

# 棕壤和褐土的持水性及供水能力

依艳丽 冯永军\* 刘孝义

(沈阳农业大学)

## 摘 要

本文对辽宁、山东两省的棕壤和褐土进行了土壤水分特征曲线及有关土壤水分物理性质的测定,探讨了棕壤和褐土的保水、释水能力,为该地区合理利用和调控土壤水分提供了一定的土壤学依据。

棕壤和褐土为山东、辽宁两省作物生产的主要土壤类型。土壤水分由于时空变异,往往制约该地区农业生产,尤其是褐土区农田水资源短缺,已成为该地区持续农业的限制因素。深入分析研究该地区农田土壤水分的保持和供给能力,可为确定调节土壤水分的技术措施提供一定的理论依据。

## 一、供试土样和试验方法

供试土样为辽宁和山东两省的棕壤和褐土,所用的土样均为通过 1mm 筛的风干土。供试土壤的有机质含量及其基本物理性质列于表 1。

土壤持水特性分别用水汽压法和压力膜法测定,质地及土壤微团聚体测定用吸管法<sup>[1]</sup>;土壤比表面用动力平衡法中的醋酸钾法<sup>[2]</sup>。本文中水分含量单位均为容积百分数。

## 二、试验结果与讨论

### (一)土壤持水特征曲线

土壤持水特征曲线为土壤吸力  $S(-\psi_m)$  与土壤含水量  $\theta_v$  之间的相关曲线(本试验为土壤脱水过程曲线)。图 1、2 为两种土壤表层(0—20cm)和底层(60—80cm)土壤水分特征曲线。图 1 表明,当土壤(0—20cm)吸力为  $0.1 \times 10^5 \text{ Pa}$  时,山东的棕壤和褐土的持水量均大于辽宁的两种土壤(前者的持水量为 35.2% 和 50.0%,而后者则为 30.9% 和 32.7%);土壤持水力达  $0.3 \times 10^5 \text{ Pa}$  以上时,山东的棕壤和褐土持水量低于辽宁的棕壤和褐土;在土壤持水力为  $3 \times 10^5 - 15 \times 10^5 \text{ Pa}$  时,山东的两种土壤持水量与辽宁两种土壤的持

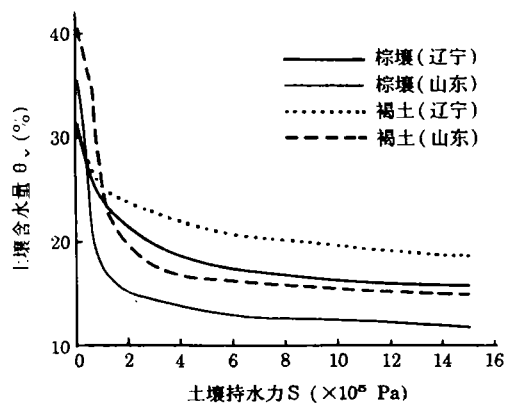


图 1 0—20cm 土层土壤持水特征曲线

\* 山东农业大学副教授

水量之比呈平行降低趋势。土壤吸力为  $15 \times 10^5 \text{Pa}$  时, 辽宁棕壤持水量为 16.2%, 褐土为 19.2%, 而山东棕壤和褐土的持水量分别为 12.6% 和 11.0%。这说明,  $0-20 \text{cm}$  土层的辽宁两种土壤在持水力小于  $0.3 \times 10^5 \text{Pa}$  时, 土壤供水能力不及山东的两种土壤, 持水力大于  $0.3 \times 10^5 \text{Pa}$  ( $0.3 \times 10^5-15 \times 10^5 \text{Pa}$ ) 时, 辽宁两种土壤的保水能力强于山东的两种土壤。这与土壤的有机质、 $<0.001 \text{mm}$  粘粒的数量和土壤比表面积大小(表 1)密切相关。

