

# 设施栽培下原状土与扰动土水分特性的试验研究

吴璇, 郑子成, 李廷轩, 张锡洲, 王永东

(四川农业大学 资源环境学院, 四川 成都 611130)

**摘要:** 以四川省双流县设施栽培土壤为研究对象, 对其原状土与扰动土的土壤水分特征曲线、水分物理性质和比水容量等项目进行了研究。结果表明, 扰动土水分特征曲线总体变化趋势与原状土较为一致。在低吸力阶段, 相同吸力条件下扰动土含水量高于原状土, 在高吸力阶段两者差异较小。扰动土毛管孔隙度、总孔隙度和凋萎含水量在剖面上的总体变化趋势与原状土较为一致。扰动土不同土层田间持水量和有效水含量差异较小, 原状土的田间持水量和有效水含量均随土层加深而减少。在低吸力阶段, 相同吸力条件下扰动土比水容量远高于原状土, 但随土壤水吸力增加, 扰动土比水容量变化趋势逐渐与原状土一致。

**关键词:** 设施土壤; 原状土; 扰动土; 水分特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0099-04

中图分类号: S151.9

## Soil Water Characteristics Between Undisturbed and Disturbed Soils in Greenhouse Soil

WU Xuan, ZHENG Zi-cheng, LI Ting-xuan, ZHANG Xi-zhou, WANG Yong-dong

(College of Resources and Environment Science, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

**Abstract:** In order to study soil water characteristics in greenhouse soil, the soil water retention curve, hydro-physical property and specific water capacity were analyzed and water characteristics for both undisturbed and disturbed soils were compared in greenhouse in Shuangliu County of Sichuan Province. Results showed that the change of soil water retention curve in disturbed soil was the same as that of undisturbed soil generally. On the condition of the same soil water suction, soil water content of disturbed soil was higher than that of undisturbed soil in low suction stage, while the difference of soil water content was not significant between disturbed and undisturbed soils in high suction stage. There was the same tendency in profile change of capillary porosity, total porosity and wilting coefficient in both disturbed and undisturbed soils. The difference was not significant between field capacity and available water content for disturbed soil, while field capacity and available water content showed the decreasing tendency along with increasing soil layer for undisturbed soil. On the condition of the same soil water suction, the specific water capacity of disturbed soil was far above that of undisturbed soil in low suction stage, while the change of specific water capacity showed the same tendency between disturbed soil and undisturbed soil along with increasing soil water suction.

**Keywords:** greenhouse soil; undisturbed soil; disturbed soil; soil water characteristics

截至 2011 年, 我国设施蔬菜栽培面积已超过  $3.50 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 居世界第一位<sup>[1]</sup>。设施栽培不仅为市场提供大量反季节蔬菜, 带来显著的经济效益和社会效益, 也为合理利用土地等方面创造了条件<sup>[2-3]</sup>。然而, 高温、高湿、高蒸发的设施环境会改变土壤物理学性质和水力学特性, 引起土壤供水、持水特性的改变<sup>[4-5]</sup>。土壤水分特性是土壤重要的物理性质, 也是

农业节水灌溉技术的重要基础<sup>[6]</sup>。研究表明<sup>[7-8]</sup> 土壤的持水、供水能力与土壤结构、容重和孔隙度等物理性质密切相关。目前, 对设施土壤水分、溶质运移的研究主要采用扰动均质土壤进行, 其孔隙结构受到破坏, 土壤水分特性随之改变, 导致室内模拟结果和实际有较大差异。本试验通过对设施原状土与扰动土水分特性的测定, 研究原状土与扰动土两种条件下设

收稿日期: 2013-03-01

修回日期: 2013-05-09

资助项目: 国家自然科学基金项目“川中丘陵区坡耕地防蚀机理研究”(40901138); 四川省学术和技术带头人培养基金项目(2012)

作者简介: 吴璇(1988—), 男(汉族), 四川省德阳市人, 硕士研究生, 研究方向为设施土壤水盐运移。E-mail: wuxuan\_sicau@163.com。

通信作者: 郑子成(1976—), 男(汉族), 内蒙古乌兰察布市人, 博士, 副教授, 主要从事土壤物理与水土保持方面研究。E-mail: zichengzheng@aliyun.com。

