

六盘山林区土壤物理性质分布特征

黄琳琦^{1,2}, 向业凤^{3,4}, 魏孝荣^{1,2}, 张兴昌^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 四川农业大学林学院, 四川 雅安 625014; 4. 重庆水利电力职业技术学院, 重庆 402100)

摘要: 研究了六盘山林区土壤物理性质分布特征及其与海拔和林型的关系, 结果表明: 六盘山林区阔叶林地土壤有机质和饱和导水率显著高于针叶林地, 土壤容重显著低于针叶林地, 阔叶林地 0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤有机质和饱和导水率分别比针叶林地高 27.7%、21.2% 和 38.0%、42.2%, 容重比针叶林地低 13.8% 和 7.6%; 高海拔处林地土壤有机质含量较高, 容重较低; 研究区土壤饱和导水率不受海拔影响, 土壤水稳性团聚体分布不受林型和海拔的影响; 阔叶林地 0~20 cm 土层土壤平均重量直径和几何平均直径平均值分别比针叶林地高 3.46% 和 5.21%, 但不受海拔影响, 大团聚体数量与饱和导水率极显著正相关。研究表明六盘山林区阔叶林地土壤物理性状显著优于针叶林地, 林地土壤结构的改良主要体现在大团聚体增加方面。

关键词: 六盘山; 海拔; 林型; 土壤物理性质; 土壤有机质

中图分类号: S152 **文献标志码:** A

Distribution of soil physical properties in forest of Liupan Mountains

HUANG Lin-qi^{1,2}, XIANG Ye-feng^{3,4}, WEI Xiao-rong^{1,2}, ZHANG Xing-chang^{1,2}

(1. College of Resource and Environmental, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming in the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Forestry College, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

4. Chongqing Water Resources and Electric Engineering College, Chongqing 402100, China)

Abstract: The objectives of this study were to explore the distribution of soil physical properties and their influencing factors in forest of the Liupan Mountains. The distribution of major soil properties in forest of Liupan Mountains, and the relationships between soil physical properties, elevation and forest species were studied. Additionally, the relationships among soil physical properties were analyzed. The results showed that the contents of organic matter and saturated hydraulic conductivity were significantly higher in soils under broadleaf forest than those under conifer forest, but the bulk density was lower in soils under broadleaf forest than that under conifer forest. The organic matter content and saturated hydraulic conductivity in broadleaf forest were 27.7% and 21.2% higher in 0~10 cm and 10~20 cm depth, and 38% and 42.2% higher in 0~10 cm and 10~20 cm depth, respectively, than those in conifer forest. However, the soil bulk densities under broadleaf forest in 0~10 cm and 10~20 cm depth were 13.8% and 7.6% lower than those under conifer forest, respectively. Further, organic matter content was relatively higher, while bulk density was relatively lower in soils at higher elevation than those in lower elevation conditions. Besides the saturated hydraulic conductivity was not affected by elevation conditions. The mean values of MWD and GMD through 0~20 cm depth were 3.46% and 5.21% higher in broadleaf soils than conifer soils, respectively. But they were unaffected by elevation conditions. Correlation analysis revealed that the amount of macroaggregate was significantly positively correlated with saturated hydraulic conductivity. This finding indicated that the physical properties of soils under broadleaf forest were better than those under conifer forest in the Liupan Mountain region by the increasing amount of macroaggregate.

Keywords: Liupan Mountains; elevation; forest types; soil physical properties; soil organic matter

收稿日期: 2014-02-05

基金项目: 国家自然科学基金(41271315); 中国科学院西部行动计划(KZCX2-XB3-13-02); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-13-0487)

作者简介: 黄琳琦(1990—), 女, 河南平顶山人, 硕士, 主要从事土壤物质循环方面研究。E-mail: lqhuang@nwsuaf.edu.cn。

通信作者: 张兴昌(1965—), 男, 陕西武功人, 博士, 研究员, 主要从事土壤环境化学方面研究。E-mail: zhangxc@ms.iswc.ac.cn。