表 1 供试土壤的基本物理性质

土 壤	层 深 (cm)	有机质 (g/kg)	容 重 (g/cm <sup>3</sup> )	孔隙度 (%)	颗粒含量(%)		微团聚体(%)		比表面 (m <sup>2</sup> /g)
					<0.01 mm	<0.001 mm	<0.01 mm	<0.001 mm	
棕 壤 (辽宁)	0-20	14.4	1.29	51.3	33.1	19.5	13.0	6.5	75.53
	20-40	5.4	1.35	49.1	45.5	26.9	18.3	9.2	106.36
	40-60	5.6	1.35	49.1	47.8	27.5	24.9	12.5	112.21
	60-80	4.8	1.42	46.4	44.3	23.3	29.7	14.8	112.39
	80-100	4.2	1.47	44.5	44.2	22.9	32.5	16.2	109.44
棕 壤 (山东)	0-20	8.0	1.26	52.5	27.8	7.6	15.5	3.3	71.20
	20-40	7.2	1.43	46.0	30.2	11.4	15.5	4.4	74.09
	40-60	7.7	1.44	45.7	37.8	12.2	23.0	5.2	95.77
	60-80	4.8	1.48	44.2	38.7	10.5	26.5	5.1	109.14
	80-100	4.2	1.57	40.8	37.9	13.4	24.1	4.3	108.42
褐 土 (辽宁)	0-20	11.6	1.35	49.1	31.4	16.5	9.96	1.5	98.07
	20-40	4.5	1.46	44.9	37.6	19.9	12.3	2.9	122.94
	40-60	4.5	1.46	44.9	39.6	21.6	12.0	3.6	123.47
	60-80	5.2	1.30	50.9	37.2	20.7	14.6	2.8	107.12
	80-100	4.9	1.34	49.4	52.2	27.2	15.8	4.8	107.51
褐 土 (山东)	0-20	10.0	1.29	51.3	29.8	14.6	6.7	1.2	62.16
	20-40	6.0	1.42	46.4	27.0	14.1	6.1	1.2	58.91
	40-60	5.2	1.48	44.2	28.4	14.4	7.3	1.2	59.27
	60-80	4.7	1.45	45.3	32.7	17.4	10.0	2.7	66.14
	80-100	4.6	1.41	46.8	40.9	21.4	12.3	2.5	84.57

图 2 为 60—80cm 土层 4 种土壤持水特征曲线。从图 2 曲线变化可知,  $<0.3 \times 10^5 \text{Pa}$  吸力时, 山东棕壤和褐土的持水量也大于辽宁的两种土壤, 而在  $0.3 \times 10^5-15 \times 10^5 \text{Pa}$  吸力范围内, 两地的棕壤的持水量均高于两地的褐土, 山东褐土的持水量最低。由此反映出褐土底土保水能力最差。这种土壤持水量的大小与粘粒的移动淀积有关。

## (二)土壤当量孔隙和水容量

### 1. 土壤当量孔隙

土壤当量孔隙是根据茹林公式求得的。是指一定土壤水吸力(S)范围内的土壤相应孔隙中所保持的水量, 它可以在一定程度上反映土壤持水特性, 土壤水分有效性及其移动性。

表 2 为计算的部分供试土壤的当量孔隙。从表 2 可以看到,  $0-100 \text{cm}$  土层辽宁棕壤和褐土有效孔隙( $0.04-0.0002 \text{mm}$ )分别为 19.2—20.4% 和 21.1—23.7%, 辽宁褐土的有效孔隙及有效孔隙与无效孔隙比值均大于辽宁棕壤。两种土壤  $0-80 \text{cm}$  土层的  $>0.1 \text{mm}$  当量孔隙(水分易移动孔隙)分别为: 棕壤 5.5—8.4%, 褐土 7.5—11.2%, 即褐土大于棕壤。两种土壤  $80-100 \text{cm}$  土层  $>0.1 \text{mm}$  当量孔隙显著下降: 棕壤下降了 60.1—142.9%, 褐土下降达 10—20 倍。

