

# 红壤区不同生态模式的“土壤水库”特征 及其防洪减灾效能\*

于东升 史学正

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要** 本文在江西红壤区选择 5 种具有代表性的红壤生态利用模式: 稀疏林生态(I)、林草生态(II)、草灌生态(III)、经果生态(IV)、农田生态(V)和对照模式侵蚀裸地(VI), 利用人工模拟降雨仪研究和分析了不同生态模式“土壤水库”调节雨水的特征及其防洪减灾效能。结果表明, 红壤区土壤入水通道受阻是“土壤水库”发挥防洪减灾效能的主要障碍因子; 人工草灌生态模式(III)的防洪减灾效能最好; 经果生态模式(IV)不但具有较高的防洪减沙效能, 而且具有较高的经济效益, 是该区首选模式。

**关键词** 土壤水库, 防洪减灾, 生态模式, 红壤

**中图分类号** S157.1

1998 年长江流域的特大洪涝灾害至今令人记忆犹新, 但为什么会导长江中下游沿江出现如此严重的洪涝灾害? 今后应该采取什么对策来防治洪灾? 各方面的专家、学者都纷纷发表文章分析这次洪涝灾害的成因, 有气候异常、湖泊萎缩、河床抬升以及堤坝防洪标准低等。土壤科学工作者提出了利用“土壤水库”<sup>[1~3]</sup>减轻洪涝灾害的观点, 他们认为, “土壤水库”是土壤能够容纳和转移水分的空间, 其最大有效库容量即为土壤整个剖面的孔隙之和, 库容大和下泄快是“土壤水库”的两个重要特征。土地的不合理利用, 使得“土壤水库”库容量减少, 雨水进入土壤的通道严重受阻, “土壤水库”强大的调蓄雨水的功能未能得到发挥是造成这次洪涝灾害的根本原因之一<sup>[1,4]</sup>。

我国南方红壤地区, 气候湿润、雨水充足是其重要的自然特征之一, 一旦土地利用不合理, 水土流失就会加剧, “土壤水库”调蓄雨水的功能也就相应地急剧下降, 由此所暴露出来的严重问题往往被忽视, 国内几乎没有这方面的深入研究报道。土壤科学工作者们虽然对该地区某些土地生态利用模式下的产流等规律进行了研究, 但对“土壤水库”调蓄雨水的效率和最大强度还不清楚。在我国北方干旱、半干旱地区对土壤水的研究颇多, 也很深入, 但研究多是如何调动土壤水以保证农作物生长对水分的需要。国际上在该方面的研究也是如此, 都未涉及或直接研究“土壤水库”下泄能力及其防洪功能。如美国土壤学家 Tanaka, McGee 等, 曾分别研究了不同的耕作制对土壤储蓄雨水效率的影响, 通过调整耕作制, 将土壤储蓄雨水效率提高到 59%<sup>[5,6]</sup>。本研究将选择我国南方红壤区具有代表性的多种红壤生态利用模式, 如“顶林、腰果、谷塘、塘鱼”、“经果生态模式”、“林草生态模式”、“农田生态模式”等, 应用人工模拟降雨, 通过测定降雨量、径流量、入渗量、土壤含水量和饱和含水量等水量平衡因子, 研究不同红壤生态利用模式下“土壤水库”调蓄雨水的效率以及“土壤水库”最大调蓄雨水的强度, 并对它们的防洪减灾效能进行评价, 从中选择和建立既有经济效益, 又有生态和防洪效益的红壤生态应用模式, 初步揭示“土壤水库”调蓄雨水的机理。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于江西省鹰潭市中国科学院红壤生态实验站附近, 地势以低丘缓坡地为主, 主要土壤类型

\* 中国科学院南京土壤研究所所长基金(005102)、中国科学院红壤生态实验站开放基金、国家重点基础研究发展规划项目(G1999011810)资助

收稿日期: 2001-11-21; 收到修改稿日期: 2002-04-01

是第四纪红色粘土发育的粘淀湿润富铁土和红砂岩发育的铝质湿润淋溶土, 主要有林、林草、草灌、经果、农田等 5 种生态利用模式。表 1 列出了人工模拟降雨时的土地利用基本状况。

