

# 原状土与填装土水分特征曲线及孔隙分布的比较研究

王守刚,刘小粉\*,刘春增,李本银,薛毅芳

(河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所,河南 郑州 450002)

**摘要:** 对原状土和填装土的水分特征曲线和土壤孔隙分布进行比较研究,以期为合理进行农业耕作提供依据。结果表明,原状土和填装土的测定曲线相交于  $pF=2.7$ ,当  $0 \leq pF < 2.7$  时,填装土含水量大于原状土,而当  $2.7 < pF \leq 4.2$  时,原状土含水量大于填装土。原状土破坏后,土壤水分特征曲线平滑度变差,说明土壤孔隙连续性遭到破坏;土壤导水和储水孔隙的总孔隙度增加 42.3%,但由于孔隙连续性变差,仍将不利于作物有效吸水。因此,实际生产中,建议适当降低犁耕强度和频率,以保持土壤结构的连续性。

**关键词:** 原状土; 填装土; 水分特征曲线; 土壤孔隙

中图分类号: S152.4 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2014)05-0066-03

## Comparative Study on Water Retention Curves and Pore Size Distribution of Intact and Repacked Soil

WANG Shou-gang, LIU Xiao-fen\*, LIU Chun-zeng, LI Ben-yin, XUE Yi-fang

(Institute of Plant Nutrient and Environmental Resources, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** This paper studied the water retention curves and pore size distribution of intact and repacked soil. The results showed that the measured water retention curves of intact and repacked soil met at  $pF=2.7$ . When  $0 \leq pF < 2.7$ , water content of the repacked soil was higher than that of the intact soil, and the reversed result was true when  $2.7 < pF \leq 4.2$ . After the intact soil was disturbed, the water retention curve became less smooth, indicating that the connection of soil pores became worse; the total porosity increased by 42.3%, but the plants took up water less freely due to the worse connection of soil pore. Therefore, the tillage practice should be properly limited to keep soil natural structure.

**Key words:** intact soil; repacked soil; water retention curve; soil pore

土壤水分特征曲线指土壤含水量与基质势之间的关系曲线<sup>[1]</sup>,取决于土壤结构及土壤的孔隙分布状况,因而直接或间接地与土壤通气性、导水性以及水分对作物的有效性有关,是研究土壤水分和溶质运动、植物根系分布以及土壤呼吸的最重要指标之一。沙箱法可以测定低吸力条件下(0~100 hPa)土

壤基质势与含水量的关系<sup>[2]</sup>;压力板法可以测定高吸力条件下(100~15 000 hPa)土壤基质势与含水量的关系<sup>[3]</sup>。为此,同时利用沙箱和压力板法来测定土壤脱湿曲线,以明确原状土和填装土水分特征曲线及土壤孔隙分布的差异,为合理进行农业耕作提供依据。

收稿日期:2013-10-08

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201103005);中国科学院重点部署项目(CXJQ120112);河南省省院科技合作项目(112106000018)

作者简介:王守刚(1978-),男,河南安阳人,助理研究员,硕士,主要从事土壤微生物、绿肥资源评价与利用方面的研究。

E-mail: wsg\_1215@126.com

\* 通讯作者:刘小粉(1985-),女,河南上蔡人,助理研究员,博士,主要从事生态农业研究与推广、绿肥资源利用及土壤过程定量化方面的研究。E-mail: liuxiaofenok@126.com

1 材料和方法

1.1 样品采集与处理

试验所用土壤样品采自河南省农业科学院原阳试验田。用 1 cm 高小环刀从田间采取原状土,底部用滤纸包被,并用橡皮筋固定用于测定原状土的水分特征曲线;待原状土测定完毕,把原状土磨碎并过 2 mm 筛,重新填装到原环刀中,用于测定填装土的水分特征曲线。样品共有 3 个重复。

1.2 土壤水分特征曲线测定及拟合

采用沙箱法测定以下低吸力点:0、10、20、40、60、80 hPa;压力板法测定以下高吸力点 100、300、500、1 000、15 000 hPa。采用 van Genuchten<sup>[4]</sup>建立的 $\theta(h)$ 函数式(1)拟合实际测定的土壤含水量和基质势数据,同时利用 Excel 中的规划求解命令,求得参数的最优值。

$$\theta = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_{\text{res}} \tag{1}$$

