

小良试验站三种地表径流效应的对比研究*

余作岳 周国逸 彭少麟

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要 基于连续10年的观测, 本文对比研究了3种植被类型的地表径流效应, 证明了混交林的水文效益无论从哪方面都较桉树林和裸地明显, 并且随着年度的推移, 混交林的水文效益更加突出。发生产流的最小降雨量条件为: 混交林30.2mm, 桉树林5.1mm, 裸地6.0mm。产流发生时饱和土层厚度分别为12.6mm, 3.4mm, 和6.3mm。理论上, 作者阐明了3种植被类型下的产流类型, 提出了桉树林下地表更易形成击实层这样一个设想, 这就为水土保持林的营造提供了一个极富实际意义的例子, 为在海岸台地这样一个特殊生境下综合研究水土保持效益提供了资料。

关键词 海岸台地 混交林 桉树林 裸地 地表径流 洪峰系数

地表径流反应了流域植被、土壤、气候和其他一些综合水文特征, 是衡量森林保持水上, 涵养水分, 减少洪峰等效益的一个基本指标, 本文应用中科院华南植物研究所在广东电白县小良试验站从1981~1990年连续10年的降雨径流资料, 以期对处于南亚热带海岸台地这一特殊生境条件下的混交林、桉树林、裸地三个植被类型的水文效益作一基本的探讨。与本文同一系列的还有诸如土壤侵蚀, 土壤水分及地下水运动, 蒸发散, 系统水分平衡等研究。

1 试验地概况

试验地位于广东电白县小良水保站的沿海台地上, 地理位置为东经110°54'18", 北纬21°27'49", 属热带北缘地区, 受人为活动的影响, 原生植被已破坏殆尽, 水土流失有上百年的历史, 年平均气温23℃, 最高气温36.5℃, 最低为4.7℃, 月平均气温在18℃以上者达9个月, 1981~1990年10年间平均年雨量1454.5mm, 最大年雨量1985年2209.8mm, 最小年雨量1984年1128.7mm, 干湿季节分明, 干季(10~4月)雨量只有28.7%, 湿季(5~9月)占71.3%, 降雨方式多为以暴雨形式的对流雨及台风雨。地带性土壤为砖红壤, 由于水上流失严重, 绝大部分表土已被蚀去, 有些地方的表土光裸成板状, 故称为光板地, 这种类型的土壤不仅在裸地大量存在, 桉树林下也非常普遍。土壤孔隙度小, 结构致密, 几乎没有非毛管孔隙, 持水量低, 土壤极度干旱, 即使是在雨季也是如此。试验地有着典型的海岸台地地

本文于1994-08-29收到, 1994-10-31定稿。

* 中国科学院七·五重点研究项目。

貌,文章中三个试验小集水区地形地貌基本一致。

本文中的3种植被类型除混交林有复杂的林相以外,桉树林地及裸地都有上述严酷的土壤条件。桉树林林相简单,只有一个层次,林下几乎寸草不生,有关3种试验地上的植被类型的详细资料请参看相应报道(余作岳等,1984;1985)。

2 观测方法

在每个类型的试验地都设有降水及小气候观测站,用以严格监测不同试验地的降水输入及其变化过程。同时,设置地表径流测量堰量测各个集水区的地表径流输出,自动记录瞬时流量。

按月连续测定土壤中的含水量(以下土的百分数表示),根据下式转化为单位土壤深度(cm)中的水量(mm),以利于比较

$$\text{土壤含水量(mm/cm)} = \text{土壤容重(g/cm}^3\text{)} \times \text{土壤水分重量百分比(\%)} / 10$$

3 结果与分析

3.1 不同植被类型地表径流深参量的变化

为了消除由于降水量的差异而造成的地表径流的不同,这里的所有讨论除特别指明的以外,都以径流系数和洪峰流量系数的百分数表示。

3.1.1 径流系数

3种植被类型的10年平均径流系数由表1给出,它们之间的差异是很大的,以混交林的最小,10个水文年度的年平均值仅为1.65%;以桉树林地的地表径流量最大,10年平均值达到43.0%,裸地介于其中,为18.6%。

