

# 北京西山侧柏林和刺槐林土壤水分研究

李 娇, 牛健植

(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:** 为了解不同人工林树种对土壤的改良情况, 探究北京西山地区不同林分下土壤水分状况, 通过对原状土样土壤水分特征曲线的拟合, 分析刺槐林下和侧柏林土壤的水分状况。研究表明: 该区土壤质地较粗, 植物利用水分困难, 侧柏林下土壤持水性要比刺槐好, 侧柏和刺槐对土壤上层和下层改良作用不同; 在刺槐林下, 上层土壤持水性好于下层; 而在侧柏林下, 下层土壤持水性则好于上层; 在供水性方面, 刺槐林较侧柏林好, 且同一立地条件下表层优于底层。刺槐林和侧柏林下土壤易效水和难效水的吸力界点都在 0.3 MPa 左右。

**关键词:** 土壤水分特征曲线; 刺槐; 侧柏; 持水性; 供水性

**中图分类号:** S152.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2013)01-0098-04

## Study on the Soil Water Characteristics of *R. pseudoacacia* and *P. orientalis* in the West of Beijing

LI Jiao, NIU Jian-zhi

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating,

Ministry of Education, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to understand the improvement of the soil under the different species plantations and to explore the different types of soil moisture conditions in Xishan area of Beijing, original soil samples were taken under *R. pseudoacacia* and *Platycladus*. Soil water characteristic curve was measured by using centrifuge dewatering experiment. Related parameters were obtained by fitting the curve, then soil moisture conditions were analyzed in the *R. pseudoacacia* forest and *P. orientalis* forest. Results showed that the soil texture of this area was coarse and plant utilization of water was really difficulty. Generally, the soil in *P. orientalis* plantation was more sufficient than the *R. pseudoacacia* in terms of water retention. And each plant species had different improving effect, and water retention of the upper soil was better than that the lower soil layer. In the *R. pseudoacacia* forest, the upper soil was stronger than the lower soil in terms of water retention. While in the *P. orientalis* forest, the upper soil was weaker than the lower in terms of water retention. With regard to soil water supply capacity, *R. pseudoacacia* was intenser than *P. orientalis*, and the topsoil was intenser than the subsoil under the same site conditions. Both in the *R. pseudoacacia* and *P. orientalis* forest, the boundary point of suction for readily available water and resistantly available water was 0.3 MPa.

**Key words:** soil water characteristic curve; *R. pseudoacacia*; *P. orientalis*; soil water retention; soil water supply capacity

土壤水分特征曲线是研究土壤水分运移的重要参数, 反映了土壤含水量与土壤基质势之间的关系<sup>[1]</sup>。近些年来, 人们提出了许多能够较好描述土壤水分特征曲线的模型, 如 Gardner-Visser 模型<sup>[2]</sup>、

Brooks-Corey 模型<sup>[3]</sup>、Van-Genuchten 模型<sup>[4]</sup>、campbell 模型<sup>[5]</sup>等。其中, Van-Genuchten 模型因为适用土壤质地范围广而得到了广泛的应用。在北京西山地区, Gardner 模型对土壤水分特征曲线拟合

收稿日期: 2012-06-07

修回日期: 2012-08-14

资助项目: 国家林业公益性行业科研专项“典型森林植被对水资源形成过程的调控研究”(20110405); 国家“十二五”科技支撑项目“三北地区水源涵养林体系构建技术与示范”(2011BAD38B05); 国家自然科学基金项目(30800888)

作者简介: 李娇(1991—), 女, 新疆昌吉奇台人, 本科生, 主要研究方向: 水土保持与荒漠化防治。E-mail: 857808428@qq.com

通信作者: 牛健植(1974—), 女, 吉林四平人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 林业生态工程。E-mail: nexk@bjfu.edu.cn

