

莱芜市红石公园土壤结构特征及其与饱和导水率的关系

刘玲¹, 刘永忠²

(1. 莱芜市园林管理局, 山东 莱芜 271100; 2. 莱芜市市政工程管理处, 山东 莱芜 271100)

摘要: [目的] 分析土壤水分运移过程, 探究莱芜市红石公园土壤结构特征及其对饱和导水率的影响, 为促进该区生态恢复和建设提供理论参考。[方法] 采用环刀分层取样对研究区 6 块样地进行土壤物理结构特征测定, 进行水分穿透试验, 测量土壤饱和导水率。[结果] 试验区土壤密度及石砾含量大小均表现为: 纯草本 > 灌木—草本 > 乔木—草本; 土壤 $R_{0.25}$ (>0.25 mm 水稳性团聚体含量)、含水率、总孔隙度及饱和导水率大小均表现为: 乔木—草本 > 灌木—草本 > 纯草本; 表层土壤具有更优的土壤结构及更大的饱和导水率; 土壤饱和导水率与土壤密度、石砾含量呈现显著负相关关系, 与土壤总孔隙度及 $R_{0.25}$ 呈现显著正相关关系。[结论] 土壤总孔隙度是土壤饱和导水率的最主要影响因子, 土壤 $R_{0.25}$ 含量、土壤密度及石砾含量次之。

关键词: 土壤结构; 总孔隙度; 石砾含量; >0.25 mm 水稳性团聚体含量; 饱和导水率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)04-0188-05

中图分类号: S725.1

文献参数: 刘玲, 刘永忠. 莱芜市红石公园土壤结构特征及其与饱和导水率的关系[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 188-192. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.033

Soil Structural Traits and Its Relation with Soil Saturated Hydraulic Conductivity in Redstone Park of Laiwu City

LIU Ling¹, LIU Yongzhong²

(1. Laiwu Garden Management Bureau, Laiwu, Shandong 271100, China;

2. Laiwu Municipal Engineering Management Office, Laiwu, Shandong 271100, China)

Abstract: [Objective] The relationship between soil structure and soil saturated hydraulic conductivity was explored in Hongshi Park of Laiwu City to provide a theoretical basis to forecast the process of soil moisture migration. [Methods] Stratified sampling was carried out using ring knives in six sites of Redstone Park of Laiwu City. Soil saturated hydraulic conductivity and physical structural traits of the soil samples were measured to analyze the relationship between them. [Results] Soil bulk density and stone content of different land use types ranked as: herb soil > shrub-herb soil > trees-shrub soil. Indices of $R_{0.25}$ (>0.25 mm water stable aggregate), soil moisture, soil porosity and soil saturated hydraulic conductivity had a same rank of trees-shrub soil > shrub-herb soil > herb soil. Soil structure and saturated hydraulic conductivity behaved better in surface soil layers than that in deep soil layers. Soil saturated hydraulic conductivity was found significantly and negatively correlated with soil bulk density and rock fragment. [Conclusion] Soil saturated hydraulic conductivity had significantly positive correlations with porosity and $R_{0.25}$. Soil porosity was the key factor affecting saturated hydraulic conductivity.

Keywords: soil structure parameters; porosity; rock fragment; >0.25 mm water stable aggregate; soil saturated hydraulic conductivity

土壤饱和导水率反映了水分的入渗和渗漏特性, 是决定坡地降水入渗与径流比例的关键, 也是水分循环和土壤侵蚀模型中的重要参数^[1-2]。土壤饱和导水率受土壤结构特性、植被群落及海拔等多种因素影

响^[2-4]。土壤饱和导水率不同, 土壤水分入渗量及其空间分布就呈现不同规律。土壤结构性质是影响土壤饱和导水率的重要因素。土壤密度、机械组成、含水量、土壤孔隙均是土壤结构指标, 他们影响土壤饱

