

# 重庆市四面山不同土地利用类型饱和导水率

阮苾竹<sup>1</sup>, 程金花<sup>1</sup>, 张洪江<sup>1</sup>, 杜士才<sup>2</sup>, 李世友<sup>3</sup>, 张福明<sup>4</sup>, 王贤<sup>1</sup>, 陈晓冰<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 重庆市林业局, 重庆 401147;

3. 重庆市四面山镇人民政府, 重庆 402296; 4. 重庆市四面山森林资源管理局, 重庆 402296)

**摘要:** [目的] 探讨不同土地利用类型和土壤理化性质对饱和导水率的影响。[方法] 采用定水头法测定四面山不同土地利用类型的饱和导水率, 并运用回归分析, 相关分析和主成分分析法分析其与土壤物理因子和有机质的关系, 以及影响饱和导水率的主导因子。[结果] 各土地利用类型的平均饱和导水率均高于荒地, 其顺序为: 林地 > 农地 > 草地, 林地中天然林饱和导水率大于人工林; 饱和导水率随土层深度的增加呈负指数递减规律; 饱和导水率与容重呈幂函数关系, 与孔隙度呈正相关, 与黏粒含量呈负相关; 有机质含量的提高对饱和导水率有积极的促进作用。[结论] 影响饱和导水率的主导因子是容重、有机质、非毛管孔隙度和毛管孔隙度, 其次, 土壤机械组成对其也有一定影响。

**关键词:** 土地利用类型; 饱和导水率; 物理因子; 有机质; 四面山

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0079-06

中图分类号: S157, S152.5

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.015

## Saturated Hydraulic Conductivity of Different Land Use Types in Simian Mountain of Chongqing City

RUAN Xinzhū<sup>1</sup>, CHENG Jinhua<sup>1</sup>, ZHANG Hongjiang<sup>1</sup>, DU Shi-cai<sup>2</sup>,

LI Shiyou<sup>3</sup>, ZHANG Fuming<sup>4</sup>, WANG Xian<sup>1</sup>, CHEN Xiaobing<sup>1</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Chongqing Forestry Bureau, Chongqing 401147, China; 3. The People's Government of Simianshan town of Chongqing,

Chongqing 402296, China; 4. Chongqing Simianshan Forest Resource Management Bureau, Chongqing 402296, China)

**Abstract:** [Objective] The research focuses on the effect of the different land use types and soil physicochemical properties on saturated hydraulic conductivity. [Methods] The constant-hydraulic head method was used to measure soil saturated hydraulic conductivity ( $K_s$ ) for different land use types in Simian Mountain of Chongqing City. Regression analysis, correlation analysis and principle component analysis was used to analyze the relationship between  $K_s$  and soil physical factors and organic matter. [Results] The  $K_s$  was the lowest in wasteland, and the descending order was: forest land > farmland > grassland. The  $K_s$  in natural forest was higher than that in artificial forest, and it was negative exponential declined with the increase of the soil depth. There was a power function relationship between  $K_s$  and unit weight, and  $K_s$  was positively related to soil porosity and negatively related to clay content. The increase of organic matter could improve the  $K_s$ . [Conclusion] The unit weight, organic matter, non capillary porosity and capillary porosity are the main factors that influence  $K_s$ . Besides, soil mechanical composition also has some impact on  $K_s$ .

**Keywords:** different land use types; saturated hydraulic conductivity; physical factors; organic matter; Simian Mountain

土壤饱和导水率 ( $K_s$ ) 是在水分充满土壤孔隙时, 单位势梯度下土壤水的通量, 能综合反映多孔介质对某种流体在其中流动的阻碍作用, 对于特定的土壤, 饱和导水率为常数<sup>[1]</sup>, 土壤中的饱和水流是土壤

收稿日期: 2014-01-12

修回日期: 2014-01-23

资助项目: 国家林业局推广项目“三峡库区低山丘陵区水土保持型植物群落建设技术”([2012]42); 国家自然科学基金资助项目(41271300, 30900866)

第一作者: 阮苾竹(1990—), 女(汉族), 重庆市人, 学士, 研究方向为水土保持。E-mail: ruan537@163.com。

通信作者: 程金花(1979—), 女(汉族), 山东省东阿县人, 博士, 副教授, 主要从事土壤侵蚀与植被恢复研究。E-mail: jinhua\_cheng@126.com。

