

不同土地利用条件下红壤持水能力研究

聂可祎¹, 吴治康², 刘继超³

(1.南昌工程学院, 江西南昌 330099; 2.鹿寨县祥鹿投资有限责任公司, 广西柳州 545600; 3.广西万纵建设工程有限公司, 广西柳州 545000)

摘要 为了提高南方红壤的利用率, 选取江西省赣州市上犹县不同土地利用条件下的红壤为研究对象, 通过红壤持水特征数据的测定, 对不同利用方式、不同地形位置的红壤持水性质进行分析, 建立不同类型红壤水分特征曲线的拟合模型。结果表明, 不同土地利用类型的土壤物理性质存在差异, 饱和土壤含水量表现为脐橙地 > 马尾松松香混交林地 > 裸地; 土壤黏粒含量表现为马尾松松香混交林地 > 裸地 > 脐橙地; 不同样地土壤饱和含水量、田间持水量、凋萎含水量、土壤有效水存在差异, 整体上马尾松松香混交林地的水分状况较好, 裸地其次, 脐橙地较弱。不同样地田间持水量和凋萎含水量表现为脐橙地 > 马尾松松香混交林地 > 裸地, 土壤有效水表现为脐橙地 > 裸地 > 马尾松松香混交林地。

关键词 红壤; 土地利用类型; 土壤颗粒含量; 土壤水分有效性; 土壤持水能力

中图分类号 S152.7¹ **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)18-0064-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.18.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Water Holding Capacity of Red Soil under Different Land Use Conditions

NIE Ke-yi¹, WU Zhi-kang², LIU Ji-chao³ (1. Nanchang Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi 330099; 2. Luzhai Xianglu Investment Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi 545600; 3. Guangxi Wanzong Construction Engineering Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi 545000)

Abstract In order to improve the utilization rate of red soil in south China, the red soil under different land use conditions in Shangyou County, Ganzhou City, Jiangxi Province was selected as the research object. Through the determination of water-holding characteristic data of red soil, the water-holding properties of red soil in different utilization modes and different topographical locations were analyzed, and the fitting model of water characteristic curve of different types of red soil was established. The results showed that the soil physical properties of different land utilization types were different, and the saturated soil moisture content was navel orange land > *Pinus massoniana* and rosin mixed forest land > bare land; soil clay content of *Pinus massoniana* and rosin mixed forest land > bare land > navel orange land. There were differences in soil saturated water content, field water capacity, withered water content and soil available water in different places. On the whole, the water status of *Pinus massoniana* and rosin mixed forest land was better, followed by bare land, and weaker in navel orange land. Field water holding capacity and wilting coefficient in different land showed navel orange land > *Pinus massoniana* and rosin mixed forest land > bare land; soil available water showed navel orange land > bare land > pine and rosin mixed forest land.

Key words Red soil; Land use type; Soil particle content; Soil water availability; Soil water holding capacity

南方红壤区存在严重的养分流失现象, 其中部分地区水土流失越来越严重。而红壤作为南方典型的农作物耕作土壤, 它的持水能力是决定南方农作物收成的的重要因素。红壤的富铝化比较显著, 风化的程度比较深, 有黏重的质地且易于板结, 保水性差, 易干旱。因此在不同土地利用条件下, 展开对红壤持水能力的研究, 能够有效提高红壤的利用率, 对红壤的农业生产与环境保护有着重大意义。目前, 国内外也存在许多有关不同土地利用类型和持水能力的研究, 如于元芬等^[1]研究表明不同植被、不同深度的土壤持水能力、释水特性及水分有效性存在一定差异; 曹春霞等^[2]研究表明, 有机管理措施可以有效改善土壤质量, 包括有效防止农田土壤酸化, 降低重金属含量, 提升有机质含量, 但是并非在所有土地利用方式下都能取得显著效果。成兆金^[3]研究发现黏土对植物供水较稳且能力强, 对水分的协调能力较好, 砂土对水分的协调能力较差, 对旱涝灾害的抵抗力较差, 壤土介于两者之间; 葛建等^[4]研究了分层土壤的持水性能, 结果表明粗质土壤上覆细质土壤界面存在的毛细屏障作用能提高上层土壤的持水能力; 郑荣伟等^[5]研究发现土壤水分特征曲线