森林土壤是森林生态系统发挥水文调节作用的主要场所,主导着降水资源分配格局和对林木的有效性^[1],如土壤容重、饱和导水率等物理因子的变化对区域内土壤的水分、养分等特性有重要影响,进而会影响水循环和植物生长^[2],对森林生态系统水文功能的发挥具有重要作用^[3]。其它土壤物理性质,如水稳性团聚体的数量和分布状况能够反映土壤结构的稳定性和抗侵蚀的能力,在不同类型土地土壤质量评价中得到广泛使用^[4-5]。目前国内外学者对林地土壤物理性质分布进行了较为深入的研究,但是对于影响林地土壤物理性质分布的因素探讨的较少,而对这些影响因素的认识是准确评价林地土壤物理性质分布的重要基础。

六盘山林区是黄土高原残存的少数天然次生林区,也是黄土高原上的重要水源涵养林地和我国西部重要的生态屏障^[6]。目前对六盘山林区土壤物理性质方面的研究主要集中在水文物理性质及水文生态功能方面^[7-8],而林型和海拔等因素对土壤物理性质分布的影响尚不清楚。本文研究了六盘山林区不同海拔阔叶和针叶林地 0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤物理性质的分布特征,并分析了这些性质之间的关系,旨在揭示六盘山林区土壤物理性质的分布特征及其影响因子,为林地土壤性质的准确评价和改善提供理论依据和科学指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

六盘山位于宁夏回族自治区南部(105°42'~106°30'E,35°00'~36°10'N),地处宁夏、甘肃、陕西交界地带,六盘山林区森林覆盖率达 80% 以上,是宁夏三大次生林区之一^[9]。该区气候属中温带半湿润向半干旱过渡带,具有大陆性和海洋季风边缘气候特点。年均气温 5.8℃,年均降水量 676 mm,年均蒸发量 1 425 mm,年均相对湿度 60%~70%,无霜期 90~130 d^[10]。该区土壤为灰褐土,植被主要为温带针叶林、落叶阔叶林、常绿竹类灌丛、落叶阔叶灌丛等。针叶林树种主要为落叶松(*Larix gmelinii* (Ruprecht) Kuzeneva)和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr),阔叶林树种主要为红桦(*Betula albo-sinensis* Burk)和白桦(*Betula platyphylla* Suk)。

1.2 样品采集与分析

于 2012 年 6 月在六盘山林区沿海拔梯度(2 000~2 800 m)布设 25 个样点,每个采样点坡度相似(22°~30°),坡向为东南坡,阔叶林地植被主要为红桦和白桦,针叶林地植被主要为落叶松和油松。并

在每个样点布设 3 个 20 m×50 m 的样方,在样方中均匀布设 10 个采样点,去除凋落物层后采集 0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤样品,组成混合样品。同时用环刀法测定每个样方的土壤容重,土壤容重测定重复 2 次,并测定土壤饱和导水率(采用恒定水头法,结果换算成 10℃下的饱和导水率)。

土壤样品带回实验室自然风干,一部分粉碎通过 0.25 mm 筛,用于测定土壤有机质含量。土壤有机质用 H₂SO₄-K₂Cr₂O₇ 外加热法测定。土壤水稳性团聚体分级采用 Six 等^[11]的湿筛法进行,该方法将土壤水稳性团聚体分为大团聚体(>0.25 mm)、微团聚体(0.053~0.25 mm)和<0.053 mm 颗粒三个级别。

平均重量直径(MWD):一定粒级团聚体的重量百分比(W_i)乘以这一粒级的平均直径(X_i),所有所测粒级的上述乘积之和,即为平均重量直径(MWD):

$$MWD = \sum_i^n \bar{X}_i W_i$$

几何平均直径(GMD):一定粒级团聚体的重量乘以这一粒级平均直径的对数,所有粒级上述乘积之和除以样品的总重量,即为几何平均直径(GMD):

$$GMD = \exp\left[\sum \log \bar{X}_i W_i / m\right]$$

采用三因素方差分析方法分析林型、土层和海拔对土壤容重、饱和导水率、有机质含量、水稳性团聚体、MWD 和 GMD 的影响,用简单线性回归方法分析不同林型下容重与有机质含量、饱和导水率与容重及有机质含量、GMD 和 MWD 与水稳性团聚体含量之间的关系。方差分析和线性回归分析采用 SPSS18.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 土壤有机质

