刚察县不同植被类型的土壤水分特征研究

赵景波[1,2], 邢 闪[1], 马延东[1]

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 中国科学院 地球环境研究所国家重点实验室, 陕西 西安 710075)

摘 要: 通过对土壤的物理性质和水分特征曲线的测定,分析了刚察县 4 种植被类型土壤的持水性能和供水性能。结果表明,不同植被类型土壤水分特征曲线与 Van Genuchten 模型非常符合,R^2 值都高达 0.99 以上,说明用 Van Genuchten 模型描述不同类型土壤水分数量和能量之间的关系是比较准确的。不同植被类型土壤的物理性黏粒含量为:油菜地>高草地>草灌地,土壤容重为:高草地>草灌地>油菜地,而总孔隙度为:油菜地>草灌地>高草地,表明油菜地土壤水分物理性质明显优于草灌地和高草地。土壤持水能力随着土壤吸力的增加而呈现先急剧递减后变化平缓的趋势,不同植被类型土壤持水能力为:高草地>草灌地>油菜地。通过改善土壤结构,增加土壤密度和降低土壤总孔隙度等改善土壤物理性质的措施能对其持水性能产生积极作用。土壤供水能力随着土壤吸力的增加而递减,低吸力段高草地和稠密草灌地的土壤供水性能均优于油菜地和稀疏草灌地,而高吸力段油菜地和稠密草灌地的土壤供水性能优于高草地和稀疏草灌地,表明高草地和稀疏草灌地植被极易受到干旱的威胁。

关键词: 刚察县; 土壤水分特征曲线; 土壤物理性质; 持水能力; 供水能力

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2012)01-0014-05 **中图分类号**: P 941.74

Characteristics of Soil Moisture for Different Types of Vegetation in Gangcha County

ZHAO Jing-bo[1,2], XING Shan[1], MA Yan-dong[1]

(1. *College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*;
2. *State Key Laboratory, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an, Shaanxi* 710075, *China*)

Abstract: Water retention and supply for four types of vegetation in Gangcha County were analyzed through the determination of soil physical properties and soil water characteristic curve. Results indicate that soil water characteristic curves for four types of vegetation are well in accordance with Van Genuchten model and the values of R^2 are greater than 0.99, which indicate that Van Genuchten model may exactly describe the relationship between quantity and energy of soil moisture. The contents of physical clay are in the decreasing order of rape land>tall grass land>grass and bush land; soil bulk densities, tall grass land>grass and bush land>rape land; and soil total porosities, rape land>grass and bush land>tall grass land. The result shows that soil physical properties for rape land are better than those for other two lands. Soil water retention increases with the increased soil suction and presents a trend of abrupt decrease in first stage to gentle change in latter stage. Soil water retentions for different vegetation types are in the decreasing order of tall grass land>grass and bush land>rape land. Soil water retention can be effectively enhanced with the practices that improve soil physical properties by improving soil structure, increasing soil bulk density and reducing soil total porosity. Soil water supply decreases gradually with increased soil suction. Soil water supply at low soil suction for dense grass and bush land and tall grass land is obviously better than that for rape land and thin grass and bush land, while soil water supply at high soil suction for dense grass and bush land and rape land is obviously better than that for tall grass land and thin grass and bush land. These show that the vegetation on tall grass land and thin grass and bush land is easily threatened by drought.

Keywords: **Gangcha County; soil moisture characteristic curve; soil physical property; water retention; water supply**

收稿日期:2011-08-02 **修回日期**:2011-09-10

资助项目:国家科技支撑计划"青海湖流域生态和环境综合监测与评估技术"(2007BAC30B01)

作者简介:赵景波(1953—),男(汉族),山东省滕州市人,教授,博士研究生导师,研究方向为第四纪与自然地理。E-mail:zhaojb@snnu.edu.cn。

土壤持水性、供水性是土壤重要的物理性质,它对土壤水分平衡过程产生重要的影响。深入了解土壤水力学性质是分析土壤水分承载力和生产力的重要依据,也是农牧业抗旱工作的重要基础[1-2]。近年来由于受水资源短缺的影响,土壤水分物理性质的研究成为热点问题[3]。国外学者主要研究了不同水质、灌溉和作物对土壤水分物理性质的影响[4],国内学者多集中在水土保持林地和草灌地的水分物理性质的研究方面[5-8]。然而,对具有相同气候条件的某一地区的不同植被类型的研究相对较少,尤其是在干旱半干旱地区,针对不同植被类型的土壤水分特性进行的研究更少。本文以土壤水的动力学理论为依据,从土壤物理性质和土壤水分特征曲线的测定入手,以土壤的持水性、供水性等为分析重点,对刚察县不同植被类型的土壤水分特性进行了系统分析,以期为刚察县合理利用土地资源,防止草原退化,保证农牧业的可持续发展提供科学理论依据。

