鹫峰地区土壤结构及水分运移能力随海拔梯度的变化

孟 晨，牛健植，武晓丽，杜晓晴，骆紫藤

（北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室，北京 100083）

摘 要：[目的] 分析土壤性质及饱和导水率与海拔之间的关系，为该地区的土壤性质及土壤导水性能的空间异质性提供参考。[方法] 用环刀分层取样对北京市鹫峰低海拔地区不同海拔的 6 块样地进行土壤性质测定，并进行水分穿透试验。[结果] 鹫峰低海拔地区土壤密度、总孔隙度及 0.25 水稳性团聚体与海拔之间无相关关系；土壤含水率及石砾含量均表现出与海拔极显著的相关关系，其中土壤含水率随海拔的升高而升高，石砾含量随着海拔的升高而降低；大孔隙密度及饱和导水率与海拔呈现较显著的相关性，其中 0—20 cm 土层土壤大孔隙密度与导水率随着海拔的升高而升高，40—60 cm 土层土壤则表现出土壤大孔隙密度及饱和导水率随着海拔的升高而降低的规律。[结论] 海拔梯度与土壤性质密切相关，在今后对土壤结构及水分运移能力的研究中不能忽略海拔对其的影响。

关键词：海拔；土壤含水率；土壤结构；孔隙度；石砾含量；土壤饱和导水率

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2016)01-0106-04 **中图分类号**：S152.4

文献参数：孟晨，牛健植，武晓丽，等. 鹫峰地区土壤结构及水分运移能力随海拔梯度的变化[J]. 水土保持通报，2016，36(1)：106-109. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.019

Soil Structure and Water Transport Capacity at Different Altitudes in Jiufeng Area

MENG Chen, NIU Jianzhi, WU Xiaoli, DU Xiaoqing, LUO Ziteng

(*Key Laboratory of Soil and Water Conversation & Desertification Combating of Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: [Objective] We aimed to analyze the relationships between soil properties and saturated hydraulic conductivity and altitude in order to provide the reference for soil properties and spatial heterogeneity of soil water proerties in the study area. [Methods] The ring knife was used to collect soil samples in six different sampling plot in Jiufeng low altitude area of Beijing City. Soil properties were analyzed and water penetration was surveyed. [Results] No significant correlation have been found between soil bulk density, total porosity and 0.25 water stable aggregates and altitude. The soil water content and gravel content showed a significant correlation with altitude. Soil water content increased while gravel content decreased with the increase of altitude. There was a significant correlation between high pore density and saturated hydraulic conductivity and altitude. In the 0—20 cm soil layer, macropore density and water conductivity increased with the increase of altitude. In 30—60 cm soil layers, macropore density and water conductivity decreased with the increase of altitude. [Conclusion] The effects of altitude on soil structure and water transport capacity is odvious, it should not be ignored in the future studies.

Keywords: **altitude; soil moisture content; soil structure parameters; macropore; gravel content; soil saturated hydraulic conductivity**

土壤是动植物赖以生存的根本。植被对水分有高度的依赖性，水文过程能影响生态格局的组成[1]。土壤及水分是保证中国生态环境建设的最主要因素。中国山区水土流失对土壤性质造成极大破坏，对生态环境造成严重威胁[2-3]。研究山区土壤性质及水分运移规律，可为水土流失的防治提供理论依据。海拔是影响土壤的理化性质的间接生态因子[4]。海拔不同会导致土壤微生物群落、植被类型及气候特征差异，导致土壤理化性质的改变[5-8]。而土壤理化性质差异会对土壤水分运移产生影响[9-10]。其中土壤水分入渗的研究对地表径流的调节及土壤水分的补充有重要意义[11]。土壤饱和导水率是决定坡地降水入渗与

收稿日期：2014-12-09 **修回日期**：2015-01-04

资助项目：国家自然科学基金项目“林木根系对溶质优先运移影响机制研究”(41271044)

第一作者：孟晨(1990—)，男(汉族)，宁夏回族自治区石嘴山市人，硕士研究生，研究方向为森林水文与森林生态。E-mail：mengchen@bjfu.edu.cn。