精度也较高,与实测数据拟合效果好,能够较好表征土壤水分特征曲线的规律<sup>[1,6-7]</sup>,其表达成为: $\theta = AS^{-B}$ ,其中, $\theta$ 为土壤体积含水量, $S$ 为土壤吸力, $A$ 、 $B$ 为参数。 $A$ 决定曲线高低,代表土壤持水能力的大小。 $B$ 决定曲线的走向,代表含水量随土壤水势降低而减慢的速度快慢。

土壤水分有效性是指从田间持水量到永久凋萎点之间的土壤水分对植物有效性的程度<sup>[8]</sup>。目前,关于土壤水分有效性分析方法有以下几种:(1)利用土壤田间持水量、凋萎系数等田间水分常数来描述林木根系吸水的难易程度<sup>[9]</sup>。(2)通过获得土壤水分特征曲线,根据曲线斜率突变定性大致确定植物利用土壤水分难易程度的分界点<sup>[1]</sup>。(3)通过研究土壤水分和对应树种生理参数的定量关系,利用水分生理学原理得出以林木光合作用和水分利用效率为标准的林地土壤水分有效性分级标准<sup>[10]</sup>。本文通过第二种方法确定土壤水分有效性的土壤吸力临界点。

目前,国内关于不同植被类型土壤水分状况研究较多,尤其是在裸地或弃耕地在天然植被恢复过程中草本、灌木、乔木对于土壤物理化学性质的改良作用<sup>[11-15]</sup>。而对不同树种的近成熟人工林对土壤性质的改良研究较少。本文以土壤水动力学为基础,借助数学模型,以北京西山刺槐林和侧柏林为例,分析其林下土壤的持水性、供水性及有效性,以此了解北京西山土壤特性,以及不同类型树种对土壤性质的改良作用。为适宜的土壤和降水条件下造林树种的选择以及植物生长过程中水分的调控提供理论依据<sup>[16]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

实验地在北京市海淀区西山鹫峰林场,地理位置为东经 116°28',北纬 39°34',实验地的平均坡度为 15°~35°,水土流失情况较为严重。该区属于暖温带大陆性季风气候,年均温 11.8℃,年降水量 700 mm,降水集中在 7—8 月,占全年降水量的 70%。现存植被主要是 20 世纪 50—60 年代建造的人工林,主要树种有栓皮栎(*Quercus variabilis*)、刺槐(*R. pseud-oacacia* L.)、刺柏(*P. orientalis* Linn. Franco)、油松(*Pinus tabulaeformis*)等。土壤母质为凝灰岩、砂岩、石灰岩和砾岩风化的残积、坡积物。试验地土壤容重为 1.06~1.83 g/cm<sup>3</sup>,土壤的总孔隙度为 42%~61%。土壤质地较粗,大孔隙较多、毛管力微弱<sup>[1]</sup>。

### 1.2 研究方法

在林龄相同的刺槐林和侧柏林下各选一块样地,样地海拔相同,均为半阳坡。在每个样地中随机挖取

一个剖面,分 0—20,20—40 cm 两层进行采样。每次采样重复两次。通过离心实验测定土壤水分特征曲线。实验中所用仪器为落地式—高速冷冻离心机 H-1400 pF,实验用环刀为离心机配套的环刀,其内直径和高度均为 5 cm。

1.2.1 土壤水分特征曲线的测定 将采集的原状土样带回实验室,称重后将其放入清水中浸泡 48 h,使其达到饱和状态,取出每次称重。然后放入离心机内,从小到大依次设定 10 个不同的转速对土壤进行离心脱湿处理。10 个转速分别为 500,1 000,1 500,2 000,2 500,3 000,4 000,5 000,6 000,7 000 rpm。每次离心完成后进行称重,由此可得到在不同土壤吸力(由相应转速换算可得)条件下土壤的体积含水率,进而得到土壤水分特征曲线。

1.2.2 土壤比水容量计算 比水容量  $C$  是含水量对基质势的导数,即:

$$C_{\theta} = d\theta/d\Psi_m = -d\theta/dS$$

式中: $\theta$ ——土壤体积含水量; $S$ ——土壤水吸力, $S = -\Psi_m$ 。根据得出的土壤含水量与土壤吸力之间的幂关系,求导得到比水容量  $C_{\theta} = ABS^{-(B+1)}$ 。