土壤有机质是土壤固相部分的重要组成部分,与土壤矿质部分共同作为森林营养的来源^[12],而且在改善土壤的透水性、蓄水能力和通气性、促进土壤结构形成方面起着重要作用。研究区不同植被下 0~10 cm 土层土壤有机质含量比 10~20 cm 土层土壤高 35.7% ($P<0.01$,表 1),这与凋落物在林地土壤表层积累、分解及向土壤的归还有关。如薛晓娟等发现祁连山东段南麓不同海拔土壤有机质含量随土层加深而降低^[13],薛晓辉等发现陕北黄土高原主要林场和流域采样点 0~60 cm 土壤剖面中有机质含量随采样深度依次递减,并认为这是由于植物枯

落物、腐朽根系等土壤有机质来源在土壤剖面上分布的差异引起的^[14]。本文结果还表明阔叶林地土壤有机质含量显著高于针叶林($P = 0.003$, 表 1), 高海拔处土壤有机质显著高于低海拔处($P = 0.004$, 表 1)。如阔叶林 0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤有机质含量分别比针叶林地相应土层土壤高 27.7%

和 21.2%; >2 500 m 处两个土层土壤有机质含量分别比 <2 500 m 处土壤高 21.1% 和 31.5%。此外, 0~20 cm 土层不同林型下土壤有机质的差异还与海拔有关, 高海拔处针叶林和阔叶林之间有机质的差异($78.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $110.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 远大于低海拔处($70.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $78.9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) (图 1)。

