

不同土体构型土壤的持水性能

崔浩浩, 张冰, 冯欣, 高业新

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061)

摘要: 通过 GMS 软件三维建模功能, 将宁夏某葡萄基地土壤划分为 4 种土体构型: 壤砂型、砂型、壤砂粘型和壤粘砂型结构, 并对基地土壤的田间持水量、饱和导水率和容重进行了分析, 研究了不同土体构型下的土壤持水性能。结果表明, 土壤土体构型不同, 其容重、田间持水量、土壤饱和导水率也不同。砂型结构的田间持水量和容重最小, 分别为 13% 和 $1.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 而土壤饱和导水率最大, 为 $3.2 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$; 壤粘砂型结构田间持水量和容重最大, 分别为 16.5% 和 $1.63 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 而土壤饱和导水率最小, 为 $1.02 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$; 田间持水量与土壤饱和导水率的相关系数为 -0.92, 呈显著负相关, 与容重的相关系数为 0.73, 呈显著正相关。壤粘砂型土体构型土壤下粘, 利于保水保肥, 持水性能最好; 砂型结构持水性能最差, 其他土体构型持水性能一般, 需要进行改良以提高土壤的持水性能。

关键词: 土体构型; 土壤饱和导水率; 田间持水量; 土壤持水性能

中图分类号: S152.7+1 **文献标志码:** A

Soil water-holding properties of different soil body configuration

CUI Hao-hao, ZHANG Bing, FENG Xin, GAO Ye-xin

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Shijiazhuang, Hebei 050061, China)

Abstract: Through GMS software 3D modeling capabilities, one grape base soil configuration in Ningxia was divided into four categories: loam-sand, sand, loam-sand-clay and loam-clay-sand type. It analyzed the features of field capacity, saturated hydraulic conductivity and bulk density, and studied the soil water-holding performance on different soil body configuration. The results showed that different soil configuration had different bulk density, field capacity and soil saturated hydraulic conductivity. The sand soil configuration had the lowest field capacity (13%) and bulk density ($1.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), but the highest soil saturated hydraulic conductivity ($3.2 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$). On the contrary, the loam-clay-sand configuration had the highest field capacity (16.5%) and bulk density ($1.63 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), but the lowest soil saturated hydraulic conductivity ($1.02 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$). Field capacity has negative correlation with soil saturated hydraulic conductivity (-0.92), but it was positively related with bulk density (0.73), among the four soil body configurations, the loam-clay-sand type had the best soil water-holding performance, sand type was the worst, and the other types had the general configuration, which need to be modified in order to improve the soil water-holding performance.

Keywords: soil configuration; soil saturated hydraulic conductivity; field capacity; soil water-holding performance

土壤水分是决定作物生长的关键生态因子, 影响着土壤的理化性质和肥力, 直接影响作物的生长和发育。土壤持水性能制约着土壤对水的吸持和贮存, 是土壤水分管理必不可少的资料^[1], 提高土壤持水性能可以改善土壤抗旱性, 促进农业增产增收。研究影响土壤持水性能的因素, 探索其影响机理, 可以针对不同的土体构型采取不同的措施以提高土壤的持水能力。土壤持水性能的相关研究已有较

多^[2-5], 但是实际土壤持水性能受众多因素综合影响, 包括: 土壤结构、土壤盐分、土壤有机质、土壤总孔隙度、土壤粘粒含量、毛管孔隙度、土壤粉粒含量等^[6-9], 且不同的改善措施适用于不同类型土壤, 评价方法也缺乏规范^[10]。而土体构型, 作为土体内不同质地土层的排列组合, 对土壤水、肥、气、热和水盐运移都有着重要的制约和调节作用, 不仅影响土壤的形态特征及其发育程度, 同时也反映了土壤的持

收稿日期: 2015-06-12

基金项目: 中国地质科学院水文地质环境地质研究所基本业务费(SK201407)

作者简介: 崔浩浩(1985—), 男, 河北石家庄人, 硕士, 研究实习员, 主要从事水文地质相关工作。E-mail: cuihao924@126.com。

通信作者: 高业新(1971—), 男, 研究员, 博士, 主要从事水文地质环境地质研究。E-mail: goofy2004@163.com。

水性能^[11-12]。研究土壤土体构型与土壤持水性能的关系,将有助于为以后作物的规划、种植、施肥以及合理的土壤水分管理措施提供科学依据,亦可以为土壤资源的评价、制定合理的用水措施和种植方式等提供依据。