表 1 人工模拟降雨试验时的土地利用基本状况

Table 1 Land conditions of experiment site

生态模式 Ecological pattern	代表类型 Typical pat tern	编号 No	土壤类型 Soil type	母质 Parent material	试验时的土地利用状况 Land-use conditions
稀疏 林 I	稀疏马 尾松林	I 1	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	稀疏马尾松林, 植密度约 40%, 地表裸露, 无灌丛及草 本植物
林草 II	稀疏马尾 松荒地	II 1	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	土层深厚, 中坡, 地表草被覆盖度 35% 左右
		II 2	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	土层深厚, 中坡, 地表草被覆盖度 70% 左右
草灌 III	草及 草灌木	III1	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	土层深厚, 自然稀疏草地, 覆盖度为 50%
		III2	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	胡枝子坡地, 土层深厚, 植株茂密, 株冠达 1.5 m, 枯枝落 叶层达到 2 cm 左右, 覆盖度超过 100%, 人工种植
		III3	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	象草地, 植株最高可达 2~3 m, 覆盖度 75%, 水保区人 工种植
经果 IV	桔园、 茶园等	IV1	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	幼年桔园是低丘红壤地的一种经济林, 园中间种西瓜、 花生、芝麻等作物, 试验时花生、芝麻收获近 50 d, 部分 表土已被翻过, 翻土深度约为 15 cm
		IV2	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	茶园是低丘红壤地的另一种经济林, 树龄有 10 a 以上, 树冠高约 0.7 m, 宽 0.8 m, 垅向与坡向交叉成 90°, 其间 栽种萝卜, 试验时已移栽萝卜
旱作农 田 V	花生/ 油菜等	V 1	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	水保试验区的花生/油菜试验地, 具有水土保持措施, 已 连续种植 4 年, 试验时花生已收获, 正是换茬季节, 尚未 移植油菜
		V 2	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	坡地, 土层深厚, 种植花生、油菜、芝麻等, 试验前花生已 收获
		V 3	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	坡地, 土层深厚, 种植花生、油菜、芝麻等, 试验前花生已 收获
		V 4	粘淀湿润 富铁土	第四纪红 色粘土	坡地, 土层深厚, 紧靠塘渔生态系统。种植花生、油菜、 芝麻等, 试验前花生已收获
		V 5	铝质湿润 淋溶土	红色砂页 岩	坡地, 土层约 100 cm 厚, 种植花生、油菜、芝麻等, 试验 前种植芝麻
		V 6	铝质湿润 淋溶土	红色砂页 岩	坡地, 土层约 100 cm 厚, 种植花生、油菜、芝麻等, 试验 前种植芝麻
		V 7	铝质湿润 淋溶土	红色砂页 岩	坡地, 土层约 70 cm 厚, 种植花生、油菜、芝麻等, 试验前 种植芝麻
裸地 VI	侵蚀劣地	VI1	红色正常 新成土	第四纪红 色粘土	自然的沟蚀小流域, 流域面积为 145 m <sup>2</sup> , 坡度 10°~50°, A、B 层土壤已全部流失, C 层网纹层已完全出露

## 1.2 人工模拟降雨仪

人工模拟降雨仪产自德国,其模拟降雨的最大有效面积为 $5.5\text{ m} \times 20\text{ m}$ ,合 $110\text{ m}^2$ ,降雨量可用喷头个数来调节,可调节范围为 $20\sim 100\text{ mm h}^{-1}$ 。本次试验采用8个喷头,降雨强度在 $60\text{ mm h}^{-1}$ 左右,降雨面积为 $45\text{ m}^2$ 。

## 1.3 试验设计

本次研究选择了5种主要的土地生态利用模式,它们分别是稀疏林生态(I)、林草生态(II)、草灌生态(III)、经果生态(IV)、农田生态(V)。裸地(VI)不是该地区的主要生态利用模式,仅以此作比较和对照用。5种生态利用模式中又各自选取了具有代表性的生态类型,设置了重复和对照试验,并分别确定了各自的研究试验地。各试验地的基本情况见表1,共进行16场人工模拟降雨试验。