1　研究区概况

刚察县地处青海省东北部,位于青海湖北岸,地理坐标为东经 99°20′—100°37′,北纬 36°58′—38°04′。大通山横贯刚察境北部,将全境分割成 2 个区域,北部为湟水、大通河流域,南部是青海湖水系[9]。该地区平原地域宽广,平均海拔 3 300.5 m。该区为典型的高原大陆性气候,年平均气温 2 ℃左右,年平均降水量约 370 mm[9]。刚察县草地植被垂直分布明显,可分为高寒草甸、高寒草原、山地草原和平原草甸 4 个草原类,以高寒草甸为主。

2　采样与方法

于 2010 年 7 月,在刚察县选取了不同植被类型作为采样点,包括稀疏草灌地和稠密草灌地、高草地、油菜地植被类型区。用容积 2 650.7 cm^3 的大环刀采取原状土样品各 1 个,共采集样品 4 个。本试验采用张力计法利用机械表张力计在实验室内进行观测试验。机械表张力计的吸力测定范围为 0～85 kPa,测定样品的脱湿过程和吸湿过程,获得土壤含水量和吸力之间的关系。对所采集的同一个样品进行 2 次或更多次土壤水分特征曲线的测定,获得结果接近方可作为可信的结果。吸力值由真空表直接读数,土壤含水量采用烘干法测定,先得到土壤重量含水量,然后将重量含水量转换为体积含水量,进行体积含水量和吸力之间的关系分析。土壤容重和土壤总孔隙度采用环刀法测定,土壤粒度组成采用筛析法和激光粒度仪相结合的方法测定。

3　结果与分析

3.1　不同植被类型土壤的理化性质

根据粒级划分标准[10],以 0.002,0.005,0.01,0.05,0.1 mm 作为胶粒、黏粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂的分界线。不同植被覆盖下的土壤物理性质见表 1。由表 1 可知,刚察县的土壤质地类型为砂壤土,低草地、高草地、油菜地土壤的粒度组成呈现出由粗到细的变化;不同植被类型土壤的小于 0.01 mm 的物理性黏粒含量表现为:油菜地>高草地>草灌地;不同植被类型的土壤的容重由大到小的顺序大致表现为:高草地>草灌地>油菜地,而总孔隙度大小顺序为:油菜地>草灌地>高草地。土壤理化性质的空间差异性与土壤开垦、管理及土地利用的方式有密切的关系,这表明油菜地的土壤水分物理性质要明显好于草灌地和高草地的。

表 1　刚察县不同植被类型的土壤物理性质

植被类型	胶粒/%	黏粒/%	细粉砂/%	粗粉砂/%	极细砂/%	物理性黏粒/%	容重/(g·cm^{-3})	总孔隙度/%	质地类型
草灌地	2.77	16.13	21.17	47.93	9.55	40.07	1.25	0.53	砂壤土
高草地	3.31	19.06	20.00	46.02	9.24	42.37	1.28	0.52	砂壤土
油菜地	3.75	24.16	24.00	43.08	4.52	51.92	1.21	0.54	砂壤土

3.2　不同植被类型的土壤水分特征曲线

土壤水分特征曲线反映了土壤水吸力与土壤含水量之间的关系,通过它可以了解土壤的持水性能和供水性能,对于研究土壤水分的贮存、保持、运动、供应及土壤—植物—大气连续体中水流等的机理和状况都有重要意义[11]。

将计算获得的不同植被类型土层的体积含水量和吸力的一系列值点绘于图 1 中。从图 1 中可以看出,不同植被类型的土壤的含水量都随土壤吸力的增加而减少,随吸力的降低而增多。每个样品的吸湿曲线基本都在脱湿曲线下方,即同样的吸力,脱湿过程对应的含水量高于吸湿过程对应的含水量,所以吸力和含水量的关系不是单值的,而是取决于水分变化过程的方向。本试验测定的最高吸力值为 85 kPa,图 1 中土壤的吸湿曲线相对脱湿曲线表现出明显的滞后现象。

