

南亚热带鹤山 5 种生态系统的地表径流

申卫军 周国逸 彭少麟 余作岳 林永标 曾友特

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要 运用“小集水区径流场”技术对鹤山丘陵试验站 5 种生态系统地表径流进行了连续 5 年的观测与实验。结果表明: a. 5 种系统的地表径流系数马占相思林 < 果园 < 豆科混交林 < 草坡 < 林果苗系统, 分别为 2.3%、6.97%、13.30%、17.90%、22.16%; 径流模数变率差马占相思林 < 豆科混交林 < 林果苗系统 < 草坡 < 果园, 分别为 0.46、0.57、0.63、0.65、1.68, 可见两种人工林生态系统在蓄留水分、调节水量上均优于草坡, 而两种农林复合生态系统有所欠缺; 各系统的地表径流系数均有明显的干、湿季差异, 表现为湿季 > 全年 > 干季, 径流模数变率差的季节变化则恰好与此相反。 b. 5 种系统每场降水的地表径流量与降水量间存在着二次抛物线型回归关系, 地表径流量随降水量的增加是非匀速的, 年地表径流量主要由几场大的降水所决定; 地表径流量与降水强度的关系不大。 c. 5 种系统发生产流的最小降水量马占相思林 > 果园 > 豆科混交林 > 林果苗系统 > 草坡, 分别为 15.9、13.28、8.1、6.71、5.21 mm; 各系统对产流和洪峰的滞后约为 10-30 min, 马占相思林滞后时间最长, 其含蓄水分、削减洪峰和调节地表径流的作用最为明显。文中讨论了造成林果苗和果园系统水文功能缺陷的一些原因, 肯定了亚热带丘陵区上坡构建马占相思林在恢复生态学上的重要意义。

关键词 人工林生态系统; 地表径流

中图分类号 Q948.1

SURFACE RUNOFF IN FIVE ECOSYSTEMS OF HESHAN SUBTROPICAL HILLY LAND

Shen Weijun Zhou Guoyi Peng Shaolin Yu Zuoyue Lin Yongbiao Zeng Youte

(South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650)

Abstract The effects of five different ecosystems on surface runoff were studied through “watershed experiments” during 1993 to 1997 in Heshan Hilly Land Experiment Station. The results showed that the surface runoff coefficients of five ecosystems, viz. *Acacia mangium* forest, orchard, leguminous mixed forest, grassland, and forest-orchard-nursery system, were 2.3%, 6.97%, 13.30%, 17.90% and 22.16%, respectively, while the variation rate difference of runoff modulus were in the order of *A. mangium* forest < leguminous mixed forest < forest-orchard-nursery system < grassland < orchard, being 0.46, 0.57, 0.63, 0.65

中国科学院九·五重大项目 KZ951-B1-110、国家自然科学基金重大项目 39899370、国家自然科学基金 39700112 项目、广东省自然科学基金 960468 项目资助。

1998-07-31 收稿; 1998-12-14 修回

and 1.68, respectively. The results showed that *A. mangium* forest and leguminous mixed forest have better hydrological function on water conservation and adjustment than the others. Surface runoff coefficients were different among the seasons, showing that wet season > annual > dry season, but the seasonal change in variation rate difference of runoff modulus was in the order of dry season > annual > wet season. Between surface runoff (R) and precipitation (P), there was a regressive relation equation, $R = aP^2 + bP + c$, and surface runoff had no significant relationship with the rainfall intensity, and the surface runoff was often provided by some heavy rains. The rainfall causing surface runoff in *A. mangium* forest, orchard, leguminous mixed forest, forest-orchard-nursery system and grassland were 15.9, 13.28, 8.1, 6.71 and 5.21 mm, respectively. The runoff occurrence and the flood peak was delayed by the five ecosystems for 10 to 30 minutes, and the maximum appeared in *A. mangium* forest. Some flows in hydrological function of orchard and forest-orchard-nursery system are discussed.