人工模拟降雨试验前首先利用Guelph法<sup>[7]</sup>测定 $0\sim 5\text{ cm}$ 、 $20\sim 25\text{ cm}$ 土层处土壤饱和入渗率,利用环刀法测定 $0\sim 20\text{ cm}$ 、 $20\sim 40\text{ cm}$ 土层的土壤容重(见表2)。人工模拟降雨方式对不同的利用方式有

表2 Guelph法测定的土壤饱和入渗率及土壤容重<sup>1)</sup>

Table 2 Soil bulk density and saturated infiltration rate measured by Guelph method

生态模式 Ecological pattern	编号 No.	深度 Depth (cm)	$Q_1$ ( $\text{cm}^3\text{min}^{-1}$ )	$Q_2$ ( $\text{cm}^3\text{min}^{-1}$ )	土壤饱和入渗率 Saturated permeability ( $10^{-6}\text{ m s}^{-1}$ )	土壤容重 Bulk density ( $\text{g cm}^{-3}$ )
稀疏林 I	I 1	0~5	9.63	15.40	11.31	1.16
		20~25	26.95	42.35	30.18	1.22
林草 II	II 1	0~5	9.52	19.25	19.07	1.23
		20~25	34.65	53.90	37.73	1.22
草灌 III	II 2	0~5	3.85	7.70	17.55	1.36
		20~25	21.18	25.03	7.55	1.34
	III1	0~5	6.97	17.33	20.31	1.43
		20~25	9.63	15.40	11.31	1.49
III2	0~5	119.35	188.65	135.83	1.14	
	20~25	17.33	26.95	18.86	1.25	
	III3	0~5	400.40	600.60	392.39	1.12
经果 IV	IV1	0~5	8.50	17.33	17.31	1.35
		20~25	21.18	38.50	33.95	1.34
	IV2	0~5	5.78	7.70	3.76	1.32
		20~25	51.98	96.25	86.77	1.28
旱作 农田 V	V 1	0~5	32.73	65.45	64.13	1.36
		20~25	44.28	71.23	52.82	1.22
	V 2	0~5	13.48	23.10	18.86	1.16
		20~25	11.55	23.10	22.64	1.45
	V 3	0~5	11.55	23.10	22.64	1.37
		20~25	7.70	13.48	11.33	1.46
		20~25	23.10	40.43	33.97	1.19
		20~25	86.63	142.45	109.41	1.44
V 4	0~5	15.40	23.10	15.09	1.33	
	20~25	11.55	17.33	11.33	1.50	
V 5	0~5	32.73	55.83	45.28	1.43	
	20~25	7.55	13.70	12.06	1.35	
V 6	0~5	11.55	15.40	7.55	1.35	
	20~25	19.25	32.73	26.42	1.46	
V 7	0~5	32.73	61.60	56.59	1.45	
	20~25	5.78	13.48	15.09	1.51	
裸地 VI	VI1	20~25	0.17	0.17	0.00	1.57

1)  $Q_1$ 、 $Q_2$ 分别为5 cm和15 cm水头的稳定入渗流量

所不同,对于旱作耕地等设计为:降雨一小时,停一小时,又降雨一小时,停一小时,再降雨一小时,试验过程共有3次降雨,降雨时雨滴下落的高度为3 m。在降雨过程中每10 min测量一次径流量( $R_i$ ),同时采集径流样品测定含沙量( $C_{si}$ )。对其它的土地利用采用了一次降雨过程。一次人工模拟降雨的总径流量为 $\sum R_i$ ,土壤流失量为 $\sum (R_i \times C_{si})$ 。在每次降雨前后都分上、中、下坡分别用土钻采集0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100cm土层的土壤样品测定土壤含水量。

