

# 缓丘坡耕地模拟降雨及土壤通透性研究\*

杨艳生

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

## 摘 要

利用模拟降雨试验,对发育于红砂岩、千枚岩、第四纪红色粘土母质的赣北丘陵旱作红壤和下蜀黄土母质的宁镇丘陵区旱作黄棕壤,进行了水土流失量、土壤水分特征曲线、室内外土壤通透性等测定,并建立了相应的关系方程。结果表明,耕种黄棕壤较耕种红壤,水土流失更为严重,而且亚表层土壤性质对水土流失有重要影响。在类似的模拟降雨条件下,耕种黄棕壤产生的地表径流 1525 l,径流含沙量 23.4g/l,土壤流失量 291.7t/km<sup>2</sup>,耕种红壤相应值为 621.4l,1.6g/l 和 10.8t/km<sup>2</sup>。亚表层容重、总孔隙度、有效水含量和透水速度,前者分别为 1.4,44%,20%,1.4mm/h,后者分别为 1.2,52%,21.7%,25mm/h。根据结果还提出了有关耕地夏季灌溉的建议。

为了对缓丘旱作农地的土壤流失有所了解,探索试验区土壤通透性同土壤流失的关系,于 1985,1986 年先后在江苏的句容县和江西的进贤县,开展了人工模拟降雨和有关土壤性质测试。测试区分别属江苏宁镇丘陵和江西赣北丘陵区。土壤为下蜀黄土母质的黄棕壤和第四纪红色粘土、千枚岩和红砂岩母质红壤。测试区均属该省的主要农区。开展这一研究对提高土壤耕作管理水平有现实意义。

## 一、试验设计、供试条件和测试方法

试验的目的是了解小于 10° 的丘陵区缓坡耕地土壤流失量,以及它同土壤孔隙分布、土壤通气、透水特性的关系,为此在野外选取耕种收获后的休闲地、土体厚均在一米以上地块,作如下测试:

1. 人工模拟降雨试验:在 6 个试验区进行测试。并在不同降雨时段测出地表径流和相应土壤流失量<sup>[4]</sup>。

2. 进行土壤透水和通气状况测定,寻找土壤流失量同土壤通透性间的关系。

3. 在模拟降雨前后和降雨过程中,进行土壤剖面不同时间土壤含水量测定,了解水分下渗速度。

由于土壤的流失量、土壤通气透水和保水性能都同土壤孔隙度及其大小分布有关;另外,在野外作土壤透水通气测定时,会受到许多外业条件的限制,因此在室内亦作了下列项目的测试:

1. 利用环刀取样(8—12 重复),测定土壤对水分吸持力在 0.025, 0.06, 0.1, 0.3, 1, 3, 15 × 10<sup>-5</sup> Pa 时土壤含水量,以确定土壤孔隙的大小分布及其它土壤物理性质。

2. 利用上述样品测定在不同土壤含水量时的土壤通气系数。

\* 一起工作的有西德博士研究生 J. 马克思和 G. 库德先生;并得到江西省红壤研究所和江苏丘陵地区镇江农业科学研究所的协助,特此致谢。

3. 利用环刀样品进行透水测定,以建立土壤室内的透水指标。

所用的测试仪器和方法如下:

人工模拟降雨是采用西德制造的模拟降雨装置。该装置主要由两部分组成:供水部分和降水部分。供水部分的动力装置是一台 8 马力的抽水泵,并附有 500 米长的尼龙水管,以保证水源周围 500 米能开展降雨测试。水泵每小时耗混合汽油 5 公升,并保证每小时 10 立方米的降雨用水。降水部分是由一组轻质合金管连结而成。降雨范围为 110 平方米。用增减喷头的方法,以控制降雨量或降雨强度的大小。当装置十个降雨喷头时,每小时降雨量约为 5 立方米,相当于每小时 50 毫米的雨强。在降水管的进水口装有水表,随时可记录进水量。

室内的土壤水分及土壤孔隙大小分布,是采用美国土壤水分装备公司 (Soilmoisture Equipment Corp.) 出产的压力板提取器 (Pressure Membrane Extractor)。这一装置利用环刀土壤样品,可以测出土壤在不同吸持力条件下的土壤水分含量,从而可以确定土壤内不同大小的孔隙分布。对土壤容重、田间持水量、永久凋萎系数、总孔隙度、毛管孔隙度等,也能同时计算出来。通过对土壤 0.025, 0.06, 0.1, 0.3, 1, 3,  $15 \times 10^4 \text{ Pa}$  吸持力下的水分含量测定,还可以建立土壤吸持力与土壤含水量的关系方程。