表1 3种地表上的地表径流系数百分比

Table 1 Percentage of surface flow coefficient for the three surface types(1981~1990)

月份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均 Mean
混交林 ¹⁾ Mixed forest	0.03		0.27		0.46		3.27		0.52		0.02		1.65
		0.03		0.26		6.02		8.95		0.03		0.00	
桉树林 Eucalypt	31.3		56.7		62.5		60.5		52.2		10.1		43.0
		37.0		32.2		59.7		59.2		47.4		7.1	
裸地 Naked land	11.4		23.0		29.4		25.9		17.9		9.2		18.6
		10.9		20.2		32.2		23.9		19.5		0.01	

1)混交林是由多种乡土阔叶树种混交组成的

造成地表径流系数差异的因素主要有植被类型,土壤的物理特性,地形条件及可以反映前期影响雨量的土壤现实含水量。这3个植被类型所在的土壤其原来的物理特性差异很小,可以忽略,而如果是由于植物迁入以后引起了土壤物理特性发生了改变,这本身就应归到“植被的影响”上面。

桉树林地地的地表径流比裸地大,这与阔叶纯林下冠滴穿透水(从林冠叶片中滴下的穿透水)直径较大,从而易于在林地地表形成击实层的事实有关,击实层的形成阻碍水分

的下渗而增加地表径流,这方面的报道我们以后陆续给出。

在一个水文年度内,试验地的降水明显地分为干季和湿季,随之而来的各个水文过程也有明显的干湿季之分,见表2。

表2中干湿季土壤含水量常年相对稳定,这与3种类型的土壤都比较粘重有关。混交林地,桉树林地和裸地的土壤容重分别为 $1.55\text{g}/\text{cm}^3$, $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 和 $1.77\text{g}/\text{cm}^3$,裸地的土壤含水量相对较高,说明了森林能减低地下水位这一尚存争议的问题。

表2 同一水文年度内3个地表景观下的水文参数

Table 2 Hydrological parameter in a same year for the three types of surface(1981~1990)

项目 Items	降水(mm) Rainfall			土壤水分(mm/cm) Soil water			平均径流系数(%) Runoff coefficient		
	混交林	桉树林	裸地	混交林	桉树林	裸地	混交林	桉树林	裸地
湿季 Wet period	1080	937	1096	2.9	2.9	3.2	3.84	58.8	25.8
	% 72.1	71.1	70.8						
干季 Dry period	418	381	452	2.7	2.7	3.1	0.09	31.7	13.5
	% 27.9	28.9	29.2						
总量或平均 Total or average	1498	1318	1548	2.8	2.8	3.2	1.65	43.0	18.6

降水变率大,整个土壤剖面平均含水量稳定,这种自然条件决定地表径流主要依赖于植被类型和降水强度。在植被种类复杂,地被物多的地方,土壤容重较小,土壤相对疏松,产流类型以蓄满产流占优势,降雨强度影响相对较小。而在植被类型简单,地被物稀少,土壤紧密容重大的地方以超渗产流占优势,降雨强度影响很大。在主要为超渗产流的地方,如果植被为高大的阔叶纯林,则更趋严重,阔叶林下的雨滴直径比大气降水的大得多,以巨大的能量冲击着地表面而形成击实层,水分几乎得不到下渗就流走,土壤侵蚀以表层小块状剥蚀为主,这就是本文中桉树林的情况,裸地的情况与之类似,只是没有林冠的加剧作用而已。

1981~1990年期间,年平均地表径流系数的变化情况见图1。

图1所示的结果指出年平均地表径流系数有很明显的变化趋势:

