

太原东山试验林场土壤理化性质及饱和导水率的坡向分异规律研究

余波, 武晓红

(山西林业职业技术学院, 太原 030009)

摘要:为了探究太原东山试验林场不同坡向条件土壤性质及饱和导水率变化的规律,选取东山林场无植被覆盖裸地和油松林地的阳坡、阴坡、半阴半阳坡共6个样地进行土壤采样,测定了土壤基本性质及养分含量,并用环刀分层取土,测定土壤饱和导水率,对比分析了土壤性质、养分及饱和导水率的坡向分异规律。结果表明:坡向对土壤密度无影响;裸地土壤含水率表现为阴坡>半阴半阳坡>阳坡;油松林地土壤含水率、土壤养分元素含量、土壤饱和导水率表现为阳坡>半阴半阳坡>阴坡,阳坡表层土壤(0—30 cm)石砾含量少于其他坡向,总孔隙度高于其他坡向。坡向对土壤性质及饱和导水率的影响是通过植被产生作用。在今后对林地土壤性质及水分入渗的研究中不能忽略坡向的影响。

关键词:坡向; 土壤养分; 土壤含水率; 石砾含量; 土壤饱和导水率

中图分类号:S153.6; S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)01-0056-06

Slope-Aspect Driven Variation of Soil Physicochemical Properties and Saturated Hydraulic Conductivity in Dongshan Experimental Forest Farm of Taiyuan City

SHE Bo, WU Xiaohong

(Shanxi Forestry Vocational College, Taiyuan 030009, China)

Abstract: In order to analyze the slope-aspect driven variation of soil physicochemical properties and saturated hydraulic conductivity in Dongshan experimental forest farm of Taiyuan City, we selected sunny-slope, half-sunny slope and shady-slope in bare area and forest lands to sample soils, and the basic properties of soil and nutrient contents were measured, we used the core to take soil samples in layers, and measured the soil saturated hydraulic conductivity, explored the characteristic of soil properties, soil nutrient and saturated hydraulic conductivity of samples taken in different aspects. The results showed that the slope aspects had no effect on soil density; soil moisture in bare area decreased in the order: shady-slope > half-sunny slope > sunny-slope; soil moisture, soil nutrients and soil saturated hydraulic conductivity in forest land decreased in the order: characterized by sunny-slope > half-sunny slope > shady-slope, sunny-slope gravel content of surface soil (0—30 cm) is less than the other aspect, and its total porosity is larger than other aspect. Influence of aspect on soil properties and saturated hydraulic conductivity is indirect, which is through its effects on forest. The future research for soil properties and water infiltration in forest land should not ignore the impact of slope aspect.

Keywords: slope-aspect; soil nutrients; soil moisture; gravel content; soil saturated hydraulic conductivity

坡向会显著影响光照条件,从而导致坡地热量及水分条件差异^[1]。坡向差异对植物的多样性分布也有较明显的影响^[1]。刘佳鑫等^[2]研究发现,不同坡向的土壤侵蚀表现出明显差异。土壤饱和导水率是决定坡地降水入渗及坡面径流的关键,是土壤侵蚀模型的重要参数^[3-5],对饱和导水率的研究对研究地表径流调节和水土流失的防治具有重要意义^[6]。国内外学者对土壤饱和导水率进行了诸多研究,发现土壤性

质、植被群落特征、微生物群落特征、营养元素含量均会对其产生影响^[7-8],但针对不同坡向条件土壤饱和导水率特征的研究相对较少。土壤密度、含水率等基本性质会影响土壤的入渗特性,其决定了生态系统的安全与否^[9]。研究发现坡向会对土壤含水率产生影响,但其规律在不同土地利用方式和土层深度条件下有很大差异^[10-14]。土壤养分对林木生长有重要作用,从而对土壤水运移及生态环境变化有重要影响^[15]。