土壤通气系数采用浙江农业大学设计的土壤通气仪测出。在室内测定时,将该仪器的接土管作了改进,使之通过粗皮管同环刀样品相连。通过野外及室内同一土壤通气状况的测定,找出它们间的相互关系,从而由室内测定,可以算出田间的实际土壤通气状况。此外,利用测试土壤孔隙分布的同一测试样品,同时作土壤通气测定,得到在不同土壤含水量时的土壤通气系数,从而可为土壤水气矛盾的调节提供依据。

在室内作土壤透水测定,是利用虹吸原理,让水通过土壤的环刀样品流出。土壤透水性的好坏,视水面与出水口的高差和出水量的多少进行计算确定。

## 二、测试内容及结果

### (一) 地表径流量及土壤流失量

地表径流量采用全部收集测出;径流中含泥沙量,是从出现径流起,每 5 分钟取样一次,开始时每次取径流量 1 升,15 分钟后每次取 10 升测定泥沙含量。再根据各时段径流量的多少,分别计算出相应的泥沙量,最后累加算出流失的泥沙总量。表 1 中 II、III、IV 小区为靠近的红砂岩、千枚岩和第四纪红色粘土母质发育的土壤。在夏季比较干旱的条件下,降雨三次,历时 5 小时,总雨量约 150 毫米时,均无地表径流出现。II 号小区在第四次降雨 91 分钟后,即降雨总量达 188 毫米后才开始出现径流。这三个小区在最后半小时,其径流系数仅为 0.05 左右,可见这三种土壤的透水性良好。土壤流失量以 III 号小区为最高,但在 100 升径流中,泥沙量为 1.05 公斤,折合每平方公里土壤流失为 9.57 吨,远少于土壤容许流失量 500 吨/年·平方公里的数值。II、IV 小区的流失量仅为 III 小区的 1/4—1/5,土壤流失更少。

I、V 小区选自同一块地的上下坡,相距百米,降雨时土壤水分条件较好,I 小区处于上坡,原土壤水分含量更高。V 号小区先安排降雨。这两小区分别在第一次降雨 54 分钟和 26 分钟后出现径流,降雨最后半小时的径流系数约为 0.3。全小区的土壤流失量分别是 1.12 和 3.32 公斤,折合成 10.18 吨和 30.16 吨/平方公里,按一年估算也小于土壤容许流失量值<sup>[4]</sup>。

VI 小区为耕种黄棕壤,第二次降雨 47 分钟后出现径流,径流量较大,降雨最后半小

表 1 各观测小区地表径流量(升)和土壤流失量(烘干土,公斤)

Table 1 Runoff and soil loss in test plots (oven-dried soil)

小区号 Plot No.	降雨总量 (mm) Total rain-fall (mm)	径流出现 时间* Time of beginning runoff	地表径流 总量 Total runoff (L)	径流含沙量 Soil in runoff (g/L)	土壤流失量 Soil loss		土壤及母质类型 Type of soil and parent material
					(kg)	(t/km <sup>2</sup> )	
II	255	4—91	145	1.83	0.25	2.27	红砂岩、耕种红壤
III	183	4—18	100	0.13	1.05	9.57	千枚岩、耕种红壤
IV	189	4—24	120	2.40	0.18	1.63	第四纪红色粘土、 耕种红壤
I	136	1—54	842	1.89	1.12	10.18	第四纪红色粘土、 耕种红壤(上坡)
V	124	1—26	1900	1.71	3.32	30.16	第四纪红色粘土、 耕种红壤(下坡)
VI	142	2—47	1525	23.44	32.09	291.72	下蜀黄土、耕种黄 棕壤

\* 以降雨 1 小时(约 50 毫米雨量)为 1 时段。本栏中第一位为降雨时段数,后两位为该时段分钟数。如 4—91 即为第四时段降雨 91 分钟后出现径流,亦即共降雨 5 小时 31 分钟后产生径流。

时的径流系数约为 0.4。全小区土壤流失量为 32.09 公斤,折合 291.72 吨/平方公里,若按一年当地天然降雨量 1100 毫米估算,土壤流失量将超过土壤容许流失量。