水运动的经典形式,表示土壤介质中饱和水流运动的最大能力,能够制约地表径流的发生和发展<sup>[2]</sup>,饱和导水率是土壤物理性质的重要参数之一<sup>[3]</sup>,它是计算土壤剖面中水的通量和设计灌溉、排水系统工程的一个重要土壤参数<sup>[4]</sup>。

就目前的研究情况来看,许多学者对饱和导水率的空间变异性<sup>[5-8]</sup>,饱和导水率的影响因素做了相关研究。吕殿青等<sup>[9]</sup>,杜咏梅等<sup>[10]</sup>研究了土壤容重对饱和导水率的影响。迟春明等<sup>[11]</sup>,方堃等<sup>[12]</sup>研究了土壤机械组成对饱和导水率的影响。秦耀东等<sup>[13]</sup>研究了土壤孔隙对饱和导水率的影响。陈效民等<sup>[14]</sup>,彭舜磊等<sup>[15]</sup>研究了土壤有机质含量对饱和导水率的影响。总的来说,影响饱和导水率的主要因素有土壤容重、有机质、孔隙度和土壤机械组成。

土地利用方式是决定土壤物理化学性质变化的重要因素<sup>[16]</sup>,许多学者研究了不同因素对饱和导水率的影响,但很少有人研究不同的土地利用类型对饱和导水率的影响。因此,本文选取不同土地利用类型的样地,综合分析其饱和导水率的剖面变化规律以及与土壤理化性质的关系,为研究不同土地利用类型的土壤水分运动规律提供依据,对于合理利用土地资源及环境保护均具有十分重要的理论和实践意义。

## 1 试验区概况

研究地点选择在重庆市四面山,地理坐标为北纬

28°31′14″—28°46′00″,东经 106°17′22″—106°30′00″。地势南高北低,海拔为 900~1 500 m,属四川盆地川东褶皱带与贵州高原大娄山脉的过渡地段。岩层主要是白垩纪晚期夹关组厚层红色砂岩经张力作用和外营力作用的强烈冲蚀切割形成的典型丹霞地貌。研究区位于四面山张家山林区,其气候属北半球亚热带季风性湿润区,温暖湿润,雨量充沛,四季分明,无霜期为 285 d。多年平均气温 13.7℃,月平均最高气温为 8 月,达 31.5℃,月平均最低气温为 1 月,为 -5.5℃。多年平均降雨量 1 522.3 mm,日最大降雨量 160.5 mm,雨季集中在 5—9 月,占年平均降雨量的 62.17%。降雨量变化较大,海拔每上升 100 m,降雨量递增 43.3 mm。年平均日照时数为 1 082.7 h,生长季 5—9 月的日照时数约为全年日照时数的 64%。

研究区内土壤主要由白垩纪夹关组砖红色长石、石英砂岩夹砖红色、紫红色粉砂岩等风化残积物、冲积物发育而成,主要土壤类型有:黄棕壤、黄壤等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选取与植被调查

按照不同土地利用方式共选取 11 个样地作为研究对象,每个样地的大小为 20 m×20 m,其中荒地为无作物的废弃农地,用样线法调查样地内植被情况,其基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

土地利用类型	样地编号	林分	树龄/a	郁闭度	灌草盖度/%	主要植物种		
荒地	荒地	—	—	—	—			
草地	草地 I	—	—	—	—	宽叶薹草( <i>Carex siderosticta</i> )	三脉紫菀( <i>Aster ageratoides</i> )	乌蕨( <i>Stenoloma chusanum</i> )
	草地 II	—	—	—	—	楮头红( <i>Sarcopyramis nepalensis</i> )	中华里白( <i>Hicriopteris chinensis</i> )	蕨( <i>Pteridium aquilinum</i> )
农地	农地 I	—	—	—	—	玉米( <i>Zea masy</i> )		
	农地 II	—	—	—	—	茄子( <i>Solanum melongena</i> )		
林地	人工林 I	混交林	12	0.97	87	杉木( <i>Cunninghamia lanceolata</i> )	马尾松( <i>Pinus massoniana</i> )	银木荷( <i>Schima argentea</i> )
	人工林 II	阔叶林	12	0.75	85	银木荷	石栎( <i>Lithocarpus glaber</i> )	椴木( <i>Aralia chinensis</i> )
	人工林 III	针叶林	12	0.47	68	杉木	分株紫萁( <i>Osmunda cinnamomea</i> )	周毛悬钩子( <i>Rubus amphidasys</i> )
	天然林 I	混交林	32	0.95	80	马尾松	银木荷	栲( <i>Castanopsis fargesii</i> )
	天然林 II	阔叶林	32	0.86	90	叶萼山矾( <i>Symplocos phyllocalyx</i> )	栲	银木荷
	天然林 III	针叶林	32	0.60	70	马尾松	福建柏( <i>Fokienia hodginsii</i> )	五味子( <i>Schisandra chinensis</i> )