罗由林等^[16]研究发现川中丘陵区土壤有机碳与全氮与坡向呈现极显著的相关性,表现阴坡的有机碳和全氮含量高于阳坡。刘旻霞等^[10]发现土壤全氮、有机质和速效氮的大小均为阴坡>阳坡>偏阴坡,赵彤等^[17]发现不同土地利用区域土壤养分元素表现出不同的坡向差异响应规律。因此,有必要在不同类型坡地土壤进行对比研究,探讨裸地和典型植被覆盖区域的土壤性质、养分元素及饱和导水率对坡向差异的响应规律。

太原东山地区是太原及周边市县的重要生态屏障之一。本研究以东山试验林场无植被覆盖裸地及典型植被覆盖林地为研究对象,对土壤分层取样,测定土壤基本性质、土壤养分及饱和导水率,对比分析不同坡地类型条件下土壤性质及土壤饱和导水率的坡向分异规律,以期为此地区土壤性质及水分运移能力的坡向响应特征提供理论依据,为促进此地区水土流失的防治、饮水安全以及植被的合理营造做出贡献。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于山西省太原市东山试验林场。太原市地理坐标为 37°27′—38°25′N,111°30′—113°09′E。东山试验林场位于太原市东北面,系太行山脉,冬邻寿阳

县,南邻晋中市,西邻阳曲县。东山属于太原市重要的生态屏障之一,其对改善太原及周边市县的生态及水资源环境有很大帮助。研究区地处大陆内部,在全国气候区划中属于暖温带大陆性季风气候,年均降水量达到 442 mm,年蒸发量约为 1 877 m,年均气温为 9.5℃,研究区 1 月份温度最低,平均温度约-6.8℃;7 月份达到最高温度,平均温度约 23.5℃^[18]。研究区主要地带性土壤为褐土,土壤整体呈现微碱性或碱性反应。试验地林草植被丰富,有乔灌木 120 余种,其中油松(*Pinus tabulaeformis*)是主要的人工林,还有少量落叶松(*Larix gmelinii*)人工林,主要地带性植被为油松及辽东栎(*Quercus wutaishanica*)^[19]。

1.2 样地选择及土样采集

试验采样于 2014 年 7 月在太原东山林场进行。在林场相近海拔地区选择 2 个坡度基本一致、阴阳坡分异明显的坡地,在阴坡、阳坡、半阴半阳坡分别选择有油松人工林地及无植被裸地各 1 个共 6 个样地,为最小化油松生长状况不同带来的误差影响,其中油松林龄均选取为 20 a,郁闭度均为 0.6,油松高度均在 13~15 m 范围内。坡向标准为阴坡(0°~45°,315°~360°),半阴半阳坡(45°~135°,275°~315°),阳坡(135°~275°)^[20]。样点基本情况如表 1 所示。

表 1 样点基本情况

坡向	植被群落	海拔/m	土厚/m	枯落物厚度/cm	空气温度/℃	空气相对湿度/%
阴坡	裸地	1300	1.1	0	22	65
阳坡	裸地	1310	1.2	0	21	60
半阴半阳坡	裸地	1310	0.9	0	21	65
阴坡	油松	1320	1.1	1~2	21	70
阳坡	油松	1300	1.0	1~2	20	60
半阴半阳坡	油松	1310	0.9	1~2	21	65

在每个样地随机选取 3 个样点进行土样采集,采样分 5 层(0—10,10—20,20—30,30—40,40—60 cm),每层均用环刀取原状土、铝盒取样以及自封袋取样,其中环刀和铝盒取样每层设置 3 个重复,所有样品带回实验室并立即进行测定。

1.3 试验方法

土壤饱和导水率采用恒定水头法^[4];土壤含水率采用烘干法;土壤密度采用比重瓶法;土壤养分元素测定参考鲍士旦主编的土壤农化分析手册^[21],其中土壤全氮采用开氏定氮法,速效钾采用 NH₄OAc 浸提—火焰光度法,速效磷采用浸提—钼锑抗比色法;土壤石砾含量采用排水法^[22];土壤总孔隙度采用气压平衡法^[23]。