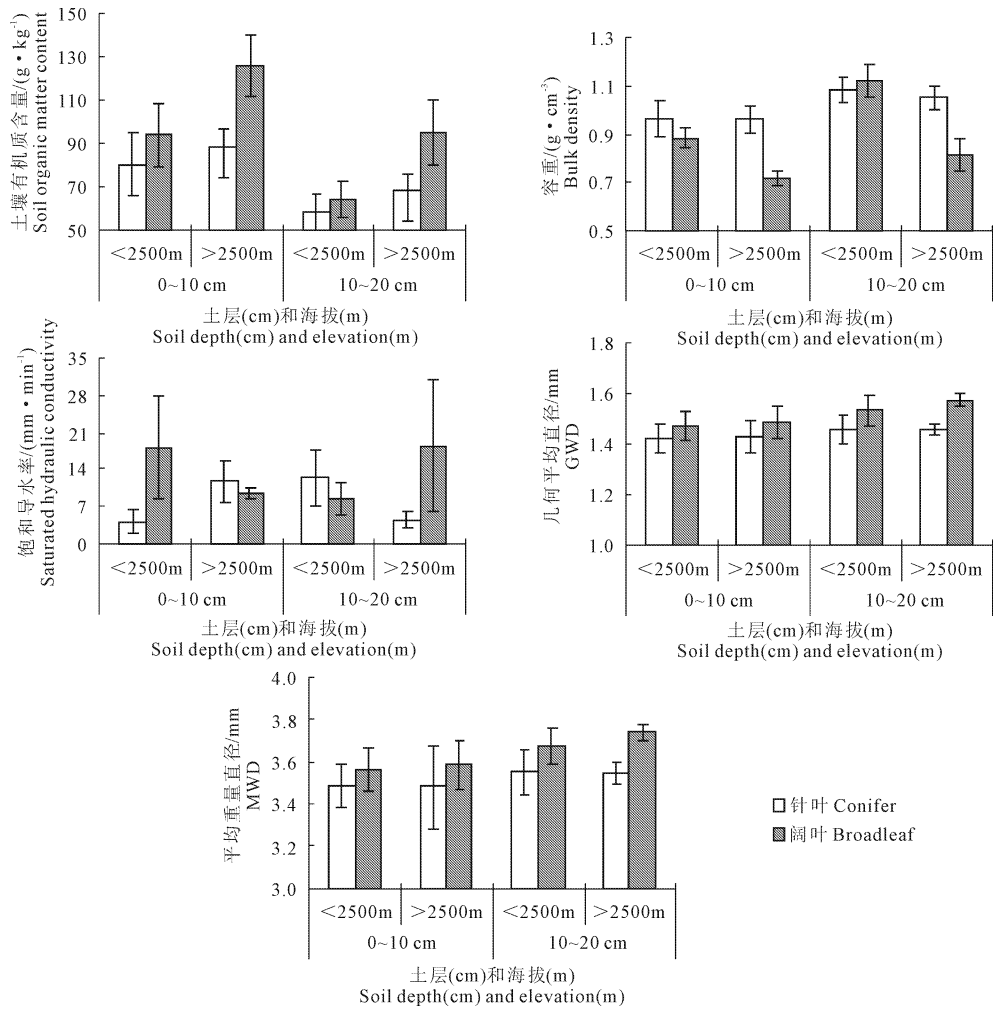


图 1 不同林型、土层和海拔下土壤有机质含量、容重、饱和导水率、几何平均直径和平均质量直径的变化

Fig.1 Changes of soil organic matter, bulk density, saturated hydraulic conductivity, GMD and MWD under different forest type, soil depth and elevation

本研究中针叶林有机质含量较低可能与针叶林凋落物分解较慢有关, 如 Wei 等认为与阔叶林相比针叶林凋落物不易分解, 而且年均输入量较低, 不利于有机质的积累^[15]。另外, 针叶林下的环境也不利于凋落物分解, 如胡亚林等发现当针叶林取代次生阔叶林后, 表层土壤细菌、真菌数量减少, 土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶、脱氢酶活性和土壤呼吸强度下降, 表明针叶林下土壤生物过程较弱^[16]。这些结果表明阔叶林地土壤有机质积累高于针叶林。对于山地地形来说, 随海拔高度的升高, 大气温度和土壤温度逐渐降低, 土壤中有机质的矿化和分解过程逐渐

减弱, 因矿化损失的有机质较少, 土壤中残留的有机质较高, 而海拔较低处有机质因矿化损失较多, 有机质含量较低, 这与王良健等报道的土壤有机质含量与海拔高度显著正相关的结果一致, 也解释了本研究中高海拔处有机质含量高于低海拔处的结果^[17]。

2.2 土壤容重

土壤容重指示土壤的松紧程度及孔隙状况, 反映土壤的透水 and 通气性能以及根系生长的阻力状况, 是土壤物理性质的一个重要指标。研究区针叶林地土壤容重显著高于阔叶林, 而且两种林型下土壤容重均随土层加深而增加。针叶林地土壤容重在

0~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土层分别比阔叶林地高 13.8% 和 7.6% ($P < 0.001$,表 1)。

表 1 各变量在不同林型、土层、海拔的方差分析结果(P 值)

Table 1 Variance analysis of the variables under different forest type, soil depth and elevation (P values)

项目 Item	OM	BD	K_s	MA	MI	S&C	GMD	MWD
林型 Forest type	0.003	0.000	0.044	0.054	0.115	0.077	0.047	0.050
海拔 Elevation	0.004	0.000	0.538	0.799	0.546	0.603	0.683	0.757
土层 Soil depth	0.000	0.000	0.787	0.111	0.298	0.668	0.151	0.121
林型×海拔 Forest type×elevation	0.102	0.002	0.593	0.668	0.712	0.695	0.802	0.692
林型×土层 Forest type×soil depth	0.479	0.348	0.604	0.657	0.306	0.701	0.564	0.565
海拔×土层 Elevation×soil depth	0.962	0.210	0.229	0.846	0.382	0.606	0.848	0.902
林型×海拔×土层 Forest type×elevation×soil depth	0.881	0.416	0.033	0.911	0.704	0.641	0.795	0.866