### 2.2 土样采集与测定

沿每块样地(20 m×20 m)的坡上、坡中和坡下随机布设 3 个土壤采样点,挖掘深度为 1 m 的土壤剖面,按照 0—20,20—40,40—60,60—80 和 80—100 cm 分 5 层进行土样采集,每层重复取样 3 次,取平均值。

采集的土样在室内进行测定,土壤容重,毛管孔隙度,非毛管孔隙度用环刀法测定;土壤机械组成用比重计法测定;有机质含量用重铬酸钾容量法测定。

### 2.3 土壤饱和导水率测定

使用 ST-70A 型土壤水分渗透仪,以定水头法测

定各类土壤各土层的饱和导水率。定水头法是在测定过程中维持进口土层水头不变的情况下测定土壤导水率的方法<sup>[2]</sup>。根据公式(1)可计算温度为  $t(^{\circ}\text{C})$  时的土壤饱和导水率( $K_s$ ):

$$K_s = \frac{V}{tA} \cdot \frac{L}{H} \quad (1)$$

式中: $H$ ——进口端水头(cm); $V$ ——水分出水量( $\text{cm}^3$ ); $t$ ——水分出流时间(s); $L$ ——土柱长度(cm); $A$ ——土柱横截面积( $\text{cm}^2$ )。

#### 2.4 数据处理与分析

数据处理用 SPSS 20.0, 主要用双变量相关分析法分析孔隙度以及土壤机械组成和饱和导水率的关系, 回归分析法分析容重以及有机质和饱和导水率的关系, 主成分分析法分析影响饱和导水率的主要影响因素。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同土地利用类型饱和导水率的特征

不同土地利用类型的样地各土层饱和导水率的变化范围都在  $0.001\ 179 \sim 0.010\ 533\ \text{cm/s}$  之间, 都达到了很高的饱和导水率<sup>[1]</sup>, 土壤入渗能力很强。不同土地利用类型饱和导水率剖面分布见图 1。由图 1 中可以看出, 在所有样地中荒地的各土层的土壤饱和导水率最低, 天然针阔混交林的土壤饱和导水率最高。所有样地各土层的  $K_s$  均随着土层深度的增加而显著减少, 其变化规律满足负指数规律, 见公式(2)。这是因为随着土层深度的增加, 土壤容重增加, 孔隙度减少, 有机质含量降低。0—60 cm 土层的土壤饱和导水率随土层深度增加而减少的趋势最为显著, 不同土地利用类型的样地的土壤饱和导水率之间的差异也较大; 60—100 cm 土层的土壤饱和导水率随土层深度增加而减少的趋势有所减缓。其原因可能是 60—100 cm 土层随土层深度增加孔隙度和有机质含量变化幅度较小, 植物根系的作用明显减少。植物根系及土壤生物产生的土壤大孔隙的多少对土壤饱和导水率起着重要作用<sup>[17]</sup>。

$$K_s = 7.413\ 1e^{-0.018Z} \quad (R^2 = 0.76) \quad (2)$$

式中: $K_s$ ——饱和导水率( $10^{-3}\ \text{cm/s}$ ); $Z$ ——土层深度(cm)。

不同土地利用类型平均饱和导水率见图 2, 由图 2 中可以看出不同土地利用类型的平均饱和导水率都比荒地高, 其顺序为: 林地 > 农地 > 草地 > 荒地。究其原因, 植被对土壤都有一定的改良作用, 是影响入渗的重要因素。植物群落演替, 林分结构以及物种丰

富度都对土壤的理化性质的改变起着重要作用。枯枝落叶层的分解能提高表层土壤的有机质含量。植物根系对土壤的穿插和破碎作用可以增加土壤孔隙度, 降低土壤紧实度, 提高土壤有机质含量。

