

# 同一质地(重壤土)土壤水分特征曲线的研究\*

曹红霞, 康绍忠, 武海霞

(西北农林科技大学 教育部旱区农业水土工程重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

[摘要] 用压力膜法测定了同一质地(重壤土)不同干容重装填土、不同水分处理装填土、农田原状土的水分特征曲线, 通过土壤水分特征曲线( $\theta_s$ )及土壤含水率( $\theta$ )和当量孔径( $d$ )关系曲线的对照分析, 发现干容重、水分处理及土壤的原状性对水分特征曲线有显著影响。

[关键词] 土壤水分特征曲线; 土壤水吸力; 当量孔径; 装填土; 原状土

[中图分类号] S152.7+2

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2002)01-0009-04

土壤水分特征曲线表示了土壤的一个基本特性, 利用它可以进行土壤水吸力( $s$ )和含水率( $\theta$ )之间的换算, 可以间接地反映出土壤中孔隙大小的分布。单位基质势的变化引起的含水率变化称为比水容量( $C$ ), 水分特征曲线及比水容量都是用数学物理方法对土壤水分运动进行定量分析必不可少的参数<sup>[1]</sup>。国内外在土壤水分特征曲线的滞后机理及土质对土壤水分特征曲线影响方面进行了较深入的研究<sup>[2-4]</sup>, 研究中常采用相应干容重装填土测得的土壤水分特征曲线作为试验处理土壤的水分特征曲线, 但对其合理性缺少较深入的认识。本研究测定了同一质地不同干容重装填土、不同水分处理装填土和农田原状土的水分特征曲线, 以期探明其内在变化规律, 为其合理应用提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验土壤为重壤土, 均取自西北农林科技大学节水灌溉实验站。环刀内径6.5 cm, 高2 cm。试验设6个处理, 每处理2个重复。处理1~3是分别将风干并过2 mm筛的土料按干容重1.25, 1.30, 1.35 g/cm<sup>3</sup>控制的装填土; 处理4, 5是用环刀从经过水分处理土壤(1年前按干容重1.30 g/cm<sup>3</sup>控制分层装填的土柱, 分别控制1.2及1.7 m地下水位, 再从表面进行灌溉)的表层20 cm深度范围内取得

的原状土(在1.2和1.7 m地下水位的土柱中各取2个土样作为2个处理); 处理6是在灌溉站农田耕作层中所取的原状土。

### 1.2 测定方法和原理

土壤水分特征曲线的测定采用压力膜法。将经24 h水分饱和的各处理环刀土样放入压力室, 室中压力逐次升高。在低吸力下, 土壤中的大孔隙先排水, 随着压力的进一步升高, 次大的孔隙开始排水, 土壤含水率不断降低。在向压力室加压时, 土样中的水就会受压而排出, 排水停止后, 所施加压力即为此时各处理土壤的土壤水吸力, 与此吸力相对应, 各处理土样有一个对应的含水率。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干容重装填土的水分特征曲线

不同干容重装填土水分特征曲线(图1a)表明, 装填土含水率在较大土壤水吸力下随干容重增大而增大, 在较小土壤水吸力下随干容重增大而减小; 根据公式  $s = 3 \times 10^{-4}/d^{1.1}$  ( $d$ 为当量孔径), 并对图1a和图1b进行对照分析可知, 装填土干容重越大, 大孔隙数量相对越少, 小孔隙数量相对较多; 干容重越小, 大孔隙数量越多, 小孔隙数量越少。这反映出土装得愈密实(干容重愈大), 土体占的体积越大, 孔隙总体积则变小, 即土壤水能占用的总空间变小; 同时密实的土壤还会导致大孔隙数量减少, 小孔隙数量

