别为 88.2 km 和 4.9 km,镇级尺度有机质和全氮的变程较小,均为 0.7 km,它们的空间异质性均主要由结构性因素引起。采用 Kriging 最优内插法对未测点进行了估值,绘制了等值线图,两个研究尺度下的有机质和全氮含量受地形、土壤类型、土地利用方式、施肥等因素的影响,均表现出明显不同的分布规律。

关键词:有机质;全氮;空间变异;地统计学;不同尺度

文章编号:1000-0933(2008)10-4957-08 中图分类号:Q143, Q149, S153.6, S154 文献标识码:A

Spatial variability and distribution of soil organic matter and total nitrogen at different scales: a case study in Pinggu County, Beijing

WANG Shu-Ying, LU Ping, WANG Jian-Li, YANG Liu, YANG Kai, YU Tong-Quan*

New Technological Laboratory in agriculture Application in Beijing, Beijing Agricultural College, Beijing 102206, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4957 ~ 4964.

Abstract: Knowledge of spatial variability of soil organic matter (SOM) and total nitrogen (TN) at different scales is limited. The objective of this study was to assess the spatial variability of SOM and TN at two scales in the suburban of Beijing. Large-scale (county scale) topsoil samples (0—20 cm) were collected in a 400 m × 400 m grid and a total of 1076 samples were taken within an area of 1075 km² in Pinggu County. Small-scale (town scale) topsoil samples (0—20 cm) were collected in a 100 m × 100 m grid and a total of 171 samples were taken within an area of 28.8 km² in Machangying Town of the county. The contents of SOM and TN were determined for each soil sample. Descriptive statistics and geostatistics were used to analyze these two scales data. The results showed that the coefficients of variation (CV) for both SOM and TN variables at two scales were in the range of 0.31—0.40, which demonstrated a moderate variation among these. With the decreasing of scale, the CV for the TN content was reduced slightly. Semivariance analysis showed that both SOM and TN variables of the two different scales were spatially correlation at different lag distances. At the county

基金项目:北京市教育委员会科技发展计划资助项目(KM-200510020006)

收稿日期:2007-05-14; 修订日期:2007-12-06

作者简介:王淑英(1972~),女,内蒙古赤峰市人,硕士,主要从事土壤质量和植物营养研究。E-mail: shuyingw@tom.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yu-tongquan@163.com

Foundation item: The project was financially supported by Peking Educational Committee Technological Development Program Key Item (No: KM-200510020006)

Received date: 2007-05-14; **Accepted date:** 2007-12-06

Biography: WANG Shu-Ying, Master, mainly engaged in soil quality and plant nutrition. E-mail: shuyingw@tom.com

scale, SOM and TN content had a large spatial correlation distance, which were 88.2 km and 4.9 km, respectively. However, the SOM and TN content at the town scale had the smaller spatial correlation distance, which were close to 0.7 km. The unobserved points were estimated and the contour map was obtained using the kriging method. The results indicated that the spatial distribution of SOM and TN content at two different scales was obviously different. The mainly affected factors were the topology, soil type, land use types and farming practices etc.

Key Words: soil organic matter; total nitrogen; spatial variability; geostatistics; different scales

土壤有机质和全氮是评价土壤肥力和土壤质量的重要指标,是全球氮循环的重要源和汇,目前已成为土壤科学、环境科学领域研究的热点^[1,2]。土壤有机质和全氮在土壤中的分布并非均质,而是具有高度的空间异质性,即在相同的区域内,同一时刻不同的空间位置,其含量存在明显的差异。揭示土壤有机质和全氮的空间变异规律和掌握其分布状况是实现土壤可持续利用和区域可持续发展的前提。

自 20 世纪 80 年代以来,土壤特性空间变异性的研究成为土壤科学研究的热点。大量的研究证明,地统计学是分析土壤特性空间变异特征及其分布规律最有效的方法之一^[3,4]。近些年来,国内外研究者用地统计学方法对土壤有机质和全氮的空间变异性进行了大量的研究,研究范围涉及到不同的研究尺度^[5~17]。研究结果表明,土壤有机质和全氮均为中等程度的空间异质性,且在不同研究尺度下,土壤有机质和全氮的空间自相关范围均相差很大。土壤空间变异性是尺度的函数^[18],多尺度分析已成为当今土壤特性空间变异研究中迫切需要研究的重要内容,Bloschl 和 Sivapalan^[19]提出尺度包含采样幅度、采样间距和采样体积,相对而言,采样体积在不同研究之中差异较少,而采样幅度和采样间距则存在较大的差异。目前在土壤水分和盐分的多尺度空间变异研究较为深入^[20,21],而土壤有机质和全氮的多尺度研究还不多见,国内仅有少数学者在这方面进行了初步探讨。盛建东等^[22]和姚丽贤等^[23]分别在农田尺度上采取 3 种取样间距进行土壤有机质等养分空间变异性比较分析,认为同一研究尺度不同的取样间距对合理取样数量具有一定的影响,但对养分空间变异性影响不明显,冯娜娜等^[24]和赵军等^[25]分别在两个不同研究尺度下,采用不同的取样间距,分别对茶园和黑土区农田土壤有机质等养分的空间变异性进行比较分析,结果表明土壤有机质等养分在不同的研究尺度下空间变异性差异显著,刘世梁等^[26]还采用典范对应分析法分析了黄土高原土壤在县域和小流域两个研究尺度下土壤有机质和全氮等养分的空间异质性及其影响因素。

