

小良试验站三种植被类型地表径流效应的对比研究*

周国逸 余作岳 彭少麟

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

提要 本文分析研究了3种植被类型下的地表径流在汇流、洪峰及径流过程上的特征, 差异是巨大的。在径流过程中按树林和裸地的变动剧烈, 几乎没有什么调蓄作用, 洪峰流量占一次性降水径流量的绝大部分, 涨水和退水流量都较小。本文应用灰色系统GM(2, 1)模型, 成功地预测了以年和以月为时间尺度的地表径流序列, 其预测模型可以用来对这些时间尺度的地表径流进行预报。

关键词 地表径流 植被类型 灰色系统 GM(2, 1) 模型

地表径流反映了流域植被、土壤、气候和其他一些综合水文特征, 是衡量森林保持水土、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1981~1990年连续10年的水文资料, 通过灰色系统GM(2, 1)模型, 以期对处于热带海岸台地这一特殊生境条件下的混交林、桉树林、裸地3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 试验地与观测方法

1.1 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, 地理位置为北纬 $21^{\circ}27'49''$, 东经 $110^{\circ}54'18''$, 属热带北缘地区, 年平均气温 23°C , 最高气温 36.5°C , 最低为 4.7°C , 月平均气温在 18°C 以上者达9个月。1981~1990年10年间平均年雨量 1454.5mm , 最大年雨量发生在1985年为 2209.8mm , 最小年雨量发生在1984年为 1128.7mm , 干湿季节分明, 干季(10~4月)雨量占28.7%, 湿季(5~9月)占71.3%, 降雨方式多以暴雨形式的对流雨及台风雨。地带性土壤为砖红壤。由于水土流失严重, 绝大部分表土已被蚀去, 有些地方的表土光裸成板状, 称为光板地。这种类型的地表在裸地大量存在, 桉

*中国科学院院长基金资助项目。

来稿时间: 1995年1月。

树林下也很普遍。试验地中 2 个试验小集水区地形地貌与坡度基本一致, 面积分别为混交林 6.4hm², 桉树林 3.8hm², 裸地 3.7hm²。混交林有较复杂的林相, 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导^[1-2]。

1.2 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, 用以严格控制不同试验地的降水输入及其变化过程。同时, 设置地表径流测流堰以量测各个集水区的地表径流输出, 自动记录瞬时流量。

2 结果与分析

2.1 汇流与第一次洪峰出现所需的时间

统计 1981~1990 年 10 年间的降雨—径流过程线, 得到不同植被类型下地表径流的平均汇流所需要的时间(表 1)。由于混交林出现产流的次数远较其它两类的少, 因此都以混交林的降雨—径流过程作基准, 以便于对照比较。

表 1 汇流和洪峰出现所需要的时间

Tab. 1 The duration of gathering and before the first surface flow peak emerge (in minute)

项目	汇流时间			洪峰出现所需要的时间		
	混交林	桉树林	裸地	混交林	桉树林	裸地
时间(分)	98.5	20.2	26.5	150.8	76.7	73.8

从表中可以看到, 对于同样的降水, 混交林有更强的延迟地表径流和洪峰出现的效能。汇流时间桉树林较裸地所需要的时间短, 而洪峰出现的时间则相反。这说明虽然桉林地降水—产流初损值较裸地小, 但大量的树根裸露地表起了拦截洪峰的作用。

2.2 地表径流过程分析

选择 3 种植被类型的地表径流过程线同一场降水加以分析, 分别点绘于图 1 中。

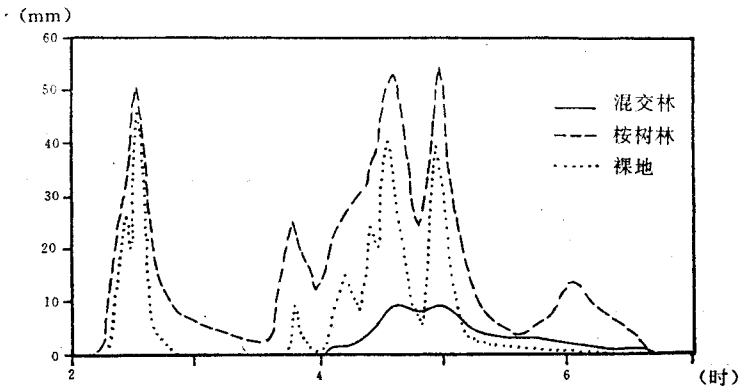


图 1 3 种植被下的地表径流过程线 (1985 年 8 月 15 日)