## 2 试验结果

### 2.1 土壤容重与土壤饱和入渗率

从表2可以看出,草灌生态模式下象草地(III3)0~5 cm土层的土壤饱和和导水率最大,为 $392.4 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ ,其次是胡枝子地(III2)为 $135.8 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ 。旱作农田生态模式中,花生/油菜地(V4)0~5 cm土层的土壤饱和入渗率最大为 $109.4 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ ,其次是花生/油菜地(V1)为 $52.8 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ 。稀疏林生态模式中马尾松林地(I1)以及花生/油菜地(V3、V5)0~5 cm土层土壤饱和入渗率最小为 $11.3 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ ,经果生态模式桔园(IV1)20~25 cm土层土壤饱和入渗率更小为 $3.8 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ 。特别值得注意的是,裸地(IV1)20~25 cm土层的土壤几乎不具备入渗条件。各试验点0~5 cm和20~25 cm两个层次土壤容重差别不是很大,它们相互之间以及与土壤饱和入渗率间并没有明显的规律可寻。

### 2.2 土壤含水量变化

将各部位各层次的土壤水分状况经过平均后,计算出一场人工模拟降雨后土壤水分的综合平均变化量(表3)。从表中可以看出,大多数试验点经过人工模拟降雨后,土壤表层的水分变化量大于下层的变化量,在0~20 cm土壤水分的平均变化量中,变化量最大的为花生/油菜地(V7),达到14.1%,最小的为稀疏林生态模式的马尾松林地(I1),仅有1.1%。

表3 人工模拟降雨前后土壤含水量变化  
Table 3 Changes of soil water content in the experiments (%)

生态模式 Ecological pattern	编号 No	土层深度 Soil depth						
		0~10cm	10~20cm	20~40cm	40~60cm	60~80cm	80~100cm	0~20cm
稀疏林 I	I 1	1.0	1.0	1.6	0.9	3.3	3.4	1.1
林草 II	II 1	5.1	4.2	4.4	2.7	1.0	1.8	4.7
	II 2	6.2	9.1	5.2	5.4	3.9	4.9	7.7
草灌 III	III1	6.0	5.6	5.9	3.0	3.0	2.6	5.8
	III2	9.5	10.0	8.8	6.8	5.0	5.0	9.8
	III3	9.6	8.1	5.4	3.0	7.0	4.8	8.9
经果 IV	IV1	12.4	9.6	11.2	7.6	7.5	4.7	11.0
	IV2	10.2	6.2	3.8	4.1	1.7	0.7	8.2
旱作	V 1	13.3	8.9	8.3	9.0	8.0	6.0	11.1
农田 V	V 2	9.3	4.8	4.5	3	0.8	1.2	7.1
	V 3	9.9	4	1.3	3.6	1.3	0.6	7.0
	V 4	14.1	7.1	4.7	2.6	2.9	2.6	10.6
	V 5	8.7	8.7	3.2	1.3	4.2	0.6	8.7
	V 6	13	9.4	1.7	1.2	1	2.9	11.2
	V 7	22.6	5.5	1.4	0.3	6.7	0.1	14.1
	V 8	6.8	2.2	0.9	—	—	—	4.5
裸地 VI	VI1	6.8	2.2	0.9	—	—	—	4.5

## 2.3 各种生态模式的产流

表4显示的是对每个试验点各次降雨后的综合结果。从表中可以看出,草灌生态模式的胡枝子地(III2)和象草地(III3)即使分别以 $115.6 \text{ mm h}^{-1}$ 和 $67.0 \text{ mm h}^{-1}$ 强度连续降雨4h和5h都没有产生地表径流。经果生态模式中的桔园和茶园分别以 $73.6 \text{ mm h}^{-1}$ 和 $51.0 \text{ mm h}^{-1}$ 强度连续降雨150 min和180 min后才开始产生径流,最终径流系数最小,均为0.01,径流中所挟持的泥沙量也最少,分别为 $13.4 \text{ kg hm}^{-2}$ 和 $6.8 \text{ kg hm}^{-2}$ 。径流系数较大的花生/油菜地V7(0.58)、V3(0.50)、V6(0.49),它们的产流量也较高,分别为 $1708.2 \text{ kg hm}^{-2}$ 、 $2124.2 \text{ kg hm}^{-2}$ 、 $985.1 \text{ kg hm}^{-2}$ 。用于对照的裸地VI1,泥沙量与径流量比值最大达到了109,这说明了降雨过程中该裸地的水土流失最为严重。