通讯作者：牛健植(1974—)，女(汉族)，吉林省四平市人，博士，副教授，主要从事森林水文与森林生态研究。E-mail：niujianzhi@126.com。

径流比例的关键,被作为水分循环和土壤侵蚀模型中的重要参数[12]。

鹫峰位于北京市海淀区北安河乡,该区土壤发育较差,土壤中石砾较多,且土层薄,受植被影响小,属于典型地区,有必要在此典型地区进行土壤性质及水分运移规律的研究。然而目前,在此地区没有针对不同海拔情况下的土壤结构及入渗能力的对比分析及研究。本文拟以鹫峰国家森林公园为研究区域,测定土壤的结构指标及土壤水分导水率,分析不同海拔情况各土壤结构指标差异,探讨土壤性质及土壤饱和导水率与海拔之间的相关性,以期为该地区的土壤性质及土壤导水性能的空间异质性提供参考。

1　研究区概况

研究区位于鹫峰国家森林公园生态定位观测站,地处北京西北郊区。地理坐标为 116°28′E,N39°54′,面积 811.173 hm^2,最高海拔 1 153 m[13]。该区年平均气温为 11.6 ℃,年平均降水量 630 mm,年蒸发量为 1 800～2 000 mm[14]。土壤在海拔 70～900 m 之间为山地淋溶褐土,海拔 900 m 以上为棕壤土[15]。研究区 400 m 以下地区土壤中砾石含量较高,可达 10%～20%。原始森林遭到破坏,20 世纪 50—60 年代,开始大规模人工造林,800 m 以下,以侧柏(*Platycladus orientalis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、刺槐(*Robinia pserdoaeaeia*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)、元宝枫(*Acer truncatum*)等为主,800～1100 m 树种以落叶松(*Larix gmelinii*)和油松为主,主要草本有苔草(*Carex tristachya*)、菅草(*Themeda forsk*)、求米草(*Spartina anglica*)等[15]。

2　研究方法

2.1　样地选择及土样采集

试验于鹫峰国家森林公园进行。鹫峰区海拔 400 m 以上的土壤石砾含量相对较少,腐殖质层相对较厚,土壤发育较好[16],不属北方土石山区典型土壤,且鹫峰地区人为活动多集中在 400 m 以下的低海拔地区,植被稀疏,多为草本;中海拔地区植被旺盛,乔灌丛生;高海拔地区植被较稀疏并以乔木树种为主。因此,为了避免土壤类型、植被类型以及人为活动差异所带来的影响误差,以海拔 400 m 以下的低海拔地区作为研究对象,选择 6 个海拔高度进行土壤取样,为减少坡位因素干扰,6 个样点均选择上坡位,坡度均选择 20°左右,坡向均选择向阳坡,为避免树种根系及枯落物对试验的影响,样点均选择无植被生长地区或少量草本植物生长地区。样点基本状况见表 1。

表 1　样点基本状况

海拔/m	土层厚度/m	枯落物厚度/m	空气温度/℃	空气相对湿度/%
90	1.1	0	22	65
110	1.2	0	22	60
200	0.9	0.1	21	65
230	1.1	0	21	70
300	1.0	0	20	60
350	0.9	0.1	19	65

在每个样点设置 3 个样地重复,用直径 7 cm,高 5 cm 的环刀在 18 块样地分层(0—10,10—20,20—30,30—40,40—60 cm)采集土壤样品,每层设置 3 个重复,带回室内测定土壤含水率、总孔隙度、土壤密度;用直径 7 cm,高 10 cm 的环刀在 6 块样地分层(0—10,10—20,20—30,30—40,40—60 cm)采集土壤样品分别用来测定大孔隙密度及土壤饱和导水率,所有测定指标设置 3 次重复。同时,每层用自封袋取土样 400 g,用于室内测定土壤机械组成以及土壤团聚体。

2.2　试验方法

试验在 6 个不同海拔样地分层测定土壤含水率、土壤密度、大孔隙密度、总孔隙度、$R_{0.25}$(0.25 mm 水稳性团聚体)、土壤机械组成以及土壤饱和导水率,对比分析各指标与海拔的关系。土壤含水率测定采用烘干法;土壤密度测定采用比重瓶法,并用计算法得土壤总孔隙度;土壤团聚体测定采用干筛法;土壤饱和导水率测定采用定水头法[17];采用 R. Raulovich 等[18]的水分穿透曲线法,同时结合基本水流方程和 Poiseuille 方程来测定与计算土壤大孔隙密度[19]。