式中, $\theta$  为含水量; $\theta_{\text{sat}}$  为饱和含水量(基质吸力等于 0 时的土壤含水量); $\theta_{\text{res}}$  为残余含水量(基质吸力在 15 000 hPa 时的土壤含水量), $\theta_{\text{res}}$  被设定为常数; $h$  为基质吸力; $\theta_{\text{sat}}$ 、 $m$ 、 $n$ 、 $\alpha$  是需要拟合的参数 [ $\alpha > 0, m = 1 - 1/n (n > 1, 0 < m < 1)$ ]。

1.3 土壤孔隙大小和孔隙度计算

土壤孔隙当量孔径( $D$ )计算公式为  $D = 300/h$ 。与当量孔径对应的孔隙度由土壤水分特征曲线上相应的含水量差计算求得。

2 结果与分析

2.1 原状土和填装土的水分特征曲线比较

依据 van Genuchten 模型得到原状土和填装土的拟合参数(表 1)和拟合曲线(图 1)。由图 1 可以看出,无论是测定值还是拟合值,原状土和填装土水分特征曲线均存在明显差异。原状土的测定曲线和拟合曲线基本重合,拟合复相关系数( $R^2$ )高达 0.999,而填装土的  $R^2$  为 0.981(表 1)。

表 1 van Genuchten 模型拟合参数及实测曲线与拟合曲线的相关度

处理	$\alpha$	$n$	$\theta_{\text{sat}} / (\text{g/g})$	$\theta_{\text{res}} / (\text{g/g})$	$\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}} / (\text{g/g})$	$m$	$R^2$
原状土	0.219	1.208	0.390	0.082	0.308	0.172	0.999
填装土	0.057	1.212	0.446	0	0.446	0.175	0.981

从图 1 可以看出,原状土和填装土的测定曲线相交于 pF(土壤基质势绝对值的常用对数)为 2.7 处,当  $0 \leq \text{pF} < 2.7$  时,填装土含水量大于原状土;而当  $2.7 < \text{pF} \leq 4.2$  时,原状土含水量大于填装土。

原状土和填装土的拟合曲线大致相交于 pF 为 3.0 处,当  $0 \leq \text{pF} < 3.0$  时,填装土含水量大于原状土,而当  $3.0 < \text{pF} \leq 4.2$  时,原状土含水量大于填装土。由此可见,当土壤颗粒大小分布和结构排列发生变化时(即原状土遭到机械破碎变成填装土),其在同一吸力下的持水能力产生差异。另外,原状土曲线的平滑性和自然弧度明显比填装土流畅,说明填装过程破坏了土壤孔隙结构的连续性。这种情况在频繁犁耕时易发生,因此,应合理安排犁耕强度与耕作频率,防止土壤孔隙连续性变差而影响作物有效吸水。

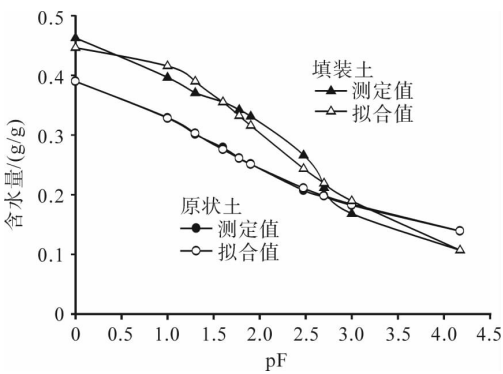


图 1 原状土和填装土的水分特征曲线

土壤水分特征曲线反映了土壤水和土壤固体的相互作用关系,是分析土壤水保持和运动最基本的资料之一,主要受土壤颗粒组成和孔隙结构等因素影响。本研究中,原状土和填装土的土壤颗粒组成相同,因此,导致两者水分特征曲线差异的原因主要是土壤结构的变化,即由土壤颗粒大小和排列变化引起的土壤孔隙含量分布和连续性的变化。

2.2 原状土和填装土孔隙度分布差异

由表 2 可以看出,土壤由原状土变成填装土后,孔隙大小、分布也随之变化,主要表现在  $> 50 \mu\text{m}$  孔隙的孔隙度主要呈减少趋势,由原来的 19.6% 减少到 17.8%,减少了 9.2%,而  $< 37.5 \mu\text{m}$  孔隙的孔隙度呈增加趋势,由原来的 17.0% 增加到 29.2%,增加了 71.7%。其中,150~300  $\mu\text{m}$ 、75~150  $\mu\text{m}$  和 50~75  $\mu\text{m}$  孔隙的孔隙度分别降低 7.3%、32.4% 和 29.6%,而 10~37.5  $\mu\text{m}$ 、6~10  $\mu\text{m}$  和 3~6  $\mu\text{m}$  孔隙的孔隙度分别增加了 0.4 倍、4.8 倍和 2.0 倍。