1.4 数据处理与分析

将每层土壤的 3 个重复取平均值用于数据分析。利用经典统计学空间变异分析理论研究各坡地各土层不同坡向条件各土壤性质的变异特征,用变异系数

C_v 进行数据的变异性分析,变异系数计算公式为 C_v=S_D/M×100%,其中 S_D 为标准偏差,M 为平均值。变异程度具体分级为:C_v≤10%表明变异性弱,10%<C_v<20%表明变异程度较强,C_v≥20%表示变异性极强,各土壤性质及元素变异系数结果见表 2。利用 Microsoft Excel 2011 进行数据处理。利用 SPSS 20.0 对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同坡向条件土壤密度及含水率

如图 1 所示,裸地及油松林地的土壤密度显现出不同的坡向差异响应规律。裸地土壤密度均表现为阳坡>半阴半阳坡,且差异均较显著(*p*<0.05),除了 30—40 cm 土层外,均表现为阳坡>阴坡,阴坡与半阴半阳坡比较,看出除 0—10 cm 土层外,阴坡土壤密度均高于半阴半阳坡。裸地土壤密度总体表现为阳

坡>阴坡>半阴半阳坡,但结合表 2 中土壤密度变异系数分析,其不同坡向的土壤密度差异不显著。油松林地的土壤密度特征却表现出不同的特征,0—20 cm 土层油松林地土壤密度表现为半阴半阳坡>阳坡>

阴坡,20—40 cm 土层却表现为阳坡>阴坡>半阴半阳坡,40—60 cm 土层表现为阳坡>半阴半阳坡>阴坡,总体来看油松林地的土壤密度没有明显的坡向差异响应。可见,坡向对土壤密度没有明显影响。

表 2 不同坡地类型分层土壤性质、养分元素及饱和导水率变异系数 %

坡地类型	土层/cm	土壤密度	含水率	总孔隙度	石砾含量	全氮	速效钾	速效磷	饱和导水率
裸地	0—10	3.12	20.05	7.54	9.73	17.47	3.06	9.04	17.40
	10—20	5.66	10.83	15.87	9.48	26.22	12.34	6.91	45.08
	20—30	4.90	14.17	8.93	28.92	28.43	10.41	6.79	15.79
	30—40	3.89	23.68	6.86	22.50	18.88	25.23	12.58	31.61
	40—60	5.81	20.16	10.19	16.47	16.44	13.95	11.26	22.05
油松林地	0—10	3.63	25.67	10.19	26.96	32.34	10.27	5.62	22.54
	10—20	4.43	11.79	10.25	19.38	37.72	13.18	9.43	23.78
	20—30	6.64	15.63	5.68	19.01	38.66	15.39	1.23	32.89
	30—40	5.13	9.33	1.98	11.81	27.95	14.77	3.78	28.48
	40—60	5.94	21.54	2.42	16.60	35.11	7.80	8.07	33.27