本文以宁夏贺兰山东麓某葡萄种植基地为研究区,通过 GMS (Groundwater modeling system) 软件利用钻孔数据将该基地的土壤划分为 4 种土体构型,并分析了不同土体构型的土壤持水性能,为该基地的土壤改良及节水灌溉提供指导。

1 材料与方 法

研究区为贺兰山东麓地区中部的某葡萄种植基地。该区属中温带干旱气候区,大陆性气候特征十分明显,光能资源丰富,年均气温 8.7℃,夏季平均气温在 20℃ 以上;年均降水量为 201.4 mm,年均蒸发量为 1 470.1 mm;该区位于贺兰山的山前洪积扇,土壤侵蚀度轻,土层深厚,氮、磷、钾等营养元素缺乏^[13-14]。

整个研究区面积约 4 km²,以大约 220 m × 220 m 的网格均匀布设了 157 个钻孔点,其中包括 82 个土壤田间持水量和容重采样点及 36 个土壤饱和导水率采样点。结合葡萄根系的生长范围及主要耕作层确定钻孔深度为 180 cm,田间持水量及容重采样深度为 40 cm,土壤饱和导水率采样深度为 10~20 cm。实际取样点分布见图 1。

采用专门的土壤采样器进行钻探,同时进行地层描述,岩性发生变化时取样,回到室内后利用马尔文 2000 激光衍射粒度分析仪进行颗粒分析,确定岩性命名;采用改进的威尔科克斯法(沙箱法)^[15]开展田间持水量的试验工作,取样前用铁锹开挖 40 cm 深的取样坑,平整好取样面,利用环刀取样,环刀重及样品重均在野外现场称量。取好环刀样后,盖好顶底盖带回室内待测,每个采样点取 3 个环刀样,试验结果取均值作为该点的田间持水量;土壤饱和导水率的室内测定方法有定水头渗透仪法和变水头渗透仪法^[16]。在本次工作中参考了国标 LY/T 1218-1999《森林土壤渗透率的测定》^[17],采用渗透筒法进行测定。试验所需的土柱为原状土,取样深度为 10 cm,在野外取样时,先在地表用铁锹开挖深度为 10 cm 的取样坑,去除表层浮土并平整出一个平面,然后把渗透筒有刃的一面朝下放在平面上垂直下压,缓缓用力防止土柱被破坏,到达取样深度后,用削土刀挖出渗透筒,并将底面削平垫上滤纸,用纱布包好,用橡皮筋沿渗透筒将纱布箍紧,带回室内待测。

利用钻孔数据,通过 GMS 软件划分土体构型;进行室内试验获得田间持水量、容重及土壤饱和导水率,并分析不同土体构型下三者的特征。

2 结果与分析

2.1 土壤颗粒分析

经室内颗粒分析(表 1),按照土壤质地分类标准(见表 2)将样品分为砂壤土和砂土,然后再按照砂土的分类标准(见表 3)将砂土细分为细砂和粉砂,由于粘性土的分布较少,其厚度较薄,所取的样品数量较少不足以进行颗粒分析,因此,根据野外经验将其定名为亚粘土。

表 1 土壤颗粒分析结果

Table 1 Results of the soil particle analysis

定名 Name	砂粒 Sand/% (0.02 ~ 2 mm)	粉粒 Silt/% (0.002 ~ 0.02 mm)	粘粒 Clay/% (< 0.002 mm)
粉砂 Silty sand	87.70	10.02	2.28
细砂 Fine sand	91.53	7.32	1.15
砂壤土 Sandy loam soil	82.76	14.13	3.11

表 2 土壤质地分类标准^[18]

Table 2 Soil texture classification standards

名称 Name	粘粒 Clay/% (< 0.002 mm)	粉粒 Silt/% (0.002 ~ 0.02 mm)	砂粒 Sand/% (0.02 ~ 2 mm)
砂土 Sand	0~15	0~15	85~100
砂质壤土 Sandy loam soil	0~15	0~45	55~85