本文采用地统计学方法,选取了北京市平谷区和该区马昌营镇两个研究尺度,分别采用 400m × 400m 和 100m × 100m 方形格网采样,比较土壤有机质和全氮的空间分布特征,旨在揭示不同研究尺度下影响土壤有机质和全氮空间变异的因素,从而为不同尺度下的土壤养分合理布点采样和养分分区管理提供指导。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

平谷区位于北京市东北部,地处燕山南麓与华北平原北端的相交地带,东经 116°55′ ~ 117°24′,北纬 40°02′ ~ 40°22′,土地总面积 1075km²,地貌由北部、东部、南部山地和中部、西南部平原两大地貌单元组成,地势由东北向西南倾斜,中间平缓,呈倾斜簸箕状。海拔高度 11 ~ 1230m。气候属暖温带大陆性季风气候区,年均气温 11.5℃,年无霜期 191d,年均降水量 639.5mm,其中约 75% 集中在夏季。土壤类型为棕壤、褐土和潮土,分别占土地总面积的 1.4%、80.3% 和 18.3%。全区共有 17 个乡镇,275 个行政村。农用地总面积 712.93km²,土地利用类型以果园、菜地和大田为主。马昌营镇位于平谷区西南部,土地总面积 28.8km²,地处洪积冲积平原,西北高,海拔高度 16 ~ 30m,土壤类型为潮土。全镇下辖 17 个行政村,耕地面积 11.33km²(图 1)。

1.2 样品采集与分析

参照 1980 年全国第 2 次土壤普查资料,在平谷区和该区马昌营镇分别采用 400m × 400m、100m × 100m

方形格网与土地利用现状图(只选择农用地,包括耕地与园地)叠加,确定交叉样点,再根据土壤类型和控制面积等分层抽样,共确定了 1076 和 171 个取样点(图 2),采用 GPS 定位。2005 年 9 月,在距每一样点 10m 的范围内采集 0~20cm 土层 5 份土样,混合均匀后用四分法再取 0.5kg 土样,风干后取出土样 10~20g,磨细并全部通过 0.25mm 筛,装袋备用。土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外热源法测定,土壤全氮采用半微量凯氏定氮法测定。同时还对样点所在地块的土地利用方式、种植制度、作物品种、施肥状况等方面进行了实地调查。

1.3 数据处理及分析

本文采用 SPSS(10.0) 计算描述性统计值,GS+(7.0) 进行地统计学分析,Sufer(8.0) 和 Arcview(3.3) 计算绘制相关图件。有关地统计学的原理和方法,可参考相关文献^[4]。

2 结果与分析

2.1 不同研究尺度下土壤有机质和全氮含量的统计特征值

平谷区和马昌营镇两个研究尺度耕层土壤有机质和全氮含量实测值的统计分析和 Kolomgorov-Semirnov (K-S) 检验结果见表 1。从偏度系数和峰度系数可以看出,在区级尺度下,有机质和全氮含量分布均较复杂,既不服从正态分布,也不服从对数正态分布,而在镇级尺

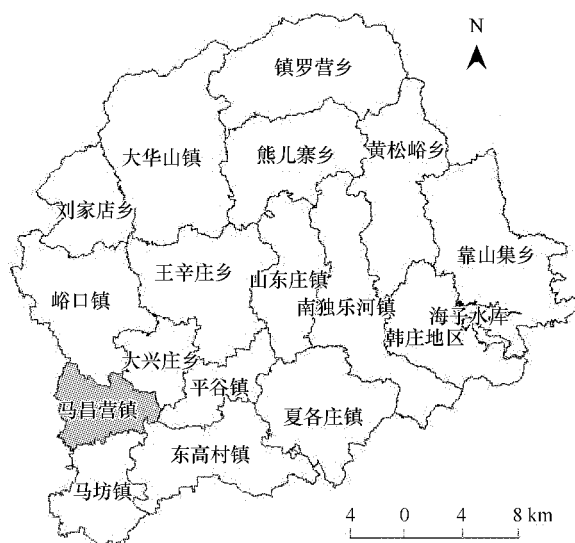


图 1 平谷区行政区域图

Fig. 1 Towns of Pinggu County, Beijing

镇罗营乡 Zhenluoying Town 大华山镇 Dahuishan Town 熊儿寨乡 Xiong'erzhai Town 黄松峪乡 Huangsongyu Town 刘家店乡 Liujiadian Town 峪口镇 Yukou Town 王辛庄乡 Wangxinzhuan Town 山东庄镇 Shandongzhuang Town 南独乐河镇 Nandulehe Town 韩庄地区 Hanzhuang Region 海子水库 Haizi Lake 靠山集乡 Kaoshanji Town 大兴庄镇 Daxingzhuang Town 平谷镇 Pinggu Town 夏各庄镇 Xiagezhuang Town 马昌营镇 Machangying Town 东高村镇 Donggaocun Town 马坊镇 Mafang Town