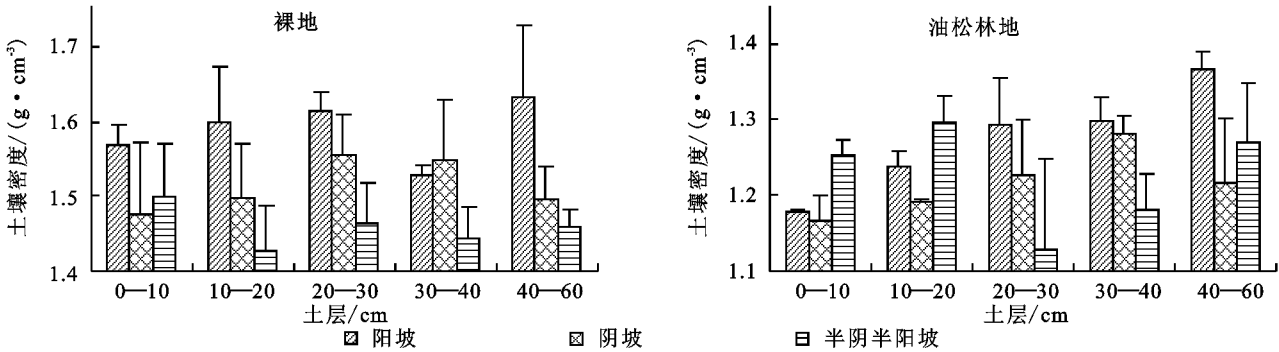


图 1 不同坡向条件土壤密度

由图 2 可见,裸地和油松林地的土壤含水率坡向响应规律差异明显。裸地 0—60 cm 土层土壤含水率均明显表现出阴坡>阳坡的规律($p<0.05$),除 10—20 cm 土层半阴半阳坡土壤含水率约等于阳坡外,其余土层均表现出半阴半阳坡土壤含水率大于阳坡的规律,总体来看,裸地土壤含水率表现为阴坡>半阴半阳坡>阳坡。油松林地 0—40 cm 土层土壤含水率均表现为阳坡>半阴半阳坡>阴坡,其中阳坡阴坡的差异性明显,10—20,30—40 cm 土层的半阴半阳坡与阳坡间土壤含水率的差异不明显,40—60 cm 土层土壤含水率表现为阴坡>半阴半阳坡>阳坡,结合表 2 各坡向土壤含水率的变异系数得出不同坡向的土壤含水率变异性很强,可见坡向对土壤含水率有显著影响。由图 2 还可以看出,随着土层的深入,坡向之间的土壤含水率差异程度随之降低,可以推测,坡向对表层土壤含水率的影响大于深层土壤。

2.2 不同坡向条件土壤养分特征

两种坡地类型各坡向土壤全氮、速效钾、速效磷测量结果如表 3 所示。土壤全氮表现为裸地油松林地阳坡>油松半阴半阳坡>油松阴坡>裸地半阴半阳坡>裸地阴坡>裸地阳坡,结合表 2 可知油松林地

土壤全氮含量的坡向变异程度均极显著($C_v>20\%$),裸地的土壤全氮含量的坡向变异也较强烈。油松林地土壤全氮含量表现为阳坡>半阴半阳坡>阴坡,而裸地土壤全氮含量表现为半阴半阳坡>阴坡>阳坡,这可能是由于阳坡的光热条件更好,利于植被的生长,从而使得土壤全氮含量增多。

0—30 cm 土层土壤速效钾含量表现为油松阳坡>油松半阴半阳坡>油松阴坡>裸地阳坡≈裸地阴坡≈裸地半阴半阳坡,30—60 cm 土壤速效钾规律不明显,结合表 2 可知,油松林地 0—30 cm 土层速效钾含量的坡向差异响应较强($10\%<C_v<20\%$),总体表现为阳坡土壤速效钾含量>半阴半阳坡>阴坡,但这种规律也仅存在于表层土(0—30 cm);裸地 20—60 cm 土层速效钾含量的坡向差异较显著,但各层次土壤坡向规律有差异,因此裸地的土壤速效钾含量没有明显的坡向差异响应规律。

油松林地土壤速效磷含量表现为 0—30 cm 土层阳坡>半阴半阳坡>阴坡,但差异不显著,30—60 cm 土层无明显规律;裸地土壤速效磷无明显规律,结合表 2 变异系数分析得出,油松林地及裸地土壤速效磷含量均无明显的坡向变异规律。