表 3 砂土的分类标准^[19-20]

Table 3 Sand classification standards

名称 Name	> 0.075 mm 颗粒比例/% > 0.075 mm particle proportion
细砂 Fine sand	> 85%
粉砂 Silt sand	> 50%

2.2 土体构型划分

通过 GMS 软件三维建模功能,在总体分析 157 个钻孔资料的基础上,根据不同土层的垂向排列特征、砂体、粘性土分布的空间形态、沉积地貌-地质体的地理分布特征和沉积相的继承法则、特殊岩土理化特征、成因类型等几项指标将调查区的土壤结构划分为 4 大类:壤砂型、砂型、壤砂粘型和壤粘砂型结构。

壤砂型结构是指上层是砂壤土,下层是砂土的结构,上部砂壤土的厚度一般为 30~50 cm。其特征

基本是通气性、透水性好;砂型结构是指在钻探深度范围内其岩性全部为粉砂、细砂或者二者互层的结构,此种结构土壤颗粒较大,透水性强,保水保肥能力差;壤砂粘型结构主要是指上部为砂壤土,底部是亚粘土,中间是砂土的混合结构,也包括壤-砂-粘-砂、砂-粘-砂等结构。粘土一般呈透镜体状,延续性差,这种结构底部是粘性土,其主要肥力特征为保水、保肥性好,养分含量丰富,土温比较稳定,但是砂壤土厚度较薄,而中间的砂层较厚,水分将会从侧面流失,仍然不利于保水保肥;壤粘砂型结构是指上部为砂壤土,底部为砂土,中间为亚粘土,这种结构的特点是上层壤土疏松,下层粘土保水托肥,利于土壤肥力的保持。其中壤砂型结构占主要部分,其他三种土体构型较少。砂型结构呈片状分布,壤砂粘、壤粘砂型结构呈零星孤岛状分布(图2),各土体构型的剖面特征见图3。

2.3 田间持水量

田间持水量是指土壤排除重力水分后,本身所能保持的毛管悬着水的最大数量,它是衡量田间土壤持水性能的重要指标,可视为对作物生长有效的土壤水分的上限;也是研究土、水、植物关系,研究土壤水分状况,制定土壤改良措施,确定合理灌水定额等方面的不可缺少的水分常数^[22-22]。

本文根据实地土壤的特性,共测试了82个田间持水量,通过对82个数据进行统计分析得出田间持水量均值为14.97%,最小值为5.27%,最大值为27.28%(表4)。

表4 田间持水量统计特征值

Table 4 Statistical characteristic values of field capacity

样品数量 Sample quantity	均值 Mean value /%	最大值 Maximum value /%	最小值 Minimum value /%	标准偏差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
82	14.97	27.78	5.27	4.12	0.28

利用82个田间持水量数据绘制平面等值线图(图4),可以清楚看到整个葡萄基地田间持水量分布的特征,田间持水量高、低区域基本呈条带状分布,在园区中部和东西两侧田间持水量较低,其它区域田间持水量较高,均在15%以上。

2.4 土壤饱和和导水率

土壤饱和和导水率又称土壤渗透系数,是土壤被水饱和时单位水压梯度下通过垂直于水流方向的单位土壤截面水流速度;土壤饱和和导水率是研究土壤水分运移工作的重要参数之一,也是农业土壤渗透性能好坏的一个指标,直接影响作物的生长发

育^[23-24]。本次共选取36个点进行土壤饱和和导水率试验,均值为 $1.37 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$,最小为 $0.19 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$,最大 $6.55 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$,最大值比最小值大数十倍。变异系数为1.07(表5),说明整个种植区土壤的渗透系数并不均匀,离散程度较大;而且同一种岩性其渗透系数大小也有差异,这是因为在取样深度范围内分布有作物根系、虫孔等缝隙,取样土柱存在优先流通道导致的。

表5 土壤饱和和导水率统计特征值($K, \text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)

Table 5 Statistical characteristics of soil saturated hydraulic conductivity values

样品数量 Sample quantity	均值 Mean value	最大值 Maximum value	最小值 Minimum value	标准偏差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
36	1.37	6.55	0.19	1.47	1.07