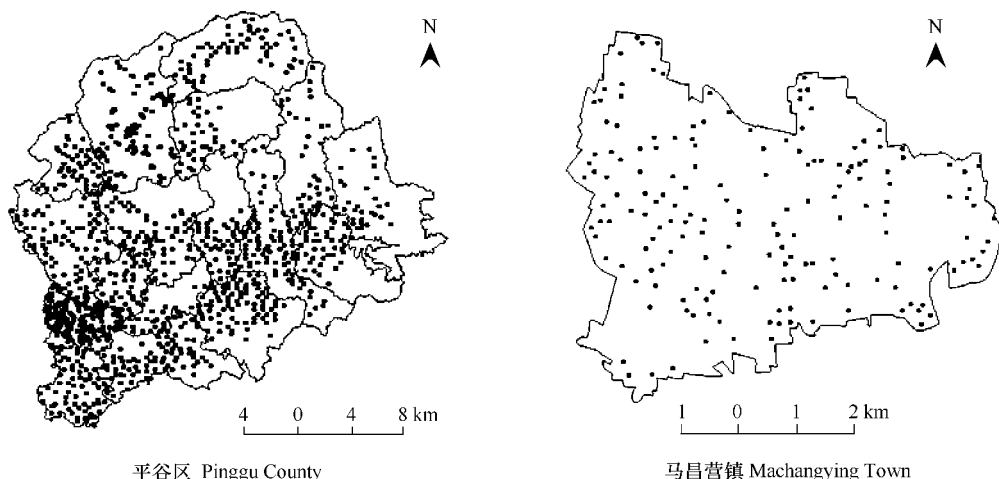


图 2 平谷区和马昌营镇取样点分布图

Fig. 2 Sampling sites in Pinggu County and Machangying Town

度下,有机质和全氮含量分布均服从正态分布,这是由于在镇级相对小的区域内,气候、母质、土壤类型等条件比较一致,经过长期的农业栽培管理,土壤有机质和全氮空间变异趋于缓和,可形成表面上大体均一的耕作区域。

两个研究尺度下,耕层土壤有机质和全氮含量的均值、最大值和最小值均存在一定的差异。全区区域有

有机质和全氮含量均值分别为 $14.51\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.89\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 土壤肥力属中上水平^①, 镇级尺度有机质和全氮含量均低于全区的含量, 分别为 $10.91\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.66\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 土壤肥力属中下水平^①。区级尺度下, 有机质和全氮含量的变化范围较大, 分别为 $0.49\sim53.05\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.08\sim3.36\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最大值约是最小值的 40~100 倍, 镇级尺度下, 有机质和全氮含量的变化范围较小, 分别为 $0.64\sim19.34\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.12\sim1.41\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最大值约是最小值的 10~30 倍。不同研究尺度下, 同一土壤有机质和全氮的均值、最大值和最小值均有较大的差异, 表明土壤有机质和全氮均存在明显的空间分布差异。

表 1 平谷区和马昌营镇耕层土壤有机质和全氮含量的描述性统计

Table 1 The descriptive statistics of SOM and TN in Pinggu County and Machangying Town ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

尺度 Scale	项目 Items	样点数 Sample points	分布类型 Type of distribution	偏度 kewness	峰度 Kurtosis	均值 $\pm$ 标准差 Mean $\pm$ SD	最小值 Min	最大值 Max	变异系数 CV	合理取样数 Rational samples $P_L = 95\%$
平谷区 Pinggu	有机质 SOM	1076	偏态 None	1.3	5.55	14.51 ± 5.13	0.49	53.05	0.35	49
County	全氮 TN	979	偏态 None	-1.16	4.28	0.89 ± 0.35	0.08	3.36	0.40	61
马昌营镇 Machangying	有机质 SOM	171	正态 Normal	-0.23	0.47	10.91 ± 3.78	0.64	19.34	0.34	47
Town	全氮 TN	171	正态 Normal	-0.03	0.29	0.66 ± 0.20	0.12	1.41	0.31	37

变异系数反映变量的相对变异程度, 两个研究尺度下耕层土壤有机质和全氮含量的变异系数范围为 $0.31\sim0.40$, 均属中等变异强度^[27]。随着研究尺度的缩小, 有机质和全氮的变异系数变化明显不同, 有机质变异系数基本没变, 而全氮由 0.40 减少到 0.31 。不同研究尺度对土壤全氮的变异系数有一定的影响。