### 2. 土壤水容量

表2 土壤当量孔隙(%)

土壤	土层 (cm)	吸力 ( $\times 10^5$ Pa)									有效 孔隙 / 无效 孔隙
		$\leq 0.03$	0.03-0.08	0.08-0.3	0.3-0.5	0.5-3.0	3.0-6.0	6.0-15.0	0.08-15	$> 15$	
		孔径 (mm)									
		$> 0.1$	0.1-0.04	0.04-0.01	0.01-0.06	0.06-0.001	0.001-0.005	0.005-0.0002	0.04-0.0002	$< 0.0002$	
棕壤 (辽宁)	0-20	8.4	1.3	11.0	0.3	5.4	0.8	2.8	20.2	15.2	1.33
	20-40	6.4	2.0	12.3	0.6	—	0.9	3.5	20.4	18.8	1.08
	40-60	5.5	3.1	12.8	1.7	—	—	1.8	19.9	17.9	1.11
	60-80	8.0	2.2	11.2	—	—	1.7	2.4	19.7	16.8	1.18
	80-100	3.5	1.4	11.3	—	0.7	1.8	2.1	19.2	18.0	1.07
褐土 (辽宁)	0-20	7.5	2.7	11.7	—	—	1.7	3.1	21.9	11.2	1.96
	20-40	7.9	4.3	13.4	1.4	2.3	2.2	2.6	22.7	13.4	1.70
	40-60	8.9	5.7	13.5	3.1	2.5	1.8	1.2	21.1	14.1	1.50
	60-80	11.2	5.0	14.7	2.0	2.5	0.4	5.5	23.7	12.3	1.93
	80-100	0.6	5.4	14.5	2.3	0.9	3.6	1.9	23.5	13.6	1.73

土壤水容量是指土壤水分特征曲线斜率,即  $c = d\theta/dS$  (式中  $c$ —水容量;  $\theta$ —土壤容积含水量,  $S$ —土壤吸力)。  $c$  值的大小在一定程度上可以反映土壤的释水性和供水能力。就植物生长而言,  $c$  值大时, 植物吸水就容易, 土壤水分有效性高。

表3为供试的4种土壤水容量变化值, 土壤持水力在低吸力段 ( $0.1 \times 10^5 - 0.3 \times 10^5$  Pa) 时, 山东棕壤、褐土水容量远大于辽宁的两种土壤, 0—100cm 土层两地土壤  $c$  值相差约为3—4倍, 其中山东的棕壤低吸力段供水能力最大。从表3还可看出, 随土壤持水力段增大 ( $0.3 \times 10^5 - 0.5 \times 10^5$  Pa), 土壤  $c$  值降低一个数量级, 吸力段  $10.0 \times 10^5 - 15.0 \times 10^5$  Pa 时  $c$  值下降  $10^{-3}$ 。这说明, 当土壤水分处于高吸力段范围时土壤水分有效性显著降低, 此时作物吸水就需消耗较大能量。

### (三) 土壤水分有效性

表4中为4种土壤在不同吸力段时的水分状况。在探讨土壤不同吸力段水分有效性时, 许多研究者<sup>[3-5]</sup>注意到有效水中的速效水、缓效水和迟效水数量大小, 以便科学的调控土壤水分状况, 利于作物生长。分析供试的4种土样不同吸力段释水量占饱和含水量的百分数时(表5), 发现辽宁棕壤和褐土(0—40cm 和 40—100cm 土层)的重力水值均大于50%, 山东的两种土壤的重力水也在50%左右(45.6%—55.9%)。但山东棕壤和褐土的速效水占饱和水的百分比远高于辽宁的两种土壤(山东的为21.1%—28.2%, 辽宁的为7.5—9.1%), 迟效水占饱和水的百分比是辽宁的两种土壤比山东的两种土壤约高1倍以上。