上述试验都是在降雨强度约为 50 毫米/小时条件下进行,这样的条件在测试区夏季比较常见。在这样的条件下,对耕种红壤而言,土壤以悬移质方式流失,推移质极少。因此地表径流量越大,流失的土壤也越多;在径流量相同,土壤结构相近时,土壤流失量多少就同土壤中很细砂和粉砂粒含量关系密切,含量越高,流失量越大。如 III,IV 号测区即为一例。由于千枚岩发育的红壤,含很细砂及粉砂量较高,流失量就明显增加;此外,土壤水分含量对所降雨水的保持有很大关系。在干旱条件下,在 5 小时内降落上述强度 150 毫米左右的雨水,都不致产生地表径流。但是在土壤水分含量较高的情况下,降雨半小时后即有径流出现。特别夏季暴雨雨滴显著的比模拟降雨的雨滴要大,溅蚀作用将产生比模拟降雨更大的土壤流失量;耕种黄棕壤土壤流失量大,主要一是由于土壤剖面中亚表层透水性较差,从而增大了地表径流量,二是粉砂粒含量高,其很细砂和粉砂含量高达 60—70%,因此流失的土壤中有一半左右是以推移质方式流失的<sup>[2]</sup>。

## (二) 土壤孔隙大小分布

前述说明土壤的流失同地表径流有密切关系,地表径流又同土壤的渗透性质,同土壤容重、土壤孔隙度和孔隙大小的比例有关<sup>[3]</sup>。因此进行了不同吸持力下土壤水分含量的测定和通气状况测定,计算了相应孔径的孔隙比、容重和有效含水量(见表 2,3)。通常可将 0.025 及  $15 \times 10^5 \text{ Pa}$  时土壤含水量大致作为田间持水量及永久凋萎系数。在用 100 立方厘米体积环刀测定的条件下,田间持水量克数,也就是土壤毛管孔隙的体积(立方厘米数);在永久凋萎系数时,土壤水分所占的体积亦是  $< 0.2 \mu\text{m}$  土壤孔径的空隙体积。不同孔径范围的土壤孔隙度列于表 2。据测定各测试土壤比重在 2.70—2.75,今取值为 2.7,可

表2 不同吸持力下土壤水分含  
Table 2 Moisture content, porosity and air permeability

小区号 Plot No.	吸持力 Water-holding power (bar)	孔隙孔径 Pore diameter ( $\mu\text{m}$ )	0—15cm		
			水分含量 Water content (%)	孔隙度 Porosity (%)	通气系数 Air permeability coefficient(k)
I	0.025	>1200	34.8	26.3	40.7
	0.06	1200—50	30.5	4.3	54.3
	0.1	50—30	28.6	1.9	57.3
	0.3	30—10	26.2	2.4	62.1
	1	10—1	24.2	2.0	63.6
	3	1—0.8	21.5	2.7	72.1
	15	0.8—0.2	17.2	4.3	/
II	0.025	>1200	34.0	27.1	32.6
	0.06	1200—50	30.5	3.5	41.1
	0.1	50—30	29.6	0.9	42.5
	0.3	30—10	26.5	3.1	49.7
	1	10—1	23.1	3.4	65.9
	3	1—0.8	18.9	4.2	/
	15	0.8—0.2	14.7	4.2	/
III	0.025	>1200	35.2	24.8	56.6
	0.06	1200—50	32.1	3.1	65.4
	0.1	50—30	31.5	0.6	67.6
	0.3	30—10	28.6	2.9	77.1
	1	10—1	26.7	1.9	103.7
	3	1—0.8	23.2	3.5	/
	15	0.8—0.2	19.7	3.5	/
IV	0.025	>1200	32.5	23.1	35.7
	0.06	1200—50	28.8	3.7	46.8
	0.1	50—30	27.8	1.0	48.3
	0.3	30—10	26.6	1.2	55.1
	1	10—1	25.5	1.1	69.6
	3	1—0.8	22.9	2.6	119.0
	15	0.8—0.2	16.8	6.1	/
V	0.025	>1200	39.7	14.4	6.9
	0.06	1200—50	36.2	3.5	10.9
	0.1	50—30	34.8	1.4	11.3
	0.3	30—10	31.9	2.9	12.7
	1	10—1	29.3	2.6	15.0
	3	1—0.8	27.8	1.5	/
	15	0.8—0.2	17.2	10.6	/
VI	0.025	>1200	33.4	22.2	44.3
	0.06	1200—50	30.7	2.7	49.1
	0.1	50—30	29.6	1.1	57.9
	0.3	30—10	27.8	1.8	60.6
	1	10—1	26.4	1.4	78.3
	3	1—0.8	23.6	2.8	166.3
	15	0.8—0.2	16.2	7.4	/