混交林的年平均径流系数在逐年减小,这反映了混交林成功地改变了海岸台地较为严酷的生境条件,生物多样性指数逐年增加,大大地发挥了森林减少地表径流的生态效益。而且这个效益越来越明显,前5年和后5年的年均径流系数分别为:2.337%和0.01723%,两者相差135.7倍之多,可见营造混交林在逐年增加水文效益方面是很明显的。

与此相应,裸地的年平均地表径流系数也在逐年减小,前5年和后5年的年均径流系数分别为17.5%和13.5%,减小的幅度虽然不大,但却几乎是单调减小的,这反映了裸地在没有受到外力(如人工的不合理造林)的作用下,植被的天然演替过程。

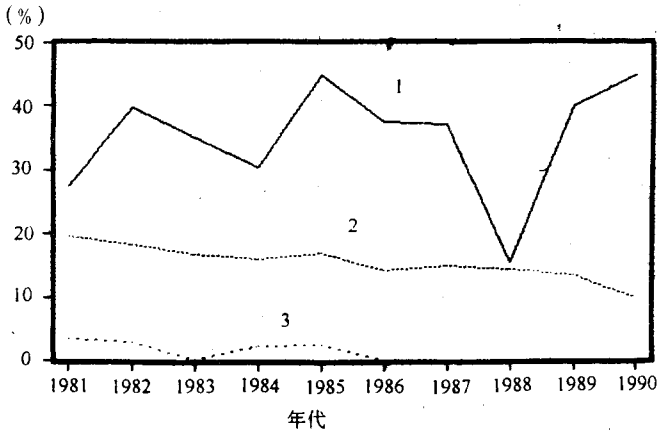


图1 1981~1990年均地表径流系数的变化

Fig. 1 Change of surface flow coefficients for the three types of surface(1981~1990)

1:桉树林 Eucalypt forest 2:裸地 Naked land 3:混交林 Mixed forest

相比之下,桉树林年均地表径流系数在这10年间变化不定,前5年和后5年的年平均值分别为35.8%和34.9%,从图上看这个0.9%的减小量不说明任何问题,主要是由于1988年的异常减小造成,分析1988年的降水资料可以发现,降落到桉树林的大气降水只有923.6mm,比1981~1990年10年平均量1317.4mm少393.8mm,降水变率为29.9%,这是一个极为异常的年份,并且从季节分布上,湿季仅618.0mm占66.9%,干季305.6mm只占33.1%,都比表2所示的平均年份低得多。由前面的论述可知,桉树林地产生流以超渗产流为主,其地表径流系数与降雨类型和降雨强度相关,降雨的减少带来降雨强度的减小,降低地表径流系数。

3.1.2 洪峰系数

可以设想,降落在一个光滑不透水,倾斜的平面上的降水,其出口断面的洪峰流量就是径流总量。因此,洪峰系数反映了下垫面的粗糙程度,从另一侧面揭示系统的水文效益。

表3 3种地表现象的洪峰系数百分数

Table 3 Percentage of flood peak for the three types of surface(1981~1990)

月份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均 Mean
混交林 Mixed	0		0.093		0.078		0.026		0		0		0.024
桉树林 Eucal	0.036		0.065		0.055		0.068		0.056		0.058		0.058
裸地 Naked	0.065		0.11		0.060		0.10		0.13		0.14		0.10
		0.20		0.12		0.083		0.11		0.11		0	

以裸地的多年年均洪峰系数为最大0.1%,桉树林次之为0.058%,这说明与裸地相比,桉树林林地对洪峰多少有一些延缓作用,尽管降落到桉树林地的降水与裸地相比更不易于下渗而形成大量的地表径流,但这些水分相对较分散地汇集于出口断面,缓和了对

地表的流水冲刷。混交林的洪峰系数非常小,并且平均每年有6个月之多的洪峰系数小到可以忽略的程度,表中以零计。

一年之内洪峰系数变化很小,裸地在于季和湿季平均分别为0.11%和0.096%,没有什么差异。桉树林分别为0.059%和0.056%。混交林分别为0.024%和0.025%。也都没有季节的差异,这个结果由洪峰系数所说明的意义来看是不难理解的。