受土地利用、土层深度影响, 而以土壤质地影响最为显著。综上所述, 国内对土壤水分特征曲线的影响因素以及土壤持水能力的研究较为成熟, 但在不同土地利用条件下对红壤的研究较少, 笔者研究了南方红壤区不同土地利用类型的持水能力, 以期为南方农业生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于江西省赣州市上犹县水村, 上犹县(114°00'~114°40'E, 25°42'~26°01'N)属于中亚热带潮湿天气, 年均气温 18.8℃, 无霜期为 284 d, 年日照时数为 1 621.9 h, 年降雨量为 1 497 mm。取样地位于 114°57'E, 25°87'N。上犹县地形从西北向东南倾斜, 东北西和西南多高山, 东南为丘陵和河谷盆地。

考虑到不同高程的地形, 此次研究对不同地形位置的土壤进行采样。以赣州市上犹县的红壤作为研究对象, 分别在裸地、脐橙林地、马尾松松香混交林地的上坡、中坡、下坡进行多点混合采样, 采样的深度是 0~10 cm, 采用环刀进行取样, 每个坡面取 3 组平行样本, 一种红壤需取样 9 个, 共采集 27 个样点。土壤取样时间为 2021 年 4 月 20 日, 取样时天气为小雨转多云, 最低温度为 17.0℃, 最高温度为 22.0℃, 东南风。坡地面积 100 m², 坡度为 9°, 整地方式为穴垦。

1.2 研究方法 通过激光粒度分析仪分析 9 个不同样土的颗粒粒径, 根据国际制土壤质地分类规范对土样进行分析。采用压力膜仪法测定土壤水分特征含水量, 并绘制土壤水分

基金项目 国家自然科学基金项目(52069016); 江西省自然科学基金项目(20202BABL204068); 江西省水利科技项目(201921YBKT19)。

作者简介 聂可祎(1998—), 女, 江西吉安人, 硕士研究生, 研究方向: 水土保持、节水灌溉。

收稿日期 2022-04-23

特征曲线,一般要求在 25 ℃ 下进行测定,测得吸力分别为 30、100、200、300、400、500、800、1 000、1 300、1 500 kPa 下的土壤质量,即压力水头分别为 300、1 000、2 000、3 000、4 000、5 000、8 000、10 000、13 000、15 000 cm 下的土壤质量。得到一系列的土壤水吸力和对应的土壤质量,后经公式(1)计算出各吸力下的土壤质量含水量,再由公式(2)、(3)计算出土壤体积含水量,从而得到脱湿曲线。

$$\theta_m = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad (1)$$

$$\theta_v = \theta_m \times \rho \quad (2)$$

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

式中, θ_m 为土壤质量含水量(%); W_1 为湿土加环刀重量(g); W_2 为干土加环刀重量(g); W_3 为环刀重量(g)。 θ_v 为土壤体积含水量(cm^3/cm^3); ρ 为土壤干容重(g/cm^3); m 为干土质量(g); v 为土壤体积(cm^3)。

采用 Van-Genuchten 公式对各吸力下的土壤体积含水量进行拟合,图表制作采用 origin,拟合公式为:

$$\theta_v(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |ah|)^m} \quad (4)$$

式中, θ_v 为土壤体积含水量(cm^3/cm^3); θ_r 为残余含水量(cm^3/cm^3),即为风干土的体积含水量; θ_s 为饱和含水量(cm^3/cm^3); h 为压力水头(cm),即为土壤基质势; $m = 1 - 1/n$; a 和 n 为试验常数。

用土壤水分有效性指标 A_w 来表示土壤水分有效性强度,土壤水分有效性指标是指实际的有效水分与最大有效水分的比值,它是表征土壤水分能够被植物充分利用的程度。计算公式如下:

$$A_w = \frac{\theta - \theta_w}{\theta_f - \theta_w} \quad (5)$$

式中, A_w 是土壤水分有效性指数; θ 为土壤实际水分含量(用烘干法可以测得); θ_w 为土壤凋萎湿度; θ_f 为田间持水量;其中 θ_w 、 θ_f 可以在土壤水分特征曲线中查出。