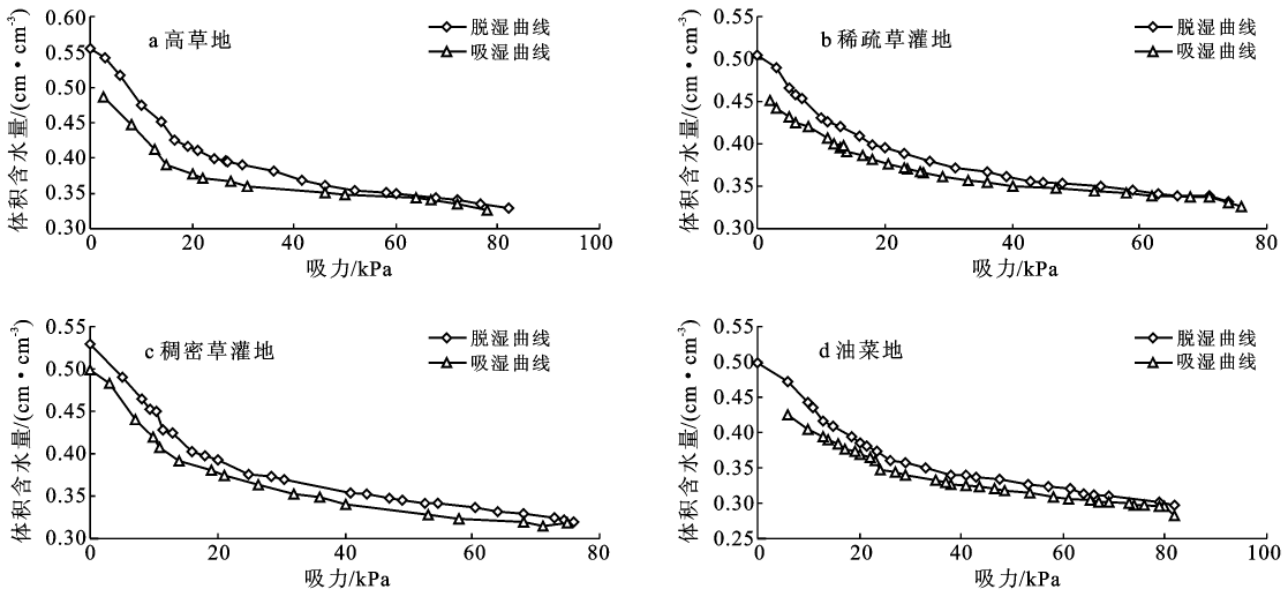


图 1 不同植被类型土壤的脱湿和吸湿过程实测数据拟合曲线

为定量研究土壤的水分特征曲线，前人提出了很多数学模拟方程[12-14]，其中 Gardner 模型，Brooks—Corey 模型与 Van Genuchten 模型是最常用的土壤水分特征曲线模型。由于 Gardner 模型不能精确描述土壤水分特征曲线的整个变化过程尤其是饱和含水量附近的曲线变化趋势，Brooks—Corey 模型存在非连续性问题，而 Van Genuchten 模型具有连续性，适用土壤质地范围比较宽，应用土壤含水量范围较广[15]，所以我们采用 Van Genuchten 模型对试验结果进行拟合。Van Genuchten 模型的数学表达式为：

$$\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r}=\left[\frac{1}{1+(ah)^n}\right]^m$$

式中：θ——体积含水量(cm^3/cm^3)；θ_r——滞留含水量(cm^3/cm^3)；θ_s——饱和含水量(cm^3/cm^3)；h——土壤吸力(kPa)；m，n，a——拟合参数，且 $m=1-1/n$。

为适于目前土壤水分测定方法的习惯，本文以土壤水吸力值(+)代替压力水头(−)，以重量含水量(g/g)代替体积含水量(cm^3/cm^3)来进行此模型的参数求解。

模型中共有 4 个参数，一般求解难度较大，我们借助 Origin 8 软件进行参数的求解和曲线拟合。拟合曲线如图 1 所示，拟合结果见表 2—3。从表 2—3 中可以看出，无论是脱湿曲线还是吸湿曲线，其拟合的 R^2 值都高达 0.99 以上，说明刚察县不同植被类型的土壤的水分特征曲线与 Van Genuchten 模型非常符合。