Key words Man-made forest ecosystem; Surface runoff

地表径流是地表水蚀的主要源动力之一, 是洪水流量的主要成分^[1], 以其所具有的能量侵蚀土壤、改变流域的地貌特征。众所周知, 森林植物能够减少和调节地表径流, 这些功能是通过林冠、灌木层、草本层及枯枝落叶层对大气降水的截留、森林植物的蒸腾以及林地土壤蓄渗水分等来实现的, 也是森林生态系统功能的主要体现之一。探讨不同生态系统的地表径流规律及其特征, 对于消洪减灾、水资源的开发利用、森林涵养水源效益的评价及退化生态系统恢复成效的衡量都是非常有益的。

中国科学院鹤山丘陵综合实验站始建于1983年, 在南亚热带退化草坡上人工构建了多种人工林及农林复合生态系统。自1993年对这些系统的各种水文学过程进行了系统、长期的观测和实验, 本文旨在对比研究不同人工林生态系统地表径流特征及区域性水文规律, 为各系统的水文功能及效益评价、适合本区人工生态系统的构建和退化生态系统恢复提供理论依据。

1 实验区自然概况

鹤山试验站位于广东省中部, 东经112°54', 北纬22°41'。试验站属南亚热带粤中丘陵地区, 历史上曾为森林地带, 顶极群落为亚热带季风常绿阔叶林, 由于人为因素的长期和不断加剧的影响, 造成植被退化、水土流失严重, 现状植被除部分地方为人工马尾松 (*Pinus massoniana*) 林外, 绝大部分退化为亚热带草坡。丘陵地土壤为赤红壤(砖红壤性红壤)。

试验站所在地属南亚热带季风常绿阔叶林气候。年平均气温21.7℃, 极端最高温37.5℃, 极端最低温0℃; 太阳辐射4350.5 MJ m²a⁻¹; 年均≥10℃有效积温7597.2℃, 年均降雨量为1800 mm, 有明显的干湿季, 干季为10月—翌年3月, 湿季为4—9月; 年均蒸发量为1638.8 mm。

影响地表径流的因素极其复杂多样^[2], 除大气降水和林地土壤状况外, 地形、森林植物类型和覆盖度也是主要的影响因子。对供试集水区及其植被状况的调查表明(表1), 4个集水区在

面积上相似(马占相思林和果园同属林果渔集水区, 故只有4个集水区), 约为3 hm²。除草坡集水区外, 其余3个集水区的主流长、形状系数相似。4个集水区的平均坡度都较陡, 且相互毗邻, 地质状况差异不大, 因而可比性强, 能更加突出植被对地表径流的影响效应。

表1 供试集水区及其参数
Table 1 Parameters of different watersheds

集水区 Watersheds	面积(m ²) Area	周长(m) Circle length	主流长(m) Stream length	平均宽(m) Average width	分水线长(m) Water-dividing line length	似园率 Circle-like rate	形状系数 Shape factor	平均坡度 Slope
草坡 Grassland	35531.1	770.71	131.25	270.71	500.0	0.751	0.748	28°
豆科混交林 Leguminous mixed forest	39862.5	926.38	295.0	135.13	791.25	0.583	1.118	29°
林果渔系统 Forest-orchard- fish ecosystem	30228.0	912.85	330.0	91.6	821.25	0.456	1.333	25°
林果苗系统 Forest-orchard- nursery ecosystem	34462.5	846.56	305.5	112.81	733.75	0.604	1.115	27°

植被减少和调节地表径流的功能主要在于植被增加了土壤表面的粗糙度^[3]。林分组成、郁闭度和枯枝落叶层的特点具有重要的水文意义。从各集水区内植被状况可以看出(表2), 林果苗系统和林果草渔系统(马占相思林和果园)的相思类林分高度高、枯落物层厚, 但林下灌木与草本层盖度较之其它系统为低; 豆科混交林内乔、灌、草盖度接近, 具有相似的盖度分层比例, 枯落层厚度也居各供试系统的中间; 草坡与果园枯落层厚度最小, 草本层居绝对优势。