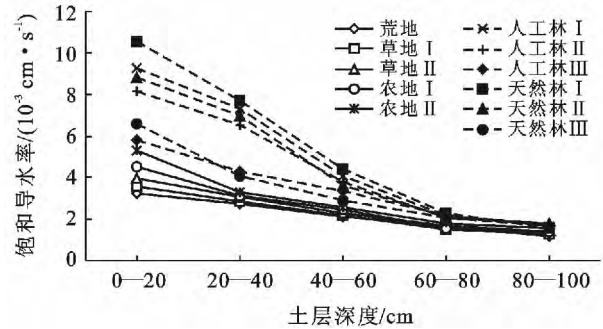


图 1 不同土地利用类型饱和导水率剖面分布

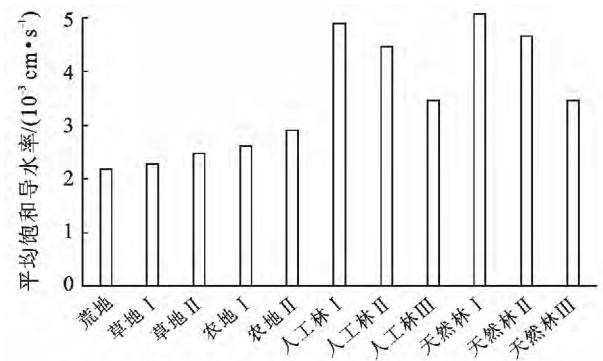


图 2 不同土地利用类型平均饱和导水率

在林地中, 对于同种林分类型, 天然林的平均饱和导水率均高于人工林, 这是因为相比天然林, 人工林的树种较为单一, 林分简单。从表 1 可以看出, 天然林的郁闭度和灌草覆盖度均高于人工林。这可能还与天然林的树龄大于人工林有关。因此, 天然林地的土壤有机质含量更高, 土壤质地更为疏松多孔, 土壤入渗能力更强。

对比其他样地, 天然针阔混交林的平均饱和导水率最高, 比荒地提高了 143%, 其原因是天然针阔混交林植物群落结构复杂, 物种丰富度高, 土壤有机质含量高, 植物根系分布广泛, 增加了土壤孔隙度, 降低土壤容重, 使土壤更为疏松。农地和草地对平均饱和导水率的提高程度相对较少, 分别比荒地提高了 32%, 14%, 2% 和 3%, 其原因是农地和草地的植物群落结构简单, 物种丰富度相对较低, 植物根系较浅且分布范围较窄, 因此对土壤理化性质的改良较小, 农地相比草地而言由于人为影响较多, 对其进行的施肥和耕作使得农地的有机质含量和孔隙度均高于草地, 因此平均饱和导水率也更高。

### 3.2 土壤物理性质对饱和导水率的影响

平均饱和导水率与土壤物理性质紧密相关,其中,土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度以及土壤的机械组成对其影响最为显著<sup>[2,15,18]</sup>。

3.2.1 土壤容重对饱和导水率的影响 土壤容重的不同将改变土壤的孔隙状况,因而导致土壤的饱和导水率的变化<sup>[19]</sup>。土壤容重对平均饱和导水率有着显著影响。饱和导水率与土壤容重的拟合见图 3。从图 3 中可以看出平均饱和导水率随容重的增加而减小,与容重成反比关系,并呈现显著的幂函数形式递减,与吕殿青等<sup>[9]</sup>的结论一致,其关系式见公式(3)。有学者的研究表明平均饱和导水率与容重呈显著的一元二次多项式负相关的关系<sup>[17]</sup>,也有学者得出平均饱和导水率与容重呈显著线性关系<sup>[20]</sup>。但是都认可平均饱和导水率随容重的增加而减少。有学者指出土壤容重增加,土壤的大孔隙显著减小,因而使土壤的饱和含水量明显降低<sup>[19]</sup>。

