

北方石质山区坡面土壤厚度分布特征 ——以北京市密云县为例

曾宪勤^{1,2}, 刘宝元^{1*}, 刘瑛娜¹, 符素华¹, 刘和平¹, 赵玉明¹

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

2. 北京矿冶研究总院, 北京 100044)

摘要: 土壤厚度是土壤退化及土地生产力水平评价的一个重要指标。本研究应用插钎法, 调查了北京市密云县山区 50 个基本抽样单元的坡面土壤厚度。对样点数据进行了统计分析, 结果表明: 平均土壤厚度为 15cm。小于 10cm 的土壤占 37%, 小于 20cm 的土壤占 76%, 小于 30cm 的占 90%。空间上土壤较厚的区域主要集中在西北和东北部植被覆盖较好的地区。对影响土壤厚度的因子进行分析发现: 土壤厚度与海拔无明显相关性, 而坡向对土壤厚度的影响较为明显, 阴坡土壤厚度明显大于阳坡。土壤厚度与植被覆盖度和坡度明显相关, 与植被覆盖度的相关系数为 0.84, 与坡度的相关系数为 -0.40, 二者都通过了显著水平为 0.01 的显著性检验。

关键词: 土壤厚度; 石质山区; 密云; 植被覆盖度

文章编号: 1000-0585(2008)06-1281-09

1 引言

土壤的厚与薄直接影响水分和养分贮存量的多寡。土壤太浅薄则影响植物根系向土层的深度和广度发展, 同时也影响到对地上部分植株的支撑作用。在营养元素含量基本类同的条件下, 土壤深厚的土壤所产生的植物总量比在土壤浅薄的土壤上要大很多^[1]。在土壤一般较薄的石质山地上, 土壤厚度与土壤肥力直接有关, 是野外土壤肥力鉴别的重要指标。它既是土壤养分的补源, 又是土壤矿质元素的储存库^[2], 也是判定土壤侵蚀程度的重要指标^[3,4]。

土壤厚度是指土壤母质层以上到土壤表面的垂直深度^[5]。土壤厚度作为土壤退化及土地生产力水平评价的一种重要指标, 受到越来越多的学者关注。王绍强等^[6]基于地质统计学和地理信息系统技术, 分析了中国土壤土层厚度的空间变异特征。谢运杰等^[7]基于 GIS 技术对黑龙江典型土壤有效土壤厚度进行了调查研究。刘宪春^[8]通过野外采样调查以统计学、GIS 技术作为辅助手段, 从不同角度分析了黑土层厚度、土体厚度等黑土土壤指标的空间变化规律。而目前对于北方石质山区的土壤厚度的相关研究较少, 尤其是空间分布特征及微域变异特征。

收稿日期: 2007-10-12; 修订日期: 2008-06-11

基金项目: 国家重点基础发展计划 (973) 课题“多尺度土壤侵蚀预报 (2007CB407204)”

作者简介: 曾宪勤(1980-), 男, 辽宁抚顺人, 博士, 主要从事土壤侵蚀方面研究。

E-mail: cheng_1214@163.com

* 通讯作者: 刘宝元(1958-), 男, 教授, 博士生导师。主要从事土壤侵蚀研究工作。E-mail: baoyuan@bnu.edu.cn

随着山地土壤的开发和利用,掌握北方石质山区土壤厚度分布特征及其影响因素,对该区域山地土壤的利用和水土保持措施规划及生态建设具有重要意义。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

研究区为北方石质山区的北京市密云县。中国北方石质山区主要是指东北漫岗以南,黄土高原以东,淮河以北,包括东东南部、河北、山西、河南、山东等省范围内以石质为主的山地、丘陵区。该区域往往在各种岩层上形成薄壳状土层,土壤多属褐土和棕色森林土类,粗骨性比较突出。由于坡度陡峭,加之土层浅薄,当植被遭到破坏时,遇到暴雨易引起各种形式的水土流失^[9]。根据《中国土种志》典型剖面厚度的统计,该区域山地、丘陵区土壤厚度(母质以上)多在5~45cm^[10]。