表4 人工模拟降雨产流结果

Table 4 Runoff measured by simulated rainfall

生态模式 Ecological pattern	编号 No	降雨历时 Rainfall duration (h)	降雨量 Rainfall (mm)	降雨强度 Rainfall intensity ( $\text{mm h}^{-1}$ )	首次出现径流时间 Time of runoff appearance (min)	径流量 Runoff (mm)	径流系数 Runoff coefficient
稀疏林 I	I 1	3	192.5	64.2	4	87.8	0.46
林草 II	II 1	3	176.5	58.8	9	46.9	0.27
	II 2	3	162.0	54.0	8	28.2	0.17
草灌 III	III1	2 <sup>* 1)</sup>	157.2	78.6	6	46.0	0.29
	III2	4 <sup>*</sup>	462.4	115.6	— <sup>2)</sup>	0	0
	III3	5 <sup>*</sup>	335.0	67.0	—	0	0
经果 IV	IV1	3	220.8	73.6	150	2.0	0.01
	IV2	4 <sup>*</sup>	204.0	51.0	180	1.3	0.01
旱作农田 V	V 1	2 <sup>*</sup>	201.2	100.6	40	59.4	0.30
	V 2	3	155.1	51.7	14	62.1	0.40
	V 3	3	169.2	56.4	11	84.1	0.50
	V 4	3	175.7	58.6	31	36.8	0.21
	V 5	3	181.8	60.4	8	73.8	0.41
	V 6	3	180.6	60.1	10	88.4	0.49
	V 7	3	169.2	56.4	3	97.5	0.58
裸地 VI	VI1	1 <sup>*</sup>	43.9	43.9	10	19.1	0.43

1) \* 均为连续降雨过程; 2) 不产流

## 3 结果讨论

### 3.1 “土壤水库”蓄水量的估算

水量估算需要有3个假设条件。首先在降雨过程中, 试验区1m土层以下的土壤水分状况不发生变化, 即降雨前后土壤含水量 $C$ 变化 $\Delta C = C_2 - C_1 = 0$ ; 其次, 土壤容重 $\rho$ 在20 cm以下是均一的; 某个计算土层的土壤容重 $\rho$ 和土壤含水量的变化 $\Delta C$ 是一致的。那么, 对于某个土层( $i$ ), 厚度为 $h_i$ , 土壤水分变化量 $\Delta C_i$ , 土壤容重 $\rho_i$ , 其土壤蓄水量 $W_i$ 的算式为:  $W_i = \Delta C_i \times \rho_i \times h_i / 10$ , 整个计算土层的土壤

蓄水量  $W$  为:  $W = \sum W_i = \sum (\Delta C_i \times \rho_i \times h_i) / 10$ 。其中,  $W_i$ ,  $\Delta C_i$ ,  $\rho_i$ ,  $h_i$  的单位分别为 mm、%、 $g\ cm^{-3}$  和 cm。表 5 的计算结果表明, 各土壤层段的土壤储蓄水量差异较大, 没有明显的规律。土壤储蓄水量最大的是经果生态利用模式下的桔园(IV1), 达到了 111.1 mm; 其次是农田生态模式花生/油菜地(V1), 达到 99.2 mm; 马尾松疏林地(I1) 蓄水量最小为 24.8 mm。

表 5 人工模拟降雨过程中“土壤水库”的有效蓄水量

Table 5 Soil water reservoir live storage during simulated rainfall (mm)

生态模式 Ecological pattern	编号 No	土层深度 Soil depth						
		0~10cm	10~20cm	20~40cm	40~60cm	60~80cm	80~100cm	0~100cm
稀疏林 I	I 1	1.2	1.2	3.9	2.2	8.1	8.3	24.8
林草 II	II 1	6.3	5.1	10.7	6.6	2.4	4.4	35.6
	II 2	8.4	12.2	13.9	14.5	10.5	13.1	72.6
草灌 III	III1	8.6	8.3	17.6	8.9	8.9	7.7	60.1
	III2	10.8	12.5	22.0	17.0	12.5	12.5	87.3
	III3	10.7	11.0	14.6	8.1	18.9	13.0	76.3
经果 IV	IV1	16.6	12.7	29.6	20.1	19.8	12.4	111.1
	IV2	13.1	8.4	10.3	11.2	4.6	1.9	49.5
旱作农田 V	V 1	16.2	10.3	19.3	20.9	18.6	13.9	99.2
	V 2	13.5	6.6	12.3	8.2	2.2	3.3	46.1
	V 3	14.5	4.8	3.1	8.6	3.1	1.4	35.4
	V 4	20.3	9.4	12.5	6.9	7.7	6.9	63.8
	V 5	13.1	12.4	9.2	3.7	12.0	1.7	52.1
	V 6	19.9	14.1	5.1	3.6	3.0	8.7	54.4
	V 7	36.2	8.5	4.3	0.9	20.6	0.3	70.8
裸地 VI	VI1	9.6	3.2	2.6	—	—	—	15.5