$$Y=5.962X^{-2.456} \quad (R^2=0.819) \quad (3)$$

式中:Y——饱和导水率( $10^{-3} \text{ cm/s}$ ); X——土壤容重( $\text{g/cm}^3$ )。

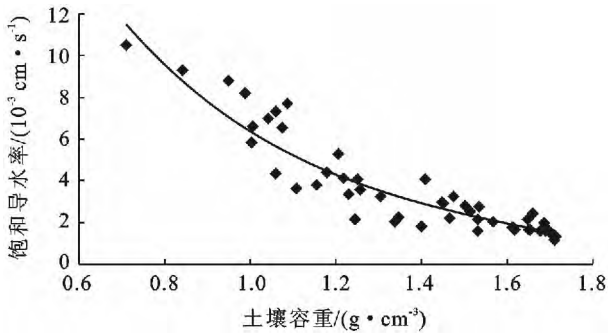


图 3 饱和导水率与土壤容重的拟合

3.2.2 土壤机械组成对饱和导水率的影响 通过 SPSS 相关分析土壤机械组成得出,砂粒、粉粒、黏粒

的显著性分别为 0.057,0.543 和 0.002,砂粒和粉粒的显著性都大于 0.05,因此土壤中砂粒和粉粒的含量与平均饱和导水率不具有相关性。黏粒与平均饱和导水率呈负相关关系,相关系数为-0.513。这是因为影响土壤基质特征最有决定意义的粒级是土壤黏粒,土壤黏粒具有巨大的比表面积,在物理化学过程中最为活跃,已具有胶体的性质,黏粒吸附水分,使土壤在湿润和干燥中膨胀和收缩<sup>[1]</sup>。并且黏粒高度分散,土壤透水孔隙被堵塞,致使土壤饱和导水率降低<sup>[11]</sup>。

3.2.3 土壤孔隙度对饱和导水率的影响 土壤孔隙度的大小、数量及分布是土壤物理性质的基础,也是评价土壤结构特征的重要指标<sup>[21]</sup>。通过 SPSS 相关分析得出总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度与平均饱和导水率的相关系数分别是 0.753,0.633 与 0.637。因此土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度与平均饱和导水率呈显著的正相关关系。土壤大孔隙所形成的优先流对平均饱和导水率有显著影响,随着土壤大孔隙的增加,平均饱和导水率也显著增加<sup>[13-17]</sup>。

### 3.3 土壤有机质含量对饱和导水率的影响

土壤有机质是土壤结构形成和稳定作用的核心物质,通过改善土壤结构、土壤胶体状况等,影响土壤饱和导水率,起到调控水分运动的功能<sup>[2]</sup>。不同土地利用类型土壤有机质含量及有机质与饱和导水率的关系见图 4。从图 4 中可以看出,有机质含量随土层深度的增加而减少,0—60 cm 土层的有机质含量减少速率较 60—100 cm 土层快,不同土地利用类型的有机质含量均高于荒地,说明植被对于有机质含量起着重要作用,其中天然针阔混交林的有机质含量最高,这与其植物群落结构的复杂程度和物种丰富度密切相关。有机质含量随土层深度变化的规律与平均饱和导水率的变化规律一致。

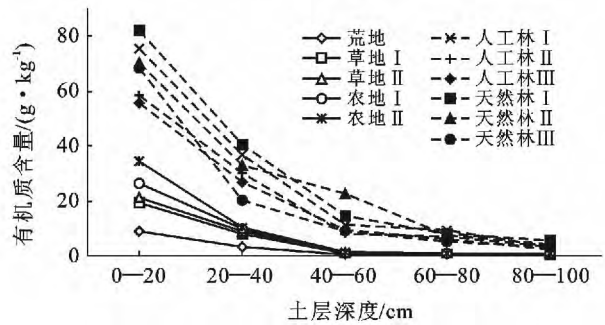
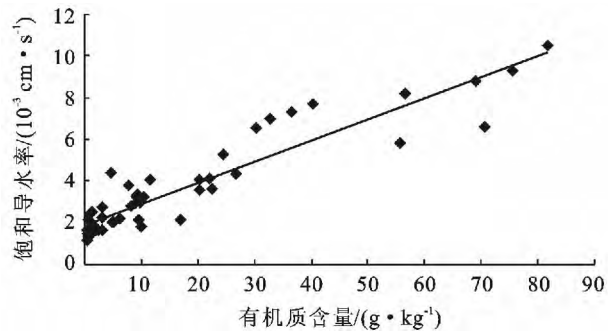


图 4 不同土地利用类型土壤有机质含量及有机质与饱和导水率的关系

通过线性回归分析得出平均饱和导水率与有机质含量呈显著的正相关关系,平均饱和导水率随着有

机质含量的增加而增大,呈线性相关,关系式见公式(4)。由此说明有机质很好的改善了土壤的透水性

能,使土壤更疏松。土壤有机质则在一定范围内增加了土壤孔性,提高了土壤饱和导水率<sup>[2]</sup>。

$$Y=0.100X+1.912 \quad (R^2=0.865) \quad (4)$$

式中:Y——饱和导水率( $10^{-3}$  cm/s); X——有机质含量(g/kg)。

### 3.4 影响饱和导水率的主导因子分析

影响饱和导水率的原因很多也很复杂,其影响因子之间有较强的相关性,简单的相关分析不能直观而全面地反映他们之间的关系,为了消除评价指标间的相关影响,更好的研究其主导因子,故采用 SPSS 20.0 统计分析软件中的主成分分析方法,分析土壤不同的理化性质对平均饱和导水率的影响,进一步分析其主导因子。主成分中不同影响因素荷载见表 2。