表2 不同集水区内的植被状况
Table 2 Vegetation status in different watersheds

集水区 Watersheds	林龄 Forest age (a)	优势种 Dominant species	乔木层盖度 Tree layer coverage (%)	灌木层盖度 Shrub layer coverage (%)	草本层盖度 Herb layer coverage (%)	林分高 Forest height (m)	枯落层厚度 Litter layer thickness (cm)
草坡 Grassland		芒萁(<i>Dicranopteris dichotoma</i>)、桃金娘 (<i>Rhodomyrtus tomentosa</i>)		80	96		2-3
豆科混交林 Leguminous mixed forest	14	马占相思(<i>Acacia mangium</i>)、 大叶相思(<i>A. auriculaeformis</i>)	65	60	70	7.0	3-4
马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	14	马占相思(<i>A. mangium</i>)	90	40	20	15	5-7
果园 Orchard	4	龙眼(<i>Dimocarpus longan</i>)	30	极少	94	2.5	1-2
林果苗系统 Forest- orchard-nursery system	14	大叶相思(<i>A. auriculaeformis</i>)、 绢毛相思(<i>A. confusa</i>)、龙眼 (<i>Dimocarpus longan</i>)	80	30	20	15	5-7

2 研究方法

采用“小集水区径流场”配合自然分水和人工的封闭技术,把生态系统边界定义在小集水区的边界以内,在自然分水不明显的地方加以人工隔离,人为地将整个集水区地表径流导入测流堰中,使之成为地表径流的唯一出口,通过测流堰用自记水位计记录径流量。在离试验地中央150 m处设有标准气象观测场,以测定大气降水。测流堰顶角为90°,流量计算式如下^[4,5]:

$$Q_0 = 1.343H^{2.47} \quad Q = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (Q_{0(1)} + Q_{0(2)})t_i$$

式中 Q_0 为水位自记曲线上某一水位高度的流量($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), H 为堰口水头高度(m)。 Q 为某一降水(径流)过程的径流总量, $Q_{0(1)}$ 和 $Q_{0(2)}$ 为水位曲线上相临两点水位高度(H_1 和 H_2)的流量($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), t 为相临两点的时差(s), $i=1, 2, 3, \dots, n$,分别表示某一径流过程从1, 2, 3, ..., n 个相邻两点间的径流时段。最后将径流量换算为径流深(mm)。

在供试集水区中,草坡、豆科混交林和林果苗系统的测流堰所得为地表径流和地下径流总和,在本研究中根据径流过程线和实地观测对两种径流进行分隔。

3 结果分析

3.1 地表径流特征分析

5种集水区的地表径流特征值各不相同(表3)。除林果苗系统外,其余3种系统特征值均小于草坡。以草坡为对照,林果苗、豆科混交林、马占相思林、果园与其地表径流系数之比分别为1.238:1、0.732:1、0.130:1、0.389:1,这表明马占相思林、果园和豆科混交林3种系统涵养水量、减少地表径流的能力比草坡强,而且马占相思林最为突出,其地表径流系数比草坡减少了87.5%,其次为果园和豆科混交林,分别减少了61.1%和25.7%。从各集水区内林分状况可以看出(表2),马占相思林乔木层郁闭度、林分高度、林下枯枝落叶层厚度均优于果园和豆科混交林,因而其地表径流特征值相应的也比其它系统小,水文功能强。从林分状况的角度来说,果园次于豆科混交林,但果园在栽植时辅以工程措施,即修筑了梯田,使其拦蓄入渗能力增加,从而使整个系统的地表径流系数小于豆科混交林;林果苗系统内,坡上部为马占相思人工林,坡下部为果园,同林果苗系统的配置相似,只有在坡脚谷积地为苗圃,占整个系统总面积的1/20,自构建系统以来,一直未给予很好的利用和管理,并且苗圃所处谷积地地下水位高,又邻近出水口,地表径流的产流条件优越,因此,苗圃的大量供水是整个林果苗系统地表径流量和径流系数大、汇流时间短的主要原因。