由此来看, 4种土壤的持水力, 以及有效水分(毛管水, 速效水, 迟效水)的数量有明显的差

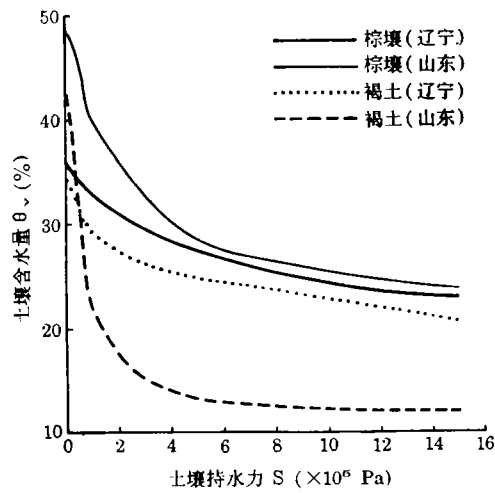


图2 60—80cm 土层土壤持水特征曲线

别,山东的两种土壤释水能力优于辽宁的两种土壤。0—40cm 土层的土壤释水性能,两省均以棕壤高于褐土。

表 3 土壤水容量( $c=d\theta/dS$ )变化值

土 壤	土 层 (cm)	水容量(ml/g · 10 <sup>5</sup> Pa)					
		0.1~0.3	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~3.0	3.0~6.0	6.0~15
棕 壤 (辽宁)	0—20	1.08×10 <sup>-1</sup>	8.15×10 <sup>-2</sup>	2.44×10 <sup>-2</sup>	1.37×10 <sup>-2</sup>	5.73×10 <sup>-3</sup>	2.13×10 <sup>-3</sup>
	20—40	0.92×10 <sup>-1</sup>	5.75×10 <sup>-2</sup>	1.50×10 <sup>-2</sup>	1.20×10 <sup>-2</sup>	4.57×10 <sup>-3</sup>	3.17×10 <sup>-3</sup>
	40—60	0.82×10 <sup>-1</sup>	4.75×10 <sup>-2</sup>	1.56×10 <sup>-2</sup>	1.47×10 <sup>-2</sup>	5.03×10 <sup>-3</sup>	2.89×10 <sup>-3</sup>
	60—80	0.89×10 <sup>-1</sup>	4.65×10 <sup>-2</sup>	1.84×10 <sup>-2</sup>	1.59×10 <sup>-2</sup>	3.10×10 <sup>-3</sup>	3.18×10 <sup>-3</sup>
	80—100	0.72×10 <sup>-1</sup>	5.60×10 <sup>-2</sup>	1.88×10 <sup>-2</sup>	1.31×10 <sup>-2</sup>	4.27×10 <sup>-3</sup>	2.94×10 <sup>-3</sup>
棕 壤 (山东)	0—20	4.00×10 <sup>-1</sup>	2.03×10 <sup>-1</sup>	5.18×10 <sup>-2</sup>	5.23×10 <sup>-3</sup>	3.77×10 <sup>-3</sup>	2.60×10 <sup>-3</sup>
	20—40	4.42×10 <sup>-1</sup>	1.24×10 <sup>-1</sup>	7.16×10 <sup>-2</sup>	6.55×10 <sup>-3</sup>	2.93×10 <sup>-3</sup>	2.48×10 <sup>-3</sup>
	40—60	4.52×10 <sup>-1</sup>	1.41×10 <sup>-1</sup>	7.32×10 <sup>-2</sup>	3.49×10 <sup>-3</sup>	1.08×10 <sup>-3</sup>	1.36×10 <sup>-3</sup>
	60—80	4.53×10 <sup>-1</sup>	2.47×10 <sup>-1</sup>	1.00×10 <sup>-2</sup>	2.13×10 <sup>-3</sup>	1.27×10 <sup>-3</sup>	1.50×10 <sup>-3</sup>