注:OM: 有机质; BD: 容重; K_s : 饱和导水率; MA: 大团聚体; MI: 微团聚体; S&C: <0.053 mm 颗粒;GMD: 几何平均直径; MWD: 平均重量直径。

Note: OM: organic matter; BD: bulk density; K_s : saturated hydraulic conductivity; MA: macroaggregate; MI: microaggregate; S&C: <0.053 mm size class; GMD: geometrical mean diameter; MWD: mean weight diameter.

此外,林型对土壤容重的影响还与地形有关($P = 0.002$,表 1),在海拔较低处,林型对容重影响不显著($P = 0.732$,表 1);但在海拔较高处,针叶林地土壤容重显著高于阔叶林地($P = 0.009$,表 1)。如当海拔高于 2 500 m 时,针叶林地 0~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土层土壤容重分别比阔叶林地高 34.1% 和 29.1%。

不同林型、不同地形处土壤容重的差异与土壤有机质积累有关。随着掉落物在土壤中的分解和有机质在土壤中的积累,土壤中大孔隙逐渐增加,土壤容重降低^[18],二者表现出相反的变化趋势^[19]。本研究中土壤容重与有机质极显著负相关(表 2),这便解释了本研究中林型和地形对土壤容重的影响趋势。此外本研究中低海拔处土壤容重高于高海拔处可能还与地表产流后高处土壤颗粒在低处的富集有关。

2.3 土壤饱和导水率

土壤饱和导水率(K_s)是反映土壤入渗性能的一个重要指标,是土壤质地、密度、孔隙分布特征的函数^[20]。本研究中 0~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土层土壤饱和导水率差异不显著,不同地形处差异也不显著,但针叶林地土壤饱和导水率显著小于阔叶林地($P = 0.044$,表 1)。如针叶林地土壤饱和导水率在 0 ~ 10 cm 土层比阔叶林地低 38.0%,在 10 ~ 20 cm 土层比阔叶林地低 42.2% (图 1)。此外,林型对饱和导水率的影响与地形有关($P = 0.033$,表 1)。对于低海拔地形来说,针叶林地饱和导水率在 0~ 10 cm 土层低于阔叶林地,在 10 ~ 20 cm 土层高于阔叶林地;但是对于高海拔地形来说,针叶林地饱和导水率在 0~ 10 cm 处高于阔叶林地,在 10 ~ 20 cm 处低于

阔叶林地(图 1)。不同林型和地形下土壤饱和导水率的变化趋势基本与土壤有机质变化趋势一致,但与土壤容重相反,表明林地土壤饱和导水率主要受土壤有机质和容重影响。一般情况下,随着土壤有机质的积累和容重的降低,土壤中大孔隙数量增加,导水能力增强^[21],其饱和导水率增加^[22]。本研究中饱和导水率与土壤有机质显著正相关,与土壤容重显著负相关(表 2),因此阔叶林地土壤饱和导水率较高,这也表明阔叶林地更有利于降水的入渗和涵养,但这种功能与地形有关。

2.4 土壤水稳性团聚体分布

土壤水稳性团聚体是土壤的重要组成部分,保证和协调土壤中的水肥气热、影响土壤酶的种类和活性、维持和稳定土壤疏松熟化层并直接影响植物的生产力,并且在维持土壤结构方面具有重要作用^[23]。一般来说,土壤水稳性团聚体含量越高,土壤结构性状相对越松散、通透性越好,土壤越具有良好的结构和稳定性。