2.3　数据处理

将每个样点每层土壤 3 个重复各因素测量值取平均值,得每个样点测量分层各指标平均数据,再将每个海拔样地的 3 个样点各测量指标取平均值,最终得到 6 个海拔样地每层土壤各指标的平均数据。利用 SPSS 及 Excel 软件分析比较不同海拔各土壤性质差异及各土壤性质因素、土壤饱和导水率与海拔之间的相关关系。

3　结果与分析

6 个样地土壤分层变异规律见表 2。可知不同海拔情况下土壤含水率、大孔隙密度、石砾质量含量及饱和导水率存在明显变化(变异系数>20%);$R_{0.25}$ 除了 0—10 cm 层差异较明显外,其余土层垂直差异均

不明显;土壤密度及总孔隙度随海拔变化不显著。表明不同海拔的土壤含水率、大孔隙密度、石砾质量含量及饱和导水率存在一定的差异性,固对其进一步分析。

表 2 不同海拔梯度各土壤性质变异系数

土层/cm	含水率	土壤密度	总孔隙度	大孔隙密度	$R_{0.25}$	石砾含量	饱和导水率
0—10	0.75	0.09	0.05	0.97	0.21	0.58	0.85
10—20	0.81	0.09	0.09	1.03	0.16	0.65	0.89
20—30	0.83	0.04	0.15	0.48	0.16	0.65	0.32
30—40	0.68	0.06	0.14	0.66	0.12	0.67	0.38
40—60	0.71	0.08	0.15	0.86	0.12	0.46	0.44

对各土层的土壤含水率、大孔隙密度、石砾质量含量及饱和导水率与海拔之间进行回归分析,结果见表 3。可以看出,各土层的土壤含水率均与海拔呈现极显著的相关性($R^2>0.8$,$p<0.01$);大孔隙密度除 20—30 cm 土层与海拔不相关外($R^2<0.5$,$p>0.05$),其余土层均与海拔呈现相关关系,其中 30—40 cm 土层相关关系极显著($p<0.01$),0—10,10—20 与 40—60 cm 土层大孔隙密度与海拔的相关关系较显著($p<0.05$);各土层石砾质量含量与海拔之间均表现出相关关系,其中 0—10 以及 20—30 cm 土层石砾含量与海拔相关性较显著($p<0.05$),其余土层石砾含量均与海拔表现出极显著的相关性($p<0.01$);0—10,30—40 与 40—60 cm 土层土壤饱和导水率与海拔呈现较显著的相关关系($p<0.05$),其余土层与海拔的相关性不显著。

表 3 各土层土壤性质与海拔的回归分析

项 目	土层/cm	回归方程	R^2	p
土壤含水率	0—10	$F_{10}=7.314X-6.501$	0.917	0.001
	10—20	$F_{20}=7.315X-7.327$	0.864	0.005
	20—30	$F_{30}=7.272X-8.258$	0.917	0.001
	30—40	$F_{40}=6.378X-4.330$	0.939	0.000
	40—60	$F_{60}=6.373X-5.005$	0.938	0.000
大孔隙密度	0—10	$F_{10}=8980X-10257$	0.665	0.042
	10—20	$F_{20}=8760X-10809$	0.648	0.044
	20—30	—	0.067	0.703
	30—40	$F_{40}=-3524X+22808$	0.922	0.002
	40—60	$F_{60}=-5617X+33316$	0.795	0.029
石砾质量含量	0—10	$F_{10}=-2.202X+15.72$	0.826	0.012
	10—20	$F_{20}=-3.126X+20.26$	0.924	0.002
	20—30	$F_{30}=-3.388X+22.66$	0.815	0.030
	30—40	$F_{40}=-3.398X+21.66$	0.955	0.002
	40—60	$F_{60}=-2.898X+22.89$	0.862	0.009
饱和导水率	0—10	$F_{10}=0.391X-0.321$	0.749	0.020
	10—20	$F_{20}=0.371X-0.303$	0.608	0.055
	20—30	—	0.001	0.993
	30—40	$F_{40}=-0.189X+1.284$	0.849	0.020
	40—60	$F_{60}=-0.220X+1.404$	0.865	0.019

3.1 土壤含水率与石砾含量

不同海拔条件下各土层土壤含水率测量结果见图 1。可知各层次土壤土壤含水率均随着海拔的增高而增大,且变异规律明显。结合回归分析得出:土壤含水率呈现随着海拔的升高而升高的规律,且显著性极强。