	80—100	4.70×10 <sup>-1</sup>	2.40×10 <sup>-1</sup>	8.60×10 <sup>-2</sup>	3.14×10 <sup>-3</sup>	1.19×10 <sup>-3</sup>	1.01×10 <sup>-3</sup>
褐 土 (辽宁)	0—20	1.19×10 <sup>-1</sup>	6.85×10 <sup>-2</sup>	3.22×10 <sup>-2</sup>	7.60×10 <sup>-3</sup>	5.57×10 <sup>-3</sup>	1.66×10 <sup>-3</sup>
	20—40	0.96×10 <sup>-1</sup>	6.65×10 <sup>-2</sup>	2.16×10 <sup>-2</sup>	7.50×10 <sup>-3</sup>	6.17×10 <sup>-3</sup>	2.01×10 <sup>-3</sup>
	40—60	1.10×10 <sup>-1</sup>	2.90×10 <sup>-2</sup>	2.52×10 <sup>-2</sup>	10.20×10 <sup>-3</sup>	4.13×10 <sup>-3</sup>	2.83×10 <sup>-3</sup>
	60—80	0.71×10 <sup>-1</sup>	6.40×10 <sup>-2</sup>	2.62×10 <sup>-2</sup>	11.05×10 <sup>-3</sup>	4.40×10 <sup>-3</sup>	2.79×10 <sup>-3</sup>
	80—100	0.48×10 <sup>-1</sup>	0.90×10 <sup>-2</sup>	1.68×10 <sup>-2</sup>	3.80×10 <sup>-3</sup>	3.17×10 <sup>-3</sup>	2.31×10 <sup>-3</sup>
褐 土 (山东)	0—20	2.78×10 <sup>-1</sup>	1.16×10 <sup>-1</sup>	1.12×10 <sup>-1</sup>	3.38×10 <sup>-2</sup>	9.83×10 <sup>-3</sup>	2.15×10 <sup>-3</sup>
	20—40	3.40×10 <sup>-1</sup>	1.03×10 <sup>-1</sup>	—	2.99×10 <sup>-2</sup>	4.93×10 <sup>-3</sup>	1.68×10 <sup>-3</sup>
	40—60	3.06×10 <sup>-1</sup>	6.95×10 <sup>-2</sup>	1.02×10 <sup>-1</sup>	3.17×10 <sup>-2</sup>	3.53×10 <sup>-3</sup>	1.53×10 <sup>-3</sup>
	60—80	4.13×10 <sup>-1</sup>	8.85×10 <sup>-2</sup>	1.03×10 <sup>-1</sup>	2.59×10 <sup>-2</sup>	4.30×10 <sup>-3</sup>	1.72×10 <sup>-3</sup>
	80—100	2.93×10 <sup>-1</sup>	8.70×10 <sup>-2</sup>	7.96×10 <sup>-2</sup>	2.94×10 <sup>-2</sup>	6.83×10 <sup>-3</sup>	2.73×10 <sup>-3</sup>