和导水率,并影响土壤水分运移过程^[5]。国内外学者对土壤性质与土壤导水能力的关系进行了大量研究。席彩云等^[6]在密云森林土壤入渗研究中发现,土壤饱和导水率与土壤密度呈负相关关系,与有机质含量和孔隙度呈正相关关系;陈凤琴等^[7]研究指出土壤饱和导水率受土壤大孔隙数量和大小影响;Helaia^[8]研究发现土壤有效孔隙率与饱和导水率有极显著的相关性;Bodman 等^[9]认为在土壤入渗初期,土壤导水率受含水量影响较大,之后这种影响逐渐减弱;马晓刚^[10]在缙云山土壤饱和导水率的研究中指出,有机质含量、土壤密度和孔隙度是影响土壤饱和导水率的主导因素,其他因素对饱和导水率的影响较小。然而目前,关于影响水分入渗的土壤结构研究多集中于土壤发育较好的森林地带,腐殖质层相对较厚,土层厚,土壤结构较好,对城市公园的土壤鲜有研究。

莱芜红石公园是莱芜市区的中心公园,其因土壤表层多处分布巨厚红色碎屑岩相成名,公园内有湖泊,因此研究此类典型地区土壤的结构及水分运移情况至关重要。本研究以莱芜红石公园为研究区域,通过测定土壤的结构指标,运用定水头水文穿透曲线法测定土壤饱和导水率,分析土壤结构指标与饱和导水率的关系,探讨土壤饱和导水率的影响因素,旨在为深入研究土壤结构与土壤水分运移关系提供一定的理论基础,为促进当地水质状况改善、植被生长及恢复及自然灾害的防治提供参考^[10-11]。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区域位于莱芜市红石公园,其地处莱芜市区中心,地理坐标为 117°40'E, 36°13'N。公园总面积 54 hm²,其中水面面积 8.5 hm²,绿化面积 8.5 hm²,道路广场面积约 0.45 hm²,是目前市区最大的综合性娱乐场所。园中有银杏广场,月波湖,红石谷等旅游景点。整个公园因有较大面积的裸露红石而得名。其红石生成于距今一亿多年前的中生代侏罗纪,由于受当时地壳运动剧烈,地势分异加剧,气候逐渐转为干燥,受陆相盆地型沉积环境的影响,因而所形成的岩石多为巨厚红色碎屑岩相,统称红层。后因受该时代非常强烈的燕山运动的影响及长时间的风化剥蚀作用,在莱芜境内的侏罗系红层仅残存于近东西向的莱芜八里沟向斜的槽部,分布在莱城及东南一带,因岩性为鲜红色的细中粒长石矿岩,故名为“红石”。研究区属大陆性半湿润季风气候,年平均气温为 11~13 ℃,年平均降水量 707.9 mm,年蒸发量为 1 800~2 000 mm^[12]。

1.2 样地选择及土样采集

选择公园内红石区域作为研究对象,设置 6 块样地,样地植被以草本为主,样地基本状况详见表 1。用直径 7 cm,高 5 cm 的环刀在 6 块样地分层(0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm)采集土壤样品,测定孔隙度、密度;用直径 7 cm,高 10 cm 的环刀在 6 块样地分层(0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm,40—60 cm)采集土壤样品分别用来测定大孔隙数量、半径及土壤饱和导水率,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,用于室内测定土壤石砾以及土壤团聚体。

表 1 研究样点基本状况

样地编号	海拔/m	坡位	植被类型	枯落物厚度/cm
1	50	上坡	矮型乔木及草本	0.0
2	50	上坡	矮型乔木及草本	0.0
3	50	上坡	矮型灌丛及草本	0.0
4	50	下坡	矮型灌丛及草本	0.0
5	50	下坡	矮型草本	0.0
6	50	下坡	矮型草本	0.0

1.3 试验方法

试验在所选取的 6 个样地分 4 层测定土壤密度、土壤含水率、总孔隙度、石砾含量、>0.25 mm 水稳性团聚体含量($R_{0.25}$)以及土壤饱和导水率,分析其分布规律,并对比分析各指标与土壤饱和导水率的相关关系。其中土壤含水率采用烘干法;土壤密度采用比重瓶法;土壤石砾含量采用排水法^[13];湿筛法结合计算法测定 $R_{0.25}$ ^[14];土壤总孔隙度采用气压平衡法^[15];土壤饱和导水率测定采用定水头法^[16]。