径流变率差的大小反映了系统长期内调节水量应变能力的强弱^[4],变率差大表示调节水量的应变能力弱;变率差小表示调节水量的应变能力强。5种系统地表径流变率差的大小顺序为马占相思林 < 豆科混交林 < 林果苗系统 < 草坡 < 果园。这表明除果园外,其它系统调节水量的应变能力均强于草坡,马占相思林最好,由此也说明生物措施在长期调节水量的能力较之工程措施更为突出。由表2知,马占相思林、豆科混交林和林果苗系统的乔木层和灌木层盖度、枯枝落叶层厚度均优于草坡,只有果园的植被状况与草坡最为接近,表现在系统调节水量的能力上也相似,从而明显看出森林在调节水量上的重要作用,即使林龄较小(14 a)的人工林其调节水量的能力亦非常明显。

表 3 5 个集水区的地表径流特征值 *
Table 3 Characteristic value of surface runoff in the five watersheds

集水区 Watersheds	径流期 Season	径流总量 Total surface runoff (m ³)	径流深 Surface runoff (mm)	径流模数 Surface runoff modulus (L s ⁻¹ km ⁻²)	径流系数 Surface runoff coefficient (%)	径流变率 Variation	变率差 Variation rate
草坡 Grassland	年 Annual	10852.7	305.443	6.9678	17.90	0.9135-1.5602	0.6467
	干季 Dry	1005.39	28.2962	1.5344	10.63	0.7430-2.8361	2.0931
	湿季 Wet	9847.36	227.148	12.595	18.96	0.8453-1.6597	0.8144
豆科混交林 Leguminous mixed forest	年 Annual	9154.27	229.646	9.0240	13.30	0.4481-1.0155	0.5674
	干季 Dry	585.643	14.6916	1.3283	5.62	0.2122-1.2363	1.0241
	湿季 Wet	8568.63	214.955	16.970	14.52	0.4665-0.9982	0.5317
马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	年 Annual	262.85	39.386	1.4394	2.32	0.6902-1.1525	0.4623
	干季 Dry	16.033	2.4025	0.3026	1.15	0.2045-1.9590	1.7545
	湿季 Wet	246.81	36.984	2.6161	2.51	0.7074-1.1420	0.4345
果园 Orchard	年 Annual	463.89	124.96	3.9627	6.97	0.4991-2.1742	1.6751
	干季 Dry	38.018	10.242	0.6585	3.56	0.1543-2.3356	2.1813
	湿季 Wet	425.87	114.73	7.3770	7.54	0.4652-2.1598	1.6946
林果苗系统 Forest-orchard-nursery system	年 Annual	13126.2	380.884	12.078	22.16	0.5920-1.2224	0.6304
	干季 Dry	1381.72	40.0935	2.5780	13.57	0.1785-1.5639	1.3854
	湿季 Wet	11744.5	340.791	21.913	23.59	0.6406-1.2631	0.6225

* 为 1993 年-1997 年平均值; 干季为 10 月-翌年 3 月, 湿季为 4-9 月. Data are mean values from 1993-1997; dry season is from October to March of next year, wet season is from April to September.

5 种生态系统的地表径流总量、径流深、径流模数和径流系数年内存在明显的干、湿季差异, 表现为湿季 > 全年 > 干季。说明这些人工林生态系统在干季涵蓄水分的能力要强于湿季; 径流模数变率差多表现为干季 > 全年 > 湿季, 说明供试系统在干季调节水量的能力优于湿季, 也可能与干季降雨量少、降雨强度小有关

图 1 显示了 5 种系统地表径流系数在各月间的变化情况。4-9 月之间, 各系统地表径流系数出现不同的波动, 变化明显, 而且从量上要高于 10 月-翌年 3 月, 由此也看出明显的干、湿季差异。林果苗系统地表径流系数在各月都明显高于其它系统, 8 月份的径流系数峰值最高; 豆科混交林与草坡地表径流系数的月变化相似, 其次为果园; 马占相思林自 4 月份始有所增加, 4-9 月间基本持平, 没有明显的峰谷, 9 月份时回落, 再次表明马占相思林不仅年际间调节水量的能力强, 而且在年内地表径流季节分配与月变化方面也较为平缓, 体现了系统本身优越的