表 2 不同植被类型的土壤样品脱湿曲线参数值

植被类型	体积含水量 θ_r/($cm^3\cdot cm^{-3}$)	滞留含水量 θ_s/($cm^3\cdot cm^{-3}$)	a	n	R^2	数学表达式
高草地	0.020	0.288	0.116	1.770	0.997	$\theta=0.020+0.268/[1+(0.116h)^{1.770}]^{0.435}$
稀草灌	0.018	0.262	0.159	1.484	0.999	$\theta=0.018+0.244/[1+(0.159h)^{1.484}]^{0.326}$
稠草灌	0.026	0.278	0.135	1.710	0.996	$\theta=0.026+0.252/[1+(0.135h)^{1.710}]^{0.415}$
油菜地	0.016	0.258	0.094	1.804	0.997	$\theta=0.016+0.242/[1+(0.094h)^{1.804}]^{0.446}$

表 3 不同植被类型的土壤样品吸湿曲线参数值

植被类型	体积含水量 θ_r/($cm^3\cdot cm^{-3}$)	滞留含水量 θ_s/($cm^3\cdot cm^{-3}$)	a	n	R^2	数学表达式
高草地	0.160	0.326	0.118	2.251	0.991	$\theta=0.160+0.166/[1+(0.118h)^{2.251}]^{0.556}$
稀草灌	0.132	0.293	0.125	1.628	0.996	$\theta=0.132+0.161/[1+(0.125h)^{1.628}]^{0.386}$
稠草灌	0.020	0.261	0.163	1.581	0.997	$\theta=0.020+0.241/[1+(0.163h)^{1.581}]^{0.367}$
油菜地	0.032	0.239	0.079	1.707	0.992	$\theta=0.032+0.207/[1+(0.097h)^{1.707}]^{0.414}$

3.3　不同植被类型土壤的持水性能

土壤的持水性是指土壤吸持水分的能力,土壤所吸持的水分是由土壤孔隙的毛管引力和土壤颗粒的分子引力所引起的,这 2 种力统称为土壤吸力。土壤水分特征曲线就是表征土壤吸力与土壤水分的关系,是研究土壤持水特性的重要资料。在同一吸力条件下,含水量越高,表明土壤持水性越强,反之说明土壤持水性较弱。

从不同植被类型的土壤水分脱湿曲线比较结果来看(图 2),它们之间存在一定的分异。当土壤吸力在 0～20 kPa 范围内时,随着土壤吸力的增加,各种植被的土壤持水能力急剧下降,土壤持水能力呈现出:高草地＞稀疏草灌地＞油菜地＞稠密草灌地;吸力在 20～85 kPa 范围内,土壤持水能力变化幅度较平缓,土壤持水能力呈现出:高草地＞稀疏草灌地＞稠密草灌地＞油菜地。各种植被类型的土壤水分吸湿曲线特点与脱湿曲线相似,当土壤吸力在 0～20 kPa 范围内时,各种植被的土壤持水能力也呈现出:高草地＞稀疏草灌地＞油菜区＞稠密草灌地;吸力在 20～85 kPa 范围内时,土壤持水能力则呈现出:高草地＞稠密草灌地＞稀疏草灌地＞油菜地。由上述分析可知,脱湿和吸湿过程的土壤持水能力的总趋势为:高草地＞草灌地＞油菜地。

土壤持水性能的强弱受土壤物理性黏粒的多寡和土壤孔隙度等因素影响[16]。表 1 和图 2 表明,土壤的持水能力与物理性黏粒含量之间并不成明显的函数关系,这可能还取决于土壤的其他性质,这些性质很可能与土壤有机质和土壤结构有关[17];土壤持水性能的大小与土壤容重成正比,与土壤总空隙度成反比,说明通过改善土壤结构,增加土壤密度和降低土壤总孔隙度等改善土壤物理性质的措施能对其持水性能产生积极作用。