施土壤水分特性的差异,为揭示设施栽培对土壤水分特性的影响提供参考,同时为进一步研究设施环境中土壤水分运动提供一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

在四川省双流县典型设施栽培区,选择多个典型大棚,开挖剖面,按 0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm 分层采样,采集时先用环刀采集 3 次重复样作为原状土处理,剩余土样经风干后过 2 mm 筛,一部分按照与原状土相当的容积密度装入环刀作为扰动土处理,另一部分用于土壤基本性质的测定(表 1)。

表 1 供试土壤基本物理性质

土层/ cm	颗粒组成/%			土壤质地	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )
	0.02~ 2 mm	0.002~ 0.02 mm	<0.002 mm		
0—20	52.4	44.6	3.0	壤土	1.29
20—40	50.2	46.8	3.0	粉砂质壤土	1.50
40—60	40.0	58.0	2.0	粉砂质壤土	1.56

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤饱和含水量测定 土壤饱和含水量采用烘干法进行测量。将在野外用环刀取得的原状土,盖上垫有滤纸的有孔底盖,称重(准确至 0.1 g),再将环刀放入水槽中,保持水面与环刀口上缘齐平,使水分通过底盖小孔和滤纸沿土壤孔隙上升。浸泡 8 h 后,将环刀外部擦干后称重(准确至 0.1 g)。然后将环刀放回水槽,继续吸水饱和约 4 h,再次称重。反复操作达到恒重后,取部分环刀中的土壤放入烘箱,在 105 °C 下烘干,测定其含水量即为土壤饱和含水量。

1.2.2 土壤容重及孔隙度测定 土壤容重利用环刀法测定。土壤总孔隙度由土壤密度(取平均密度 2.65 g/cm<sup>3</sup>)和容重间接计算求得:

$$\text{孔隙度} = 1 - \text{容重} / \text{密度}$$

1.2.3 水分特征曲线测定 土壤水分特征曲线采用压力膜法测定。将装有原状土和扰动土的环刀经 24 h 水分饱和后放入压力室,分别施加 0.01, 0.03, 0.06, 0.1, 0.3, 0.6, 1.5 MPa 压力,求得相应条件下的土壤含水量,得到土壤水分特征曲线。拟合模型采用 Gardner 提出的幂函数模型:

$$\theta = AS^{-B}$$

式中: $\theta$ ——土壤含水量; $S$ ——土壤吸力; $A, B$ ——参数。

1.2.4 土壤比水容量计算 比水容量( $C_\theta$ )为土壤水分特征曲线方程的一阶导数,计算公式为:

$$C_\theta = \frac{d\theta}{d\psi} = -\frac{d\theta}{dS} = ABS^{-(B+1)}$$

式中: $\psi$ ——土壤基质势; $A, B$ ——参数。

所有项目测定均重复 3 次。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水分特征曲线

土壤水分特征曲线反映了土壤水分和固体之间的相互关系,可揭示土壤水的能量(基质吸力)与数量(土壤含水量)之间的内在关系。因此,它是定量分析土壤水分运动最基本的资料之一。由图 1 可知,原状土与扰动土各土层水分特征曲线总体变化趋势较为一致,表现为土壤含水量随土壤水吸力增加而降低。在低吸力阶段(<0.1 MPa)土壤含水量变化较为明显,随土壤吸力增大含水量呈迅速降低的趋势,而在中高吸力阶段(>0.1 MPa)土壤含水量变化趋于平缓。当土壤水吸力相同时,同层次的原状土含水量均小于扰动土,低吸力阶段差异大于高吸力阶段。可见相同容重条件下,扰动土水分有效性低于原状土,在低吸力阶段表现尤为明显。一般而言,土壤水分特征曲线与土壤质地、结构、容重、温度和有机质含量等存在较为复杂的非线性关系<sup>[9]</sup>。在土壤剖面中,上、下层土壤的颗粒组成、有机质含量的差异对土壤水分特征曲线的影响较为明显<sup>[10]</sup>,同时耕作扰动也会改变土壤孔隙几何尺寸,导致孔隙尺度分布状况发生变化<sup>[11]</sup>。供试土壤在质地、容重、温度等一致条件下,土壤结构和孔隙尺度分布不同是造成其差异的主要原因。