根据 Cochran^[28] 的公式, 可以求出在一定的置信水平和相对误差要求下的研究区域所需要的取样数量, 土壤养分变异越大, 为达到一定精确度所要求的取样数量也会相应加大。由表 1 统计分析结果可以看出, 有机质和全氮在两个研究尺度下的取样数量与变异系数大小顺序一致, 同样, 研究尺度对取样数目也有一定的影响。在 95% 置信水平和 10% 相对误差条件下, 全区有机质和全氮的合理取样数目分别为 49 和 61, 镇级尺度有机质和全氮的合理取样数相应有所减少, 分别为 47 和 37, 本研究所布设的取样点大大超过了合理取样数目, 完全可以满足空间变异分析的要求。

由于描述性统计特征分析只能概括研究区域内土壤有机质和全氮变化的总体状况, 而不能反映局部的空间分布状况。因此, 本文进一步采用地统计学方法对土壤有机质和全氮在不同研究尺度下的空间变异特征进行分析比较。

2.2 不同研究尺度下土壤有机质和全氮的空间结构分析

两个研究尺度下土壤有机质和全氮的半方差模型及其参数值见表 2。两个研究尺度下, 有机质的理论模型分别符合指数模型和球型模型, 全氮的理论模型符合指数模型, 模型的拟合度均较好, 其决定系数为 $0.562\sim0.985$, 说明模型能够较好反映耕层有机质和全氮的空间结构特征。

变程也称之空间最大相关距离, 反映了变量空间自相关范围的大小。从表 2 可以看出, 两个研究尺度下, 有机质和全氮在一定范围内均存在空间相关性。在区级尺度下, 有机质和全氮的变程较大, 分别为 88.2km 和 4.9km 。在镇级尺度下, 有机质和全氮的变程明显变小, 均为 0.7km 。由于随着研究尺度的缩小, 地形、母质、土壤类型等大尺度结构因素对土壤性质的影响逐渐减弱, 而小尺度结构因素和随机因素的影响逐渐加强, 能引起土壤性质在较小的尺度上发生强烈的变化, 从而使土壤性质的变程明显变小。不同研究尺度下, 有机质和全氮变程的差异明显不同, 在区级尺度下, 影响有机质和全氮的因素复杂且主导因素不同, 导致两者的变

① 平谷县农业区划办公室土壤普查队, 北京市平谷县土壤普查简明报告. 1982, 6

程相差很大。而在镇级相对小的区域内,气候、母质、土壤类型等结构因素及农业管理制度比较一致,受相同的因素影响,有机质和全氮的变程较接近。

表 2 中的 C_0 为块金值,表示由随机部分引起的空间异质性, $Sill$ 为基台值,表示系统内总的变异。土壤有机质和全氮的块金值和基台值在两个研究尺度下,均差异较大,区级尺度的块金值和基台值明显大于镇级尺度,这是由于随着研究区域的增大不断引入新的变异因素的缘故。 $C_0/Sill$ 表示由随机因素所引起的异质性占总的空间异质性的程度。两个研究尺度下,有机质和全氮的 $C_0/Sill$ 值在 0.04~0.26 之间,均小于 0.5,说明土壤有机质和全氮的空间变异主要由结构因素(如气候、母质、地形、土壤类型等)引起的。随着研究尺度的缩小,有机质的 $C_0/Sill$ 值变小,其空间相关程度增强,而全氮 $C_0/Sill$ 值两个研究尺度差异不大,均属强空间相关性。

表 2 平谷区和马昌营镇耕层土壤有机质和全氮的半方差函数模型

Table 2 The semivariogram models of SOM and TN in Pinggu County and Machangying Town

尺度 Scale	项目 Items	模型类型 Model	C_0	$Sill$	$C_0/Sill$	变程 Range (km)	R^2
平谷区	有机质 SOM	指数 Exponential	12.30	47.32	0.26	88.2	0.985
Pinggu County	全氮 TN	指数 Exponential	0.02	0.17	0.12	4.9	0.788
马昌营镇	有机质 SOM	球型 Spherical	0.50	11.44	0.04	0.7	0.680
Machangying Town	全氮 TN	指数 Exponential	0.0053	0.04	0.13	0.7	0.562

2.3 不同研究尺度下土壤有机质和全氮的空间分布特征

为了更直观地反映土壤特性的空间分布情况,根据半方差函数模型,采用 Kriging 最优内插法,绘制了平谷区和马昌营镇两个研究尺度下耕层土壤有机质和全氮含量的等值线图(图 3)。