1.4 数据整理及分析

将各层土壤土壤结构因素指标及土壤饱和导水率的 3 个重复取平均值进行分析;利用 Excel 对数据进行整理分析;利用 Pearson 相关分析法分析土壤结构特征与饱和导水率相关关系,所有统计分析均使用 SPSS 22.0 软件。

2 结果与分析

2.1 土壤密度及土壤含水率

土壤密度是土壤基本性质,反映土壤紧实度,其对土壤水分运移能力有很大影响。对 6 块样地 4 层土壤密度进行测定,结果如图 1 所示。由图 1 可见,不同样地的土壤密度差异显著,总体表现为:乔木—草本土壤>灌木—草本土壤>草本土壤,这是由于植

被根系活动会导致土壤产生孔隙,减少土壤密度,而乔木的根系发育要优于灌木。除此之外,土壤密度表现出显著的垂直变异规律,具体表现为随着土壤深入土壤密度减小。这是由于在有植被生长的区域,土壤表层的根系及生物活动要多于下层,其活动会导致土壤密度降低。

土壤含水率是影响土壤入渗过程的重要因子。由图1可见,不同样地条件土壤含水率差异显著。在0—40 cm 土层土壤含水率表现为:乔木—草本土壤 > 灌木—草本及纯草本土壤,但在20—40 cm 土层,

样地3—6的土壤含水率差异不显著,在0—10 cm 土层土壤含水率表现为:灌木—草本土壤 > 纯草本土壤,这是由于乔木根系生长较深,对土壤深处的土壤含水率也有正面影响,但灌木根系生长较浅,因此对深层土壤影响较小。土壤含水率总体表现为随着土壤深入而减小的垂直变异规律,其中这种规律在乔木—草本林地的0—40 cm 土层及灌木—草本、纯草本的0—20 cm 土层均显著,但在灌木—草本及纯草本的20—40 cm 土层土壤不显著,可见,乔木对深层土壤的含水率影响要优于灌木。