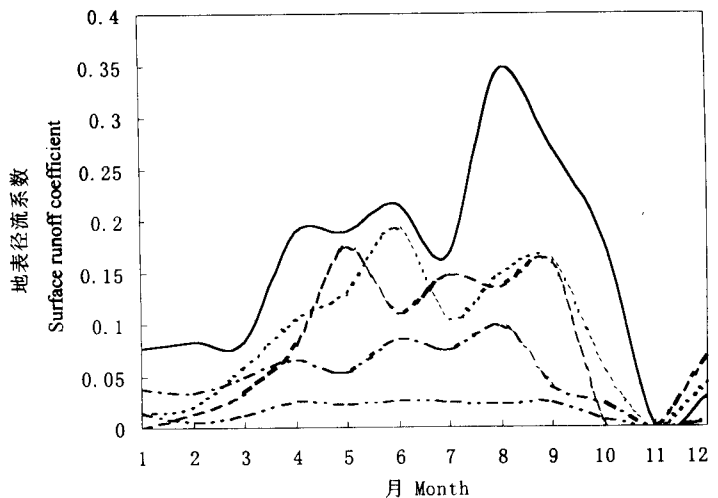


图 1 5 种系统地表径流系数的月变化

Fig. 1 Monthly variation of surface runoff coefficient in five systems
- - - 草坡 Grassland; ····· 豆科混交林 Leguminous mixed forest; — 林果苗系统 Forest-orchard-nursery system; —·— 马占相思林 *A. mangium* forest; —·— 果园 Orchard.

水文功能。

3.2 地表径流量与降雨特征的关系

降水是影响径流的重要因素之一，它直接影响着地表径流量的大小。对5种系统地表径流量与降水量之间建立回归模型表明，均存在着二次抛物线型回归关系。以豆科混交林系统为例（图2），其它系统也具有相似回归关系图，不在此一一绘出。各系统的回归方程见表4，经F检验，转换后的线性关系显著，可靠性为99%，可用此方程来推估一场降水不同系统的地表径流量。不同系统地表径流量与降水量之间非线性的二次抛物线回归关系表明，地表径流量随降水量增加而增加，但不是匀速增加的，即一场大降水情况下系统的地表径流系数要大于小降水量情况。据对各系统降水-地表径流关系在长期的分析， ≥ 40 mm/次的降水约占年均总降水次数的10%，但这些降水所产生的地表径流却占总径流量的近50%，因此地表径流量主要是由几场大的降水所决定的。

然而对照每场降水的降水强度与地表径流量，以豆科混交林系统为例（图3），二者之间相关点的分布异常散乱，看不出明显的相关关系，其它系统的每场降水地表径流量与降水强度间的关系类似。这就说明本区地表径流量的大小从气候因子来说主要是由降水量来决定的，而与降水强度的关系不大；因此从产流机制来说，系统产流可能主要以蓄满产流为主^[3,6]。

表4 5种系统的降水-产流回归模型

Table 4 Regressive model between rainfall and surface runoff for the five ecosystems

系统 Ecosystem	回归方程 $R=aP^2+bP+c$	样本数 Sample no.	相关系数 r	F值 F value	F临界值 F threshold
草坡 Grassland	$R=0.0085P^2+0.0822P+0.7558$	66	0.914	233.132	$F_{0.01}(1,64)=7.002$
豆科混交林 Leguminous mixed forest	$R=0.0017P^2+0.09P-0.2676$	300	0.891	1114.108	$F_{0.01}(1,298)=6.721$
马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	$R=2 \times 10^{-5}P^2+0.0292P-0.0454$	204	0.831	456.695	$F_{0.01}(1,202)=6.761$
果园 Orchard	$R=0.0009P^2+0.0245P+0.1508$	275	0.848	682.643	$F_{0.01}(1,273)=6.742$
林果苗系统 Forest-orchard-nursery system	$R=0.0053P^2+0.0635P+0.0426$	217	0.914	1096.624	$F_{0.01}(1,215)=6.748$