### 3.2 “土壤水库”水量平衡估算

水量平衡的估算也必须建立在假设条件基础之上, 即在人工模拟降雨过程中, 忽略由水分蒸散发和植物截流而带来的水分损失量。参与水量平衡计算的因子分别为降雨量( $P$ )、土壤蓄水量( $W$ )、土壤泄水量( $D$ )、土壤入水量( $F$ )和土壤地表径流量( $R$ )。其中, 土壤泄水量是指入渗的水分通过土壤介质向区外侧渗或下渗的水量, 相当于水库的有效泄水量; 土壤入水量( $F$ )是指雨水渗入到土壤中的水量。因而对于某场降雨“土壤水库”的水量平衡方程式可写为:  $\sum D_i = \sum P_i - \sum W_i - \sum R_i$ ; 土壤的实际入水量( $F$ )的算式为:  $\sum F_i = \sum P_i - \sum R_i = \sum D_i + \sum W_i$ 。其中  $i$  为该场降雨的次降雨场次, 水量平衡估算参见表 6。

表6 “土壤水库”水量平衡估算表

Table 6 Water balance factors estimated by simulated rainfall (mm)

生态模式 Ecological pattern	编号 No	降水量 Rainfall	储蓄水量 Reserve	泄水量 Discharge	径流量 Runoff	入渗量 Income water
稀疏林 I	I 1	192.5	24.8	79.9	87.8	104.7
林草 II	II 1	176.5	35.6	94.0	46.9	129.6
	II 2	162.0	72.6	61.2	28.2	133.8
草灌 III	III1	157.2	60.1	51.0	46.0	111.2
	III2	462.4	87.3	375.1	0.0	462.4
	III3	335.0	76.3	258.7	0.0	335.0
经果 IV	IV1	220.8	111.1	107.6	2.0	218.8
	IV2	204.0	49.5	153.2	1.3	202.7
旱作农田 V	V 1	201.2	99.2	42.6	59.4	141.8
	V 2	155.1	46.1	46.9	62.1	93.0
	V 3	169.2	35.4	49.7	84.1	85.1
	V 4	175.7	63.8	75.1	36.8	138.9
	V 5	181.8	52.1	55.9	73.8	108.0
	V 6	180.6	54.4	37.9	88.4	92.2
	V 7	169.2	70.8	0.9	97.5	71.7
裸地 VI	VI1	43.9	15.5	9.3	19.1	24.8

### 3.3 不同生态模式的“土壤水库”防洪减灾效能评价

表7强度分析栏目中入水强度、蓄水强度和泄水强度分别为单位时间内“土壤水库”的入水量、蓄水量和泄水量,其中最大入水强度是指表层土壤的饱和导水率,即利用 Guelph 法测定的单位时间内饱和土壤的通透水量。效率分析栏目中,利用“土壤水库”蓄水量、泄水量和水库调节量占降雨量的百分比来分别表示“土壤水库”的蓄水、泄水和水库调节水效率,其中蓄水率  $\eta_w$  与泄水率  $\eta_d$  之和即为“土壤水库”调节雨水的效率  $\eta$ 。分析结果表明,“土壤水库”调节雨水能力最好的是人工草灌生态利用模式(III),胡枝子地(II2)和象草地(IIB)“土壤水库”调节效率达到100%;其次是经果生态利用模式(IV),桔园(IV1)和茶园(IV2)的“土壤水库”调节效率达到了99%以上。显然上述两种红壤生态利用模式都能很好地防止和抵御洪涝灾害。林草生态模式(II)、自然草地(III1)的“土壤水库”调节雨水的效率也都达到了70%以上。某些农田生态模式(V)、地表裸露的稀疏林生态模式(I)的“土壤水库”调节雨水的效率与侵蚀裸地(VI)相当,都较为低下。农田生态模式中,由于花生/油菜地(V1)在生产过程中具有很好的水土保持措施,花生/油菜地(V4)坡度平缓且处于坡地泥沙沉积区,它们的“土壤水库”调节雨水的效率都能够达到70%以上,与林草生态模式(II)相当,调节雨水状况良好。