由图 3a 可见,全区耕层土壤有机质含量空间分布总的趋势是:由东北向西南方向含量逐渐降低,这与平谷区地形变化规律一致。平谷区东、南、北三面环山,总的地势为由东北向西南倾斜,有机质含量的高值区主要位于东北部海拔高度在 800m 左右中山的地形部位,包括镇罗营乡东部、熊儿寨乡大部分地区、黄松峪乡北部、山东庄镇北部和南独乐河镇北部(图 1),有机质含量在 $19 \sim 27 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,该区域人口密度小,土地利用强度低,植被十分丰富,枯枝落叶量多,且平均气温比其它地方低,有机质矿化速度缓慢,有利于积累,此区的土壤类型为棕壤,土层深厚,故有机质含量较高。有机质含量次高值区所占面积较大,有机质含量在 $15 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右,约占研究区总面积的 50% 左右,分布于研究区的西北部、中部、东部及东南部海拔高度 100~800m 的低山、丘陵及山前岗台、阶地的地形部位,包括镇罗营乡西部、大华山镇南部、刘家店乡、峪口镇北部、王辛庄乡北部、山东庄镇中部、南独乐河镇中部、黄松峪乡南部、靠山集乡、韩庄、夏各庄镇、东高村镇及平谷镇 13 个乡镇。该地区坡度较小,光照充足,褐土,是以桃园为主的果树分布带。果园是平谷区农用地主要利用类型,2005 年果园面积达到 22487hm^2 ,占总农用地面积的 64.8%。以大桃为主的果品生产是该区的支柱产业和农民收入主要来源,据调查,果园有机肥的投入量较高,平均投入量为 $3210 \text{元} / \text{hm}^2$ 。其中大华山镇作为平谷大桃的发源地,种植面积(2333hm^2)和产量(4307 万 kg)均高居全区第 1 位,有机肥投入量最高,达到 $4695 \text{元} / \text{hm}^2$,在大华山镇西北部出现一小块有机质含量的高值区,有机质含量为 $19 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,与该镇施用有机肥较多有关。有机质含量最低的区域位于平谷区西南部和中部局部的平原区域,包括峪口镇南部、马昌营镇、马坊镇东南部、大兴庄南部以及南独乐河镇与韩庄中部,有机质含量为 $11 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,该区域海拔高度 11~100m,马坊镇小屯村北双泉地段海拔 11m,为平谷区的最低点,土壤类型为潮土,地处洪积冲击扇的中上游地带,局部地形时高时低,主要种植小麦和玉米粮食作物,2005 年种植面积为 10670hm^2 ,占总农用地面积的 30.7%,有机肥平均投入量仅为 $412 \text{元} / \text{hm}^2$,90% 的地块不施用或很少施用有机肥,因此有机质含量较低。位于平谷区南部的平谷镇、马坊镇和东高村镇为蔬菜种植区,2005 年种植面积 1558hm^2 ,占总农用地面积的 4.5%,该区域人口密集,土地利用强度高,复种指数高,农户的投入也高,有机肥投入量平均为 $2490 \text{元} / \text{hm}^2$,故有机质含量较