\* [收稿日期] 2001-07-13

[基金项目] 国家杰出青年基金资助项目(49725102)和原西北农业大学青年教师基金资助项目

[作者简介] 曹红霞(1971-), 女, 新疆昌吉州人, 讲师, 博士, 主要从事农业水土环境研究。

增加。由以上分析可看出,同一质地装填土的干容重由于影响了土体内总孔隙量及孔隙大小的分布,从

而影响土壤的水分特征曲线。

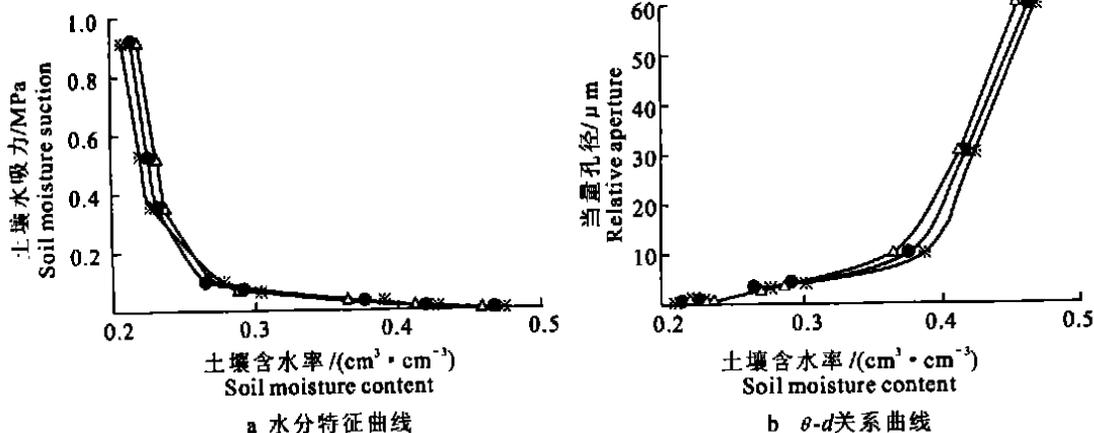


图 1 不同干容重装填土水分特征曲线与  $\theta-d$  关系曲线

- \* - 1.25 g/cm<sup>3</sup> 装填土; - - 1.30 g/cm<sup>3</sup> 装填土; - - 1.35 g/cm<sup>3</sup> 装填土

Fig 1 Soil water characteristic curve and  $\theta-d$  relation curve of disturbed soil of different dry density

- \* - 1.25 g/cm<sup>3</sup> disturbed soil; - - 1.30 g/cm<sup>3</sup> disturbed soil; - - 1.35 g/cm<sup>3</sup> disturbed soil

### 2.2 不同水分处理装填土水分特征曲线

处理 4, 5 土壤的  $\theta-d$  关系曲线(图 2a)表明,当  $d > 10 \mu\text{m}$  时,处理 4 土壤的孔隙数量较处理 5 土壤多;而当  $d < 10 \mu\text{m}$  时,处理 4 土壤的孔隙数量较处理 5 土壤少。也就是说处理 4 的大孔隙数量比处理 5 多,而小孔隙数量却相反。当  $d = 10 \mu\text{m}$  时,由 2.1 中的  $d-s$  关系式,可得  $s = 0.03 \text{ MPa}$ ,由图 2b 可知  $\theta$  约为 0.37。将图 2a 和图 2b 进行对照分析,可知在同一土壤水吸力下,当  $\theta < 0.37$  时,处理 4 土壤含水

率小于处理 5,当  $\theta > 0.37$  时,则相反。原因是在 1 年的试验处理过程中,由于处理 5 土壤的含水率高于处理 4,而在一定含水率范围内,含水率愈高,土粒散化程度愈高,相应地小孔隙数量变多,大孔隙数量变少。所以处理 4 土壤的小孔隙数量较处理 5 少,而大孔隙数量则相反,这说明不同的水分处理对土壤孔隙结构的影响会有一些的差异,因而表现为不同水分处理土壤的水分特征曲线有差异。

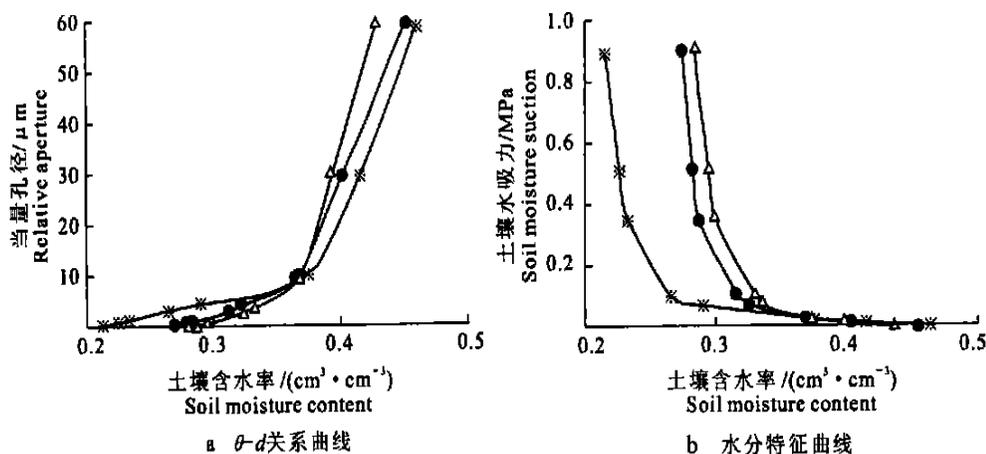


图 2 不同水分处理装填土与相应干容重装填土  $\theta-d$  关系曲线与水分特征曲线

- \* - 1.30 g/cm<sup>3</sup> 装填土; - - 1.2 m 水位处理装填土(处理 4); - - 1.7 m 水位处理装填土(处理 5)