从“土壤水库”的蓄水和泄水的效率比较来看,“土壤水库”调节效率最好的是胡枝子地(III2)和象草地(III3)以及茶园(IV2),它们的泄水效率都大于蓄水效率,且比其它类型土壤的泄水效率大得多。在理论上,对于某个土体来说,土壤的蓄水能力终究还是有限,而土壤的泄水量应该大得多,因此,在研究提高“土壤水库”调节效率时,不仅要注意研究“土壤水库”的蓄水效率,也要注意研究“土壤水库”的泄水效率。从“土壤水库”实际进水强度和最大进水强度与水库的实际调节效率来看,当最大进水强度大于实际进水强度的3倍以上时,“土壤水库”的调节效率都很高,如草灌生态利用模式(III)中的胡枝子地(III2)和象草地(III3)、经果生态利用模式(IV)中的桔园(IV1)和茶园(IV2)、农田系统中的旱作地(V1、

V4)。而当最大进水强度和实际进水强度两者相当时,“土壤水库”的调节效率都不理想,表明入水通道畅通程度低是影响“土壤水库”发挥调节功能的重要因素,因此,提高土壤的透水强度即渗透性能,对于提高“土壤水库”的调节效率效果明显。

表 7 “土壤水库”的防洪减灾效能分析  
Table 7 Efficiency of soil water reservoir on flooding control

生态模式 Ecological pattem	编号 No	强度 Intensity ( $\text{mm h}^{-1}$ )						实际效率 Efficiency observed (%)		
		降水 Rainfall	蓄水 Reserved water	泄水 Discharged water	径流 Runoff	实际入水 Net income	最大入水 Maximum income	蓄水 Reserved water $\eta_w$	泄水 Discharged water $\eta_d$	水库调节 Reservoir adjustment $\eta$
		稀疏林 I	I 1	64.2	8.3	26.6	29.3	34.9	40.7	12.9
林草 II	II 1	58.8	11.9	31.3	15.6	43.2	68.7	20.1	53.3	73.4
	II 2	54.0	24.2	20.4	9.4	44.6	63.2	44.8	37.8	82.6
草灌 III	III1	78.6	30.1	25.5	23.0	55.6	73.1	38.3	32.5	70.8
	III2	115.6	21.8	93.8	0.0	115.6	489.0	18.9	81.1	100.0
	III3	67.0	15.3	51.7	0.0	67.0	1412.6	22.8	77.2	100.0
经果 IV	IV1	73.6	37.0	35.9	0.7	72.9	122.2	50.3	48.8	99.1
	IV2	51.0	12.4	38.3	0.3	50.7	312.4	24.3	75.1	99.4
旱作农田 V	V 1	100.6	49.6	21.3	29.7	70.9	190.2	49.3	21.2	70.5
	V 2	51.7	15.4	15.6	20.7	31.0	81.5	29.7	30.2	59.9
	V 3	56.4	11.8	16.6	28.0	28.4	40.8	20.9	29.4	50.3
	V 4	58.6	21.3	25.0	12.3	46.3	393.9	36.3	42.7	79.0
	V 5	60.6	17.4	18.6	24.6	36.0	40.8	28.7	30.8	59.4
	V 6	60.2	18.1	12.6	29.5	30.7	43.4	30.1	21.0	51.1
	V 7	56.4	23.6	0.3	32.5	23.9	95.1	41.8	0.5	42.4
裸地 VI	VI1	43.9	15.5	9.3	19.1	24.8	54.3	35.2	21.3	56.5