2 结果与分析

2.1 土壤质地对红壤持水能力的影响

土壤粒度组成可以用来确定土壤质地和土壤的结构性,在土壤学研究中是不可或缺的基础数据^[6]。土壤的粒度特征既决定土壤质地,也反映土壤抵抗风蚀的能力。粒径越小,质地越细,土壤的孔隙结构越密实,大孔隙减少,中小孔隙增多,孔隙连通性变差,使得水分运移速率较粗质地土壤慢^[7]。

从表 1 可以看出,对于脐橙地、马尾松松香混交林地、裸地这 3 种不同土地利用类型的土壤,脐橙地的土壤黏粒含量明显低于马尾松松香混交林地,土壤黏粒含量从大到小依次为马尾松松香混交林地 > 裸地 > 脐橙地;而对于土壤粉粒而言,其变化规律与土壤黏粒含量呈现不同趋势,土壤粉粒含量从大到小依次为裸地 > 脐橙地 > 马尾松松香混交林地;土壤砂粒含量从大到小依次为脐橙地 > 马尾松松香混交林地 > 裸地。

表 1 不同土地利用类型的土壤质地分类

Table 1 Classification of soil texture for different land use types

土地利用类型 Land use type	占比 Percentage//%			土壤质地 Soil texture
	黏粒 Cosmid	粉粒 Powder particle	砂粒 Sand	
脐橙地 Navel orange land	25.02	47.22	27.76	粉砂质黏土
马尾松松香混交林地 <i>Pinus massoniana</i> and rosin mixed forest land	32.48	44.21	23.31	壤质黏土
裸地 Bare land	29.60	53.96	16.44	粉砂质黏土

2.2 不同土地利用类型对土壤水分特征曲线的影响

将试验中脐橙地、裸地、马尾松松香混交林地的各个上、中、下坡的 3 个平行样品的试验数据求和取平均值后计算出土壤质量含水量,再乘以容重得到体积含水量,后将数据用 origin 进行拟合,结果发现, Van-Genuchten 模型拟合黏质红壤水分特征曲线的效果较好,决定系数(R^2) 在 0.981 4~0.999 4,因此该模型可以用于黏质土壤水分特征曲线的研究^[8]。

以土壤体积含水量变化最明显的吸力(图 1)来看,随着土壤基质吸力的增加,脐橙地上坡的土壤体积含水量由 $0.462 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 减少至 $0.222 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,中坡的土壤体积含水量由 $0.484 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 减少至 $0.236 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,下坡的土壤体积含水量由 $0.525 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 减少至 $0.317 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$;可见赣州市上犹县脐橙地的土壤持水能力表现为上坡最弱,中坡地其次,下坡最强。马尾松松香混交林地上坡的土壤体积含水量由 $0.376 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 减少至 $0.299 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,中坡的土壤体积含水量由 $0.389 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 减少至 $0.298 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,下坡的土壤体积含水量由 $0.362 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 减少至 $0.263 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,可见赣州市上犹县马尾松松香混交林地的土壤持水能力和水分释放性能有着少许差异,土壤持水能力为下坡最弱,中坡和上坡相似。对照组裸地上坡的土壤体积含水量由 $0.382 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 至 $0.251 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,中坡的土壤体积含水量由 $0.384 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 减少至 $0.230 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,下坡的土壤体积含水量由 $0.322 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 减少至 $0.246 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,可见赣州市上犹县裸地的土壤持水能力表现为中坡最弱,下坡地其次,上坡最强。

由于受到土壤质地、密度、孔隙度等土壤基本理化性质的影响,3 种土地利用类型的土壤水分特征曲线呈现出不同的变化规律。从图 2 可以看出,土壤基质吸力在 0~100 kPa,随着土壤基质吸力不断增加,研究区的土壤体积含水量在急剧下降,然而在 100~800 kPa 的土壤基质吸力下,其土壤体积含水量的下降趋势有所减缓,在 800~1 500 kPa 的土壤基质吸力,其土壤体积含水量的下降幅度逐渐趋于平缓。一开始土壤处于饱和状态,一旦施加压力,土壤中水在大孔隙里的吸力很小,只需要稍微施加压力,水就会从大孔隙里排出,就存在土壤水分曲线急剧下降的阶段,剩下的水是由于土壤毛细管道对于土壤水存在一定的吸力,所以不会被轻易排出,而形成了土壤水分曲线趋于平缓的阶段。赣州市上犹县脐橙地的土壤持水能力和水分释放性能有着少许差异,土壤持水能力为裸地最弱,脐橙地其次,马尾松松香混交林地最强。