\* 均取 12 次重复平均值

## 量、相应孔径的孔隙度及通气系数

coefficient (k) of soil at different moisture-holding powers

15—40cm			40—60cm		
水分含量 Water content (%)	孔隙度 Porosity (%)	通气系数 Air Permeability coefficient (k)	水分含量 Water content (%)	孔隙度 Porosity (%)	通气系数 Air Permeability coefficient (k)
39.8	15.4	3.7	43.9	9.4	0.9
36.3	3.5	6.6	40.9	3.0	2.0
34.6	1.7	8.3	39.1	1.8	2.4
32.1	2.5	8.8	36.6	2.5	2.7
30.0	2.1	9.5	34.2	2.4	3.1
27.4	2.6	16.3	31.4	2.8	4.9
18.4	9.0	/	19.7	11.7	/
40.5	13.2	3.5	41.7	9.0	2.5
35.3	5.2	6.8	37.8	3.9	5.1
33.7	1.6	8.7	36.4	1.4	5.4
30.4	3.3	9.5	33.3	3.1	6.0
27.3	3.1	/	29.4	3.9	/
25.1	2.2	/	26.0	3.4	/
18.7	6.4	/	18.6	7.4	/
37.3	20.9	31.5	39.7	13.3	8.1
34.4	2.9	39.3	37.1	2.6	11.6
33.8	0.6	42.4	36.3	0.8	12.0
31.5	2.3	45.5	33.9	2.4	13.5
28.9	2.6	63.5	31.2	2.7	18.2
24.9	4.0	/	28.5	2.7	/
20.9	4.0	/	23.6	4.9	/
42.6	8.5	1.0	42.1	7.5	1.1
39.3	3.3	2.5	39.7	2.4	1.7
37.7	1.6	3.0	38.2	1.5	2.0
35.5	2.2	3.5	36.8	1.4	2.4
33.0	2.5	4.2	35.1	1.7	2.8
30.1	2.9	9.7	33.0	2.1	7.1
20.0	10.1	/	21.9	11.1	/
46.5	7.9	4.6	45.6	8.1	2.8
42.7	3.8	7.6	41.2	4.4	5.9
40.7	2.0	8.1	39.4	1.8	4.6
36.8	3.9	9.1	38.9	0.5	6.9
33.3	3.5	10.3	32.7	6.2	7.6
30.5	2.8	/	28.4	4.3	/
20.3	10.2	/	20.0	8.4	/
37.5	9.2	5.6	37.0	7.4	2.0
36.2	1.3	6.1	36.7	0.3	2.7
35.3	0.9	7.3	36.1	0.6	3.5
33.5	1.8	10.3	35.0	1.1	4.3
32.3	1.2	23.9	34.0	1.0	6.9
30.0	2.3	72.4	32.1	1.9	66.6
16.3	13.7	/	17.3	148	

算出土壤总孔隙度(表 3)。在田间持水量与永久凋萎系数间的土壤水分, 能为作物所吸收利用, 称作有效水分, 一并列于表 3。从表 2 可见, 千枚岩发育的红壤在 15 厘米以下土层中, 大孔隙所占比例较大, 土壤通气状况较好, 因而地表径流量较少; 从表 3 也可看出相应土层的土壤容重较小, 而总孔隙度较大。对耕种黄棕壤同耕种红壤相比差别更加明显, 表现为 15 厘米以下土层土壤的大孔隙比例数较小, 而微孔隙增大, 土壤容重增大, 总孔隙度减小。

利用表 2 资料, 可将不同吸持力( $x$  毫巴)和土壤含水量( $y$  百分数)之间的关系找到。

表 3 各试验区土壤容重、土壤有效水容量及总孔隙度

Table 3 The bulk density, available water capacity and total porosity of soils in test plots

小区号 Plot No.	0-15cm			15-40cm			40-60cm		
	容重 Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	有效水 Available water (%)	总孔隙度 Total porosity (%)	容重 Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	有效水 Available water (%)	总孔隙度 Total porosity (%)	容重 Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	有效水 Available water (%)	总孔隙度 Total porosity (%)
I	1.05	17.6	61	1.21	21.4	55	1.26	24.2	53
II	1.05	19.3	61	1.25	21.8	54	1.33	23.1	51
III	1.08	15.5	60	1.13	16.4	58	1.27	16.1	53
IV	1.20	15.7	56	1.32	22.6	51	1.36	20.2	50
V	1.24	22.5	54	1.23	26.2	54	1.25	25.6	54
VI	1.20	17.2	56	1.44	21.2	47	1.50	19.7	44