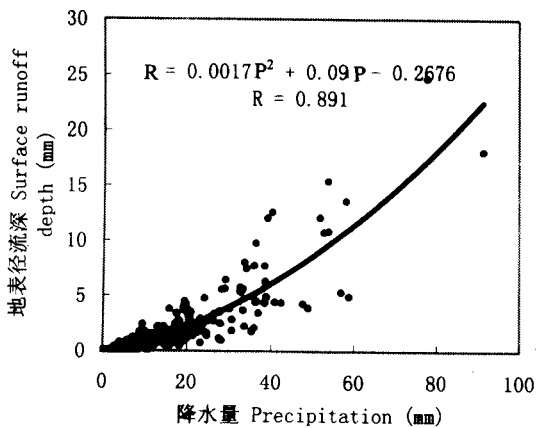


图2 豆科混交林地地表径流量与降水量相关图

Fig.2 The relationship between surface runoff and rainfall in leguminous mixed forest

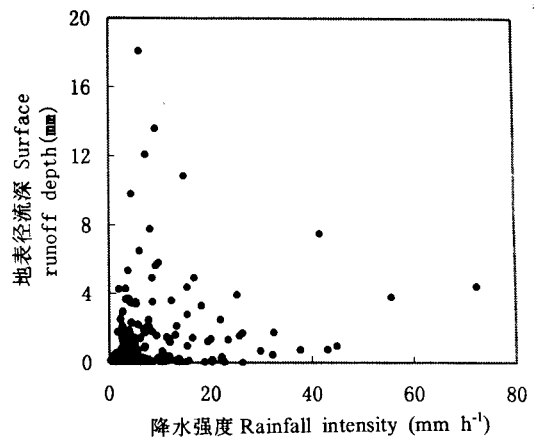


图3 豆科混交林地地表径流与降水强度关系散点图

Fig.3 The relationship between surface runoff and rainfall intensity in leguminous mixed forest

3.3 地表径流产流特征分析

地表径流的形成是坡面供水与下渗的矛盾产物^[7]。植被类型、覆盖条件、降水特征、枯枝落叶层的厚度及其持水能力、土壤拦蓄入渗能力等都直接或间接地影响着产流与否和产流量的多少。同样, 亦可通过分析不同系统的产流特征、过程来揭示系统减少地表径流、调节水量等功能的强弱。

发生产流的最小雨量 不同人工林生态系统由于其下垫面状况的差异, 相似降雨条件下发生产流与否也反映了系统自身蓄水能力的强弱。4年的观测结果表明, 5种系统的产流降水量各不相同, 马占相思林 > 果园 > 豆科混交林 > 苗圃 > 草坡, 分别为 15.9 mm、13.28 mm、8.1 mm、6.71 mm、5.21 mm, 视降雨强度和前期降雨状况而定, 降雨强度大、前期降雨充沛、系统贮水量大, 则产流降水量减少, 但各系统最少不低于 2.7 mm; 另外, 干季产流降水量明显大于湿季。人工构建的4种生态系统产生地表径流前对降雨的初损均比草坡大, 马占相思林更优于其它系统, 这与马占相思林林冠茂密、林下枯枝落叶层厚等密切相关。