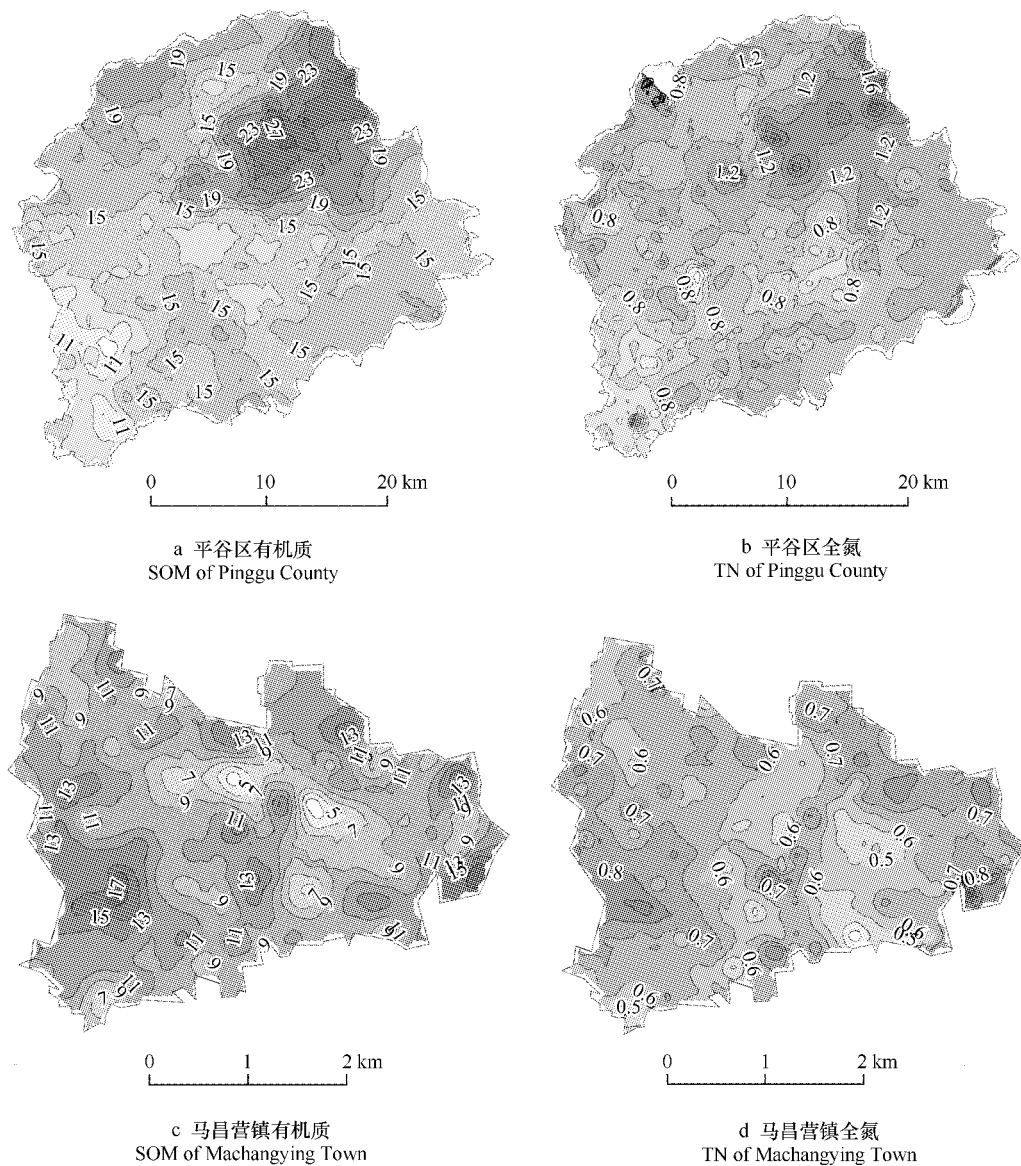


图3 平谷区和马昌营镇耕层土壤有机质和全氮含量的空间分布

Fig. 3 Contour maps of SOM and TN contents in Pinggu County and Machangying Town

高。可见,区级尺度下,耕层土壤有机质的空间异质性是地形、土壤类型、土地利用方式及施用有机肥等因素共同作用的结果。

全区耕层土壤有机质含量与土壤全氮含量呈非常显著的正相关($SOM = 9.402TN + 5.917$, $r = 0.695^{**}$),全区耕层土壤全氮含量同样受平谷区地形、土壤类型、土地利用方式及施肥量等因素的影响,其空间分布与有机质总的趋势基本一致,呈现出由东北向西南部逐渐降低的趋势(图3b)。全氮含量的高值区出现在研究区东北部的镇罗营乡东部、熊儿寨乡大部分地区及黄松峪乡北部地区,含量 $1.6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。次高值区分布在研究区西北部的镇罗营乡部分地区、大华山镇、刘家店乡,中部的王辛庄乡北部、山东庄镇北部、南独乐河镇北部及东部的黄松峪乡南部、靠山集乡的果树种植区域,全氮含量为 $1.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。含量为 $0.8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的区域所占面积较大,分布于研究区的西南部蔬菜种植区及中部粮食种植区。据调查,3种土地利用类型土壤全氮含量与化肥的施入量有密切关系,果园化肥施入量最高,达 $3195\text{元}/\text{hm}^2$,土壤全氮含量较高,而菜地和大田化肥施入量相近,平均为 $1500\text{元}/\text{hm}^2$ 左右,土壤全氮含量均较低。

马昌营镇位于平谷区的西南部(图 1),其土壤母质为洪积冲积平原,土壤类型为潮土,正是由于马昌营镇所在地理位置的土壤母质及土壤类型导致了其土壤有机质和全氮含量的总体水平低于平谷区全区水平。图 3c、图 3d 显示了马昌营镇域范围内土壤有机质和全氮含量的空间分布状况,图中可知,土壤有机质和全氮含量在镇级尺度的空间异质性均存在,且异质性均较强。有机质含量最高的区域位于镇西部,含量范围为 $13 \sim 17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,该区域种植果树与蔬菜,有机肥投入量较高,分别为 $3900 \text{ 元}/\text{hm}^2$ 和 $1800 \text{ 元}/\text{hm}^2$ 。次高值区位于该镇的西部、东北、东部一些地区,有机质含量在 $11 \sim 13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,主要种植玉米、小麦、大豆、蔬菜和果树,双营有机桃基地位于镇的东部,有机肥投入较多。镇西北部有机质含量在 $9 \sim 11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,略高于东南部的有机质含量,与马昌营镇西北部高的地形因素有关。镇中部局部地区有机质含量最低,含量范围为 $5 \sim 9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,该区域位于由东南向西北斜穿过境的大秦铁路两侧,种植杨树等生态林,基本上不投入肥料,所以有机质含量较低。镇级有机质含量的空间异质性与地形有一定的关系,但更主要与土地利用方式、施肥量等农业管理措施密切相关。

马昌营镇耕层土壤有机质含量与土壤全氮含量呈非常显著的正相关($\text{SOM} = 9.429\text{TN} + 4.677$, $r = 0.565^{**}$),该镇耕层土壤全氮含量同样受镇级区域的地形、土地利用方式及施肥量等因素的影响,其空间分布与有机质基本一致(图 3d)。全氮含量为 $0.5 \sim 0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,镇西北全氮含量略高于东南部,西部、东部高于中部。