由图5可以看出,整个园区的北部区域土壤饱和和导水率较低,普遍小于 $1 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$,而南部区域相对较大,个别区域达到 $3\sim 4 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

2.5 不同土体构型土壤持水性能分析

葡萄基地的土体构型划分为:壤砂型、砂型、壤砂粘型和壤粘砂型4种。按照不同的土体构型统计出田间持水量、土壤饱和和导水率及容重的平均值(见表6)。

表6 不同土体构型的土壤持水性能参数

Table 6 Parameters of soil water holding for different soil body configurations

土体构型 Soil body configuration	田间持 水量 Field capacity /%	土壤饱和 和 导水率 Soil hydraulic conductivity /($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)	容重 Bulk density /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
砂型 Sand type	13.00	3.20	1.50
壤砂型 Loam-sand type	15.13	1.23	1.49
壤砂粘型 Loam-sand-clay type	15.11	1.10	1.52
壤粘砂型 Loam-clay-sand type	16.50	1.02	1.63

从表6可以看出砂型结构的田间持水量和容重最小,而土壤饱和和导水率最大;壤粘砂型结构田间持水量和容重最大,而土壤饱和和导水率最小。对田间持水量、土壤饱和和导水率及容重进行相关分析得出,田间持水量与土壤导水率的相关系数为 -0.92 ,呈显著负相关,土壤饱和和导水率越大则田间持水量越小;与容重的相关系数为 0.73 ,呈显著正相关,容重越大则田间持水量越大(表7)。