地表径流产生与降雨初始时间、洪峰与降雨高峰时间相位差 降雨开始后, 并不立即产生地表径流, 而需要一定的时间间隔; 同样从降雨高峰到出现洪峰也需一定的时间, 这些时间间隔的长短也可在一定程度上反映系统本身对径流的调节作用。一般来说, 产流和洪峰出现都会滞后于降雨和降雨高峰时间, 滞后时间越长, 表明系统对降雨冲击的缓冲能力越强, 系统本身水土流失的威胁越小。不同的集水区, 因其形状、植被和土壤状况存在差异, 这种缓冲能力也有所不同。对各系统多年多次 ≥ 10 mm 降雨-产流时间相位差变化的分析表明, 马占相思林、豆科混交林、林果苗系统、果园和草坡从开始降雨到开始产流的时间间隔平均分别为 29.89、24.35、21.28、26.23、24.6 min, 降雨高峰与洪峰出现的时间间隔各系统分别为 23、15.58、10、11、13 min, 这也与降雨强度、前期降雨条件和集水区形状密切相关。降雨强度小, 前期降雨充分, 集水区坡度大、形状系数小, 则产流和洪峰的滞后时间短。对多数大强度的降雨来说, 降雨高峰期和径流洪峰几乎是同步的。干季产流和洪峰的滞后时间明显要长于湿季。马占相思林产流和洪峰滞后时间要长于其它系统, 再次表明该系统在蓄渗降水和调节水量上的优越性。

降水-地表径流过程分析 据径流自记装置测定结果, 5种系统的产流过程常为单峰或多峰曲线, 这是降水过程和下垫面多因子综合作用的结果。以1996年4月19日的一场降雨为例, 其降水特征和各系统的产流过程分别见表5和图4。

表5 5种系统1次暴雨-产流的特征值

Table 5 Characteristic value of rainfall and flow after a heavy rain for five ecosystems

降雨历时 (min) Rainfall duration	降雨量 (mm) Precipitation	降雨强度 (mm min^{-1}) Rainfall density	30 min 最大雨强 (mm min^{-1}) Maximum rainfall density within 30 min	60 min 最大雨强 (mm min^{-1}) Maximum rainfall density within 60 min	
259	80.2	0.31	0.81	0.79	
系统 Ecosystem					
产流 Flow	草坡 Grassland	豆科混交林 Leg. mixed forest	马占相思林 <i>Mangium</i> forest	果园 Orchard	林果苗系统 Forest- orch.-nurs. sys.
产流历时 Flow duration (min)	260	290	270	235	240
地表径流量 Surface runoff (mm)	3.34	2.80	1.52	4.69	3.32
地表径流系数 Surface runoff coeff. (%)	4.16	3.50	1.89	5.85	4.14

从图4和表5可知,相同的降水条件下,不同系统由于下垫面性质的差异,出现地表径流及其持续时间均有差异。草坡开始产流时间最早,约在降雨3.0 mm后30 min,林果苗系统开始产流时间比草坡约晚30 min,果园和豆科混交林次之,马占相思林开始产流时间最晚;果园与林果苗系统径流持续时间最短,草坡次之,豆科混交林与马占相思林持续时间最长。各系统洪峰时间几乎与降雨高峰时间同步,约滞后10-30 min,相比较之下,林地延缓地表径流的作用明显,草坡最差,其它类型则介于其间。

由图4还可看出,不同系统地表径流的起伏程度也不相同,草坡和林果苗系统在降雨量较小时即有一次小的波动,并且草坡出现了两个峰值,其它系统都是一个,由此反映了草坡对降雨的敏感性;豆科混交林流量峰值最大,草坡、林果苗系统和果园次之,马占相思林最小,而且过程线变化很平缓,在该次暴雨中产流量和地表径流系数均最小(表5),林地削减洪峰作用明显。