以上分析可知,不同研究尺度下土壤耕层有机质和全氮含量空间分布规律明显不同,小尺度下观测到了中尺度不能观测到的细微变化。

3 结论

平谷区和马昌营镇两个研究尺度下,其耕层土壤有机质和全氮含量各项统计特征值和变异系数均存在一定的差异。在全区区域有机质和全氮含量均值分别为 $14.51 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.89 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤肥力属中上水平,镇级区域有机质和全氮含量均低于全区的含量,分别为 $10.91 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤肥力属中下水平。两个研究尺度下耕层土壤有机质和全氮含量的变异系数范围为 $0.31 \sim 0.40$,均属中等变异强度。随着研究尺度的缩小,全氮变异系数减少。

通过结构分析可以看出,两个研究尺度下耕层土壤有机质和全氮含量的变程及块基比均存在一定的差异。在区级尺度下,有机质和全氮的变程较大,分别为 88.2 km 和 4.9 km 。在镇级尺度下,有机质和全氮的变程明显变小,均为 0.7 km 。两个研究尺度下,有机质和全氮含量的 C_0/Sill 值在 $0.04 \sim 0.26$ 之间,随着研究尺度的缩小,有机质的 C_0/Sill 值变小,其空间相关程度增强,全氮 C_0/Sill 值两个研究尺度差异不大。

两个研究尺度下,耕层土壤有机质和全氮均受地形、土壤类型、土地利用方式、施肥状况等不同因素的影响,它们的空间分布规律均明显不同,区级尺度下,有机质和全氮呈现由东北向西南逐渐降低的趋势。镇级尺度下,有机质和全氮呈现出西北高于东南,两侧高于中间的分布规律。

不同研究尺度下土壤有机质和全氮空间异质性有共性也有不同,有些规律性的变化和生态学过程还需要进一步研究和分析。

References:

- [1] Huang C Y. Soil science. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 32—49.
- [2] Li W F, Yang S J, Wen C F. Environmental action of soil organic matter. Dynamic of Environmental Science, 2004, (4): 31—33.
- [3] Li Y, Shi Z, Xu J M, *et al.* Utilization and perspective of geostatistics in soil sciences. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(1): 178—182.
- [4] Wang Z Q. Application of geostatistics on ecology. Beijing: Science Press, 1999. 65—132.
- [5] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, *et al.* Field-scale variability of soil properties in central low a soils. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58: 1501—1511.
- [6] Mishra T K, Banerjee S K. Spatial variability of soil pH and organic matter under Shorea robusta in lateritic region. Indian Journal of Forestry, 1995, 18(2): 144—152.
- [7] Yanai J, Mishima A, Furakawa S, *et al.* Spatial variability of organic matter dynamics in the semi-arid croplands of northern Kazakhstan. Soil Science Plant Nutrient, 2005, 51(2): 261—269.
- [8] Hu K L, Li B G, Lin Q M, *et al.* Spatial variability of soil nutrient in Wheat Field. Transactions of the CSAE, 1999, 15(3): 33—38.

- [9] Xu S P, Tao S, Cao J. Spatial structure pattern of soil pH, clay and organic matter contents in the Inner Mongolia Area. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32(4): 145—148.
- [10] Yang Y L, Tian C Y, Sheng J D, *et al.* Spatial variability of soil organic matter, total nitrogen, phosphorus and potassium in cotton field. *Agricultural Researcher in the Arid Areas*, 2002, 20(3): 26—30.
- [11] Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J, *et al.* Spatial variability of soil nutrients in cultivated surface soil of Sujiatun district. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(10): 1673—1676.
- [12] 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. *Chin J Appl Environ Biol*, 2004, 10(1): 64—67.
- [13] Li X Y, Zhang S W, Wang Z M, *et al.* Spatial variability and pattern analysis of soil properties in Dehui city of Jilin Province. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 989—997.
- [14] Wang C R, Li J L, Hu Z Y, *et al.* Spatial variability of soil nitrogen and pH in vegetable field in typical area of Taihu lake watershed. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 9(3): 17—19.
- [15] Gan H H, Peng L Y. Spatial variability of nutrients in cultivated soils of Xinhui District, Jiangmen City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1437—1442.
- [16] Lu P, Huang D Y, Song B L, *et al.* Characteristics of spatial variability of total soil nitrogen in the typical subtropical red soil hilly areas. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(8): 181—183.
- [17] Zhao Y F, Shi X Z, Yu D S, *et al.* Spatial variability of soil nutrients and its affecting factors at small scale — a case study of peri-urban Areas in Wuxi Jiangsu Province. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(2): 214—218.
- [18] Li H, Reynolds J F. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, 1995, 73(2): 280—284.
- [19] Bloschl G, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modelling. *Hydrology Processes*, 1995, 9: 251—290.
- [20] Hu W, Shao M A, Wang Q J. Scale-dependency of spatial variability of soil moisture on a degraded slope-land on the Loess plateau. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(8): 11—16.
- [21] Wang H, Gong P, Liu G H. Multi-scale spatial variations in soil salt in the Yellow River Delta. *Geographical Research*, 2006, 25(4): 649—658.
- [22] Sheng J D, Xiao H, Wu H Q, *et al.* Spatial variability of total nutrients in arable soil as affected by different sampling distances. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(6): 1062—1064.
- [23] Yao L X, Zhou X C, Cai Y F, *et al.* Spatial variability of soil properties at different sampling intensities and accuracy of their estimation. *Soils*, 2004, 36(5): 538—542.
- [24] Feng N N, Li T X, Zhang X Z, *et al.* The spatial variability of the content of organic matter in hilly tea plantation soils with different sampling scales. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 349—356.
- [25] Zhao J, Liu H J, Sui Y Y, *et al.* Analysis for spatial heterogeneity of organic matter content and available nutrients in blacksoil crop area with different scales. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 41—62.
- [26] Liu S L, Guo X D, Lian G, *et al.* Multi-scale analysis of spatial variation of soil characteristics in Loess plateau-case study of Hengshan County. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(5): 105—108.
- [27] Lei Z D, Yang S X, Xie S C. *Soil water dynamics*. Beijing: Qinghua University Press, 1988, 321—366.
- [28] Cochran W G. *Sampling techniques*. New York: John Wiley & Sons, 1977, 150—186.