从土层来看(图 1),0—20 cm 土层原状土与扰动土水分特征曲线差异小于 20—40 cm 和 40—60 cm 土层。这可能是其上下土层之间容重差异造成的,0—20 cm 土层容重为 1.29 g/cm<sup>3</sup>,远低于 20—40 cm 与 40—60 cm 的 1.50 与 1.56 g/cm<sup>3</sup>,土壤容重的不同导致了土壤孔隙度的差异,因而土壤对水分的保持能力也有所不同。有研究表明<sup>[12]</sup>,土壤容重是影响土壤导气率的主要因素,土壤孔隙由气相和液相两部分组成,因此在其他因素一致的情况下土壤容重也是影响土壤水分特征曲线的主要因素。土壤内部大中小孔隙比例随容重变化在土层上表现为:0—20 cm 土层土壤大中孔隙占据比例较高,而小孔隙比例相对较小,随土层的加深土壤容重增大,土壤大孔隙比例减小,中小孔隙比例增加。扰动土经风干磨碎,回填

后土壤孔隙趋于均匀,与原状土相比孔隙尺度分布发生了较大变化,回填土壤容重较小时,由于土壤内部大量的大孔隙存在,在施加压力后大孔隙所持有的水分便释放出来,因而 0—20 cm 土层差异最小。而土壤容重较大时土壤内部以均匀的中小孔隙为主,少量

大孔隙内保持的水分在压力较小时就迅速释放出来,而中小孔隙水分释放则相对滞后。由此可见,对于容重较大的土壤,采用原状土能够更好地反映因耕作扰动改变土壤孔隙几何尺寸,导致孔隙尺度分布状况发生变化而引起的土壤持水状况的差异。

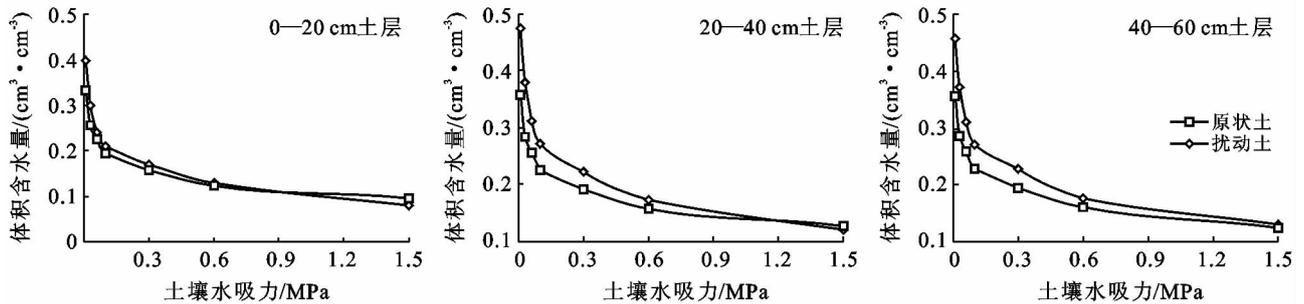


图 1 不同土层原状土与扰动土水分特征曲线

为了进一步明确原状土与扰动土对水分特征曲线的影响,就土壤水吸力和土壤含水量的关系进行拟合(表 2)。方程参数  $A$  决定了曲线的高低,即持水能力大小,其数值越大,持水能力越强;参数  $B$  决定曲线的走向。原状土各土层参数  $A$  和  $B$  均小于扰动土,表明在水吸力一定时,原状土含水量低于扰动土。从相关系数来看,原状土均高于扰动土,表明幂函数方程对原状土水分特征曲线的拟合优于扰动土。

表 2 原状土与扰动土含水量与土壤水吸力关系

土壤	层次/cm	参数 A	参数 B	拟合方程	相关系数
原状土	0—20	0.194	0.245	$\theta=0.295S^{-0.245}$	0.992
	20—40	0.227	0.204	$\theta=0.323S^{-0.204}$	0.994
	40—60	0.229	0.203	$\theta=0.329S^{-0.203}$	0.988
扰动土	0—20	0.209	0.302	$\theta=0.209S^{-0.302}$	0.975
	20—40	0.271	0.266	$\theta=0.271S^{-0.266}$	0.984
	40—60	0.272	0.246	$\theta=0.272S^{-0.245}$	0.985