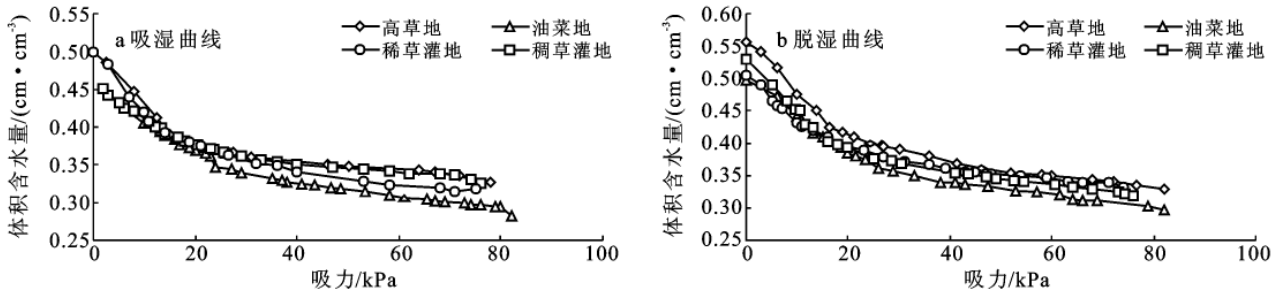


图 2　不同植被类型土壤的脱湿和吸湿过程的持水曲线

3.4　不同植被类型土壤的供水性能

土壤水分特征曲线的斜率称为比水容量(C_θ),C_θ 是根据土壤水分特征曲线上的斜率来确定的,即 $C_\theta = \mathrm{d}\theta/\mathrm{d}h$,按脱水曲线,即每单位重量土壤中增加单位吸力时土壤中释放出的水量,θ 为土壤体积含水量,h 为土壤吸力[18]。它是评价土壤水分有效性、供水性和耐旱性的重要指标[16]。比水容量越大,说明其释水或储水性能越好。

据图 3 可知,不同植被类型土壤的比水容重均具有快速下降的特点。土壤脱湿时的比水容量反映土壤的释水或供水性能。当土壤吸力在 0～53 kPa 时,随土壤吸力的增加,脱湿时的比水容量急剧下降,不同植被类型土壤的释水性能具有一定的差异性。不同植被类型土壤释水能力呈现出:高草地＞稠密草灌地＞油菜地＞稀疏草灌地。吸力大于 53 kPa 时,不同植被类型的土壤释水能力差异性不明显,比水容量较低且变化缓慢,依次呈现出:油菜地＞稠密草灌地＞高草地＞稀疏草灌地。

土壤吸湿时的比水容量反映土壤的储水性能。由图 3 可见,不同植被类型的土壤储水性能也具有一定的差异性。当土壤吸力在 0～25 kPa 时,土壤比水容量下降幅度较大,不同植被类型的土壤储水性能呈现出:稠密草灌地＞高草地＞油菜地＞稀疏草灌地;在吸力大于 25 kPa 时,土壤比水容量较低且变化缓慢,土壤持水性能呈现出:油菜地＞稠密草灌地＞稀疏草灌地＞高草地。

由上述分析可知,当土壤吸力在低吸力段或高水势段,高草地和稠密草地的土灌壤释水和储水性能均优于油菜地和稀疏草灌地。在高吸力段或低水势段,油菜地和稠密草灌地的土壤释水和储水性能优于高草地和稀疏草灌地。这表明在降水量较少而蒸发量大的水分极不平衡的刚察县,高草地和稀疏草灌地易受到干旱的威胁。

土壤比水容量的这些差异,反映了不同植被类型土壤在不同吸力段下的释水或储水能力的差别,如果植物以同等能力进行吸水,则在不同吸力下从各种土壤中所吸收到的水分也会有差别,这就是以比水容量反映土壤水分有效性的意义所在。