表 2 为 11 个样地的土壤理化性质数据经极大正交旋转后得到的因子矩阵,反映了理化性质在不同范畴内的主导因素。

从表 2 中可以看出前两个主成分的累计贡献率达到了 81.655%,可以综合反映影响平均饱和导水率的主导因子。第 1 主成分范畴的特征值为 3.444,对总方差的贡献率为 52.199%,即第 1 主成分可以解释土壤理化性质对平均饱和导水率的影响的 52.199%的情况。其中以土壤容重、有机质含量、非

毛管孔隙度、毛管孔隙度及黏粒为主。第 2 主成分的特征值为 1.922,对总方差的贡献率为 29.456%,因此,第 2 主成分也起着较大的作用。第 2 主成分是土壤机械组成的综合指标,其中,砂粒和粉粒起着至关重要的作用,砂粒对平均饱和导水率起促进作用,粉粒对平均饱和导水率起抑制作用。

从表 2 中可以看出,在第 1 主成分中,有机质、毛管孔隙度和非毛管孔隙度与平均饱和导水率呈正相关关系,土壤容重和黏粒与平均饱和导水率呈负相关,其荷载值顺序为:土壤容重>有机质>非毛管孔隙度>毛管孔隙度>黏粒。容重的影响最大,其影响系数为-0.920,其原因可能是,随着土壤容重的增加,土壤孔隙度减少,土壤通透性变差,土壤紧实度提高, $K_s$ 也相应降低。其次是有机质对平均饱和导水率的影响,其影响系数达到了 0.912,说明有机质对平均饱和导水率有积极的促进作用,有机质含量的提高使土壤更为疏松多孔,导水性能更好。非毛管孔隙度比毛管孔隙度对平均饱和导水率的促进作用明显,可能是因为非毛管孔隙当量孔径更大,能够更好地促进土壤入渗。土壤机械组成中黏粒的作用最大,对平均饱和导水率有较强的抑制作用,因为黏粒吸水后,表面积增大,降低土壤孔隙度,进而减小了平均饱和导水率。

表 2 主成分中不同影响因素荷载

特征值	贡献率/ %	主成分	土壤容重/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	毛管孔隙度/ %	非毛管 孔隙度/%	黏粒/ %	砂粒/ %	粉粒/ %
3.444	52.199	1	-0.920	0.912	0.664	0.743	-0.699	0.498	-0.189
1.922	29.456	2	0.137	-0.112	-0.182	0.086	0.449	0.831	-0.978

## 4 结论

(1) 与荒地相比,不同土地利用类型的土壤饱和导水率均高于荒地,说明植被是影响饱和导水率的重要因素,其中林地的平均饱和导水率最高,草地最低。在林地中,对于同种林分,天然林饱和导水率高于人工林,其中,天然针阔混交林的饱和导水率最高。在土壤剖面上,饱和导水率随土层深度的增加而减少,呈现出负指数递减规律。

(2) 饱和导水率与土壤理化性质联系紧密,饱和导水率与土壤容重呈显著的幂函数关系,随土壤容重的增加而减少;与总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度呈显著正相关;与黏粒含量呈负相关;与土壤有机质呈显著的线性正相关关系。通过主成分分析,得出影响饱和导水率的主导因子是土壤容重,有机质含量和非毛管孔隙度。同时,土壤机械组成也是不可忽略的影响因子。

(3) 重庆市四面山地处亚热带地区,降雨量多且强度大,土壤饱和导水率的提高有利于地表水分下渗,减少地表径流,对减少水土流失和山地灾害有着重要意义。本研究通过对不同土地利用方式的土壤剖面饱和导水率特征及影响因子分析,希望能为更好合理利用土地资源提供依据。

### [参 考 文 献]

- [1] 秦耀东. 土壤物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- [2] 梁向锋,赵世伟,张扬,等. 子午岭植被恢复对土壤饱和导水率的影响[J]. 生态学报,2009,29(2):636-642.
- [3] Wang C, Mc Keague J A, Topp G C. Comparison of estimated and measured horizontal ksat values[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1985,65(4):707-715.
- [4] Kanwar R S, Rizvi H A, Ahmed M, et al. Measurement of field-saturated hydraulic conductivity by using Guelph and velocity permeameters[J]. Transactions of the ASAE, 1989,32(6):1885-1890.