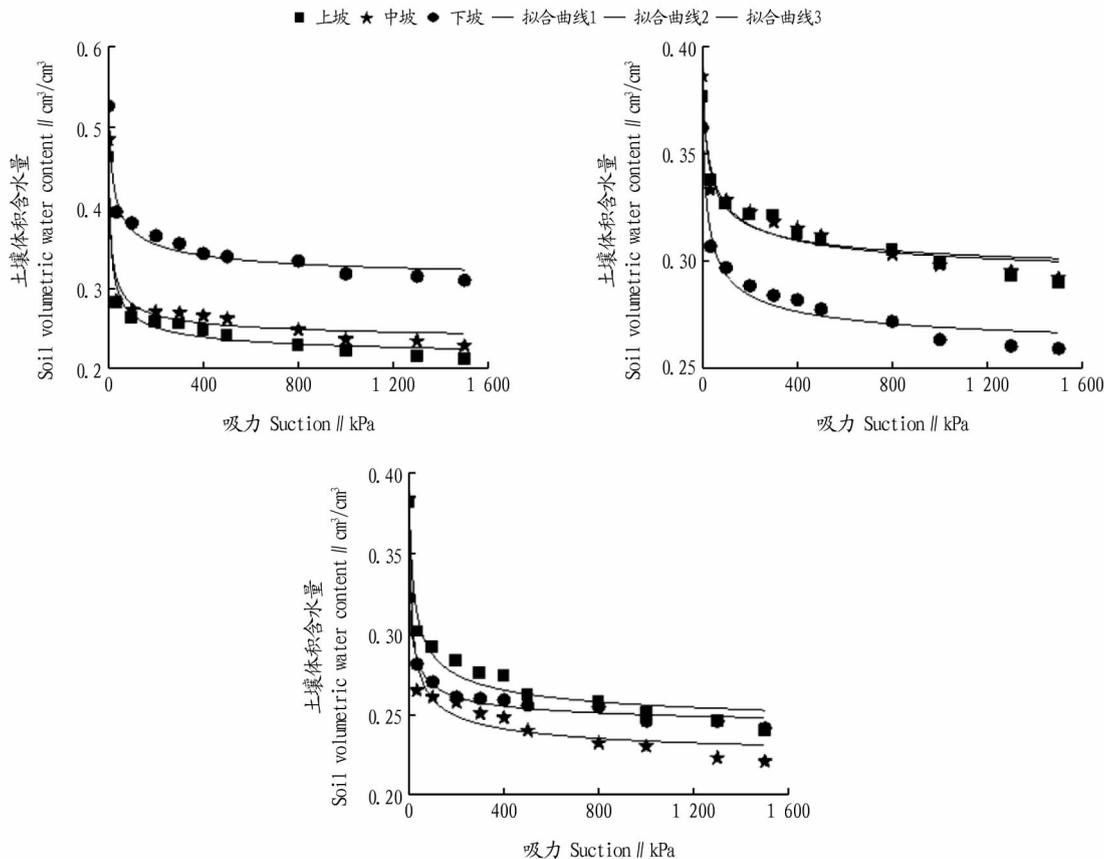


图1 脐橙地(a)、马尾松松香混交林地(b)、裸地(c)不同坡地的土壤水分特征曲线

Fig.1 Soil moisture characteristic curves of navel orange field (a), *Pinus massoniana* and rosin mixed forest land (b) and bare field (c) on different slopes