在本研究中土壤水稳性团聚体分布因团聚体级别而异,但不受林型和地形的影响(图 2,表 1)。本研究中大团聚体占总土壤质量的 80% 以上,而微团聚体和 <0.053 mm 颗粒质量只占到 5% ~ 12% 和 < 6%,表明研究区林地土壤大团聚体占主导地位。对于大团聚体来说,各个土层和地形下阔叶林地大团聚体含量均高于针叶林地,而对于微团聚体和 < 0.053 mm 颗粒来说,阔叶林地各土层和地形下的含量则低于针叶林地(图 2)。如阔叶林地 0~ 20 cm 土层土壤大团聚体含量比针叶林地高 4%,而微团聚体和 < 0.053 mm 颗粒则分别比针叶林低 18% 和 25%。

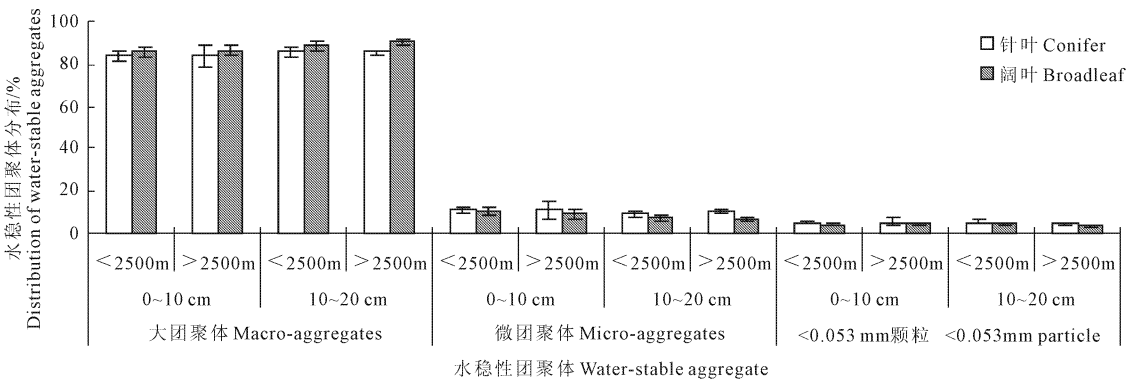


图 2 不同林型、土层、海拔下土壤水稳性团聚体分布

Fig.2 Distribution of soil water-stable aggregates under different forest type, soil depth and elevation