密云县位于北京市东北部,北纬 $46^{\circ}23' \sim 46^{\circ}51'$,东经 $116^{\circ}50' \sim 117^{\circ}03'$ 。仅县城南部为开敞的冲积平原。该县属于暖温带半湿润、半干旱大陆性季风气候。全年降雨量600~700mm之间,主要集中在6月中旬至9月上旬。县区北部群山起伏,地势较高,主要为棕壤、褐土,占全县面积的90%左右,县南部地形开阔,较为平坦,主要为潮褐土、潮土分布区,占全县面积的10%左右^[11,12]。本研究主要调查北部山地丘陵区土壤厚度。

2.2 样点布设与采样方法

本研究采用抽样调查法^[13,14],依据高斯投影划分网格,Y轴方向由中央经线向两侧划分,X轴方向以赤道为起点划分^[15],一级区域网格大小为 $50\text{km} \times 50\text{km}$,二级区是将一级区域划分为25个 $10\text{km} \times 10\text{km}$ 的网格,二级区进一步划分为4个 $5\text{km} \times 5\text{km}$ 的网格作为抽样控制区,即每个控制区必须有一个抽样。然后将抽样控制区域进一步划分为25个 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的网格,为了保证抽样的随机性和抽样率,选择控制区中心位置的 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的范围作为基本抽样单元。密云县内的基本抽样单元为84个。土壤厚度调查选择山区的50个基本抽样单元为中心的小流域为调查对象,小流域面积为 $0.25 \sim 1\text{km}^2$ 。在选择的小流域内分别在阴坡、阳坡各选一个测量点。野外剖面挖掘调查土壤厚度,剖面的宽度为 1m ^[16],考虑到调查土壤厚度的代表性,每个测点在坡面中部选择平行等高线2m长的线段,每10cm测一个厚度。同时记录该点经纬度、高程、植被覆盖度等基本信息。共完成了90个测点,因为部分小流域阴阳坡分化不明显只测一个点。由于调查区域的土壤不仅土层薄,而且砾石含量较大^[11],空间变化大。为了调查的快捷,采用插钎法来确定土壤厚度。为了保证钢钎的硬度及穿透性,本研究特制一根长120cm,直径为6mm、尖端经过充分打磨的钢钎沿铅垂线插入土壤,测量没入土壤中的钢钎长度,并且于研究区随机选择了30个样点,进行了误差分析,即将实验样点上的插钎法获得的厚度值与挖掘剖面获得的实际厚度值进行了对比,平均误差仅为5%。

另外,为了分析土壤厚度沿坡面的变化规律,本研究于7个控制区选取8条垂直等高线的样线,由坡顶至坡脚,以1m一个样点的间隔调查土壤厚度,样线长度最短为50m,最长248m。

3 结果与分析

3.1 密云县山区土壤厚度空间分布特征

通过对90个样点1800个土壤厚度值的计算与统计,得到各深度等级所占的比例及其

累积百分比如图 1，从图 1 可以看出土壤厚度主要分布在 0~20cm，所占比例为 76%。研究区总体土壤厚度较薄，平均厚度仅为 15cm。其中 37% 的土壤深度小于 10cm，10~20cm 的占 39%，大于 20cm 的土壤比例仅占总体的 24%，因此根据耕层厚度的一般定义^[16]（表层 20cm），研究区大部分土壤不适合农业耕作。

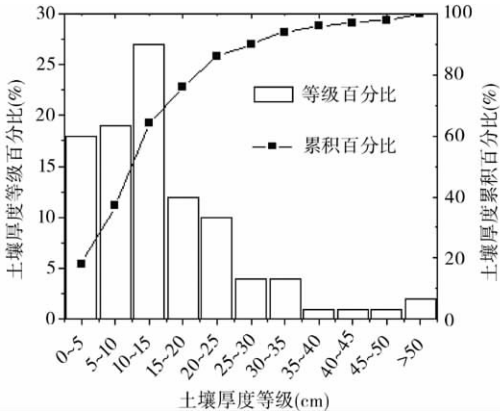


图 1 土壤厚度等级百分比与累积百分比

Fig. 1 Distribution of soil depth

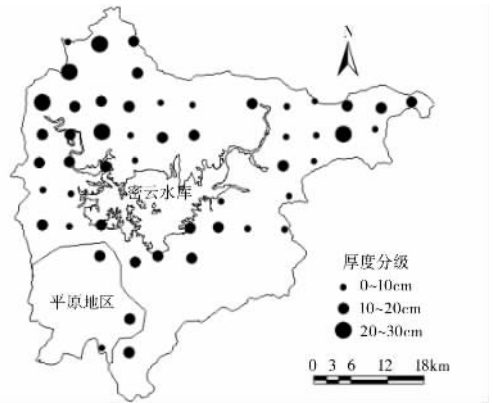


图 2 密云县山区土壤厚度空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of soil depth in Miyun County