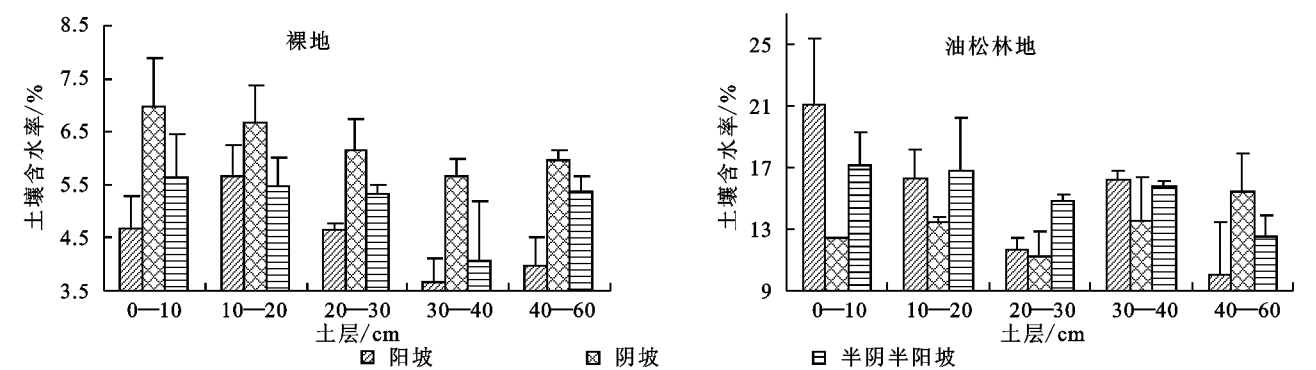


图 2 不同坡向条件土壤含水率

表 3 不同坡向土壤养分含量

样地名称	土层/cm	全氮/(g·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)
裸地 阳坡	0—10	0.162±0.019	17.07±2.688	4.816±0.455
	10—20	0.108±0.007	13.149±0.687	4.593±0.287
	20—30	0.062±0.020	7.541±2.266	4.674±0.324
	30—40	0.028±0.014	5.541±0.548	4.554±0.230
	40—60	0.036±0.023	8.275±3.119	4.480±0.201
裸地 半阴半阳坡	0—10	0.230±0.042	18.012±2.284	5.690±0.280
	10—20	0.152±0.106	11.327±2.061	4.257±1.461
	20—30	0.089±0.031	9.276±2.100	4.116±0.687
	30—40	0.035±0.014	8.959±0.876	4.554±0.329
	40—60	0.049±0.036	6.250±1.721	4.419±0.696
裸地 阴坡	0—10	0.213±0.036	18.012±3.272	5.622±0.343
	10—20	0.093±0.030	10.327±2.228	5.080±0.482
	20—30	0.112±0.039	8.276±1.671	4.486±1.489
	30—40	0.024±0.004	8.959±0.943	4.448±2.018
	40—60	0.041±0.025	7.250±1.906	4.486±1.749
油松 阳坡	0—10	0.484±0.177	67.074±8.055	7.028±1.682
	10—20	0.383±0.011	53.491±1.726	6.783±1.677
	20—30	0.350±0.008	15.541±0.524	5.622±0.455
	30—40	0.186±0.007	5.541±0.579	5.028±0.280
	40—60	0.172±0.005	8.276±2.548	5.486±0.535
油松 半阴半阳坡	0—10	0.320±0.034	59.724±8.835	6.570±1.248
	10—20	0.239±0.057	48.003±5.601	6.125±0.841
	20—30	0.193±0.019	20.581±1.384	5.574±0.274
	30—40	0.170±0.010	7.250±0.844	5.419±0.428
	40—60	0.129±0.012	7.250±0.623	5.216±0.721
油松 阴坡	0—10	0.263±0.111	54.724±6.682	6.290±0.623
	10—20	0.187±0.088	41.003±7.361	5.622±1.744
	20—30	0.184±0.034	20.581±2.298	5.486±0.457
	30—40	0.105±0.025	7.250±1.643	5.283±0.265
	40—60	0.082±0.008	7.250±0.698	4.674±0.978

注:表中数值为均值±标准差。

2.3 不同坡向条件土壤石砾及孔隙度

如图 3 所示,裸地 0—60 cm 土层各坡向间石砾含量均表现为阳坡>阴坡>半阴半阳坡,但 0—20 cm 土层极不明显,20—60 cm 土层较明显,结合表 2 石砾含量的变异系数可知裸地石砾含量总体表现为阳坡>阴坡>半阴半阳坡。油松林地 0—30 cm 土层表现为石砾含量阴坡>阳坡≈半阴半阳坡,且极显著($p<0.05$),30—60 cm 土层石砾含量表现为半阴半阳坡