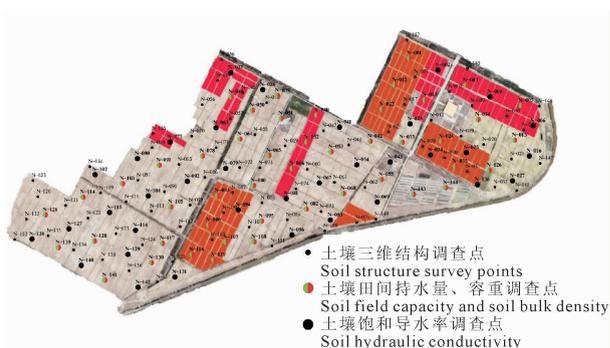


图 1 取样点分布

Fig.1 Distribution of sampling points



图 5 土壤饱和导水率等值线

Fig.5 Distribution of soil saturated hydraulic conductivity

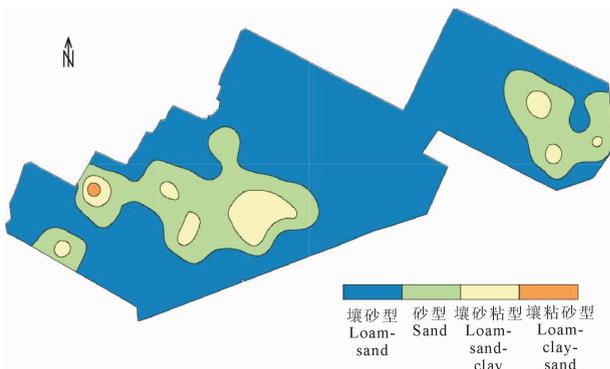


图 2 土体构型分区

Fig.2 Distribution of soil body configuration

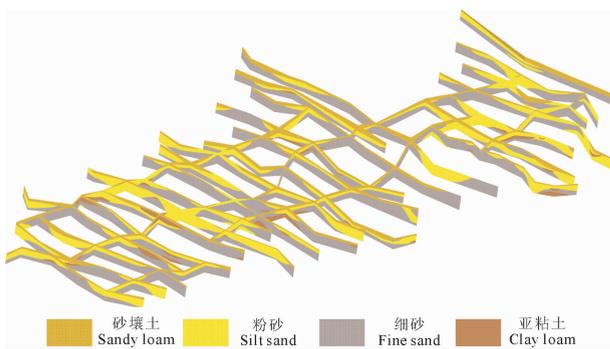


图 3 土体构型剖面特征

Fig.3 Profiles of soil body configuration

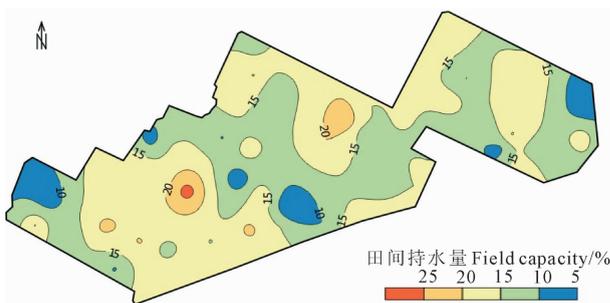


图 4 田间持水量等值线分布

Fig.4 Distribution of the field capacity

表 7 田间持水量、土壤导水率及容重间的相关性

Table 7 Correlation coefficients among field capacity, soil hydraulic conductivity and bulk density

项目 Item	田间持水量 Field capacity	土壤饱和导水率 Soil hydraulic conductivity	容重 Bulk density
田间持水量 Field capacity	—	-0.92	0.73
土壤饱和导水率 Soil hydraulic conductivity	-0.92	—	-0.43
容重 Bulk density	0.73	-0.43	—

土壤土体构型不同,其容重、田间持水量、土壤饱和导水率也不同。由图 6~图 8 可以看出,由砂型向壤粘砂型结构过渡,容重和田间持水量的变化趋势基本相同,均逐渐增大;而土壤饱和导水率的变化趋势则恰好相反。从土体构型角度分析,砂型结构主要由砂土构成,颗粒较粗,孔隙较大,土体松散,导致容重偏小,土壤饱和导水率大,不利于保水,使得田间持水量较低,土壤持水性能差;而壤粘砂型上部主要是砂壤土,表层疏松、耕性良好、适种性广,下部主要为亚粘土,水分不容易流失,起到保水托肥作用,故持水能力较强;壤砂型和壤砂粘型的差异性不明显,介于砂型和壤粘砂型二者之间,持水性能一般。

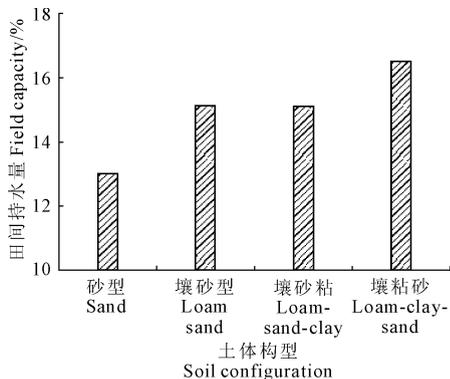


图 6 不同土体构型土壤的田间持水量

Fig.6 Field capacity of soil body configuration

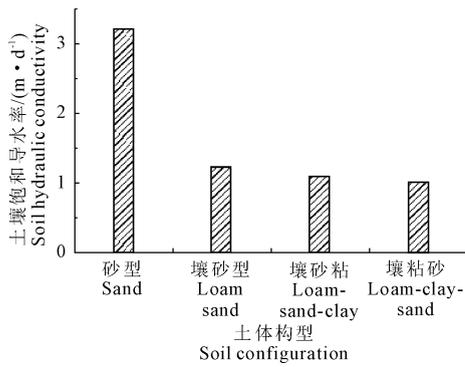


图7 不同土体构型的土壤导水率

Fig.7 Soil hydraulic conductivity of soil body configuration

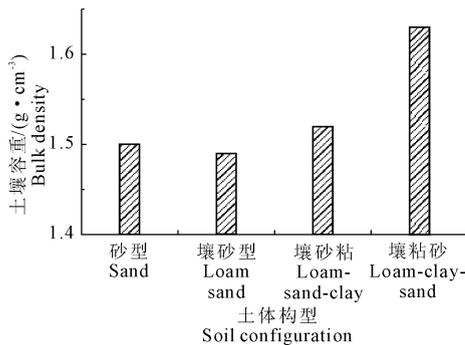


图8 不同土体构型的土壤容重

Fig.8 Bulk density of soil body configuration

以上分析得出土体构型不同其持水性能也不同,壤粘砂型土体构型土壤下粘,利于保水保肥,持水性能最好;砂型结构持水性能最差,其他土体构型持水性能一般,需要进行改良以提高土壤的持水性能。