另外为了分析土壤厚度空间上的差异，计算每个调查流域 2m 长样线的平均土壤厚度，应用 GIS 软件生成全县土壤厚度空间分布图（图 2），从土壤厚度分布来看该县山区西北部白河上游土壤相对较厚，其次是东北部，这些地区主要是林地分布带，植被覆盖较好，水土流失较轻，人类活动也比较稀少^[12]。

3.2 土壤厚度空间异质性

本研究调查了土壤空间分布的两种情况，一种是沿等高线 2m 内的微域变化，另一种情况是垂直等高线沿坡面上下的变化。

为了研究土壤厚度空间变异程度，本研究以 10cm 为间隔计算了 90 条 2m 长线段的变异系数。变异系数 C_v 反映了特性参数的空间变异程度，揭示区域化变量的离散程度。一般认为， $C_v < 0.1$ 为弱变异性， $0.1 \leq C_v \leq 1$ 为中等变异性， $C_v > 1$ 为高度变异性^[17]。统计分析所有线段土壤厚度变异系数，结果发现 93% 的样本变异系数在 0.1~1 之间属中等变异，7% 的样本变异系数大于 1 属高度变异。由图 3 可以看出土壤厚度在 2m 样线上呈波动性，且阴坡与阳坡上土壤厚度的波动性存在明显差异。通过统计分析阳坡与阴坡土壤厚度变异系数发现，阳坡变异系数分布在 0.28~1.71 之间，平均变异系数为 0.70，阴坡变异系数分布在 0.20~1.08 之间，平均变异系数为 0.524，从统计结果来看阳坡土壤厚度的空间变异程度要大于阴坡。

3.3 土壤厚度影响因素

3.3.1 土壤厚度与海拔的关系 海拔是重要的山地地形因子之一，海拔的变化会引起地貌、植被、土壤和水文等自然要素空间变异。图 4 为调查样线的平均深度与海拔的关系，从图中可以看出对于调查区域的土壤其土壤厚度与海拔高度的相关性不明显。当山地具有足够的海拔和相对高度时，才会形成气候的垂直带，进而导致其他自然地理要素发生变化^[18]，本研究区的样点主要分布在海拔 1000m 以下，因此土壤厚度随海拔的变化不明显。