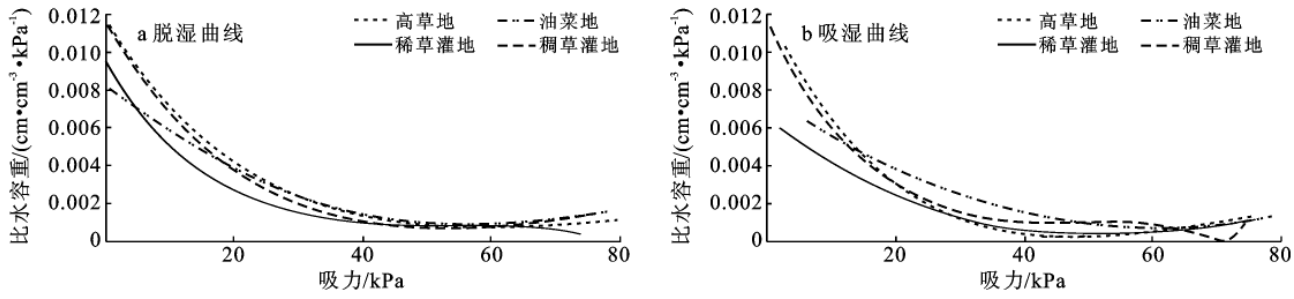


图 3 不同植被类型土壤的脱湿和吸湿时的比水容量曲线

4 结 论

(1) 刚察县不同植被类型的土壤水分特征曲线可用 Van Genuchten 模型进行拟合，土壤含水率随土壤吸力的增加而减少；土壤吸湿曲线相对脱湿曲线表现出明显的滞后现象。

(2) 不同植被类型土壤的物理性黏粒含量表现为：油菜地＞高草地＞草灌地；土壤的容重由大到小的顺序大致表现为：高草地＞草灌地＞油菜地，而总孔隙度恰恰相反，这表明油菜地的土壤水分物理性质要明显好于草灌地和高草地。

(3) 脱湿和吸湿过程下不同植被类型的土壤持水能力大小为：高草地＞草灌地＞油菜地，土壤持水性能差异性受土壤物理性黏粒和土壤总孔隙度等因素影响，通过改善土壤结构，增加土壤密度和降低土壤总孔隙度等改善土壤物理性质的措施能对其持水性能产生积极作用。

(4) 在低吸力段，高草地和稠密草灌地的土壤供水性能均优于油菜地和稀疏草灌地；在高吸力段，油菜地和稠密草灌地的土壤供水性能优于高草地和稀疏草灌地，表明高草地和稀疏草灌地的植被极易受到干旱的威胁。

[参 考 文 献]

[1] 柳云龙，施振香，尹骏，等. 旱地红壤与红壤性水稻土水分特性分析[J]. 水土保持学报，2009，23(2)：232-235.

[2] 徐敬华，陈云明，邓岚. 黄土丘陵半干旱区典型人工林土壤水分特征[J]. 水土保持通报，2010，30(3)：48-52.

[3] Raats P A C. Developments in soil-water physics since the mid-1960s[J]. Geoderma，2001，100(3/4)：355-387.

[4] Al-Nabulsi Y A. Saline drainage water，irrigation frequency and crop species effects on some physical properties of soils[J]. Agronomy & Crop Science，2001，186(1)：15-20.

[5] 文仕知，胡孔飞，何功秀，等. 桤木属两个种人工林土壤水分特征[J]. 水土保持通报，2009，29(5)：85-89.

[6] 王翔宇，张进虎，丁国栋，等. 沙地土壤水分特征及水分时空动态分析[J]. 水土保持学报，2008，22(6)：222-227.

[7] 夏江宝，许景伟，李传荣，等. 黄河三角洲退化刺槐林地的土壤水分生态特征[J]. 水土保持通报，2010，30(6)：75-80.

[8] 赵荟，朱清科，秦伟，等. 黄土高原干旱阳坡微地形土壤水分特征研究[J]. 水土保持通报，2010：64-68.

[9] 刚察县志编纂委员会. 刚察县志[M]. 西安：陕西人民出版社，1997：16-79.

[10] 王挺梅，鲍芸英. 黄河中游黄土之粒度分析[M]. 北京：科学出版社，1964：35-40.

[11] 姚其华，邓银霞. 土壤水分特征曲线模型及其预测方法的研究进展[J]. 土壤通报，1992，23(3)：142-144.

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

[13] Gardner W R，Hillel D，Benyamini Y. Post-irrigation movement of water Ⅰ：Redistribution[J]. Water Resource Research，1970，6(3)：851-861.

[14] Van Genuchten R. Predicting the hydraulic conductivity of unsatu-rated soils[J]. Soil Sci. Soc. Am. J.，1980，44(5)：892-898.

[15] 肖建英，李永涛，王丽. 利用 Van Genuchten 模型拟合土壤水分特征曲线[J]. 地下水，2007，29(5)：46-47.

[16] 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.

[17] 张小泉，张清华，毕树峰. 太行山北部中山幼林地土壤水分的研究[J]. 林业科学，1994，30(3)：194-200.

[18] 陈志雄，汪仁真. 中国几种主要土壤的持水性质[J]. 土壤学报，1979，3(16)：277-281.