#### 4 结 论

本研究的结果表明,在多种红壤生态利用模式中,人工草灌模式的防洪减灾效能最好;经果生态利用模式不但具有较高的防洪减灾效能,而且具有较高的经济效益,它是该地区首选应用和推广的模式;保护现有的草灌和林草生态利用模式,实现部分旱作农田的退耕还林、还草,增加稀疏林地近地表植被覆盖,都会对我国南方红壤区防洪减灾起到非常积极的作用。

研究结果还表明,应用“土壤水库”的基本理念研究与评价区域防洪减灾的能力是可行的。在研究提高“土壤水库”调节雨水效率时,不仅要注意研究“土壤水库”的蓄水效率,也要注意研究“土壤水库”泄水效率;而提高土壤的透水强度即渗透性能,则是提高“土壤水库”调节雨水效率的关键。

#### 参考文献

1. 史学正,梁音,于东升,等.调用“土壤水库”是防洪减灾的治本之策.中国科学报,1998,10(21):4
2. 王明珠,张桃林,何园球主编.红壤生态系统研究(第二集).南昌:江西科学技术出版社,1993.262~268
3. 朱显谟.抢救“土壤水库”实为黄土高原生态环境综合治理与可持续发展的关键.水土保持学报,2000,14(1):



1~ 6

4. 史学正, 梁音, 于东升. “土壤水库”的合理调用与防洪减灾. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(3): 6~ 10
5. Tanaka D L, *et al.* Soil water storage and precipitation storage efficiency of conservation tillage systems. J. Soil and Water Cons., 1997, 52(5): 363~ 367
6. McGEE E A, *et al.* Water storage efficiency in no-till dry-land cropping systems. J. Soil and Water Cons., 1997, 52(2): 131~ 136
7. 于东升, 史学正. 用 Guelph 法研究不同利用方式下富铁土的土壤渗透性. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(4): 13~ 18

## CHARACTERISTICS OF SOIL-WATER RESERVOIR AND THEIR EFFICIENCY IN FLOODING CONTROL UNDER DIFFERENT ECOLOGICAL PATTERNS OF RED SOILS IN THE SOUTH OF CHINA

Yu Dong-sheng Shi Xue-zheng

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

### Summary

‘Soil water reservoir’ was defined as a space that reserve and transport the soil water in the soil, and total pore space of the soil as maximum available volume of the reservoir. The volume of pore space and the water transportation capability of soil are two of the important reservoir characteristics. In this paper, the efficiency of the ‘soil water reservoir’ on flooding control were studied by simulator rainfall in the south of China with 5 typical ecological patterns of red soils, such as sparse wood ( I ), wood-grasses ( II ), grasses-brushwood ( III ), economic orchard ( IV ), crop land ( V ), and bare land ( VI ) as contrast. Water balance factors of soils were measured and estimated respectively in the experiments, such as rainfall ( P ), water income ( F ), water reserved ( W ) in soil, water discharged ( D ), surface runoff ( R ) and soil maximum saturated infiltration ( F' ). Results show that a main obstructive factor resulted in that ‘soil water reservoir’ decreased the capacity of flooding control in the red soil area, is that the channel, through which water come into soil, was blocked or partly blocked. The grasses-brushwood ( III ) is the most efficient one of 5 patterns to control flooding, the economic orchard ( IV ) pattern is suggested to be used in the area as the first one in sequence because of not only with higher efficiency of flooding control but with higher economic benefits. It is necessary to improve the efficiency of soil’s flooding control in the area by protecting wood grasses and brushwood grasses from damage, recovering wood and grasses land from crop, increasing degree of surface grasses cover in the sparse wood. The results also show that the soil water reservoir theory is available to be used to assess the flooding control function of soils. Capabilities of the ‘soil water reservoir’, including soil water reserve and water transport, are most important when we study on ‘soil water reservoir’ to control flooding. How to increase soil infiltration? It is a key to improve efficiency of the reservoir on control flooding.

**Key words** Soil water reservoir, Flooding control, Ecological pattern, Red soil