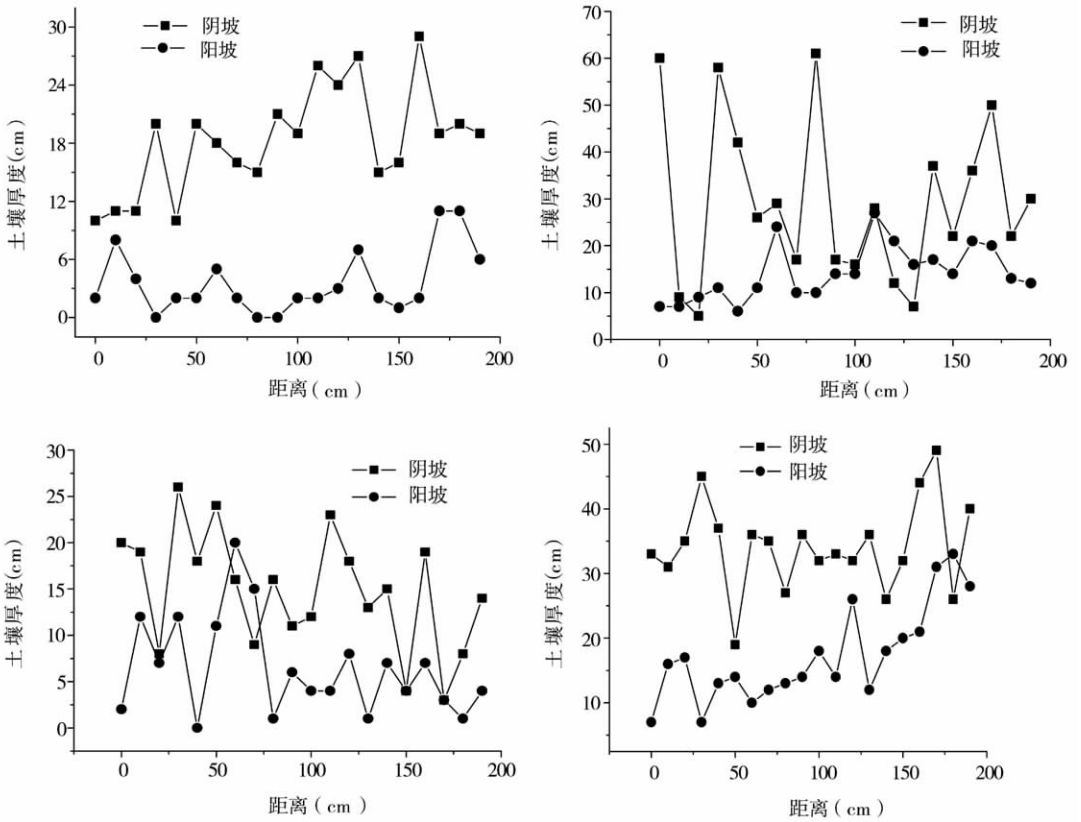


图 3 部分 2m 长线段上土壤厚度变化曲线

Fig. 3 Spatial distribution of the soil depth within two meters

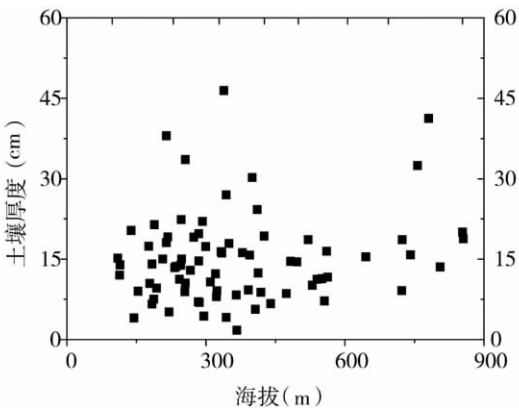


图 4 土壤厚度与海拔高度的关系

Fig. 4 Relationship between soil depth and elevation

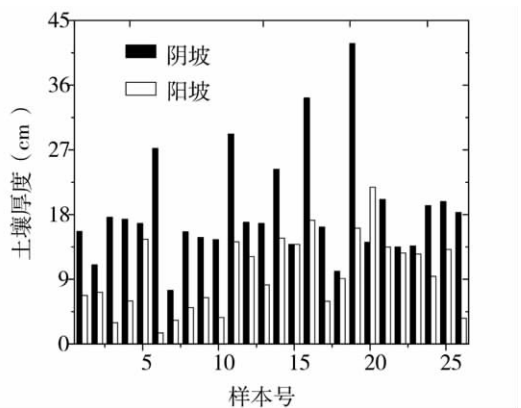


图 5 阴坡与阳坡土壤厚度对比

Fig. 5 The comparison of soil depth with different slope aspects

3.3.2 土壤厚度与坡向的关系 不同坡向的太阳辐射量、水分蒸发量和土壤水分都存在较大差异，并由此导致阴阳坡的土壤侵蚀类型和强度也表现出较大差异^[19,20]。本研究选

取 26 个流域统计分析其阴坡与阳坡土壤厚度差异 (图 5)。从图中可以看出除了 20 号样本以外, 其他样本阴坡土壤厚度较阳坡要厚。产生这种差异的原因主要是阴坡一般多为森林和中生、旱中生灌丛, 生长茂密, 总覆盖度可达 60~80%, 而阳坡的森林较少, 多为旱中生等草本群落, 总覆盖度一般只有 30~50%, 阳坡土壤的侵蚀较严重^[19]。根据野外调查发现 20 号样本厚度差异相反是由于调查区域阴坡坡度远远大于阳坡所致。