参考文献:

- [1] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000. 32~49.
- [2] 李文芳, 杨世俊, 文池夫. 土壤有机质的环境效应. *环境科学动态*, 2004, (4): 31~33.
- [3] 李艳, 史舟, 徐建明, 等. 地统计学在土壤科学中的应用及展望. *水土保持学报*, 2003, 17(1): 178~182.
- [4] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999. 65~132.
- [8] 胡克林, 李保国, 林启美, 等. 农田土壤养分的空间变异性研究. *农业工程学报*, 1999, 15(3): 33~38.
- [9] 徐尚平, 陶澍, 曹军. 内蒙古土壤pH值、粘粒和有机质含量的空间结构特征. *土壤通报*, 2001, 32(4): 145~148.
- [10] 杨玉玲, 田长彦, 盛建东, 等. 灌溉土壤有机质、全量氮磷钾空间变异性初探. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(3): 26~30.
- [11] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 等. 沈阳市苏家屯区耕层土壤养分空间变异性研究. *应用生态学报*, 2003, 14(10): 1673~1676.
- [12] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 江西省兴国县土壤全氮和有机质的空间变异及其分布格局. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(1): 64~67.
- [13] 李晓燕, 张树文, 王宗明, 等. 吉林省德惠市土壤特性空间变异特征与格局. *地理学报*, 2004, 59(6): 989~997.
- [14] 王彩绒, 吕家珑, 胡正义, 等. 太湖流域典型蔬菜地土壤氮及pH空间变异特征. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 17~19.
- [15] 甘海华, 彭凌云. 江门市新会区耕地土壤养分空间变异特征. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1437~1442.
- [16] 路鹏, 黄道友, 宋变兰, 等. 亚热带红壤丘陵典型区土壤全氮的空间变异特征. *农业工程学报*, 2005, 21(8): 181~183.
- [17] 赵彦锋, 史学正, 于东升, 等. 小尺度土壤养分的空间变异及其影响因素探讨——以江苏省无锡市典型城乡交错区为例. *土壤通报*, 2006, 37(2): 214~218.
- [20] 胡伟, 邵明安, 王全九. 黄土高原退耕坡地土壤水分空间变异的尺度性研究. *农业工程学报*, 2005, 21(8): 11~16.
- [21] 王红, 宫鹏, 刘高焕. 黄河三角洲多尺度土壤盐分的空间分异. *地理研究*, 2006, 25(4): 649~658.
- [22] 盛建东, 肖华, 武红旗, 等. 不同取样间距农田土壤全量养分空间变异特征研究. *土壤通报*, 2006, 37(6): 1062~1064.
- [23] 姚丽贤, 周修冲, 蔡永发, 等. 不同采样密度下土壤特性的空间变异特征及其推估精度研究. *土壤*, 2004, 36(5): 538~542.
- [24] 冯娜娜, 李廷轩, 张锡洲, 等. 不同尺度下低山茶园土壤有机质含量的空间变异. *生态学报*, 2006, 26(2): 349~356.
- [25] 赵军, 刘焕军, 隋跃宇, 等. 农田黑土有机质和速效氮磷不同尺度空间异质性分析. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 41~62.
- [26] 刘世梁, 郭旭东, 连纲, 等. 黄土高原土壤养分空间变异的多尺度分析——以横山县为例. *水土保持学报*, 2005, 19(5): 105~108.
- [27] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. *土壤水动力学*. 北京: 清华大学出版社, 1988. 321~366.