表 4 土壤对水分的吸持力( $x$  毫巴)与土壤含水量( $y$ %)的关系方程

Table 4 Relation equations between water-holding power and moisture content

小区号 Plot No.	土层深度 Depth (cm)	方程 $y = ax^b$ 中的常数项 Constant term $a$ and $b$ in equation $y = ax^b$ , $a, b > 0$	
		$a$	$b$
I	0-15	47.2389	0.1020
	15-40	57.5469	0.1058
II	0-15	53.1544	0.1292
	15-40	56.6731	0.1019
III	0-15	46.9179	0.0878
	15-40	50.7342	0.0890
IV	0-15	43.1206	0.0880
	15-40	61.9607	0.1037
V	0-15	59.5431	0.1133
	15-40	70.5485	0.1176
VI	0-15	40.8842	0.0672
	15-40	58.6390	0.1078

表 5 模拟降雨前、后不同深度(cm)土壤含水量百分数\*

Table 5 Soil moisture percentage before or after simulated rainfall

小区号 Plot No.	测试时间 Test time	0—10	10—20	20—40	40—60	60—80	80—100
I	降雨前	28.4	27.6	28.8	29.0	27.0	25.9
	一次降雨后	34.3	32.9	32.9	29.9	28.7	24.6
	二次降雨后	33.3	31.2	32.5	31.5	30.8	27.1
	三次降雨后	34.5	31.9	31.9	31.7	32.8	30.9
	降雨后一天	29.1	27.8	29.9	29.8	31.2	30.2
	降雨后二天	25.2	26.0	27.9	28.4	28.5	28.5
	降雨后三天	23.7	25.3	29.1	30.2	30.1	28.7
II	降雨前	11.3	16.5	17.0	23.8		
	一次降雨后	28.8	24.0	23.5	22.6		
	二次降雨后	30.3	29.0	27.6	24.7		
	三次降雨后	33.2	31.8	31.2	29.1		
	四次降雨后	38.6	38.5	37.2	33.8	33.2	33.7
	降雨后一天	29.7	29.1	28.6	28.6	28.9	29.8
	降雨后二天	23.3	25.0	26.3	26.5	28.1	28.0
降雨后三天	19.6	21.7	25.0	25.7	26.8	27.9	
III	降雨前	9.2	19.7	19.3	19.8		
	一次降雨后	32.6	27.8	24.7	20.4		
	二次降雨后	30.2	31.4	29.6	24.7		
	三次降雨后	32.7	33.5	31.3	29.3		
	降雨后一天	24.2	28.7	27.7	28.2		
	降雨后二天	20.6	25.9	27.3	28.6		
	降雨后三天	12.8	25.7	24.6	26.6		
IV	降雨前	4.9	11.4	15.7	20.7		
	一次降雨后	24.0	26.1	20.7	21.0		
	二次降雨后	25.0	29.2	23.3	26.9		
	三次降雨后	26.7	34.1	30.4	29.7		
	四次降雨后	27.7	32.6	30.1	27.6		
	降雨后一天	25.3	27.0	28.1	27.1		
	降雨后二天	22.4	24.9	29.2	28.7		
降雨后三天	20.9	23.0	26.7	26.1			
V	降雨前	23.7	24.1	25.0	25.1	24.6	24.7
	一次降雨后	33.2	30.5	32.4	30.5	27.4	25.7
	二次降雨后	32.1	30.9	34.1	31.5	28.6	27.4
	三次降雨后	34.0	31.3	33.6	33.5	31.1	27.4
	降雨后一天	29.3	28.7	31.7	31.6	31.8	30.0
	降雨后二天	27.2	27.3	31.0	30.6	29.1	28.4
	降雨后三天	26.1	26.4	29.5	30.2	30.7	30.0
VI	降雨前	5.9	16.0	18.0	20.6		
	一次降雨后	33.4	27.3	21.5	20.6		
	二次降雨后	32.5	28.5	25.7	24.0		
	三次降雨后	33.5	31.0	26.0	25.9		
	降雨后一天	29.2	26.6	25.4	24.2		
	降雨后二天	22.9	24.6	24.8	23.5		
	降雨后三天	7.2	22.6	23.8	23.0		

\* 各含水量取 4 次重复平均值。

经研究,它们能很好的用  $y = ax^b$  来描述。各土壤作出的方程常数项列于表 4。这一方程式的作用在于,在野外测定土壤水分含量(百分数),代入方程计算出吸持力,当吸持力接近 15000 毫巴时,就必须进行田间灌溉。