Fig 2  $\theta-d$  relation curve and water characteristic curve of different water-treated soil and related dry density disturbed soil

- \* - 1.30 g/cm<sup>3</sup> disturbed soil; - - Disturbed soil of 1.2 m water table treatment; - - Disturbed soil of 1.7 m water table treatment

### 2.3 不同水分处理土壤与相应干容重装填土的水分特征曲线

不同水分处理土壤与相应干容重装填土的  $\theta-d$  关系曲线(图 2a)表明, 经不同水分处理的土壤在当量孔径  $d < 10 \mu\text{m}$  时, 含水率明显大于相应干容重未经水分处理的装填土, 而在当量孔径  $d > 10 \mu\text{m}$  时, 则相反。相应的土壤水分特征曲线(图 2b)表现为, 装填土含水率在低土壤水吸力下大于水分处理土壤, 在高土壤水吸力下明显小于水分处理土壤。原因在于, 虽然都是干容重为  $1.30 \text{ g/cm}^3$  的装填土, 但经水分处理的土壤历经为期 1 年的水分处理, 在此过程中, 土壤在较高含水率下发生了一定程度的散化, 从而使原有装填土的孔隙结构发生改变。总体表现为大孔隙数量减少, 小孔隙数量增多。这说明一定的水分处理会使土壤孔隙结构发生明显变化, 从而显著影响水分处理土壤的水分特征曲线。也就是说, 当试验过程中水分处理较高时, 如需测定土壤水

分特征曲线或比水容量( $C$ )等参数, 最适宜的做法是取试验处理过的原状土来测定, 若用相应干容重的装填土测得的参数代之, 会引起较大误差。

### 2.4 农田原状土水分特征曲线

试验结束时, 将农田原状土的 2 个环刀土样放在烘箱中烘干, 测得其干容重分别为  $1.39$ (原状土 1)和  $1.35 \text{ g/cm}^3$ (原状土 2)。由农田原状土水分特征曲线(图 3a)可以看出, 干容重为  $1.39 \text{ g/cm}^3$  的农田原状土在高土壤水吸力下的含水率明显高于干容重为  $1.35 \text{ g/cm}^3$  的农田原状土, 这与不同干容重装填土表现出的规律一致。以上现象表明, 小范围农田土壤在密实度及孔隙结构的分布上存在很大差异, 即存在着土壤结构的空变异性<sup>[5]</sup>。因此, 在农田做试验时应尽可能多取一些有代表性的原状土以测定参数, 才能较全面地反映试验区参数的随机分布状况, 从而更准确地模拟土壤水分运动。

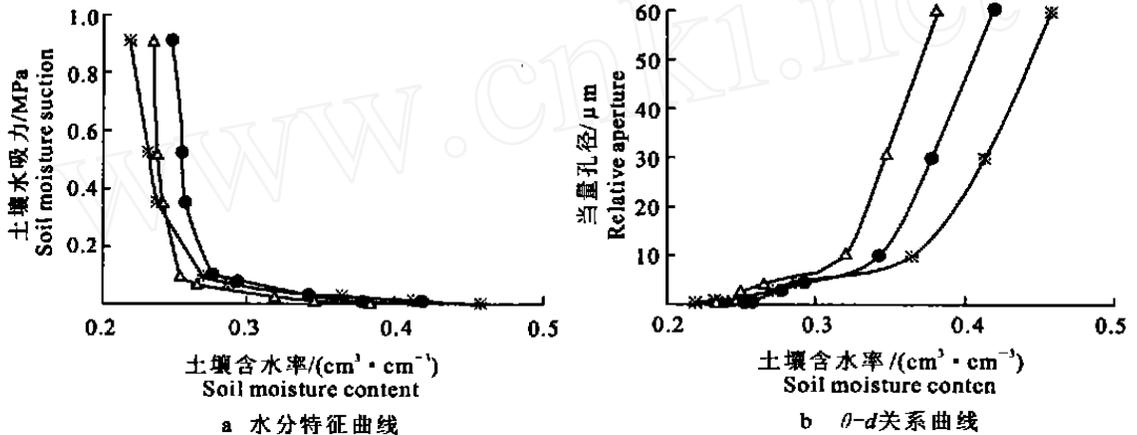


图 3 农田原状土和  $1.35 \text{ g/cm}^3$  干容重装填土水分特征曲线与  $\theta-d$  关系曲线  
 - \* -  $1.35 \text{ g/cm}^3$  装填土; - - 农田原状土 1; - · - 农田原状土 2