3.3.3 土壤厚度与植被覆盖度的关系 植被冠层和地表覆盖可以保护地表土壤免受雨滴直接打击, 减弱径流冲刷作用, 从而减少土壤侵蚀^[21~23]。

为了分析土壤厚度与植被覆盖度的关系, 在调查区域估测每个 2 m 长线段区的植被覆盖度, 对 90 条 2 m 长线段的平均土壤厚度与植被覆盖度进行相关性分析 (图 6), 相关系数 R 达到 0.84, 通过了显著水平为 0.01 的显著性检验, 该结果表明土壤厚度的大小在很大程度上受到植被覆盖状况的影响。从图 6 中可以看出土壤厚度是随植被覆盖度的增大而增大的。

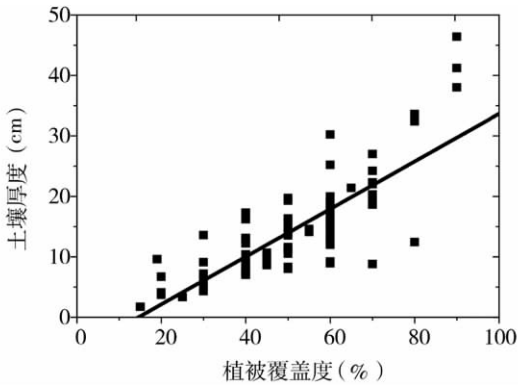


图 6 土壤厚度与植被覆盖度的关系

Fig. 6 The relationship between soil depth and vegetative cover

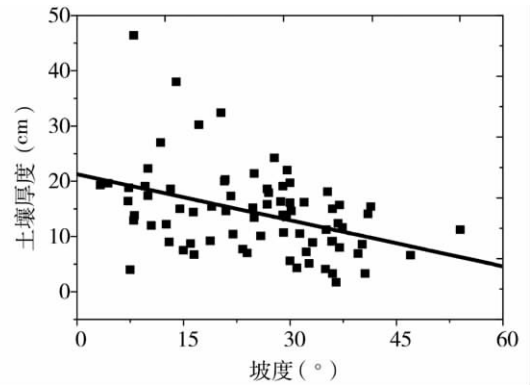


图 7 土壤厚度与坡度的关系

Fig. 7 The relationship between soil depth and slope

3.3.4 土壤厚度与坡度的关系 坡度是影响坡地的众多因素中最重要的因素之一, 坡度不仅是反映地貌形态及地貌过程的重要地形因素, 也是最直接反映坡面形态的因子。为了分析土壤厚度与坡度的关系, 数字化密云县 1:1 万地形图生成 DEM 提取坡度图, 将样点区经纬度坐标与坡度图叠加, 提取 2 m 长样点区的坡度值, 分析线段上平均土壤厚度与坡度的相关性 (图 7)。从图上可以看出, 土壤厚度与坡度呈负相关关系, 其相关系数 R 为 -0.40, 通过了显著水平为 0.01 显著性检验。该研究结果与东北黑土区的研究结果较为一致^[8], 因此, 北方石质山区坡度较大, 是影响土壤厚度普遍较薄的一个重要因素。

3.4 土壤厚度沿坡面的变化

为了进一步分析土壤厚度分布特征及其影响因素。根据抽样单元内坡面的自然状况, 选取了 7 条小流域 8 个坡面 (表 1), 从上到下垂直等高线每隔 1 m 测一个土壤厚度, 并详细记录了每条样线所在坡面的自然状况 (坡向、坡度、植被覆盖)。图 8 点绘了土壤厚度沿坡面上下变化情况 (细线) 和 5 点滑动平均值 (黑线)。