表 4 供试土壤不同吸力段的含水量(%)

土 壤	土 层 (cm)	重力水	毛 管 水				最大吸湿水—单分子水层			
		多余水	有效水				无 效 水			
		吸 力 (×10 <sup>5</sup> Pa)								
		0—0.1	0.1—1.0	1.0—6.0	6.0—15	15—31	>31	21—2031	>2031	
棕壤(辽宁)	0—20	19.4	4.8	3.0	2.8	7.8	7.4	5.3	2.1	
	20—40	18.3	5.2	3.2	2.2	9.1	9.7	7.0	2.7	
棕壤(山东)	0—20	28.4	18.5	2.8	1.5	7.4	5.2	2.8	2.5	
	20—40	39.4	21.3	2.7	3.1	7.9	6.0	3.1	2.9	
褐土(辽宁)	0—20	27.9	3.4	3.4	0.1	9.1	6.3	4.2	2.8	
	20—40	24.5	5.0	2.7	1.5	8.5	6.5	4.2	2.2	
褐土(山东)	0—20	24.9	17.4	12.5	1.6	5.9	4.6	2.6	2.2	
	20—40	28.4	18.0	10.6	1.3	4.5	4.6	2.3	2.3	

#### (四)辽宁棕壤的水分动态变化

1994年春在辽宁棕壤上的高肥和低肥试验田中定位观测了土壤水分动态变化。1994年为平水年。4月9日—6月10日高肥和低肥试验田0—100cm土层容积含水量变动在18—26%范围内。低肥棕壤表层(0—20cm)在整个观测期中有3个时期(4月24日—5月5日,5月10日—5月20日,6月6日—6月10日)含水量较低,约为18—20%,而高肥棕壤区表层(0—20cm)只有1个时期(4月16日—4月24日)水分含量较低(18—20%),从棕壤的持水力来看,当土壤含水量达18—20%时,土壤持水力已达6—15×10<sup>5</sup>Pa左右,也就是说此阶段土壤

表 5 土壤不同吸力段的释水量占饱和水量的%

土 壤	土 层 (cm)	有 效 性				
		重 力 水	速 效 水	缓 效 水	迟 效 水	无 效 水
		吸 力( $\times 10^5\text{Pa}$ )				
		0~0.1	0.1~1.0	1.0~6.0	6.0~15	>15
棕 壤 (辽宁)	0-40	55.5	7.5	13.1	10.3	13.7
	40-100	52.7	9.1	10.7	7.0	20.6
棕 壤 (山东)	0-40	55.9	28.2	2.0	3.2	10.8
	40-100	45.6	21.3	15.3	4.3	13.6
褐 土 (辽宁)	0-40	54.3	8.8	14.4	8.1	13.5
	40-80	56.0	8.6	13.6	8.7	13.2
褐 土 (山东)	0-40	54.2	26.3	9.7	2.1	7.7
	40-100	52.5	23.8	13.1	2.0	8.6

水分处于缓效水范围,供水能力降低,为不影响作物高产丰收,此时应对土壤补充水分,所观测的辽宁高肥和低肥棕壤土壤水分含量大部分时期属于速效水范围。因此在平水年辽宁地区棕壤水分状况基本上可以满足作物生长,只有个别时期需给予补充。尤其是低肥区土壤更需补水。

### 三、小 结

测定的土壤持水特征曲线表明,土壤在持水力为  $0.1 \times 10^5\text{Pa}$  时,山东棕壤和褐土表层(0—20cm)持水量大于辽宁的两种土壤;在土壤持水力  $>0.3 \times 10^5\text{Pa}$  时,山东的两种土壤持水量则明显下降,低于辽宁的棕壤及褐土;60—80cm 底土层持水力在  $<0.3 \times 10^5\text{Pa}$  时,山东的两种土壤持水量高于辽宁的两种土壤;当土壤持水力  $>0.3 \times 10^5\text{Pa}$  时,棕壤的持水能力均高于褐土。

山东省的棕壤和褐土速效水分占饱和水的百分比比辽宁棕壤和褐土高 2—3 倍,而迟效水所占饱和水的百分比是辽宁土壤比山东土壤多 1 倍以上。

山东省的棕壤和褐土释水能力强于辽宁的相应的两种土壤。褐土的释水能力(0—40cm 土层)均高于棕壤。

辽宁棕壤在平水年,春季时土壤(0—100cm)水分基本处于速效范围内,仅个别时期为迟效水状态。

### 参 考 文 献

- [1] 刘孝义编著,土壤物理及土壤改良研究法,第 57—64 页,上海科技出版社,1982。
- [2] 依艳丽,土壤比表面的研究,辽宁农业科学,第 6 期,1986。
- [3] 刘孝义,东北地区主要土壤持水特性的研究,沈阳农学院学报,第 2 期,31—37 页,1985。
- [4] 陆锦文等,根据土壤水力学性质估算灌溉需要量,土壤水和养分的有效利用,第 1—7 页,北京农业大学出版社。
- [5] Liu xiao yi, Water-Holding Characteristics of some major soils in Northeast China, Current Progress in soil research in people's Republic of China, 10—16, Jiangsu science and technology publishing house, 1986。