各土层土壤石砾质量含量与海拔的关系见图 2。可知 0—10 与 20—30 cm 土层石砾含量有略微浮动,呈现先升高后降低的状况,但总体表现随着海拔的升高石砾含量降低;其余土层均可明显看出石砾含量随着海拔的升高呈降低趋势。结合回归分析可得:石砾质量含量与海拔呈显著相关关系,石砾含量随着海拔的升高而降低。

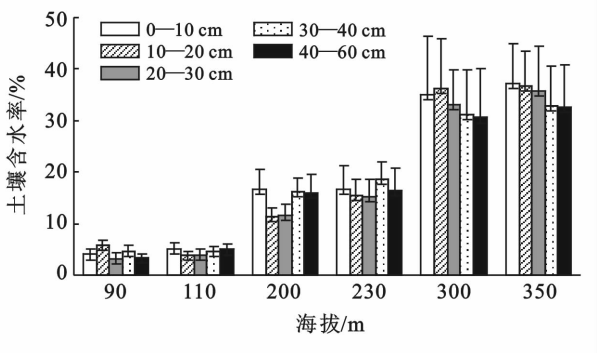


图 1 不同海拔各土层土壤含水率

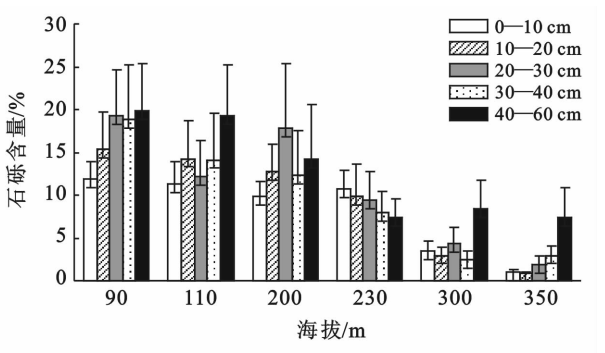


图 2 不同海拔各土层土壤石砾质量含量

3.2 大孔隙密度与饱和导水率

不同海拔各层次土壤大孔隙密度测量结果见

图 3。可以看出,0—10 cm 土层以及 10—20 cm 土层土壤大孔隙密度及土壤饱和导水率呈现随着海拔的升高而升高的规律;20—30 cm 层土壤大孔隙密度与海拔之间无明显规律,而土壤饱和导水率随海拔升高先增高后降低(图 4),结合回归分析可知 20—30 cm 土层土壤大孔隙密度及饱和导水率与海拔之间无相关性;30—40 以及 40—60 cm 土层土壤大孔隙密度以及饱和导水率呈现随着海拔的升高而降低的规律,正好相反与 0—20 cm 土层规律。究其原因,可能是由于海拔越高的地区温度越低,有机矿化速度较慢,深层土壤更为紧实,土壤生物数量较少,而土壤生物活动是产生土壤大孔隙的主要因素之一,因此高海拔地区土壤大孔隙密度较低。

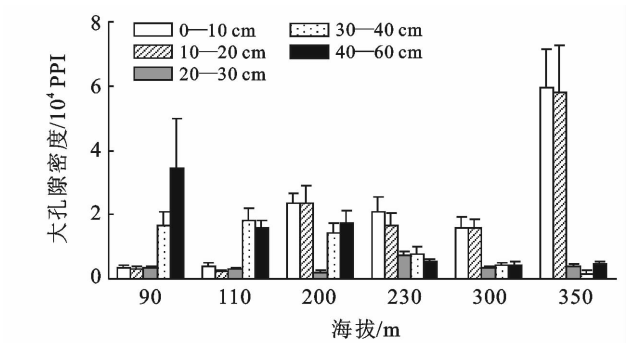


图 3　不同海拔各土层土壤大孔隙密度

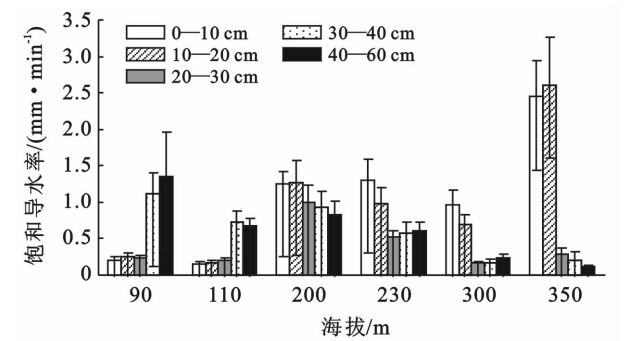


图 4　不同海拔各土层土壤饱和导水率

4　讨论与结论

(1) 鹫峰低海拔地区土壤密度、土壤总孔隙度以及 0.25 mm 水稳性团聚体与海拔之间没有明显的相关关系。但这不能证明海拔对其没有影响,而可能是不同海拔不同微立地类型、湿度差异,以及低海拔地区的人为活动过多对土壤性质造成的影响误差。