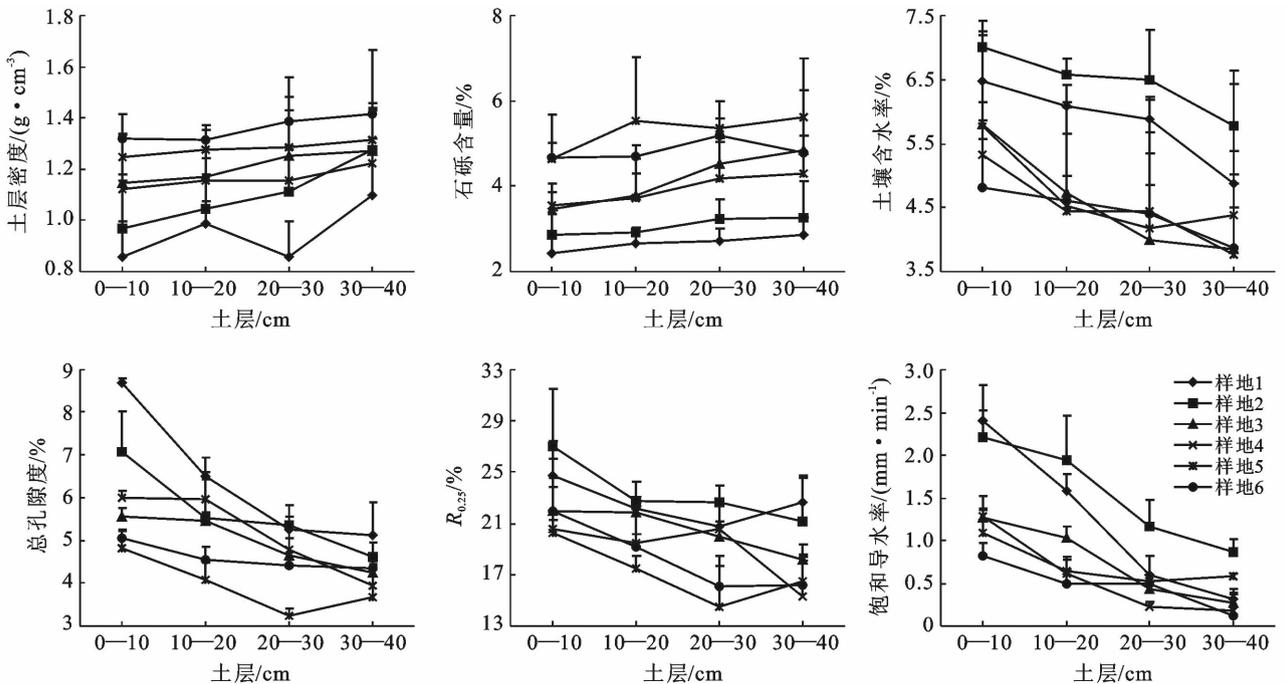


图1 土壤性质及饱和导水率分布特征

2.2 土壤石砾含量、总孔隙度及 $R_{0.25}$ 分布特征

土壤石砾含量对土壤的水分运动特征有重要影响。各样地各土层土壤石砾含量分布情况如图1所示。由图1可见,土壤石砾含量表现为:乔木—草本土壤 > 灌木—草本土壤 > 纯草本土壤,这是因为植被根系在土壤中的活动会破坏石砾或使石砾产生移动,而乔木的根系生长情况好于灌木,因此对石砾的影响更多。此外,土壤石砾含量表现为随着土壤深入而增多的规律,这也是由于表层的根系及生物活动多余深层土壤造成,且研究区域位于城市公园,人流量多,人为活动也会对表层土壤造成影响。

土壤孔隙是决定土壤水分运移的主要因素。由图1可见,土壤总孔隙度总体表现为:乔木—草本土壤 > 灌木—草本土壤 > 纯草本土壤,且较显著。这是由于植被根系及蚯蚓活动会对产生土壤大孔隙,而乔木的根系生长相对于灌木及草本更粗大,更深入,因

此在在乔木—草本下土壤具有更大的总孔隙度。此外,在0—40 cm 土层的乔木—草本土壤及灌木草本土壤均表现为随着土壤深入总孔隙度减小的趋势,而在纯草本土壤这种趋势仅表现在0—20 cm 土层。

土壤团聚体对土壤养分及水分的保持起到至关重要的作用,而 $R_{0.25}$ 可以更好地反映土壤的稳定性。由图1可见,土壤 $R_{0.25}$ 含量总体表现为:乔木—草本 > 灌木—草本 > 纯草本。6个样地的 $R_{0.25}$ 含量均表现为随着土壤深入而降低的规律,这与土壤总孔隙表现出相似的规律,这是由于植被根系运动在造成大孔隙的同时,增加了土壤有机质含量,改善了土壤结构,增加了土壤稳定性。

2.3 土壤饱和导水率分布特征

土壤饱和导水率直观反映了土壤的水分运移特性。由图1可见,土壤饱和导水率总体表现为:乔木—草本 > 灌木—草本 > 纯草本。具体的,在0—20

cm 土层表现为:乔木—草本>灌木—草本及纯草本,灌木草本与纯草本土壤饱和和导水率差异不显著,这可能是由于土壤表层情况较为复杂,尽管其土壤结构好于纯草本土壤(石砾少,总孔隙度高),但大孔隙的连接度、迂曲度及排列均会对水分入渗产生决定性的影响^[17],若土壤总孔隙度高,但其孔隙连接度低,仍会限制水分入渗。20—40 cm 土层样地 4 土壤饱和和导水率有上升趋势,高于纯草本土壤,可见,灌木—草本比纯草本对深层土壤导水率影响更大。土壤饱和和导水率表现为随着土壤的深入而减小的规律,且较显著,这是由于表层土壤由于根系和生物活动产生了更多有利于水分运移的大孔隙,从而使得表层土壤饱和和导水率更高。土壤水分入渗是由多方因素共同决定。