1 号样线和 3 号样线所在的坡面总体坡度变化不大, 植被类型为单一灌丛, 覆盖较均

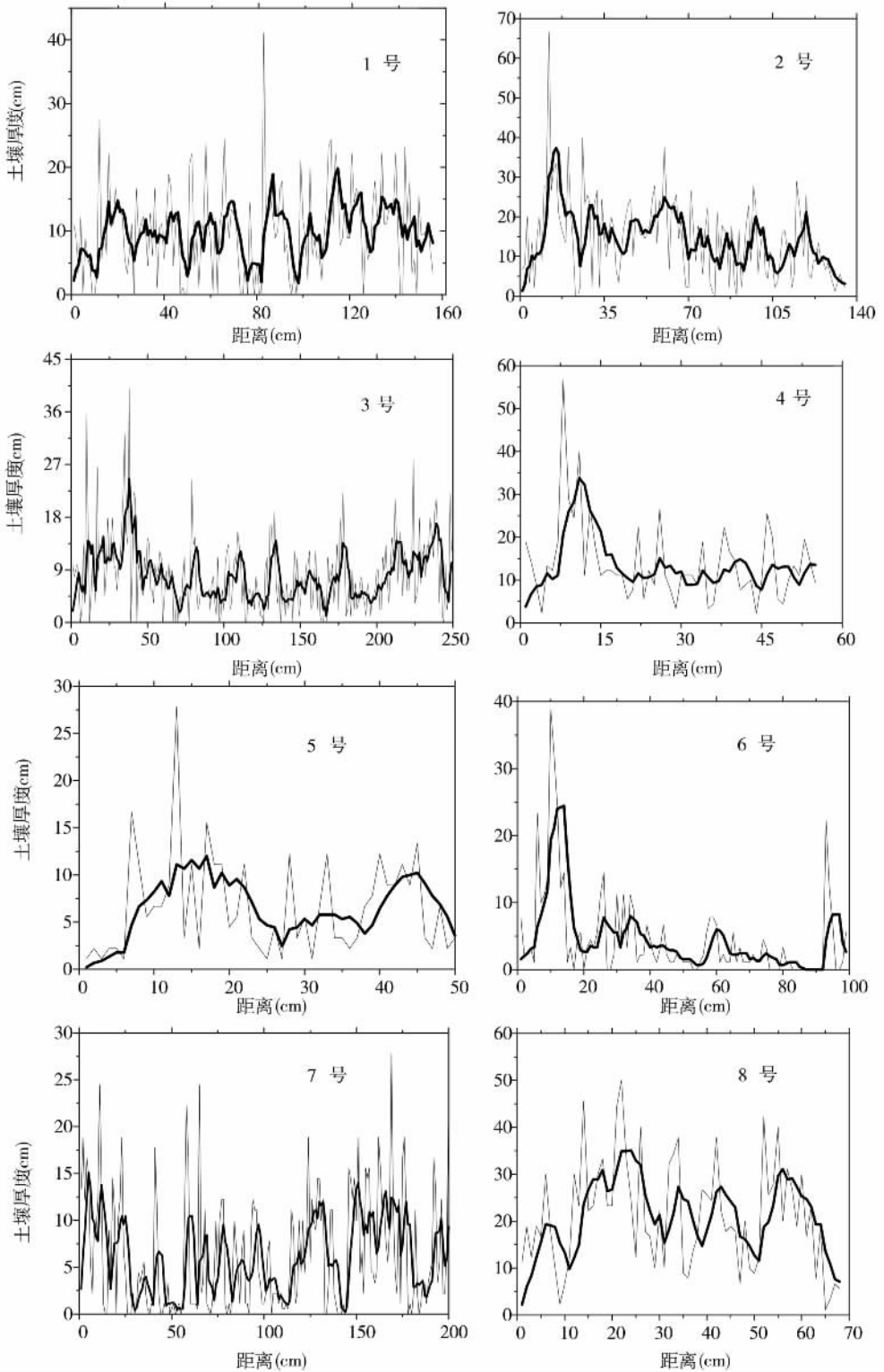


图 8 土壤厚度沿坡面变化曲线及其 5 点滑动平均曲线

Fig. 8 Soil depth variation along slopes from top to bottom

表 1 沿坡面样线基本概况

Tab. 1 General situation of sample line along slope

样线号	地点	样线长(m)	坡向	坡度 (°)			植被覆盖度 (%)		
				坡上	坡中	坡下	坡上	坡中	坡下
1	西邵渠*	155	东	20~30	20~30	20~30	30~40	30~40	30~40
2	下黑窝	134	西	<10	10~15	10~15	50~70	40~60	30~40
3	银野岭*	248	东北	15~25	15~25	15~25	50~70	30~40	30~40
4	平道村	54	南	5~10	15~20	15~20	30~40	30~40	30~40
5	黄土坎	50	西	5~10	5~10	5~10	20~30	20~30	20~30
6	龙潭沟	98	西南	15~25	20~30	20~30	30~40	20~30	<10
7	古北口	204	南	10~15	10~15	10~15	30~40	15~25	40~50
8	古北口	67	北	20~30	20~30	20~30	40~50	40~50	40~50