注: $\theta$ 为土壤含水量; $S$ 为土壤水吸力。

## 2.2 土壤水分物理性质

土壤水分物理性质受多方面因素的影响,其中人为耕作对土壤水分物理性质的影响较大<sup>[13-14]</sup>,设施栽培使土壤水分物理特性较露地土壤存在较大差异。

由表 3 可知,回填的均质扰动土毛管孔隙度在 0—40 cm 土层与原状土较接近,40—60 cm 土层与原状土差异较大;总孔隙度在 0—20 cm 土层和 40—60 cm 土层较接近,20—40 cm 差异较大;田间持水量的差异表现为由上层到下层逐渐减小的趋势;各层凋萎含水量差异较小;有效水分含量的差异由上层到下层呈逐渐减小的趋势。

从剖面变化来看,扰动土的毛管孔隙度、总孔隙度和凋萎含水量在剖面上变化趋势与原状土一致,但是毛管孔隙度上下层土壤之间的差异较原状土小,而总孔隙度和凋萎含水量整体差异较小。原状土毛管孔隙度在 0—60 cm 土层内上层比下层高 10.78%,而扰动土仅为 4.43%;原状土总孔隙度上层比下层高 11.65%,扰动土上层与下层之差则为 12.09%;原状土凋萎含水量上层比下层低 2.80%,扰动土上层比下层低 3.51%。原状土田间持水量和有效水含量在剖面中表现为由上层到下层逐渐降低的变化趋势,而扰动土变化趋势不明显。出现这种差异是因为原状土下层土壤基本无大孔隙,回填后扰动土不能达到原状孔隙状况,因此用扰动土反映不出有效水含量在土壤剖面上的变化。

表 3 原状土与扰动土水分物理性质

土壤	层次/cm	毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	田间持水量/%	凋萎含水量/%	有效水含量/%
原状土	0—20	44.08	54.94	42.08	9.64	32.44
	20—40	43.57	52.72	41.57	12.61	28.96
	40—60	33.30	43.29	31.30	12.44	18.86
扰动土	0—20	44.77	54.75	32.95	9.75	23.20
	20—40	44.25	43.68	38.07	12.94	25.13
	40—60	40.34	42.66	34.84	13.26	21.58

### 2.3 土壤比水容量与供水性能

土壤的供水性能是指在一定条件下土壤对植物生理需水的供给能力,这种能力的强弱在很大程度上取决于土壤的有效水储量<sup>[14]</sup>。比水容量( $C_\theta$ )表示单位吸力变化时单位质量土壤可释放或储存的水量,是评价土壤水分有效性、供水性和耐旱性的重要指标<sup>[15-17]</sup>,在数值上等于土壤水分特征曲线的斜率。

由表 4 可知,原状土不同土层比水容量变化较小,随土壤水吸力的增加,比水容量逐渐降低,土壤的供水性能随着土壤水吸力的增加也呈递减的变化趋

势。在整个 0.01~1.5 MPa 吸力阶段内,扰动土的比水容量均大于原状土,0.01,0.06 MPa 扰动土  $C_\theta$  比原状土大 1 个数量级,说明其释放出的水分远大于原状土。这是因为扰动土改变了土体内部孔隙尺寸,原状土孔隙大小差异很大,而扰动土孔隙趋于均匀;原状土中由气相占据而不能保持水分的大孔隙被打破,变成能束缚水分的相对较小的孔隙,而原状土中的由不动水体占据的毛细孔隙被磨碎后变成了相对较大的孔隙,其内部水分变成了有效水,进而提高了其释放和蓄存水分的能力。