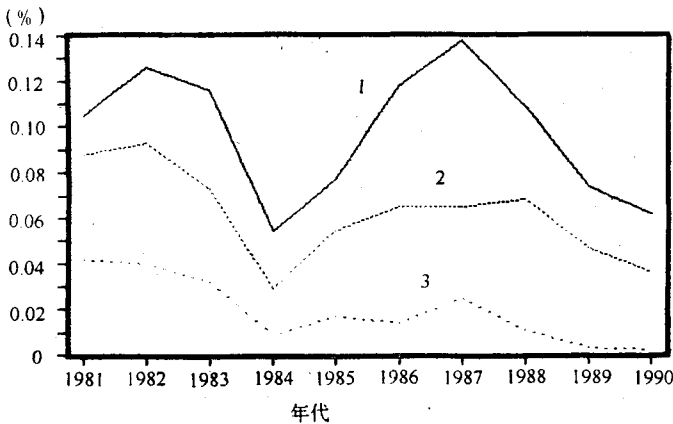


图2 三种地表景观上洪峰系数的年度变化

Fig. 2 Annual changes of flood peak coefficients for the three types of surface

1:裸地 Naked land 2:桉树林 Eucalypt forest 3:混交林 Mixed forest

图2中3条曲线的走向基本上都是随时间的推移逐渐下滑,比较明显的是混交林。如果对图2中的3条曲线分别作一平均直线,则这3条直线分别是裸地: $Y = -0.00298t + 0.3529$ ($r = -0.31$);桉树林: $Y = -0.00424t + 0.4241$ ($r = -0.62$);混交林: $Y = -0.00411t + 0.371$ ($r = -0.86$) (Y 是洪峰系数, t 是年度), r 均为负值,说明统计上3条曲线都下滑, r 由裸地,桉树林,混交林逐渐增大说明洪峰系数随年度减小的现象以混交林最为稳定,桉树林次之,裸地的这个作用不稳定。

图2中以1984年的洪峰系数变化最为特殊,这是因为1984年的降水相对偏高,且季节分配极不均匀,分别为混交林降水量1992.5mm,其中干季273.6mm占13.7%,湿季1718.9mm占86.3%;桉树林降水量1677.0mm,干季244.8mm占14.6%,湿季1432.2mm占85.4%;裸地降水量1888.5mm,干季276.9mm占14.7%,湿季1611.6mm占85.3%,它们都远远高于表2所示的平均值,较大的径流量导致洪峰系数相对很小。

3.2 发生产流的最小降雨条件

这里的产流是指汇集于出口断面的地表径流。

对于蓄满产流来说,理论上是整个包气带在水分达到饱和以前不产流,饱和以后除稳渗流以外全部产流。实际情况往往与之有些差异,在包气带深厚,土壤物理性质不是绝对均匀,有可能存在相对不透水层的情况下,产流过程实际上是这样发生的:降水开始时,土壤现实含水量 W_0 与最大含水量 W_m 之间有一个亏缺,土壤下渗率 f 很大,一般都超过现实降雨强度,降水必需先使得 W_0 增加到 W_m (在 $W_0 \rightarrow W_m$ 的过程中,由于 f 逐渐减小,可

能会发生瞬时的降水强度大于 f 的情况), 但只是使部分包气带发生产流作用, 而下部分还处于使之水分饱和的过程中, 这就是所谓局部蓄满产流的理论。

超渗产流的情况发生在土壤板结, 厚实的条件下, 即使是降水开始, 土壤下渗率也小于降水强度, 产流发生时, 水分饱和的土层往往只有几厘米, 甚至不到一厘米, 特别是在形成了土壤击实层的情况下。

3.2.1 降水量

小良试验站3个土壤类型干湿季土壤饱和含水量亏缺量 $W_m - W_0$ 。见表4, 干季与湿季中的各月份差异很小, 故只以水文季节统计, 与预期的一致, 土壤饱和含水量的亏缺量由混交林, 桉树林, 裸地依次减小。