3 结论

本文以宁夏贺兰山东麓某葡萄种植基地为研究区,通过采样分析获得了园区田间持水量、土壤饱和导水率和容重的分布规律,并进行相关分析得出田间持水量与土壤饱和导水率呈显著负相关,与容重呈显著正相关;通过 GMS 利用钻孔数据将该基地的土壤划分为 4 种土体构型,其中壤砂型结构占主要部分,砂型、壤砂粘型和壤粘砂型 3 种土体构型较少;并分析了不同土体构型的土壤持水性能,得出壤粘砂型土体构型持水性能最好,砂型土体构型最差,壤砂型和壤砂粘型持水性能介于二者之间,且差别不大。

参考文献:

[1] 李洪兵,赵西宁,王娟,等.生草和树枝覆盖对果园土壤持水性能的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):136-141,181.

- [2] 沈思渊,席承藩.淮北主要土壤持水性能及其与颗粒组成的关系[J].土壤学报,1990,27(1):34-42.
- [3] 张航,徐明岗,张富仓,等.陕西农业土壤持水性能及其与土壤性质的关系[J].干旱地区农业研究,1994,12(2):32-37.
- [4] 刘定辉,陈尚洪,舒丽,等.四川盆地丘陵区秸秆还田少免耕对土壤水分特征的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):119-122,128.
- [5] 王丹丹,郑纪勇,颜永毫,等.生物炭对宁南山区土壤持水性能影响的定位研究[J].水土保持学报,2013,27(2):101-104,109.
- [6] 夏卫生,雷廷武,刘纪根.PAM防治水土流失的研究现状及评述[J].土壤通报,2002,33(1):78-80.
- [7] 吴建平,袁正科,田育新.湖南省主要森林类型林地土壤持水功能及其改良技术[J].水土保持通报,2000,20(6):30-32.
- [8] 杜太生,康绍忠,张富仓,等.农业高效用水与水土环境保护[M].西安:陕西科技出版社,2000:147-153.
- [9] 杜尧东,夏海江,孟维忠.聚丙烯酰胺防治坡地水土流失田间试验研究[J].水土保持学报,2000,14(3):10-13.
- [10] 苏杨,朱健,王平,等.土壤持水能力研究进展[J].中国农学通报,2013,29(14):140-145.
- [11] 李学敏,翟玉柱,李雅静,等.土体构型与土壤肥力关系的研究[J].土壤通报,2005,36(6):161-163.
- [12] 李梅,张学雷.基于GIS的农田土壤肥力评价及其与土体构型的关系[J].应用生态学报,2011,22(1):129-136.
- [13] 王银川,汪泽鹏,刘效义.宁夏贺兰山东麓气候条件及品种区划[J].宁夏科技,2002,(1):36-47.
- [14] 郭洁.有机物料对酿酒葡萄园土壤改良培肥效应及合理施用技术研究[D].银川:宁夏大学,2013.
- [15] 李京兵,顾李华,潮洪斌,等.安徽省土壤田间持水量测定与分析[J].江淮水利科技,2013,(5):34-35.
- [16] 刘亚敏,程林.渗透桶法测定土壤饱和导水率的改进[J].人民黄河,2011,33(8):106-107.
- [17] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室.LY/T 1218-1999.森林土壤渗滤率的测定[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [18] 陈丽琼.比重计法测定土壤颗粒组成的研究[J].环境科学导刊,2010,29(4):97-99.
- [19] 水利部华北水利水电学院北京研究生部.GBJ145-90.土的分类标准[S].北京:中国标准出版社,1991.
- [20] 南京水利科学研究所.GB/T50123-1999.土工试验方法标准[S].北京:中国计划出版社,1999.
- [21] 杨艳蓉.田间持水量测定技术[J].农业科技与信息,2007,(8):37.
- [22] 陈翠玲,姚素梅,肖冰冰,等.新乡市四区六县土壤田间持水量抽样调查[J].河南科技学院学报,2011,39(3):5.
- [23] 陈效民,茆泽圣,刘兆普,等.大丰王港试验站滨海盐渍土饱和导水率的初步研究[J].南京农业大学学报,1994,17(4):134-137.
- [24] Kammar 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.