>阴坡>阳坡,但较不明显,结合表 2 分析,不同坡向间土壤石砾含量有较明显差异,但表层土壤和深层土壤的差异规律不一致,其中表层土壤(0—30 cm)表现为阴坡石砾含量远大于其他坡向土壤,但深层土壤(30—60 cm)土壤规律不明显,这可能是由于表层土壤由于林木根系对土壤结构的改良作用从而使石砾含量发生了改变,而阳坡由于光热作用较好,更适宜林木的生长,从而对土壤结构的改善作用更优。

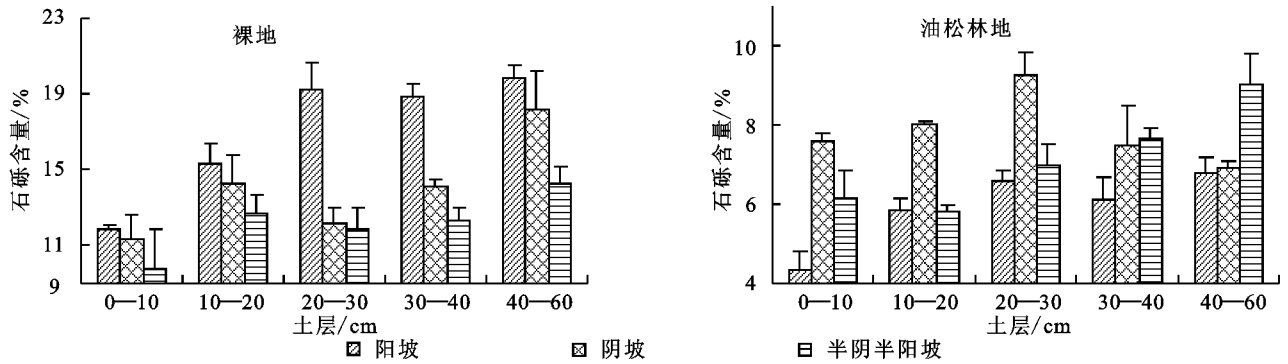


图3 不同坡向条件土壤石砾含量

如图4所示,裸地的土壤总孔隙度没有明显的坡向变异性,每层土壤的土壤孔隙度的坡向规律各不相同。但油松林地的0—30 cm土层土壤总孔隙度表现为阳坡>半阴半阳坡>阴坡,且均较显著($p < 0.05$),30—60 cm土层无明显规律,可见油松林地的

表层土壤(0—30 cm)也表现出类似于石砾含量的坡向差异响应规律,油松林地阳坡的土壤总孔隙度明显大于其他坡向,这应该是由于阳坡的林木根系发育更好,从而导致孔隙增多。从不同坡向的石砾含量和总孔隙度可以看出,林地表层土壤结构存在坡向差异。

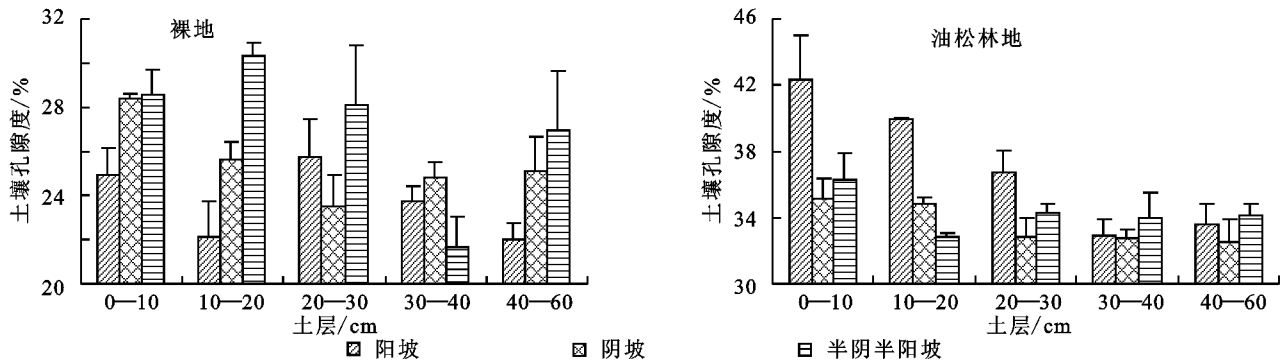


图4 不同坡向条件土壤总孔隙度

2.4 不同坡向条件土壤饱和和导水率

如图5所示,可见裸地每层土壤表现出不同的规律,可见坡向对裸地的土壤饱和和导水率无明显影响,而其主要决定于土壤的结构性质。油松林地0—60 cm土层均表现为阳坡的土壤饱和和导水率显著大于其他