1.2.3 数据处理 数据前期用 Excel 2007 进行处理。后期通过 Origin 8.5 专业绘图软件得到相应的回归方程。将模拟幂函数求导得到比水容量计算式再带入 Origin 软件计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水分特征曲线分析

土壤的水势和含水量有着密切的关系。在一定的环境条件下,土壤一定的含水量反映一定的能量状态,或者在一定能量状态下能保持一定的水量。

图 1 中,4 条曲线的形状大致相同:在吸力 < 0.1 MPa 范围内,随着吸力的增大,土壤水分含量急剧下降。在此阶段,植物吸水耗能少;在 0.1 MPa 之后再增大吸力,土壤水分减少的速率明显减慢且逐渐趋于平缓。说明土壤在吸力 > 0.1 MPa 之后,水分释放困难,即植物吸收与之前相同的水量,但消耗的能量却要多得多。所以,土壤水分有效度较低。土壤的易效水能够放出较多水量,但范围窄;难效水吸力范围内只能放出少量水,植物难以利用。因此植物利用土壤水较困难,水分运动速度和有效度降低。在低吸力范围内,土壤所能保持或释放出的水量取决于较粗的孔隙分布。曲线在吸力 < 0.1 MPa 范围内水分迅速减少,说明实验地土壤中颗粒间孔隙较粗,土壤质地为砂土或砂壤土。

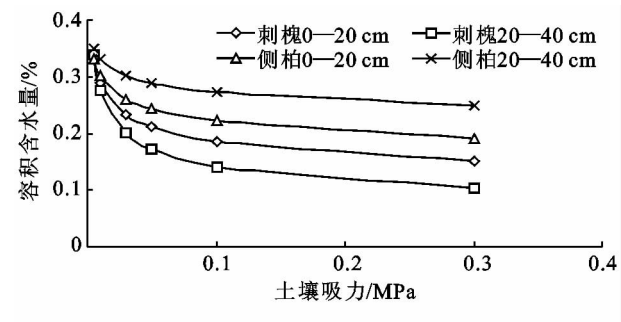


图 1 实验地土壤水分特征曲线

由表 1 可见,试验地土壤含水量与土壤水吸力的曲线拟合相关系数  $R^2$  都大于 0.9,说明 Gardner 和 Visser 提出的经验方程  $\theta=AS^{-B}$  对该地区土壤水分特征曲线的模拟效果很好。方程中参数  $A$  决定了曲线的高低,即持水能力大小, $A$  值越大,持水能力越强;参数  $B$  决定曲线的走向,即土壤含水量随土壤水势降低而递减的速度。拟合结果显示,侧柏林下  $A$  值分别大于相应层次的刺槐林。另外,在刺槐林下,上层土壤  $A$  值大于下层,而在侧柏林下,上层土壤  $A$  值小于下层。说明目前侧柏林下土壤总体持水性要优于刺槐林,即侧柏林对土壤持水能力的改善效果要

表 2 试验地土壤的比水容量

试验地	土层深度/ cm	土壤水吸力/MPa						拟合参数	
		0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	$A \cdot B$	$B+1$
刺槐林	0—20	12.86	5.62	1.51	0.82	0.36	0.10	$2.3 \times 10^{-2}$	1.194
	20—40	19.63	8.02	1.94	1.00	0.41	0.10	$2.1 \times 10^{-2}$	1.291
侧柏林	0—20	8.95	4.08	1.17	0.66	0.30	0.09	$2.2 \times 10^{-2}$	1.134
	20—40	5.87	2.77	0.84	0.49	0.23	0.07	$1.9 \times 10^{-2}$	1.082