表4 现实土壤含水量与饱和土壤含水量之差(mm/cm)

Table 4 The difference of practical soil water content and saturated soil water content

地表景观类型 Surface types	混交林 Mixed forest	桉树林 Eucalypt forest	裸地 Naked land
水文季节 Hydrologic season	干季 湿季 Dry wet	干季 湿季 Dry wet	干季 湿季 Dry wet
$W_m - W_0$	2.5 2.3	1.6 1.4	1.0 0.9

通过连续10年的观测, 我们统计了所有发生降水~地表径流的记录, 其中混交林30.2mm, 桉树林5.1mm, 裸地6.0mm, 当降雨量小于这些值时, 相应的植被类型下, 出口断面观测不到地表径流, 因此, 可以认为是各个小流域多年平均初损值。

与土壤饱和水分亏缺值相比较, 可以算出发生产流时被水分饱和的土层厚度, 混交林全年平均12.6cm, 桉树林3.4cm, 裸地为6.3cm, 这以后, 下层土壤的水分来源完全决定于上层土壤的饱和下渗率。混交林林地上壤疏松多孔, 饱和下渗率较大, 因此, 即使是产流作用已发生, 仍存在大量的因降雨强度小于上部土壤的饱和下渗率而停止产流的情况, 而且, 这种类型土壤的湿润锋而不很明显, 是逐渐过渡的, 上部饱和土壤和下部非饱和土壤之间不易发生相对运动, 有利于保持水上。与此相反, 桉树林地表径流发生时, 土壤仅饱和到3.4cm, 土壤质地致密, 加上由于冠层的作用而易于形成击实层, 使得这层土壤在水分饱和和后几乎是不透水的, 以后的降雨将绝大部分以径流的形式流走, 同时, 水分饱和的土层不厚, 湿润锋而相当明显, 这层土壤易于与下层发生相对运动而造成水土流失。

理论上的蓄满产流与超渗产流是两种极端情况, 实际上, 蓄满产流就是水分饱和土层达整个包气带后才产流的情况, 而超渗产流就是水分饱和和土层无限薄而趋向于零的产流情况。

从表5几乎看不出什么年际间的变化规律, 结果很相近, 这可以从各年测定的土壤水分含量很相近找到原因。

表5 不同地表景观类型产流最小雨量的年度变化

Table 5 Annual changes of minim rainfall requirement of surface flow generation for different types of surface

地表 景观类型 Surface types	年度 Year	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
	混交林 Mixed forest		26.3	29.9	42.1	31.9	33.6	28.3	32.1	27.5	26.8
桉树林 Eucalypt forest		4.5	5.4	5.5	5.3	5.2	4.9	4.7	5.2	5.0	4.7
裸地 Naked land		5.3	4.7	4.9	8.2	2.4	5.9	5.2	10.1	5.6	6.3

3.2.2 降水强度

降水强度与径流量关系不大,但与径流系数存在一定的相关性,几乎找不到发生产流作用的降雨强度下限。

但从下面的图3还是可以明显地发现桉树林下径流系数与降雨强度的关系更大。

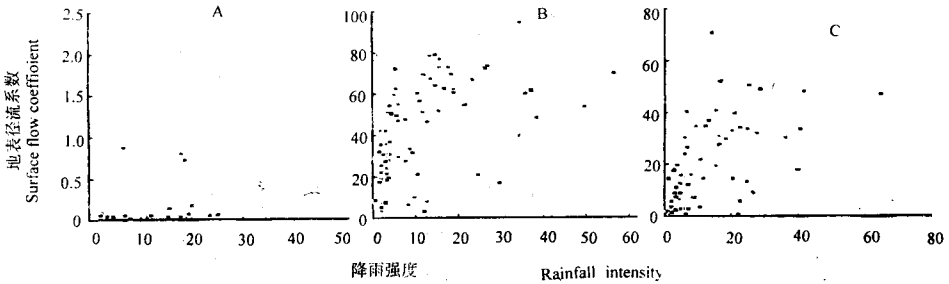


图3 地表径流系数与降雨强度的相关散点图

Fig. 3 The plot of surface flow coefficient and rainfall intensity for the three types of surface