坡向($p < 0.05$),结合变异系数得知其变异程度极强,阴坡与半阴半阳坡的土壤饱和和导水率差异不显著,总体来看,不同坡向对裸地土壤饱和和导水率的影响不明显,但会较显著影响油松林地土壤饱和和导水率,表现为阳坡的土壤饱和和导水率最高。

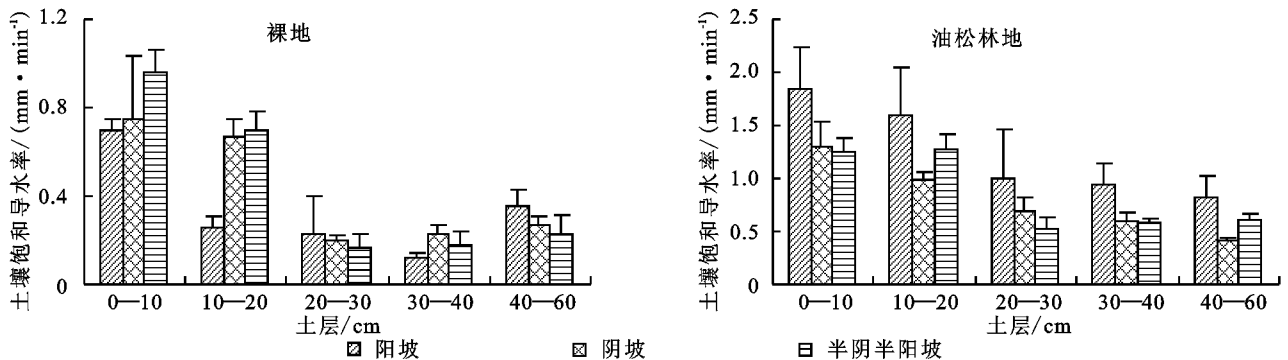


图5 不同坡向土壤饱和和导水率

3 结论与讨论

(1) 坡向对土壤密度无明显影响,但会显著影响土壤含水率,其中裸地土壤含水率总体表现为阴坡>半阴半阳坡>阳坡,而油松林地土壤含水率总体表现为阳坡>半阴半阳坡>阴坡,可见土地利用类型会对

土壤含水率的坡向响应有影响,这是由于林木具有水分涵养作用,而阳坡光热条件更适林木生长,从而林地的阳坡土壤含水率反而高于阴坡。

(2) 坡向对裸地土壤养分无明显影响,但油松林地表层土壤(0—30 cm)全氮、速效钾及速效磷表现为阳坡>半阴半阳坡>阴坡,可见坡向会影响林地表层

土壤营养元素含量,这是由于坡向差异导致林木生长差异,从而影响了植物叶片对土壤营养元素的返还及土壤的营养元素储存能力。

(3) 裸地不同坡向的土壤石砾含量及总孔隙度规律不明显,油松林地表现出阳坡石砾含量明显低于其他坡向,土壤总孔隙度明显高于其他坡向,可见林地坡向对土壤结构有明显影响,这也是由于坡向影响了植被生长,从而影响了土壤结构。

(4) 坡向对裸地的土壤饱和导水率无明显影响,但会显著影响林地土壤饱和导水率,表现为阳坡>半阴半阳坡>阴坡,这与土壤结构的坡向规律一致,可见坡向对土壤性质及饱和导水率的影响是介于对植被的影响基础上间接产生,因此在今后的林地土壤性质及水分入渗研究中,不能忽略坡向这一间接环境因子对其的影响。