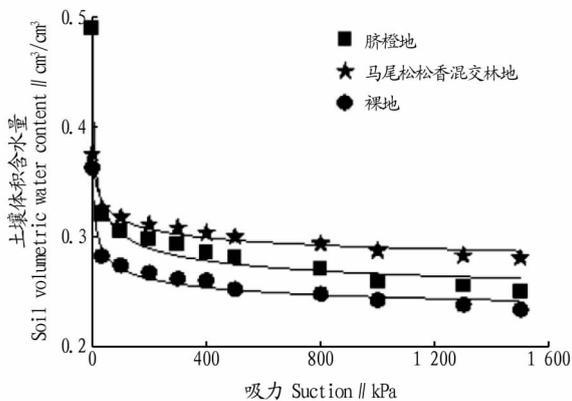


图2 不同土地利用类型的土壤水分特征曲线

Fig.2 Soil moisture characteristic curves of different land use types

2.3 不同土地利用类型对土壤持水能力的影响 土壤有效含水量是指土壤中被作物吸收利用的水量,土壤有效含水量大小取决于作物根毛吸水力和土壤吸力的大小。土壤吸力大小与土壤含水量有关,如在相同条件下,土壤水分愈多,土壤吸力愈小,有效水含量愈多^[9]。土壤田间持水量是指当水饱和的土体中的重力水完全排除后毛管所保持的水量^[10]。植物开始发生永久凋萎时的土壤含水量称为凋萎含水量或萎蔫点。压力膜仪法一般土壤取 30 kPa 吸力之下的土壤含水量作为田间持水量,将在吸力为 1.5 MPa 时所对应

的土壤含水量称为凋萎含水量。植物获取水分的方式主要通过土壤吸收,土壤水分的保持和水分含量直接关系到植物的生长,土壤水的有效性是指土壤水能否被植物吸收利用及其难易程度,不能被植物吸收利用的水称为无效水,能被植物吸收利用的水称为有效水。有效水中由于吸收难易程度不同,又可分为速效水和缓效水^[11]。将不同土地利用类型的土壤数据进行综合分析,取平均值,结果见表 2。

从表 2 可以看出,不同土地利用类型下土壤初始含水量和饱和含水量从大到小依次为脐橙地 > 马尾松松香混交林地 > 裸地。脐橙地和马尾松松香混交林地的田间持水量明显大于裸地,说明种植植被会加大红壤的持水能力。裸地的凋萎含水量明显小于脐橙地和马尾松松香混交林地的,说明在同等水分条件下,脐橙地和马尾松松香混交林地更容易发生永久性凋萎。不同土地利用类型的田间持水量和凋萎含水量从大到小依次为脐橙地 > 马尾松松香混交林地 > 裸地。脐橙地的有效含水量明显高于裸地和马尾松松香混交林地,3 种不同土地利用类型条件下的土壤有效含水量从大到小依次为脐橙地 > 裸地 > 马尾松松香混交林地。对不同土地利用条件下土壤水分有效性进行差异性比较,结果表明,总体来讲,土壤水分有效性指数都大于 1,从大到小依次为脐橙地 > 裸地 > 马尾松松香混交林地;根据土壤水分有效性的分级,由于土壤初始含水量都大于田间持水量,所以都属于富余水状态。

表 2 不同土地类型不同水分特征常数平均值

Table 2 Average values of different water characteristic constants for different land types

土地利用类型 Land use type	初始含水量 Initial water content // %	饱和含水量 Saturated water content // %	田间持水量 Field capacity %	凋萎含水量 Wilting water content // %	最大有效含水量 Maximum effective water content // %	有效含水量 Effective water content // %	有效性指数 Effectiveness indicator (A _w)
脐橙地 Navel orange field	26.02	35.95	23.39	18.04	5.35	7.98	1.53
马尾松松香混交林地 <i>Pinus massoniana</i> and rosin mixed forest land	20.79	23.40	20.34	16.16	4.18	4.63	1.10
裸地 Bare field	19.17	23.17	17.90	13.34	4.56	5.83	1.28