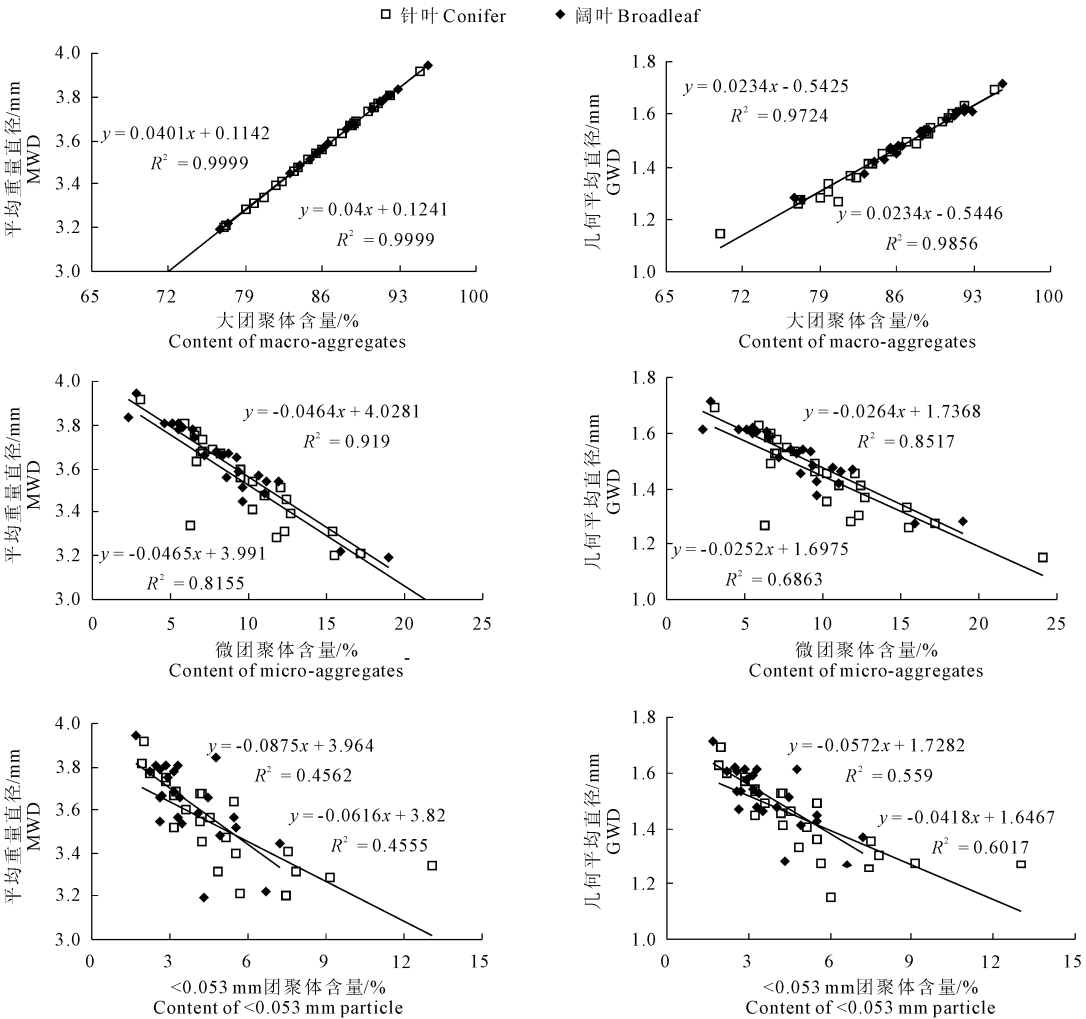


图 3 GMD、MWD 与水稳性团聚体的关系

Fig.3 Relationship between GMD, MWD and soil water-stable aggregates

平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)是反映土壤团聚体大小分布状况的常用指标,其值越大,表明土壤团聚度越高,结构稳定性越好,土壤抗侵蚀能力越强^[5,24]。本研究各土层和地形下 MWD 和 GMD 差异不显著(表 1),但阔叶林地土壤

MWD 和 GMD 分别比针叶林地高 3.46% 和 5.21% ($P < 0.05$)(图 1),表明六盘山林区阔叶林地土壤结构显著优于针叶林地。这些可能与阔叶林地土壤有机质的积累及对土壤容重的改善作用大于针叶林地有关。通过分析土壤中水稳性团聚体与 MWD 和

GMD 之间的关系可以发现,土壤 MWD 和 GMD 与大团聚体数量极显著正相关,与微团聚体和 < 0.053 mm 颗粒极显著负相关(图 3),表明 MWD 和 GMD 主要取决于土壤中大团聚体数量,而且这种大团聚体

对 MWD 和 GMD 的决定作用与林型无关,此外,大团聚体数量与饱和导水率极显著正相关(表 2)。这些结果表明林地土壤结构的改良主要体现在大团聚体增加上。

表 2 各变量相关性分析
Table 2 Correlation analysis of the variables

项目 Item	有机质 Organic matter		容重 Bulk density		大团聚体 Macro-aggregates	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
饱和导水率 Saturated hydraulic conductivity	0.250	0.1243	0.377	0.0167	0.391	0.0137
容重 Bulk density	0.791	<0.0001				

3 结 论

- 1) 通过对六盘山林区不同海拔和林型下 0~20 cm 土层土壤物理性质的研究,发现六盘山林区阔叶林地土壤有机质和饱和导水率显著高于针叶林地,土壤容重显著低于针叶林。
- 2) 研究区土壤水稳性团聚体分布与林型、海拔和土层有关,而且大团聚体占主导地位;土壤 MWD 和 GMD 主要取决于大团聚体数量,阔叶林地土壤 MWD 和 GMD 显著高于针叶林地,大团聚体数量与饱和导水率极显著正相关。
- 3) 六盘山林区阔叶林地土壤物理性状显著优于针叶林地,林地土壤结构的改良主要体现在大团聚体增加方面。

参 考 文 献:

[1] 马雪华.四川米亚罗地区高山冷杉林水文作用的研究[J].林业科学,1987,(3):253-265.