### (三) 土壤对水分的吸持和渗透

模拟降雨是以小时为时段,降雨 1 小时后暂停 1 小时,然后再继续。在暂停时间可以进行采样和其它测定。每一测区在降雨前、降雨中和降雨后都分别采样作土壤含水量测定,因此在不同时间可以了解土壤水分的增加和减少的情况。从测定结果(表 5)可以计算出降雨一定时间和一定降水体积后,一定土层内土壤水分的增加量和减少量。如表 6 说明,对 II、III、IV 小区对应的红砂岩、千枚岩和第四纪红色粘土形成的耕种红壤,降雨结束后土层 60 厘米内增加了土壤水 10—14 立方米,约占总降水量 55—63%;对表层土壤水分含量较好的 I、V 小区,降雨后 5 小时,表层 60 厘米内土壤水分别增加 2.8 和 7.0 立方米,相应占总降水量的 20.4% 和 56.7%。由于下层原来的土壤水分含量较低,降雨后水分含量增加更为明显,在 100 厘米土层内,土壤水分别增加 5.8 和 9.6 立方米,分别占降水总量的 42.4% 和 77.1%;对于耕种黄棕壤,在表层 60 厘米土壤水分增加量占到总降水量近 70%,而且在 40 厘米土层水分增加更加显著,而 40 厘米以下土层,土壤含水量仅从 20.6% 增加到 25.9%,远较其它土壤同深度土层水分增加要小。

表 6 一定降雨时段内土壤水分的增加

Table 6 Soil moisture increment at a certain hours of rainfall

小区号 Plot No.	降雨开始后 时段 Hours after beginning of rainfall (h)	降雨体积 Volume of rainfall (m <sup>3</sup> )	60 厘米土层内 水分量 Moisture incre- ment in 60cm soil layer (m <sup>3</sup> )	占降雨量 % in total rainfall	100 厘米土层内 水分增量 Moisture incre- ment in 100cm soil layer (m <sup>3</sup> )	占降雨量 % in total rainfall
I	5	13.6	2.8	20.4	5.8	42.4
II	7	25.5	14.2	55.6	—	—
III	7	18.3	10.2	55.7	—	—
IV	7	18.8	12.1	63.8	—	—
V	5	12.4	7.0	56.7	9.6	77.1
VI	5	14.2	9.9	69.8	—	—

从土壤渗透的情况看,各类红壤的透水性均较好,80—100 厘米土层在降雨结束时,或降雨结束后一天,土壤水分含量达到最大,并同降雨前相比,水分含量明显增加。耕种黄棕壤 40—60 厘米土层水分增加相对较小,这同该层较板实有关。在晴天的情况下,粉砂质含量相对较高的表层失水相当迅速,如千枚岩发育的耕种红壤和耕种黄棕壤,降雨后三天,表层 0—10 厘米土壤含水量降低到了永久凋萎系数以下。

### (四) 土壤的通气状况及其同水分含量的关系

在室内测定不同吸持力下土壤水分含量的同时,测出了土壤的通气系数(K 值),结果列于表 2。从表 2 可见,对于同一土壤,其通气系数总是随水分含量的减小而增加,并有良好的线性相关(见表 7)。在野外也对不同土壤或同一土壤的不同土层,测定了相应的土壤含水量和通气系数(见表 8)。从中可以看出,由于各土壤的质地、结构、有机质含量的差异,即便土壤水分含量相同,它们各自的通气系数不会一样,也不会有某一确定关系。但



是由于野外和室内测定通气系数的条件不同,通常在土壤水分含量相同的情况下,总是室内测定值要大于野外测定值,因而可以利用室内测出的通气系数值,了解在田间状况下土壤大致的通气状况。

表7 室内外土壤透水及室内土壤含水量与通透系数关系方程  
Table 7 Water permeability and air permeability equations of soils

小区号 Plot No.	0—15cm			15—40cm		
	土壤透水方程 $y = a + bx$ Water permeability equation and permeability value: y—in field, x—in lab.					
	a	b	r	a	b	r
I	24.7992	1.0769	0.91	6.7571	0.08144	0.95
II	219.1673	0.2756	0.89	10.8552	0.1248	0.89
III	-251.1920	0.3795	0.96	-37.6573	0.0234	0.86
IV	-37.7920	0.3276	0.95	11.7250	0.8021	0.94
V	166.2190	0.3896	0.88	14.2290	1.1768	0.97
VI	10.7351	0.4416	0.98	0.7353	0.0079	0.99