4 讨论

森林生态系统的蒸散和径流是系统水分循环过程中的两个主要输出项,从降水输入到输出,地表径流的输出时间是最短的,这种短时间内的变化对系统本身乃至更大系统造成水土流失、洪水灾害发生的威胁也是最大的。因此地表径流量的大小、产流过程的特点在很大程度上反映了系统本身水文功能的强弱。从4种不同的人工林生态系统与草坡的对比来看,在蓄渗水分、调节水量、降水初损、滞后产流和洪峰上,马占相思林和豆科混交林系统均要优于草坡。但林果苗系统的年均地表径流系数、开始产流和洪峰的滞后时间均大于草坡,果园的地表径流模数、开始产流和洪峰的滞后时间也大于草坡,反映出这两个系统在蓄留水分、调节水量上存在的问题。究其原因,林果苗系统的苗圃地下水位高,又临近系统的出水口,自整个系统构建以来一直未给予很好的利用和管理,基本处于闲置状态,一旦降水开始并达到一定的量后,这部分便首先产生地表径流,因此苗圃地成了整个系统地表径流过程的前卫和主要贡献者;从表2可以看出,果园乔木层盖度和林下枯落物层厚度均次于其它人工林系统,虽然在构建初期修筑了梯田,在增加水分入渗上起到了一定的作用,使地表径流系数有所减少,但由于植被覆盖层次欠佳和缺乏枯落物层,使整个系统调节水量、滞后产流和洪峰的作用锐减。因此要加强对苗圃和果园的利用和管理,以发挥这两种系统应有的生态和经济效益。

退化生态系统的恢复主要是植被和其它生物在一定区域内恢复生存及其生存环境的改

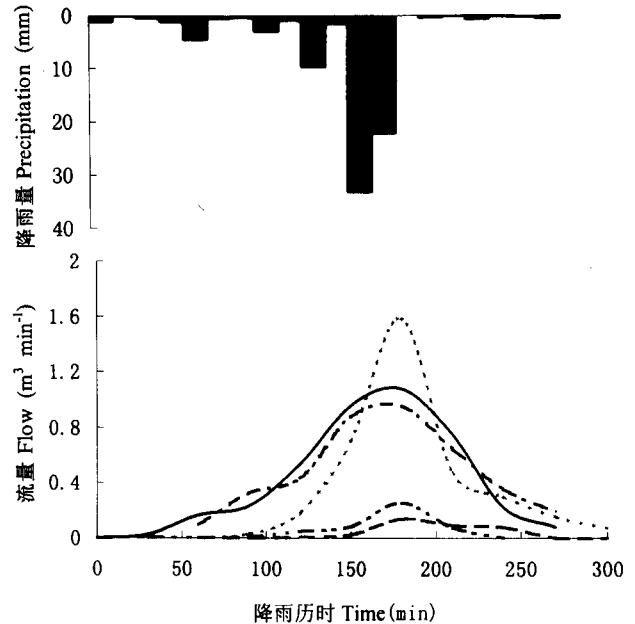


图4 5种生态系统的降雨-地表径流过程线

Fig. 4 The rainfall-surface flow hydrograph of five ecosystems
 —— 草坡 Grassland; 豆科混交林 Leguminous mixed forest;
 - · - · 林果苗系统 Forest-orchard-nursery system;
 - - - 马占相思林 *A. mangium* forest; - - - 果园 Orchard.

善, 而植被恢复的首要任务是先锋群落的构建。马占相思因其自身的生物生态学特性作为一种优良的先锋树种或更新树种, 通过本研究也可以看出, 其林分在蓄留水分, 减少地表径流和滞后、销减洪峰上都表现出优良的水文功能, 这对于短期内森林环境的形成是非常有益的, 也说明在人工农林复合生态系统的配置上, 上坡构建马占相思林是合理的。因此, 在热带、亚热带水源涵养林和水土保持林的营造上应给予充分利用。

参考文献

- 1 孙阁. 林地地表径流的研究. 水土保持学报, 1989, 3(2):52-55
- 2 Hewlett J L, Hibbert A R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. Inter Symp on Forest Hydrology. Pergamon Press, 1967, 275-290
- 3 马雪华. 森林水文学. 北京: 中国林业出版社, 1993
- 4 邓世宗, 田永江, 苏扬等. 广西森林水文及流域治理论文集. 北京: 气象出版社, 1994
- 5 周国逸. 生态系统水热原理及其应用. 北京: 气象出版社, 1997
- 6 Lee R. Forest Hydrology. New York, Columbia University Press, 1980
- 7 Mosley M P. Streamflow generation in a forested watershed. J Hydrology, 1975, 15(4):19-26