[2] 刘晚苟,山 仑,邓西平.干湿条件下土壤容重对玉米根系导水率的影响[J].土壤学报,2003,40(5):779-782.

[3] 张雷燕,刘常富,王彦辉,等.宁夏六盘山地区不同森林类型土壤的蓄水和渗透能力比较[J].水土保持学报,2007,(01):95-98.

[4] 周 虎,吕贻忠,杨志臣,等.保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J].中国农业科学,2007,(9):1973-1979.

[5] 李 灵,梁彦兰,张 玉,等.九曲溪生态保护区不同林地土壤团聚体分形特征[J].西南林业大学学报,2012,(5):1-7.

[6] 张永利,魏文俊,冷 冷.宁夏六盘山不同森林类型林地的贮水量[J].中国水土保持科学,2007,(5):32-36.

[7] 王轶浩,王彦辉,谢双喜,等.六盘山分水岭沟土壤水文物理性质空间变异[J].中国水土保持科学,2008,6(4):33-40.

[8] 张雷燕,刘常富,王彦辉,等.宁夏六盘山南侧森林枯落物及土壤的水文生态功能研究[J].林业科学研究,2007,20(1):15-20.

[9] 王淑英.加强六盘山林区保护工作的思考[J].宁夏农林科技,2007,(5):174-175.

[10] 张晋宁,章英才,张 强.宁夏六盘山自然保护区森林群落物种多样性[J].宁夏农学院学报,2001,22(1):30-33,38.

[11] Six J, Paustian K, Elliott E T, et al. Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000,64(2):681-689.

[12] 余 雕,朱盼盼,李浩宏,等.黄土高原 3 种灌木林地土壤有机质及氮素的空间分布特征[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(1):76-82,88.

[13] 薛晓娟,李英年,杜明远,等.连山东段南麓不同海拔土壤有机质及全氮的分布状况[J].冰川冻土,2009,31(4):642-649.

[14] 薛晓辉,卢 芳,张兴昌.陕北黄土高原土壤有机质分布研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(6):69-74.

[15] Wei Xiao-rong, Li Xue-zhang, Jia Xiao-xu, et al. Accumulation of soil organic carbon in aggregates after afforestation on abandoned farmland[J]. Biology and Fertility of Soils, 2013,49(6):637-646.

[16] 胡亚林,汪思龙,颜绍镛,等.杉木人工林取代天然次生阔叶林对土壤生物活性的影响[J].应用生态学报,2005,16(8):1411-1416.

[17] 王良健.贡嘎山东坡森林土壤有机质的垂直分布规律研究[J].国土与自然资源研究,1994,(3):29-33.

[18] Mohammad A Hajabbasi, Ahmad Jalalian, Hamid R Karimzadeh. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran[J]. Plant and Soil, 1997,(190):301-308.

[19] 李晓东,魏 龙,张永超,等.土地利用方式对陇中黄土高原土壤理化性状的影响[J].草业学报,2009,18(4):103-110.

[20] 张 扬,赵世伟,华 娟.宁南山区草地植被恢复方式对土壤饱和导水率的影响[J].中国水土保持科学,2009,7(5):100-104.

[21] 丁绍兰,杨宁贵,赵串串,等.青海省东部黄土丘陵区主要林型土壤理化性质[J].水土保持通报,2010,30(6):1-6.

[22] 吕殿青,邵明安,刘春平.容重对土壤饱和水分运动参数的影响[J].水土保持学报,2006,20(3):154-157.

[23] 王国强,孙焕明.拉萨市农田和林地土壤团聚体的组成及稳定性研究[J].现代农业科技,2012,(11):212-213.

[24] 董莉丽,郑粉莉,秦瑞杰.基于 LB 法不同植被类型下土壤团聚体水稳性研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):191-196.