比水容量即  $C_\theta=ABS^{-(B+1)}$ ,其中, $AB$  值越大,表明土壤的供水性或耐旱性越好。从表 2 可知,刺槐林和侧柏林  $AB$  值略有差异。刺槐林两个土层深度的土壤  $AB$  值都大于侧柏林,同一林种下表层土壤  $AB$  值大于底层。由此可见,刺槐林的供水性能较侧柏好,即植物分别在刺槐林下和侧柏林下土壤吸收一定量的水分,前者耗能较少,后者较多。在干旱胁迫的环境条件下,与侧柏林下相比,植物在刺槐林下更容易存活。同时,两树种林带下,都是表层土壤持水性相对好。分析其原因可能是表层土壤中有有机质较多,相对于土壤颗粒,有机质的持水性更好,并在植物需要时将水分释放,易于供给植物。根据比水容量定义可知,当比水容量达到  $10^{-2}$  数量级时,植物所能吸收的水量就显著减少,水分运动和有效度也显著降低,此时植物利用水分困难,植物正常生长受到影响。同时,在表 2 中,侧柏林比水容量在 0.3 MPa 时达到  $10^{-2}$  数量级,刺槐在 0.3 MPa 时比水容量为 0.1,接近  $10^{-2}$ ,按照比水容量变化趋势可以认为其临界点也是 0.3 MPa。所以,易效水和难效水吸力界点为 0.3 MPa。

好于刺槐林。但是刺槐林和侧柏林对土壤上层和下层的改良效果不一致。

表 1 试验地土壤含水量与土壤水吸力关系

试验地	土层深度/cm	回归方程	决定系数 $R^2$
刺槐林	0—20	$\theta=0.119S^{-0.194}$	0.987
	20—40	$\theta=0.072S^{-0.291}$	0.971
侧柏林	0—20	$\theta=0.163S^{-0.134}$	0.996
	20—40	$\theta=0.226S^{-0.082}$	0.995

2.2 土壤的供水性质比较

土壤的供水性是指在一定条件下土壤对植物生理需水的供给能力,常以有效水和有效度衡量。土壤水分特征曲线的斜率  $d\theta/dS$  成为比水容量,表示单位土水势(或吸力)变化时单位质量土壤可释放出或可吸入的水量。它能说明土壤水分的有效性和供水容量的大小。在曲线上,同样的含水量差值对应的土壤水势差值却不相同。这就造成了植物在吸收一定水量时需要消耗的能量不同。因此,比水容量是说明土壤水分有效程度的一个重要参数。

3 结论与建议

- (1) 北京鹫峰地区土壤水分和水吸力之间的幂关系显著,Gardner 幂模型  $\theta=AS^{-B}$  具有很好的模拟效果,决定系数较高;同时发现 Van-Genuchten 模型的拟合效果也较好,但相关系数稍低。
- (2) 关于土壤持水性,总体来说西山土壤质地较粗,因此土壤的易效水范围较窄,难效水吸力范围相对宽。土壤含水量在较低范围时,植物吸收利用困难。但是不同树种间存在一定差异,侧柏林下土壤总体持水性要优于刺槐林,侧柏林对土壤持水能力的改善效果要好于刺槐林。且刺槐和侧柏对土壤的改良在空间垂直方向上也有差异性。原因可能是刺槐和侧柏有效根重密度在土壤中垂直分布不一致所致<sup>[17]</sup>。
- (3) 就供水性而言,刺槐和侧柏林下土壤供水性都能随着土壤吸力的增加而呈递减趋势。刺槐林的供水性好于侧柏林,这与李笑吟等<sup>[18]</sup>在晋西得出的土壤水分有效性研究中刺槐供水性质优于侧柏相

一致<sup>[18]</sup>;同时表层土供水性好于下层,但是在黄土区底层土供水性质要好于表层。这说明土壤质地对于土壤供水性具有决定性作用,而且植物对于其供水性质有一定的改良效果。本研究试验地中,土壤易效水与难效水吸力界点都为 0.3 MPa 左右。

本文通过土壤水分特征曲线,说明了在不同林种和土层深度下土壤持水性、供水性方面有差异也有共性。如果考虑土壤物理性质,其影响情况还需进一步探讨。

参考文献:

[1] 吴文强,李吉跃,张志明,等. 北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4): 51-55.