3 讨论

土壤粒径对土壤持水能力的影响是通过粒径对土壤水分特征曲线的影响来反映的,需要通过了解土壤孔隙状况才能体现出这两者之间的关系。根据土壤水分特征曲线,马尾松松香混交林地所含黏粒量较高,其土壤水分特征曲线在脐橙地和裸地上方曲线变化较缓,黏土具有较高的饱和含水量和残余含水量,而脐橙地土壤曲线坡度较陡,且其初始含水量较马尾松松香混交林地高,一旦达到一定的吸力,土壤含水量便随着基质吸力的增大而急速下降。脐橙地和裸地的粉粒含量高,黏粒含量少,土壤粒径偏大,其质地越粗,土壤内部的大孔隙数量比黏土多,导致土壤在饱和情况下还能够储存大量水分。但是,由于土壤的大孔隙具基质势小,脱湿状态下土壤水优先从大孔隙排出,土样在极小的吸力条件下就开始快速失水,土壤保持水分的能力较弱。相反,马尾松松香混交林地的土壤黏粒含量越多,砂粒含量少,其土壤粒径小,质地细,孔隙结构较为密实,大孔隙少,中小孔隙多,孔隙连通性变差,使得水分运移速率较粗质地土壤慢,其土壤水分特征曲线形态较平缓,从而表现出了较好的持水能力。由此可见,赣州市上犹县的典型峰丛坡地土壤持水能力的变化趋势为马尾松松香混交林地 > 脐橙地 > 裸地,马尾松松香混交林地具有更高的持水能力。

4 结论

(1) 不同土地利用条件下其土壤黏粒从大到小依次为马尾松松香混交林地 > 裸地 > 脐橙地;土壤粉粒的变化规律与土壤黏粒含量呈现不同趋势,土壤粉粒从大到小依次为裸地 > 脐橙地 > 马尾松松香混交林地;土壤砂粒从大到小依次为脐橙地 > 马尾松松香混交林地 > 裸地。

(2) 由水分特征曲线可以得出,脐橙地不同坡地的持水能力大小依次为下坡 > 中坡 > 上坡,马尾松松香混交林地

不同坡地的持水能力大小依次为中坡 \approx 上坡 > 下坡,裸地不同坡地的持水能力大小依次为上坡 > 下坡 > 中坡。不同土地利用类型土壤持水能力表现为马尾松松香混交林地 > 脐橙地 > 裸地。

(3) 不同样地土壤饱和含水量、田间持水量、凋萎含水量、土壤有效水含量存在差异,整体上马尾松松香混交林的水分状况较好,吸收水的能力较好,不同样地田间持水量和凋萎含水量表现为脐橙地 > 马尾松松香混交林地 > 裸地,土壤有效水含量表现为脐橙地 > 裸地 > 马尾松松香混交林地,初始含水量和饱和土壤含水量表现为脐橙地 > 马尾松松香混交林地 > 裸地,土壤有效性表现为脐橙地 > 裸地 > 马尾松松香混交林地。

参考文献

- [1] 于元芬,郭明先,孟飞,等.不同植被下黏质红壤水分特征曲线研究[J].节水灌溉,2020(9):69-74.
- [2] 曹春霞,朱升海,颜越,等.有机管理对不同土地利用方式下土壤质量的影响[J].中国生态农业学报,2021,29(3):474-482.
- [3] 成兆金.山东省农业气象自动观测站土壤水分特征曲线研究[C]//中国气象学会.第32届中国气象学会年会 S15 提升气象为农服务能力,保障农业提质增效.北京:中国气象学会,2015:620-624.
- [4] 葛建,黄德文,高旭,等.分层土壤的持水性能研究[J].西南农业学报,2019,32(9):2126-2132.
- [5] 郑荣伟,冯绍元,郑艳侠.北京通州区典型农田土壤水分特征曲线测定及影响因素分析[J].灌溉排水学报,2011,30(3):77-81.
- [6] 李慧茹,刘博,王汝幸,等.土壤粒度组成分析方法对比[J].中国沙漠,2018,38(3):619-627.
- [7] 赵雅琼.非饱和带土壤水分特征曲线的测定与预测[D].西安:长安大学,2015.
- [8] 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.
- [9] 崔彩.半干旱坡面集雨补灌对玉米生长及某些生理特性影响的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2007.
- [10] 毛晓超.微润灌条件下微润管入渗特性试验研究[D].邯郸:河北工程大学,2014.
- [11] 李艳花.关中平原全新世土壤和土壤水环境研究[D].西安:陕西师范大学,2006.