室内测定的土壤通气方程:  $y = a + bx$ , y 通气系数, x 土壤水分含量(%)  
Soil air permeability equation y—air permeability coefficient, x—water content (%)

I	119.10	-2.20	-0.99	37.88	-0.87	-0.93
II	131.59	-2.97	-0.98	28.83	-0.62	-0.98
III	231.66	-5.11	-0.83	164.10	-3.61	-0.96
VI	283.95	-8.10	-0.88	25.82	-0.60	-0.90
V	36.39	-0.73	-0.98	23.93	-0.40	-0.96
VI	401.55	-11.39	-0.86	300.42	-8.19	-0.86

表8 土壤含水量及土壤透气的田间测定\* \*  
Table 8 Moisture content and air permeability of soils determined in field

小区号 Plot No.	0—5cm		5—10cm		10—15cm	
	土壤含水量 Water content (%)	通气系数 Air permeability coefficient	土壤含水量 Water content (%)	通气系数 Air permeability coefficient (k)	土壤含水量 Water content (%)	通气系数 Air permeability coefficient (k)
	I	23.57	24.59	25.00	5.42	—
II	20.40	28.27	23.85	4.68	26.67	0.49
III	24.87	53.54	26.75	35.79	27.15	6.98
IV	20.08	41.53	21.49	13.72	24.01	3.91
V	26.23	2.50	26.00	0.80	26.73	0.72
VI	20.59	8.31	23.10	2.32	—	—

\* 5—7次重复平均。

### (五) 土壤透水状况

土壤透水在野外采用双筒法,在室内则用环刀采土作测定。测试取9—12次、少数取5次重复。测出的结果平均值列于表9。由于在室内外对同一土壤测试条件不同,测定

值有显著差别,但它们之间有明显的线性相关。其线性关系式列于表 7。从表 9 可见,各类红壤透水性均较好,但耕种黄棕壤透水性较差,特别是心土层透水性差,这也是该土壤地表径流大,侵蚀严重的原因之一。

表 9 各土层土壤平均透水值 (mm/h)

Table 9 Average water permeability value in soil layers

小区号 Plot No.	田间测定 Determined in field		室内测定 Determined in lab.		
	0—15cm	15—40cm	0—15cm	15—40cm	40—60cm
I	919.0	14.0	616.0	82.9	133.5
II	626.0	17.9	1690.0	62.5	11.9
III	656.0	25.6	2259.0	2720.0	329.0
IV	333.0	26.7	1134.0	17.1	19.2
V	283.0	39.5	296.0	21.6	23.2
VI	39.3	1.4	95.8	53.1	38.7

综上所述可以得出如下结果:

1. 在地面坡度 5—10 度的缓坡旱作耕地,由第四纪红色粘土、千枚岩、红砂岩母质发育的厚层耕种红壤,土壤透水性良好,在正常降雨情况下地表径流量小,径流含沙量低;下蜀黄土母质发育的耕种黄棕壤,粉砂含量较高,心土层透土性差,降雨后地表径流量大且含沙量较高,年土壤流失量已超出容许流失量。因此对耕种红壤应增施有机肥,改善土壤结构,提高土壤的保水能力,以减少灌溉水的渗漏损失。对耕种黄棕壤在雨季应增加作物对地面的覆盖,或用稿秆覆盖地表,以减少径流对地表土壤的冲刷和保护土壤水分的损失。

2. 千枚岩母质发育的红壤,剖面中含有较多半风化的小岩粒块,大孔隙所占比例较大,土壤中总的有效贮水量较低,因此应采取熟化土壤和土壤结构改良措施,以提高土壤的蓄水保肥能力。

3. 据田间土壤通气测定及土壤松紧和透水观察,当土壤水分小于田间持水量的正常条件下,土壤亚表层的通气系数达到 5—10,可以保证一般作物根系的正常生长;当通气系数大于 20 时,土壤中非毛管孔隙所占的比例大,土壤有机质分解和水分渗透迅速;当通气系数小于 5 时,土壤通气不良,有碍作物根系生长。从分析资料可见,15 厘米以下土层,土壤水分长期保持或超过田间持水量,就会造成土壤通气不良,这时应及时开沟排水以调节水气矛盾。

4. 从野外土壤透水资料可见,土壤心土层以每小时下渗 10 毫米以上的水分为正常;表层应不小于 30 厘米/小时。当透水性更差时,就反映出土壤内部性状不良,如胶粘或板结等。在雨季不利于土壤内排水或产生大量的地表径流。