(2) 鹫峰低海拔地区土壤含水率与石砾质量含量均与海拔呈现极显著的相关性,其中土壤含水率随着海拔的升高而升高,石砾质量含量随海拔的升高而降低。因此,在对鹫峰地区生态规划及相关研究中,不仅要考虑植被、土壤等生态因子,也需考虑不同海拔的影响。

(3) 鹫峰低海拔地区大孔隙密度及土壤饱和导水率与海拔有相关性,其中 20—30 cm 土层相关性差,0—20 cm 土层土壤大孔隙密度及饱和导水率会随海拔的升高而升高;30—60 cm 土壤大孔隙密度及土壤饱和导水率随海拔的升高而降低。可见海拔对土壤导水性能有一定影响,但土壤水分导水能力主要决定于土壤性质。

本文在鹫峰低海拔地区进行海拔对土壤性质的影响研究,结果表明海拔会对土壤性质产生显著影响,在今后的生产与研究中,不能忽略海拔的影响。但本文仅在鹫峰 400 m 以下的低海拔地区进行探究,研究结果有一定的局限性。研究在不同海拔选取了 6 个样点,但不能确定这 6 个样点的人为活动差异,而人为活动会对土壤性质产生较大影响。此外,虽然研究选取的 6 个样点均为植被少或无植被区域,但样点演替前的植被,包括被破坏的植被,以及周边植被根系仍会对此样点的土壤性质产生影响。除了植被和人为活动因素对土壤性质有影响外,由于海拔差异造成的生物活动差异也会对土壤性质产生影响。因此,在下一步研究中,要优化人为活动、植被覆盖及根系、土壤生物活动差异等因素对研究结果的干扰,进而优化判定标准,建立更完善的研究体系。

[参　考　文　献]

[1] 于晓娜,黄永梅,陈慧颖,等. 土壤水分对毛乌素沙地油蒿群落演替的影响[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(2):92-98.

[2] 徐小军,阎丹丹,何丙辉,等. 汶川地震区新生水土流失对土壤养分的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(3):34-38.

[3] 苏志珠,朱东红,马义娟. 晋西沿黄地区水土流失危害及防治对策研究[J]. 水土保持通报,2003,23(4):55-60.

[4] 刘月华,位晓婷,钟梦莹,等. 甘南高寒草甸草原不同海拔土壤理化性质分析[J]. 草原与草坪,2014,34(3):1-7.

[5] 王学芳,李瑞云,李孝泽,等. 祁连山 3 种被子植物叶特征随海拔变化及其内陆高海拔模式[J]. 中国科学地球科学:中文版,2014,44(4):706-714.

[6] 斯贵才,王建,夏燕青,等. 念青唐古拉山沼泽土壤微生物群落和酶活性随海拔变化特征[J]. 湿地科学,2014,12(3):340-348.

[7] 董立民,刘淑明,辛继红. 秦岭火地塘林场气候要素随海拔高度的变化[J]. 水土保持通报,1995,15(3):16-19.

[8] Tang C Q. Forest vegetation as related to climate and soil conditions at varying altitudes on a humid subtropical mountain, Mount Emei, Sichuan, China[J]. Ecological Research, 2006,21(2):174-180.

(下转第 114 页)

进行分析，而对不同坡度、雨强及降雨阶段坡面微地形特征的变化还有待进一步研究。此外，微地形耕作措施布设时如何消除人为因素的影响，如何有效地利用变程或尺度效应来增加试验坡面的长度，如何将室内研究成果应用于野外的水土保持机理研究中，仍有许多问题值得深入研究。

[参 考 文 献]

[1] 罗亲普，刘文杰. 土壤溅蚀过程和研究方法综述[J]. 土壤通报，2012，43(1)：230-235.