2.4 土壤性质与饱和导水率的关系

土壤饱和和导水率与土壤密度、土壤含水率、石砾含量、总孔隙度及 $R_{0.25}$ 均符合二次曲线关系,且相关关系均极显著。其中,饱和和导水率与土壤含水率的相关关系最强($R^2=0.781\ 02$, $p<0.01$),表现为土壤含水率越高,土壤饱和和导水率越高,但这并不能表明土壤含水率会对土壤饱和和导水率产生影响,因为土壤含水率会随着季节温度、降雨降水等而发生变化,土壤饱和和导水率却不会因此变化。造成其相关系数高的原因可能是由于土壤根系条件越好,其土壤结构越高,因此同时提高了其土壤储水及导水性能。土壤总孔隙度与饱和和导水率的拟合关系较好($R^2=0.679\ 57$, $p<0.01$),表现为总孔隙度越大,土壤饱和和导水率越

高,可见由土壤根系及生物活动造成的孔隙对土壤饱和和导水率起决定性的影响。 $R_{0.25}$ 与土壤饱和和导水率的相关关系很强($R^2=0.652\ 34$, $p<0.01$),表现为土壤 $R_{0.25}$ 含量越多,土壤饱和和导水率越高,这是由于群落更丰富的土壤不仅有更多的孔隙,也产生了更多的有机质含量,其有助于土壤水稳性团聚体的形成,这与彭舜磊等^[3]的研究结论一致。饱和和导水率与土壤密度的拟合关系较好($R^2=0.547\ 08$, $p<0.01$),表现为土壤密度越低,土壤饱和和导水率越高。可见,植被根系活动在产生大孔隙的同时,减小的土壤密度,从而土壤密度与饱和和导水率表现出显著负相关关系。饱和和导水率与土壤石砾含量的拟合关系较好($R^2=0.498\ 21$, $p<0.01$),但差于其他土壤结构因素,具体表现为土壤石砾含量越高,土壤饱和和导水率越低。通过表 2 可以看出,土壤石砾含量与土壤总孔隙度呈显著负相关关系,可见土壤中孔隙越多,石砾含量越少,可以猜测植被根系和生物活动在使得土壤产生大孔隙的同时,使土壤石砾产生破坏或移动。石砾会对水分入渗产生直接的阻断作用,进而影响了土壤饱和和导水率的大小。由表 2 可以看出,土壤结构因素中,土壤总孔隙度与饱和和导水率相关系数最高,其次为土壤 $R_{0.25}$ 含量、土壤密度及土壤石砾含量,可以说明土壤总孔隙是土壤饱和和导水率的最主要影响因素,这与张春雷等^[18]以及 Hu 等^[19]在黄土高原地区的研究结论有很大差异,究其原因,是因为土壤性质的差异造成的。

表 2 土壤性质及饱和和导水率相关性分析

土壤结构参数	土壤密度	石砾含量	土壤含水率	总孔隙度	$R_{0.25}$
石砾含量	0.609(0.002**)				
土壤含水率	-0.623(0.001**)	-0.812(0.000**)			
总孔隙度	-0.755(0.000**)	-0.773(0.000**)	0.708(0.000**)		
$R_{0.25}$	-0.561(0.000**)	-0.805(0.000**)	0.784(0.000**)	0.817(0.000**)	
土壤饱和和导水率	-0.717(0.000**)	-0.636(0.000**)	0.865(0.000**)	0.818(0.000**)	0.813(0.000**)

注:**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 结论

(1) 土壤密度、石砾含量表现为:纯草本>灌木—草本>乔木—草本; $R_{0.25}$, 含水率、总孔隙度及土壤饱和和导水率表现为:乔木—草本>灌木—草本>纯草本,可见乔木树种对土壤结构的改良作用要优于灌木,草本最差。