前人定义孔径大于 150  $\mu\text{m}$  的孔隙为在重力作用下可以自由排水的孔隙<sup>[5]</sup>,30~150  $\mu\text{m}$  的孔隙为导水孔隙,0.2~30  $\mu\text{m}$  的孔隙为储水孔隙<sup>[6]</sup>。导水孔隙和储水孔隙对改善土壤—作物—水分的关系、维持良好的土壤结构、保持作物和微生物利用的有效水分均起着非常重要的作用<sup>[7]</sup>。由表 2 可以看出,土壤由原状变成填装后,重力排水孔隙的孔隙度

基本没有变化,由原来的 13.5% 变为 13.6%; 导水孔隙 (37.5~150  $\mu\text{m}$ ) 的孔隙度由 7.6% 减少到 5.8%, 减少了 23.7%; 储水孔隙 (2~37.5  $\mu\text{m}$ ) 的孔隙度由 17.0% 增加到 29.2%, 增幅高达 70.8%。总之, 填装土导水和储水孔隙的总孔隙度较原状土

增加 (从 24.6% 增加到 35.0%), 增幅达 42.3%, 看似土壤导水和储水整体能力增强, 但填装过程必然破坏土壤导水和储水孔隙的连续性, 不利于作物有效吸水。因此, 建议农事管理时适当降低犁耕强度和频率。

表 2 原状土和填装土的孔隙度

%

处理	当量孔径/ $\mu\text{m}$								
	>300	150~300	75~150	50~75	37.5~50	10~37.5	6~10	3~6	2~3
原状土	9.4	4.1	3.4	2.7	1.5	6.7	1.4	2.1	6.8
填装土	9.8	3.8	2.3	1.9	1.6	9.6	8.1	6.4	5.1

### 3 结论

本研究利用沙箱和压力板法测定了原状土和填装土的水分特征曲线, 结果表明, 原状土和填装土的测定曲线相交于 pF 为 2.7 处, 当  $0 < \text{pF} < 2.7$  时, 填装土含水量大于原状土; 而当  $2.7 < \text{pF} \leq 4.2$  时, 原状土含水量大于填装土。原状土破坏后, 土壤水分特征曲线平滑度变差, 说明土壤孔隙连续性遭到破坏。土壤结构遭到破坏后, 土壤孔隙分布也随之变化, 尽管土壤填装后使土壤导水和储水孔隙的总孔隙度增加, 但孔隙连续性变差, 不利于作物有效吸水。因此, 在实际生产中, 建议适当降低犁耕强度和频率, 以保持土壤结构的连续性。

#### 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] Reeve M J, Carter A D. Water release characteristic [M]. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991: 111-160.
- [3] Dane J H, Hopmans J W. Water retention and storage [M]. Wisconsin: Madison, Inc., 2002: 680-690.
- [4] van Genuchten M T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils [J]. Soil Sci Soc Am J, 1980, 44: 892-898.
- [5] Bhattacharyya K, Prakash V, Kundu S, *et al.* Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas [J]. Soil Till Res, 2006, 86: 129-140.
- [6] Pagliai M, Raglione M, Panini T, *et al.* The structure of two alluvial soils in Italy after 10 years of conventional and minimum tillage [J]. Soil Till Res, 1995, 34: 209-223.
- [7] Greenland D J. Soil management and soil degradation [J]. J Soil Sci, 1981, 32: 301-322.

(上接第 47 页)

- [12] Osborne B G, Fearn T, Hindle P H. Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis [M]. London: Longman Scientific and Technical, 1993: 227.
- [13] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 14772-2008 食品中粗脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 国家技术监督局. GB/T 5009.5-2010 食品中蛋白质的测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [15] 黄纪念, 宋国辉, 孙强, 等. HPLC 测定芝麻油中木脂素类化合物含量研究 [J]. 中国粮油学报, 2011, 26 (1): 120-123.
- [16] Wu J G, Shi C H, Zhang X M. Estimating the amino

acid composition in the milled rice powder by near-infrared reflectance [J]. Field Crops Research, 2002, 75: 1-7.

- [17] Sato T, Maw A A, Katsuta M. Nondestructive near-infrared reflectance spectroscopic analyses of the major constituent of sesame (*Sesamum indicum* L.) whole seeds with different coat color [J]. Plant Production Science, 2004, 7: 363-366.
- [18] Rangkadilok N, Pholphana N, Mahidol C, *et al.* Variation of sesamin sesamol and tocopherols in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds and oil products in Thailand [J]. Food Chemistry, 2010, 122: 724-730.