A:混交林 Mixed forest B:桉树林 Eucalypt forest C:裸地 Naked forest

4 结论

4.1 3个植被类型中以混交林的地表径流系数最小,桉树林的地表径流系数最大,裸地居于其中。在年度变化上,试验期间混交林和裸地的地表径流系数都在逐渐减小,但桉树林的变化趋势不明。

4.2 桉树林地表径流系数显著地大,这是由于林冠层的存在加大了冠滴穿透水的水滴直径,更易于在地表形成击实层。

4.3 在产流类型上,混交林林地蓄满产流占优势,桉树林林地和裸地以超渗产流占优势。

4.4 洪峰系数反映了地表的粗糙度,研究表明,裸地的洪峰系数最大,混交林地最小。洪峰系数的季节变化不明显,但年度上都有逐渐减小的趋势,以混交林的变化趋势最明显,

桉树林其次,裸地不明显。

4.5 3个植被类型下林地发生产流的最小降雨量条件为:混交林30.2mm,桉树林5.1mm,裸地6.0mm,产流发生时饱和土层厚分别为:12.6cm,3.4cm,6.3cm。

参 考 文 献

- 余作岳等,1985:广东热带沿海侵蚀地的植被恢复途径及其效应,热带亚热带森林生态系统研究,第3期,97~108。
 余作岳等,1994:广东热带沿海侵蚀地的植被恢复生态学研究,中国科学院华南植物研究所,1994年2月。
 冈本美芳,1975:日本列岛森林流域降雨径流现象与过程的研究,径流实验研究译文集,华东水利学院。
 Mosley M. P., 1982:Subsurface flow velocities through selected forest soil, *J. of Hydrology*, **55**(1~4)。
 Mosley M. P., Streamflow generation in a forested watershed, *J. of Hydrology W. R. R.*, **15**(4)19。
 Morin J., et al., 1981:The effect of raindrop impact on the dynamics of surface crusting and water movement in the profile, *J. of Hydrology*, **52**(3~4)。
 Baker, M. B. et al., 1985:Evaluation of balance models on a mixed conifer watershed, *Water Resources Research*, Vol. **19**(2)。
 Eugenc L. Peck, 1976:Catchment modeling and initial parameter estimation for the National Weather Service River forecast system Office of Hydrology, NOAA, June, 1976, 14~23。

COMPARATIVE STUDY ON SURFACE RUNOFF FOR THREE TYPES OF VEGETATION IN XIAOLIANG EXPERIMENTAL STATION

Yu Zuo-yue Zhou Guo-yi Peng Shao-lin

(South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650)

Abstract

Based on the consecutive measurement(1981~1990), we studied the surface runoff in three types of vegetation. The results show that the hydrological profit of the mixed forest was far higher, by every means, than those of the Eucalypt forest and the Naked land. Furthermore, the profit was more and more evident with time. The minimum rainfall of initiating surface runoff was 30.2mm in the mixed forest, 5.1mm in the Eucalypt forest and 6.0mm in the naked land. The depth of saturated soil was 12.6cm, 3.4cm and 6.3cm, respectively. Theoretically, the authors demonstrated the ways in which surface runoff generates in the three types of vegetation and proposed that the land of the Eucalypt forest is more susceptible to forming the surface crusting because of the bigger rain drop going through the Eucalypt canopy. All above provide a very meaningful result for water and soil conservation, and thus bridge the gap of research on the multiple profit of forest in water and soil protection for coastal land.

Key words Coastal highland, Mixed forests, Eucalypt forest, Naked land, Surface runoff, Flood peak coefficient