[2] 韩学坤，吴伯志，安疃昕，等. 溅蚀研究进展[J]. 水土保持研究，2010，17(4)：46-51.

[3] 程琴娟，蔡强国. 我国水土流失典型区土壤溅蚀特征研究[J]. 水土保持学报，2010，30(1)：17-21.

[4] Huang Chihua, White I, Thwaite E G, et al. A non-contact laser system for measuring soil surface topography[J]. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52(3)：350-355.

[5] 贾莲莲，李占斌，李鹏，等. 降雨过程对地表糙度的影响[J]. 水土保持学报，2009，23(5)：30-33.

[6] 吴发启，郑子成. 坡耕地地表糙度的量测与计算[J]. 水土保持通报，2005，25(5)：70-74.

[7] 陈晓安，蔡强国，张利超，等. 黄土丘陵沟壑区坡面土壤侵蚀的临界坡度[J]. 山地学报，2010，28(4)：415-421.

[8] 李鹏，李占斌，郑良勇，等. 黄土坡面水蚀动力与侵蚀产沙临界关系试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报，2010，18(3)：435- 441.

[9] David F M. A self-organizing dynamic systems approach to the simulation of rill initiation and development on hillslopes[J]. Geocomputation, 1998, 24(4)：353-372.

[10] 郑粉莉，高学田. 坡面土壤侵蚀过程研究进展[J]. 地理科学，2003，23(2)：230-235.

[11] 薛海，孔纯生，熊秋晓，等. 坡面沟蚀及其分形特性试验研究[J]. 人民黄河，2008，30(12)：90-92.

[12] 赵龙山，张青峰，梁心蓝，等. 基于 GIS 的坡耕地数字高程模型的建立与应用[J]. 农业工程学报，2010，26(11)：317-322.

[13] Zhang Qingfeng, Zhao Longshan, Wang Jian, et al. Spatiotemporal variability and simulation of tillaged loess microtopography in water erosion[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 69(4)：343-351.

[14] 张莉，张青峰，徐健，等. 坡面水蚀过程中地表糙度的空间异质性研究[J]. 水土保持研究，2014，21(2)：6-10.

[15] 张莉，张青峰，郑子成，等. 基于 M-DEM 的黄土人工锄耕坡面水系分维特征研究[J]. 水土保持研究，2012，19(5)：7-11.

[16] 张莉，张青峰，赵龙山，等. 黄土坡耕地地表糙度的空间异质性研究[J]. 中国农业科学，2014，47(12)：2365-2373.

[17] 张青峰，王健，赵龙山，等. 基于 M-DEM 黄土人工锄耕坡面微地形特征研究[J]. 干旱区资源与环境，2012，26(9)：149-153.

(上接第 109 页)

[9] 李雪转，樊贵盛. 土壤有机质含量对土壤入渗能力及参数影响的试验研究[J]. 农业工程学报，2006，22(3)：188-190.

[10] 解文艳，樊贵盛. 土壤结构对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报，2004，35(4)：381-384.

[11] 马晓刚. 缙云山不同植物群落类型土壤入渗性能研究[D]. 重庆：西南大学，2008.

[12] 樊军，邵明安，王全九. 田间测定土壤导水率的方法研究进展[J]. 中国水土保持科学，2006，4(2)：114-119.

[13] 赵永泉，彭道黎. 北京鹫峰公园主要人工林群落多样性研究[J]. 西南林学院学报，2008，28(1)：17-21.

[14] 王勇. 鹫峰国家森林公园土壤系统分类研究[D]. 北京：北京林业大学，2009.

[15] 邵文伟. 鹫峰国家森林公园优先流类型及影响因子研究[D]. 北京：北京林业大学，2011.

[16] 郭建斌，刘颖，游先祥. 基于“3S”技术的鹫峰森林公园立地分类及制图研究[J]. 安徽农业科学，2009，37(32)：16167-16170.

[17] 张摇川. 喀斯特坡面表层土壤含水量，容重和饱和导水率的空间变异特征[J]. 应用生态学报，2014，25(6)：1585-1591.

[18] Radulovich R, Solorzano E, Sollins P. Soil macropore size distribution from water breakthrough curves[J]. Soil Science Society of America Journal, 1989, 53(2)：556-559.

[19] 时忠杰，王彦辉，徐丽宏，等. 六盘山典型植被下土壤大孔隙特征[J]. 应用生态学报，2008，18(12)：2675-2680.