Fig 5 Water characteristic curve and  $\theta-d$  relation curve of fam intact soil and  $1.35 \text{ g/cm}^3$  disturbed soil  
 - \* -  $1.35 \text{ g/cm}^3$  disturbed soil; - - Fam intact soil 1; - · - Fam intact soil 2

### 2.5 农田原状土与装填土水分特征曲线

由干容重为  $1.35 \text{ g/cm}^3$  农田原状土和装填土的水分特征曲线(图 3a)可知, 在同一土壤水吸力下, 当土壤水吸力  $s > 0.35 \text{ MPa}$  时, 装填土含水率小于农田原状土含水率。由 2.1 中的  $d-s$  关系式, 相应于  $s = 0.35 \text{ MPa}$  可知  $d$  约为  $0.86 \mu\text{m}$ 。将图 3a 和图 3b 进行对照分析, 可知当  $d < 0.86 \mu\text{m}$  时, 农田原状土小孔隙多于装填土。这反映出干容重虽然相同, 但由于农田原状土团粒结构好, 土粒与土粒接触处的密实度表现为农田原状土比装填土大, 从而导致农田原状土中形成了一些较装填土多的小孔

隙<sup>[6]</sup>; 另一方面, 农田原状土较好的团粒结构又使其富含了大量的大孔隙, 而处于大孔隙与小孔隙之间的中等孔隙数量减少<sup>[6]</sup>, 即土壤水分特征曲线(图 3a)表现为当  $0.05 \text{ MPa} < s < 0.35 \text{ MPa}$  时, 装填土含水率大于农田原状土含水率。以上分析表明, 同一干容重装填土与农田原状土的孔隙结构有较大差异, 且总体表现为农田原状土的小孔隙和大孔隙增多, 中等孔隙减少。同时也说明用相应干容重装填土测得的水分特征曲线等参数代替农田原状土的相应参数会产生较大误差, 即在条件许可的情况下, 应以取农田原状土测定参数为宜。

### 3 结 论

通过对同一质地(重壤土)不同干容重装填土、不同水分处理装填土、农田原状土水分特征曲线及土壤含水率( $\theta$ )和当量孔径( $d$ )关系曲线的对照分析,可以得出以下结论:

(1) 同一质地装填土总孔隙量及孔隙大小的分布主要取决于干容重,其对土壤水分特征曲线的影响表现为:土壤水吸力较高时,装填土干容重愈大,体积含水率愈高;土壤水吸力较低时,装填土干容重愈大,体积含水率愈低。

(2) 经一定时期较高水分处理的装填土,孔隙结

构将发生显著变化,即小孔隙数量增多,大孔隙数量减少;不同水分处理亦有差异,表现为含水率愈高,小孔隙越多,大孔隙越少。因此,经水分处理的装填土的水分特征曲线由水分处理过的原状土测之最佳,而由相应干容重装填土测之会产生较大误差。

(3) 农田原状土在干容重和孔隙结构上存在着空间变异性,且同一干容重农田原状土与装填土的孔隙结构有明显差异,表现为农田原状土的小孔隙和大孔隙增多,中等孔隙减少。因此,在条件许可的情况下,其水分特征曲线应由多个具有代表性的农田原状土测得。

#### [参考文献]

- [1] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1988
- [2] 袁剑航. 土壤水分特征曲线和土壤水分的滞后现象[J]. 土壤通报,1986,(1): 43- 47.
- [3] 沈荣开. 非饱和土壤水运动滞后效应的研究[J]. 土壤学报,1993,30(2): 208- 216
- [4] 王金生,杨志峰,陈家军,等. 包气带土壤水分滞留特征研究[J]. 水利学报,2000,(2): 1- 6
- [5] 谢永华,黄冠华. 田间土壤特性空间变异的试验研究[J]. 中国农业大学学报,1998,3(2): 41- 45
- [6] Wu L, Vomocil J A, Childs S W. Pore size, particle size, aggregate size, and water retention[J]. Soil Science Society of America, 1990, 54(4): 952- 956

## Study on soil water characteristic curves of soils of same quality (heavy loam)

CAO Hong-xia, KANG Shao-zhong, WU Hai-xia

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Soil water characteristic curve that is obtained from disturbed soil of different dry density and disturbed soil of different water treatment and farm intact soil is measured with the method of soil moisture pressure membrane. By comparing and analyzing soil water characteristic curves and relation curve of soil moisture content and relative aperture, it is found that the influence of dry density and water treatment and intact nature on soil water characteristic curve is obvious.

**Key words:** soil water characteristic curve; soil moisture suction; relative aperture; disturbed soil; intact soil