5. 对各类测试土壤,开始降雨后 4 小时,降雨量约 100 毫米后,80—100 厘米土层的土壤水分含量没有大的增加。降雨后三天,对红砂岩、千枚岩发育的耕种红壤及耕种黄棕壤,0—10 厘米土层的土壤水分接近或小于永久凋萎系数。考虑到这些情况,在灌溉时宜小水慢灌。另参考表 6 资料,在通常缺水条件下每亩地灌水 40—50 立方米,就可以保证

在 60 厘米深的土层内有充足的水分。在炎热的夏天, 7—10 天灌水一次为宜。

### 参 考 文 献

- [1] Skidmore, E.L., (杨艳生译), 1986: 土壤容许流失量, 水土保持科技情报, 第 4 期。
- [2] 中国科学院南京土壤所主编, 1978: 中国土壤, 524—531 页, 科学出版社。
- [3] 杨艳生, 1990: 侵蚀土壤和某些物质的持水容量, 水土保持学报, 第 1 期。
- [4] Norman Hudson, 1973: Soil Conservation, Cornell University Press Ithaca, New York, 33—80 页。

## STUDY ON SIMULATED RAINFALL AND SOIL PERMEABILITY OF FLATTISH HILL SLOPING FARMLAND

Yang Yansheng

(Institute of Soil Science, Academia Sinica Nanjing, 210008)

### Summary

A simulated rainfall study on cultivated red earths derived from red sandstone, phyllite, quaternary red clay in the northern Jianxi Province and cultivated yellow brown earths from Xiashu Loess in the southern Jiangsu Province, including six runoff experimental plots, was conducted for measuring water and soil losses in flattish hill region. Determination of some soil physical properties influencing soil erosion, such as soil permeability, was carried out. The main results obtained are as follows:

1. Under conditions of land surface slope of 5°—10°, rainfall intensity of 50 mm/h and precipitation of 177.4mm, the determination averages in the cultivated red earth plots were: runoff amount 621.4 l, sediment in runoff 1.6g/l and soil loss 10.8 t/km<sup>2</sup>; while in the arable yellow brown earth plot, under rainfall of 142mm, runoff was 1525 l, sediment 23.4 g/l and soil loss 291.7 t/km<sup>2</sup>. In the cultivated yellow brown earth region with an annual precipitation of more than 1000mm soil erosion was serious and the soil loss exceeded the tolerance.

2. Some properties of subsurface soil have a very important effect on soil erosion and crop growth, and there are obvious differences of these properties between cultivated red earths and yellow brown earths. Determinated results showed that in the 15—40 cm horizon of the arable red earths, bulk density averaged 1.2g/cm<sup>3</sup>, total porosity 52%, available moisture capacity 21.7%, and water percolation rate 25mm/h; and in the same horizon of arable yellow brown earths, the corresponding values were 1.4g/cm<sup>3</sup>, 44%, 20% and 1.4mm/h respectively. On third day after rainfall, the soil moisture content in the 20—40 cm horizon of the former soil was 26.8% and the air permeability coefficient in the 5—10 cm horizon was 12, comparing with 23.8% and 2.3 of the latter soils. Therefore, the high content of silt, high compactness and poor permeability of the subsurface horizon are the chief reason why severe water and soil losses occur on the cultivated yellow brown earths.

3. Through determination of soil moisture at different water-holding powers, the water distribution curves which fit the formula  $Y = aX^b$  were made. Using them, the field moisture capacity, wilting coefficient and available water-holding content of the above soils could be evaluated. After measuring water and air permeability, the relation expression between the dete-

mination value in field and that in laboratory was established. Thus, the water and air permeability regime in field soil could be known by laboratory test. This study shows that the air permeability coefficient of 5—10 and the water percolation rate of 10mm/h or more in subsoil layer are normal conditions for crop growth.

4. It can be seen from the test results that after 4 hours from the beginning of a 100 mm rain, the water increase in the 80—100 cm soil horizon is not obvious in comparison with that before the rain. For the cultivated red earths derived from red sandstone and phyllite and the cultivated yellow-brown earths, in the third day after raining, the moisture content of 0—10cm surface soil layer is near or smaller than the wilting moisture percentage of the soil. Therefore we suggest that an irrigation with a water rate of 40—50m<sup>3</sup>/mu should be given every 7—10 sunny days in summer so as to ensure enough moisture in the 0—60 cm soil layer. On the cultivated yellow-brown earths, the irrigation with slow flow should be taken especially. In rainy season, every summer, some effective measures such as growing cover crops and using crop stalks to cover land surface should be adopted to protect the soils from erosion.