表 4 原状土与扰动土比水容量变化特征

实验土壤	层次/ cm	土壤水吸力/MPa						
		0.01	0.03	0.06	0.1	0.3	0.6	1.5
原状土	0—20	$8.38 \times 10^{-1}$	$2.13 \times 10^{-1}$	$8.99 \times 10^{-2}$	$4.76 \times 10^{-2}$	$1.21 \times 10^{-2}$	$5.11 \times 10^{-3}$	$1.63 \times 10^{-3}$
	20—40	$7.41 \times 10^{-1}$	$1.97 \times 10^{-1}$	$8.57 \times 10^{-2}$	$4.63 \times 10^{-2}$	$1.23 \times 10^{-2}$	$5.36 \times 10^{-3}$	$1.78 \times 10^{-3}$
	40—60	$7.44 \times 10^{-1}$	$1.98 \times 10^{-1}$	$8.61 \times 10^{-2}$	$4.66 \times 10^{-2}$	$1.24 \times 10^{-2}$	$5.39 \times 10^{-3}$	$1.79 \times 10^{-3}$
扰动土	0—20	1.26	$3.01 \times 10^{-1}$	$1.22 \times 10^{-1}$	$6.29 \times 10^{-2}$	$1.50 \times 10^{-2}$	$6.11 \times 10^{-3}$	$1.85 \times 10^{-3}$
	20—40	1.33	$3.31 \times 10^{-1}$	$1.38 \times 10^{-1}$	$7.21 \times 10^{-2}$	$1.79 \times 10^{-2}$	$7.46 \times 10^{-3}$	$2.34 \times 10^{-3}$
	40—60	1.18	$3.00 \times 10^{-1}$	$1.27 \times 10^{-1}$	$6.70 \times 10^{-2}$	$1.70 \times 10^{-2}$	$7.18 \times 10^{-3}$	$2.29 \times 10^{-3}$

## 3 结论

(1) 扰动土和原状土的水分特征曲线变化趋势较为一致,但土壤水吸力相同时,原状土各土层含水量均低于扰动土,低吸力阶段扰动土与原状土差异随容重增加而逐渐增大。

(2) 扰动土的毛管孔隙度、总孔度和凋萎含水量在剖面上的变化趋势均与原状土较为一致,其中毛管孔隙度剖面变化幅度小于原状土,而总孔度和凋萎含水量在剖面上的变化和原状土相似;扰动土和原状土之间田间持水量和有效水含量差异较大。

(3) 原状土水分特性差异较明显,扰动土水分特性差异较小,因此在进行土壤水分运动的模拟研究中以原状土的反映效果最优,若用扰动土进行研究应充分考虑其试验结果与田间土壤存在的差异。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 杨其长,魏灵玲,刘文科,等. 中国设施农业研究现状及发展战略[J]. 中国农业信息,2012(11):22-27.  
 [2] 王鹏,张玉龙,任琳,等. 基于渗灌的不同灌水量对保护地土壤有机质及氮素的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2008,39(2):191-196.  
 [3] 黄毅,张玉龙. 保护地生产条件下的土壤退化问题及其防治对策[J]. 土壤通报,2004,35(2):212-216.  
 [4] 郑子成,李廷轩,何淑勤,等. 保护地土壤生态问题及其防治措施的研究[J]. 水土保持研究,2006,13(1):18-20,53.  
 [5] 余海英,李廷轩,周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土

壤性质的影响[J]. 土壤,2005,37(6):581-586.

[6] 王焕之,吕军. 红壤地区三种不同母质发育土壤的水分特性差异[J]. 水土保持学报,2001,15(2):68-71.  
 [7] 曹广明,李英年. 高寒地区寒洞锥形土的持水特性[J]. 土壤,1998,30(1):27-30.  
 [8] 武天云,邓娟珍. 覆盖黑垆土的持水性及抗旱性研究[J]. 干旱地区农业研究,1995,13(13):33-37.  
 [9] 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(2):136-140.  
 [10] 夏卫生,雷廷武,刘贤赵,等. 土壤水分特征曲线的推算[J]. 土壤学报,2003,42(2):312-315.  
 [11] 许迪, Schmid R, Mermoud A. 耕作方式对土壤水动态变化及夏玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,1999,15(3):101-106.  
 [12] 王卫华,王全九,樊军. 原状土与扰动土导气率、导水率与含水率的关系[J]. 农业工程学报,2008,24(8):25-29.  
 [13] 张国盛, Chan K Y, Li G D, 等. 长期保护性耕种方式对农田表层土壤性质的影响[J]. 生态学报,2008,26(8):2722-2728.  
 [14] 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.  
 [15] 张景略,苗付山. 黄泛平原不同质地土壤的持水特性[J]. 土壤学报,1985,22(4):350-355.  
 [16] 窦建德,王绪芳,熊伟,等. 宁夏六盘山北侧 5 种典型植被的土壤持水性能研究[J]. 林业科学研究,2006,19(3):301-306.  
 [17] 沈思源,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):34-43.