[2] Gardner W R, Hillel D, Benyamini Y. Post irrigation movement of soil water. II: Simultaneous redistribution and evaporation[J]. Water Resolve Research, 1970, 6(3):851-861.

[3] 李景保,朱翔,蔡炳华,等. 洞庭湖区湿地资源可持续利用途径研究[J]. 自然资源学报,2002,17(3):387-392.

[4] Van Genuehten M Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44(5): 892-898.

[5] Campell G S. A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data [J]. Soil Science,1974,117(6):311-314.

[6] 来剑斌,王全九. 土壤水分特征曲线模型比较分析[J]. 水土保持学报,2003,17(1):137-140.

[7] 朱蔚利,肖自幸,牛健植,等. 两种模型对土壤水分特征曲线拟合的比较分析[J]. 湖南农业科学,2011(17):47-51.

[8] 吕殿青,潘云. 六道沟流域不同坡位不同土地利用方式下的土壤持水特征研究[J]. 中国农学通报,2008,24(8): 279-282.

[9] 孟秦倩,王健. 黄土高原坡面刺槐林土壤水分有效性分析[J]. 灌溉排水学报,2008,27(4):74-76.

[10] 张光灿,刘霞,贺康宁,等. 黄土半干旱区刺槐和侧柏林地土壤水分有效性及生产力分级研究[J]. 应用生态学报,2003,14(6):858-862.

[11] 张兴昌,邵明安,黄占斌,等. 不同植被对土壤侵蚀和氮素流失的影响[J]. 生态学报,2000,20(6):1038-1044.

[12] 蒋芳市,黄炎和,林金石,等. 不同植被恢复措施下红壤强度侵蚀区土壤质量的变化[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2011,40(3):290-295.

[13] 查轩,唐克丽,白红英. 植被恢复对土壤抗侵蚀特性影响的研究[J]. 水土保持研究,1993(1):37-43.

[14] 程云,陈宗伟,张洪江,等. 重庆缙云山不同植被类型林地土壤水分特征曲线模拟[J]. 水土保持研究,2006,13(5):80-83.

[15] 石辉,刘世荣,孙鹏森,等. 森林植被对农业生态环境的调控机理评述[J]. 水土保持研究,2004,11(3):31-34.

[16] 聂立水,李吉跃,戴伟,等. 北京西山油松栓皮栎混交林的土壤水分特征[J]. 林业科学,2007,43(增刊 1):43-47.

[17] 曹扬,赵忠,渠美,等. 刺槐根系对深层土壤水分的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(5):765-768.

[18] 李笑吟,毕华兴,张建军,等. 晋西黄土区土壤水分有效性研究[J]. 水土保持研究,2006,13(5):205-208,211.

(上接第 97 页)

[7] 杨洋,王百群,李玉进. 苜蓿对旱地土壤有机碳氮变化的驱动作用[J]. 水土保持研究,2012,19(3):78-81.

[8] Luo Y Q, Currie W S, Dukes J S, et al. Progressive nitrogen limitation of ecosystem responses to rising atmospheric carbon dioxide[J]. Bioscience,2004,54(8):731-739.

[9] Hessen D O, Agren G I, Anerson T R, et al. Carbon sequestration in ecosystems: the role of stoichiometry [J]. Ecology,2004,85(5):1179-1192.

[10] Paul E A, Clark F E. Soil Microbiology and Biochemistry[M]. Academic Press Inc. New York. London, 1989.

[11] Gunther S, Holger K. Buik soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils[J]. Soil Biology & Biochemistry,2003,35:629-632.

[12] Knops J M H, Bradley K L, Wedlin D A. Mechanisms of plant species impacts on ecosystem nitrogen cycling [J]. Ecology Letters,2002,5:454-466.

[13] Tateno M, Chapin III F S. The logic of carbon and nitrogen interactions in terrestrial ecosystems[J]. The American Naturalist,1997,149(4):723-744.

[14] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京:农业出版社,1985.