- [5] 胡克林,李保国,陈研. 表层土壤饱和导水率的空间变异对农田水分渗漏的影响[J]. 水利学报, 2006, 37(10): 1217-1223.
- [6] 牛海山,李香真. 放牧率对土壤饱和导水率及其空间变异的影响[J]. 草地学报, 1999, 7(3): 211-216.
- [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] 刘春利,邵明安. 黄土高原坡地表层土壤饱和导水率和水分含量空间变异特征[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 13-18.
- [9] 吕殿青,邵明安,刘春平. 容重对土壤饱和和水分运动参数的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 154-157.
- [10] 杜咏梅,孙西欢,毕远杰,等. 不同入渗水头和容重作用下土壤饱和导水率变化特征研究[J]. 中国农村水利水电, 2013(3): 66-68.
- [11] 迟春明,王志春. 沙粒对碱土饱和导水率和盐分淋洗的影响[J]. 2009, 23(1): 99-102.
- [12] 方堃,陈效民,张佳宝,等. 红壤地区典型农田土壤饱和导水率及其影响因素研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4): 67-69.
- [13] 秦耀东,胡克林. 大孔隙对农田耕作层饱和导水率的影响[J]. 水科学进展, 1998, 9(2): 107-111.
- [14] 陈效民,王德建. 太湖地区农田生态环境中土壤饱和导水率研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(5): 11-12.
- [15] 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.
- [16] 高雪松,邓良基,张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 53-56.
- [17] 尚燧廷,冯杰,丁荣浩,等. 土壤大孔隙饱和导水率的数值模拟及实验研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(1): 15-19.
- [18] 王晓洋,陈效民,李孝良. 不同盐渍化程度滨海盐土的饱和导水率[J]. 江苏农业科学, 2011(4): 446-448.
- [19] Carter M R. Soil quality for sustainable land management[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(1): 38-47.
- [20] 刘宇,张洪江,张友焱,等. 晋西黄土丘陵区主要人工林土壤饱和导水率研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(4): 302-306.
- [21] 宫渊波,麻泽龙,陈林武,等. 嘉陵江上游低山暴雨区不同水土保持林结构模式水源涵养效益研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 28-32.

(上接第 78 页)

- [9] 甘枝茂,桑广书,甘锐,等. 晚全新世渭河西安段河道变迁与土壤侵蚀[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 129-132.
- [10] 牛俊杰,赵景波,马莉,等. 西安北郊渭河河漫滩沉积与洪水事件[J]. 地理研究, 2010, 29(8): 1484-1492.
- [11] 赵景波,龙腾文,陈颖. 渭河关中段近 400 a 来洪涝灾害变化研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(2): 5-8.
- [12] 赵景波,郁耀闯,周旗. 渭河渭南段高漫沉积记录的洪水研究[J]. 地质评论, 2009, 55(2): 231-241.
- [13] 史兴民,万正耀. 渭河咸阳段近代洪水沉积物粒度特征分析[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 71-76.
- [14] 周晓红,赵景波. 近 120 年来高陵渭河河漫滩沉积物磁化率指示的气候变化[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 196-200.
- [15] 阴雷鹏,肖攀,赵景波,等. 渭河距今 70 a 以来洪水演变研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 28(32): 11995-11997, 12035.
- [16] Giancarlo G B, Nicholas M I. Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland[J]. Nature, 1999, 397(6719): 515-517.
- [17] 于英文,胡自治,徐长林,等. 东祁连山高寒灌丛植被类型与分布特征[J]. 甘肃农业大学学报, 1999, 34(1): 12-17.
- [18] 西安市地方志编纂委员会. 西安市志: 第 2 卷[M]. 西安: 西安地图出版社, 2000: 382-388.
- [19] 谢又予. 沉积地貌分析[M]. 北京: 海洋出版社, 2000: 3-4.
- [20] 黄思静. 用 Excel 计算沉积物粒度分布参数[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(2): 196-198.