* 分水岭附近为陡峭裸露岩石，样线从峭壁下开始测量

匀，因此土壤厚度变化无明显规律性。2号、4号、6号样线，在靠近分水岭的地段上，样点土壤厚度明显大于其他部位，这是由于该部位坡度较缓，侵蚀相对轻的结果。其中2号样线沿坡面从上到下土壤厚度有减少的趋势。这主要是因为坡面上植被覆盖发生明显变化。坡面中上部为林地，植被覆盖较好，坡面中下部为低矮灌丛，植被覆盖较差。6号样线所在的坡面，中下部植被覆盖较差，部分地段岩石裸露，因此土壤浅薄。7号样线坡面，上部植被覆盖较好土壤厚度相对较厚，中部植被盖度相对较差部分地段岩石裸露，因此土壤厚度明显较薄。而该样线150m附近为人工林地（李子），植被覆盖状况相对较好，样线上的土壤厚度明显增大。8号样线与7号样线同属一个调查区域的两个坡向的坡面。8号样线坡面属于阴坡，该坡面种植有人工林地，覆盖状况较好，因此与7号样线相比，土壤厚度相对较厚且无明显规律性变化趋势。

通过土壤厚度沿坡面的分布特征分析，进一步证明了土壤厚度与其影响因子坡度、植被覆盖度、坡向的关系。从土壤发生学角度来看，土壤的形成发育受气候、生物、地形、母质、水文、成土时间及人为影响等影响^[24]。但是气候因素主要在较大的尺度下对土壤的发育产生作用^[25]，而在中小尺度下，对土壤发生发展起重要作用的还是地形因子。在研究区地形因素决定了本地区山地气候、植被、土壤的分异特征^[26]。因此，地形因素（坡度、坡向）与植被覆盖状况是北方石质山区坡面土壤厚度分异规律的主导因子。

4 结论

本研究应用插钎法，对北方石质山区典型区域密云县山区坡面土壤厚度进行了抽样调查，并对调查数据进行了统计分析。结果表明山区土壤普遍较薄，平均厚度仅为15cm，土壤厚度90%在30cm以下；76%的土壤厚度不足20cm。土壤厚度空间变异特征分析发现，土壤厚度在2m长的线段上，93%的样本为中等变异，7%的样本属于高度变异。土壤厚度受坡向、坡度和植被覆盖度的影响较为明显。阴坡土壤厚度明显大于阳坡。坡度越大土壤就越薄，因此坡度较陡是研究区土壤厚度普遍较薄的重要原因。植被覆盖度与土壤厚度呈正相关性，植被覆盖越好土壤厚度就越大。本研究采用的调查方法，能够快速获取

土壤厚度及其空间分布,方法简单易行。研究结果可以为山区土地利用、水土保持规划与生态建设提供重要依据。

参考文献:

- [1] 史德明,韦启潘,梁音,等.中国南方侵蚀土壤退化指标体系研究.水土保持学报,2000,14(5):1~9.
- [2] 刘创民,李昌哲,史敏华,等.多元统计分析在森林土壤分析类型分辨中的应用.生态学报,1996,16(1):444~447.
- [3] 张本家,高岚.辽宁土壤之土壤厚度与抗蚀年限.水土保持研究,1997,4(4):57~59.
- [4] Yanda Pius Z. Use of soil horizons for assessing soil degradation and reconstructing chronology of degradation processes: The case of Mwisanga Catchment, Kondo, central Tanzania. Geomorphology, 2000,34: 209~225.
- [5] Arizona Master Gardener Manual. An essential reference for gardening in the desert southwest. Produced by the Cooperative Extension, College of Agriculture, The University of Arizona, Chapter 2. 1998, 15~17.
- [6] 王绍强,朱松丽,周成虎.中国土壤土层厚度的空间变异性特征.地理研究,2001,20(2):161~167.
- [7] 解运杰,刘凤飞,白建宏,等.基于GIS技术的黑龙江省典型土壤有效土壤厚度调查研究.水土保持研究,2005,12(6):251~253.
- [8] 刘宪春.东北漫岗黑土壤厚度空间分布规律研究.北京师范大学博士学位论文,2005.
- [9] 辛树帜,蒋德麒.中国水土保持概论.北京:农业出版社,1982.81~83.
- [10] 全国土壤普查办公室.中国土种志.第四卷.北京:中国农业出版社,1995.
- [11] 北京市农业区划办公室,北京市农业科学院.北京土壤.1984.45~130.
- [12] 北京市土壤普查办公室.密云县土壤普查报告.1982.1~2,6~7.
- [13] Goebel J J, George T A. The 1982 National Resources Inventory: Sample design and estimation procedures. Statistical Laboratory, Iowa State University. 1987.
- [14] Nusser S M, Goebel J J. The National Resources Inventory: A long-term multi-resource monitoring programme. Environmental and Ecological Statistics, 1997, 4:181~204.
- [15] 马永立.地图学教程.南京:南京大学出版社,1999.46~49.
- [16] 全国土壤普查办公室.中国土壤普查技术.北京:农业出版社,1992.
- [17] 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.水土保持学报,2004,18(3):53~56.
- [18] 伍光和田连恕,胡双熙,等.自然地理学.北京:高等教育出版社,2000.355~360.
- [19] 李孝地.黄土高原不同坡向土壤侵蚀分析.中国水土保持,1988,(8):52~54.
- [20] 林超,李昌文.阴阳坡在山地地理研究中的意义.地理学报,1985,40(1):20~28.
- [21] 刘宝元,谢云,张科利.土壤侵蚀预报模型.北京:中国科学技术出版社,2001.158~160.
- [22] 张青春,刘宝元,翟刚.植被与水土流失研究综述.水土保持研究,2002,9(4):96~101.
- [23] 景可,王万忠,郑粉莉.中国土壤侵蚀与环境.北京:科学出版社,2005.110~111.
- [24] 张俊民,蔡凤歧,何同康.中国的土壤.北京:商务印书馆,1996.
- [25] Moore I D, Gessler P E, Nielsen G A, *et al.* Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Sci. Soc. Am. J., 1993, 57: 443~452.
- [26] 霍亚贞,杨作民,孟德政.北京自然地理.北京:北京师范大学出版社,1989.216~217.

Soil depth distribution characteristics on the lithoidal mountainous slope of northern China: A case study of Miyun County, Beijing

ZENG Xian-qin¹, LIU Bao-yuan¹, LIU Ying-na¹, FU Su-hua¹,
LIU He-ping¹, ZHAO Yu-ming¹

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology,
School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy, Beijing 100044, China)

Abstract: Soil depth is an important index in appraising soil degradation and soil productivity. In the lithoidal mountainous area of northern China, the soil horizon is thin, with high rock fragments contents. In the interest of shortcut soil depth survey, the research was carried out with penetration method, that is penetrating a steel drill of 1.2 m long with a diameter of 0.6 cm into the soil vertically until the tip reaching the bedrock, and measuring the length of the section which has been penetrated into the soil. Statistics and analysis of the survey data showed that 76% of the soil depth is less than 20 cm, 90% of the soil depth is less than 30 cm, and the average soil depth is 15 cm. The spatial variability of soil depth in two meters distance belongs to median level. The variability coefficient of 93% of the samples is between 0.1 and 1, 7% higher than 1. The spatial distribution map of soil depth indicated that the soil depth is deeper in the northwest comparatively with the vegetation type of woodland and shrubbery, where the cover rate is high, and human function is sparse. Soil erosion intensity is low. The factors affecting soil depth were also analyzed. The results showed that the correlation of soil depth and elevation was not significant. Because all the elevation of sample point selected is below one kilometer and the elevation is not high enough to cause the element change. Soil depth has distinctiveness within different aspects; the soil depth of southern aspect is smaller than that of the northern. Moreover, soil depth was positively and negatively related with vegetative cover and slope gradient, respectively, for soil depth increased with the vegetative cover and decreased with the slope gradient. So the topographic factors (slope, aspect) and the vegetative cover are the major factors dominating the characteristics of soil depth distribution. The research method is simple and shortcut, and the result will provide basic data for mountain land use and project of soil and water conservation.

Key words: soil depth; lithoidal mountainous area; Miyun; vegetative cover