本研究在太原东山试验林场两种不同坡地类型不同坡向地区对土壤性质及饱和导水率进行研究,结果表明坡向会直接影响土壤含水率,会通过影响植被的生长从而间接影响土壤含水率、土壤营养元素含量、土壤表层结构及土壤导水能力。但本研究选取的6个样地,不能确定其人为活动造成的差异,因研究区人为活动较多,其会对土壤表层性质产生很大影响。此外,无植被覆盖裸地虽然没有植被对其影响,但演替前的植被,周边植被的根系仍会对其产生影响。不同坡向会对土壤微生物量产生影响,这也是影响土壤性质的又一因素。因此在下一步研究中,要优化人为干扰、植被干扰以及土壤微生物差异的干扰,以期得到更有说服力的结论。本文有林木覆盖地区只选取了油松一种林地,而不同植被是否会产生不同的坡向响应规律不得而知,在今后的研究中应该考虑乔灌混交林、灌木纯林、草本植被等多种林地类型进行比较,从而得到更全面有效的结论。

参考文献:

- [1] 严岳鸿,何祖霞,苑虎,等. 坡向差异对广东古兜山自然保护区蕨类植物多样性的生态影响[J]. 生物多样性, 2011,19(1):41-47.
- [2] 刘佳鑫,刘普灵,刘栋,等. 黄土丘陵区典型塬坡土壤侵蚀空间分异特征[J]. 水土保持通报,2014,34(4):1-4.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 彭舜磊,由文辉,沈会涛. 植被群落演替对土壤饱和导水率的影响[J]. 农业工程学报,2010(11):78-84.
- [7] 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[J]. 水土保持学报,2004,18(3):53-56.
- [8] 孟晨,牛健植,骆紫藤,等. 鹫峰地区不同植被群落土壤性质及饱和导水率特征[J]. 水土保持学报,2015,29(3):156-160.
- [9] 樊军,王全九,邵明安. 盘式吸渗仪测定土壤导水率的两新方法[J]. 农业工程学报,2007,23(10):14-18.
- [10] 刘旻霞,马建祖. 甘南高寒草甸植物功能性状和土壤因子对坡向的响应[J]. 应用生态学报,2012,23(12):3295-3300.
- [11] 周萍,刘国彬,侯喜禄. 黄土丘陵区侵蚀环境不同坡面及坡位土壤理化特征研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):7-12.
- [12] 阳利永,吴献花,赵斌,等. 滇池柴河流域不同土地利用方式土壤养分剖面分异[J]. 水土保持研究,2012,19(5):95-99.
- [13] 刘斌,鲁绍伟,石媛,等. 淮北地区5种不同植物群落土壤呼吸研究[J]. 水土保持研究,2015,22(4):100-112.
- [14] 李笑吟,毕华兴,张志,等. 晋西黄土区坡面尺度地形因子对土壤水分状况的影响[J]. 北京林业大学学报,2006,28(4):51-56.
- [15] 刘忠宽,汪诗平,陈佐忠,等. 不同放牧强度草原休牧后土壤养分和植物群落变化特征[J]. 2006,6(6):2048-2056.
- [16] 罗由林,李启权,王昌全,等. 川中丘陵县域土壤碳氮比空间变异特征及其影响因素[J]. 应用生态学报,2015,26(1):177-185.
- [17] 赵彤,蒋跃利,闫浩,等. 黄土丘陵区不同坡向对土壤微生物生物量和可溶性有机碳的影响[J]. 环境科学,2013,34(8):3223-3230.
- [18] 范伟伟. 太原东山油松人工林数量特征与生物多样性研究[D]. 太原:山西大学,2011.
- [19] 张先平,范伟伟,王孟本. 太原东山试验林场油松人工林数量分类与排序研究[J]. 辽宁林业科技,2014(4):20-24.
- [20] 汤国安. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [22] Shi Z J, Xu L H, Wang Y H, et al. Effect of rock fragments on macropores and water effluent in a forest soil in the stony mountains of the Loess Plateau, China [J]. African Journal of Biotechnology, 2012,11(39):9350-9361.
- [23] 陈世超,林剑辉,孙宇瑞. 基于土壤表面粗糙度预测降雨影响下的表层土壤孔隙度[J]. 北京林业大学学报,2013,35(2):69-74.