(2) 无论在何种植被条件,土壤表层土壤较深层土壤有更小的土壤密度及石砾含量以及更大的 $R_{0.25}$ 含量、含水率、总孔隙度及饱和和导水率,其中乔木土壤

此种规律更为显著,可见植被对表层土壤结构的改良作用更强,乔木对深层土壤结构的改良能力要强于灌木及草本。

(3) 土壤饱和和导水率与土壤密度、石砾含量呈现显著负相关关系,与总孔隙度及 $R_{0.25}$ 呈现显著正相关关系,总孔隙度对土壤饱和和导水率影响最大的土壤结构因素,土壤 $R_{0.25}$ 含量、土壤密度及石砾含量次之。

(4) 本研究仅对比了土壤部分结构因素与饱和和导水率的相关关系,但导水率受到多种因素的共同影响,单因素分析仅能初步探究各因素与土壤饱和和导水

率之间的相关关系,并不能建立可有效预测饱和导水率的关系式。在下一步研究中,将依托限制变量法,对土壤结构指标与土壤饱和导水率的关系进行模拟。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 张川,陈洪松,张伟,等. 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.
- [3] 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, 26(11): 78-84.
- [4] 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.
- [5] 王力,邵明安,王全九. 林地土壤水分运动研究述评[J]. 林业科学, 2005, 41(2): 147-153.
- [6] 席彩云,余新晓,徐娟,等. 北京密云山区典型林地土壤入渗特性[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(5): 42-47.
- [7] 陈风琴,石辉. 缙云山常绿阔叶林土壤大孔隙与入渗性能关系初探[J]. 西南师范大学学报:自然科学版, 2005, 30(2): 350-353.
- [8] Helalia A M. The relation between soil infiltration and effective porosity in different soils [J]. Agricultural Water Management, 1993, 24(1): 39-47.
- [9] Bodman G B, Colman E A. Moisture and energy conditions during downward entry of water into soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1944, 8(8): 116-122.
- [10] 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.
- [11] 邹焱,陈洪松,苏以荣,等. 红壤积水入渗及土壤水分再分布规律室内模拟试验研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 174-177.
- [12] 王媛玲,赵庚星,王庆芳,等. 丘陵区土地整理对土壤理化性状的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 311-315.
- [13] Shi Zhongjie, Xu Lihong, Wang Yanhui, 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.
- [14] 张鹏,贾志宽,王维,等. 秸秆还田对宁南半干旱地区土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(8): 1513-1520.
- [15] 陈世超,林剑辉,孙宇瑞,等. 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.
- [16] 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.
- [17] Luo Lifang, Lin Henry, Halleck Phil. Quantifying soil structure and preferential flow in intact soil using x-ray computed tomography [J]. Soil Science Society of America Journal, 2008, 72(4): 1058-1069.
- [18] 赵春雷,邵明安,贾小旭. 黄土高原北部坡面尺度土壤饱和导水率分布与模拟[J]. 水科学进展, 2014, 25(6): 806-815.
- [19] Hu Wei, Shao Mingan, Si Bingcheng. Seasonal changes in surface bulk density and saturated hydraulic conductivity of natural landscapes[J]. European Journal of Soil Science, 2012, 63(6): 820-830.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1999.
- [12] Tabatabai M, Bremner J. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1969, 1(4): 301-307.
- [13] 刘大翔,许文年,周明涛,等. 坡位坡向及年限对黄龙滩电站生态护坡肥力的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 178-182.
- [14] 邱现奎,董元杰,万勇善,等. 不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响[J]. 土壤, 2010, 42(2): 249-255.
- [15] 万超,徐福利,邹诚,等. 黄土丘陵沟壑区不同土地利用模式对土壤酶活性和土壤微生物影响研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2): 158-162.
- [16] 曹志平. 土壤生态学[M]. 北京:化学工业出版社, 2007.
- [17] 明安刚,陶怡,吴光枝,等. 不同坡位米老排人工林生长量与生物量的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(28): 90-93.
- [18] 路怡青,朱安宁,张佳宝,等. 免耕和秸秆还田对小麦生长期土壤酶活性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(3): 329-334.
- [19] 丁永全. 坡向和坡位对大兴安岭干旱阳坡蒙古栎林温湿度的影响[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(4): 46-51.

(上接第 187 页)