Fig. 1 The curve of surface flow under the three types of vegetation (August 15, 1985)

有关这场降水在 3 个植被类型下的参数由表 2 给出。从表 2 中可以看到, 这场降水在混交林地的雨量和降水强度比其他两种植被类型都要大。

表 2 1985 年 8 月 15 日的降水在 3 个植被类型下的参数

Tab. 2 Parameter of rainfall in Aug. 15, 1985 for the three vegetation types

项目	混交林			桉树林			裸地		
	起止	量 (mm)	强度 (mm/h)	起止	量 (mm)	强度 (mm/h)	起止	量 (mm)	强度 (mm/h)
量	2. 60'	96. 4	20. 4	2. 10'	82. 7	17. 7	2. 03'	82. 3	17. 2
	-6. 50'			-6. 50'			-6. 50'		

图中混交林地地表径流过程线远较其他两种植被类型下的简单, 这场降水几乎只形成一个简单的单峰曲线。相比之下, 桉树林下的地表径流过程线非常复杂, 同一场降水形成众多的洪峰, 瞬时流量几乎完全决定于降水强度, 这由图 1 和降雨强度曲线(图 2)线型的相似程度就不难看出。裸地的情况则更加突出, 几分钟的降水间隙就使得裸地的地表径流完全断流。

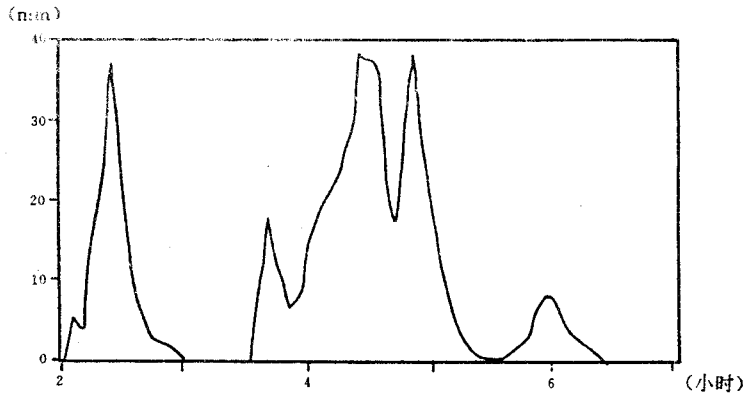


图 2 降雨强度曲线 (1985 年 8 月 15 日)

Fig. 2 Curve of rainfall intensity (August 15, 1985)

这些事实说明桉树林和裸地对降水调蓄作用很小, 几乎就像一块不透水的“光板”, 而混交林则有较大的降雨调蓄作用, 使径流过程趋于平缓。

混交林的洪峰前流量, 即涨水流量为 0.46mm, 占总径流量的 21.4%。桉树林第一次洪峰前流量为 6.0mm, 占总径流量的 9.6%。裸地的第一次洪峰前流量为 1.1mm, 仅占总径流量的 4.5%。相应地, 3 种植被类型的最后一次洪峰后流量即退水流量分别为: 混交林 0.88mm, 占总径流量的 40.6%, 桉树林 11.64mm, 占总径流量的 18.1%, 裸地 4.13mm, 占总径流量的 17.6%。

混交林所产生的径流量的绝大部分能以非洪峰流量的形式出现在河川中, 其量达 62.0%, 而桉树林和裸地分别只有 27.7% 和 22.1%。

2.3 3种植被类型地表径流的预测

地表径流过程实际上是一种不纯的随机过程, 其时间序列起落不平, 规律性不明显, 受制于很多的因子。本文的第一部分指出, 径流系数无论在年度上还是在月份上的变化都非常大, 很难预测其规律性。

但是, 如果我们将如上时间过程作如下处理^[3-4]:

设 $X_t(0)$ ($t=1, 2, \dots, N$) 是径流系数随某个时间尺度 (可以是年, 月) 而变的系列, 令

$$X_t(1) = \sum_{i=1}^t X_i(0) \quad (t = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

则由图 3 (A) 可以看到 $X_t(1)$ 随时间的变化较 $X_t(0)$ 有规律多了, 起伏性大大变小, 随机性的成分减弱。

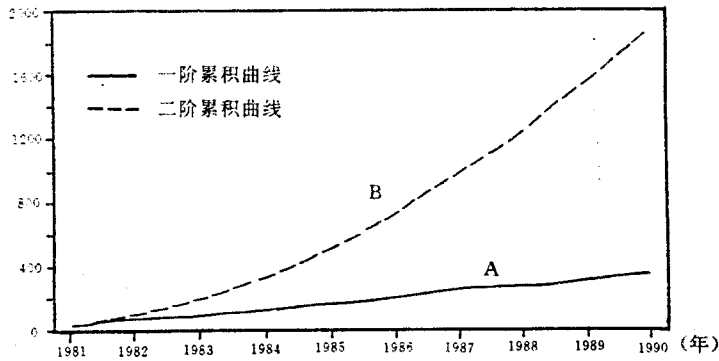


图 3 桉树林地表径流系数的一二阶累积曲线 (1981~1990)

Fig. 3 The first and second order summation curve of surface flow coefficient for Eucalypt forest land

然而, 图 3 (A) 仍然为折线, 还是难于用单一的数学模型来表示, 用于预测还不够。为此, 将 (1) 式再累加一次, 得到

$$X_t(2) = \sum_{i=1}^t X_i(1) \quad (t = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

从而得到一个相当平稳的二阶累积曲线, 见图 3 (B)。

这就是二阶一维灰色系统模型记为 GM (2, 1) 的基本思路。

不失一般性, 令图 3 (B) 的相应微分方程为

$$\frac{d^2 X}{dt^2} + a \frac{dX}{dt} + bX = \mu \quad (3)$$

由于 X 为二阶累积值序列, 则 dX/dt 是一阶累积序列, 而 $d^2 X/dt^2$ 则为原时间序列。

(3) 式的解为

$$X_{t+1} = e^{at} [B \sin Ct + D \cos Ct] + E \quad (4)$$

为求出 (4) 式中的参数, 将 (3) 式改写成差分方程形式, 再分别将二阶累积值、一阶累积值和原序列值代入, 用最小二乘法解出参数 a , b , μ , 再将 (4) 式代入 (3) 式, 注意到恒等的条件, 则有如下联立方程组

$$\begin{cases} A = -a/2 \\ C = \sqrt{b - A^2} \\ E = \mu / (A^2 + C^2) \\ D = X_0 - E \end{cases} \quad (5)$$

容易得到 (4) 式中的全部参数 (表 3)。

表 3 3 种植被类型下公式 (4) 的参数 (逐年)

Tab. 3 The parameter of equation (4) for the three vegetation types (in the unit of year)

参 数	A	B	C	D	E
混交林	-0.023 3	5.770 2	0.174 8	-95.26	98.761
桉树林	0.032 1	1916.665 0	0.085 1	-3 508.58	3 536.076
裸 地	-0.009 46	-87.930 2	0.072 8	-3 553.16	3 572.762

2.3.1 逐年地表径流的预报 将计算得到的地表径流系数的二阶累积曲线 (图略) 差分二次得到预测的原序列值, 再将原序列的预测值与实测值对比 (表 4)。

表 4 原序列的预测精度 (年地表径流系数)

Tab. 4 The accurate of estimation for the basic time series (annual surface flow coefficient)

年 度	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Σ
混 实测	3.5	3.0	0.3	2.5	2.6	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	12
交 预测	3.5	1.1	2.4	2.3	1.7	1.5	0.9	0.6	0	0	14
林 偏差	0	63.3	>100	8	34.6	>100	>100	>100	/	/	18
桉 实测	27.5	39.6	35.1	30.5	44.8	37.4	37.0	15.5	39.8	44.9	352
树 预测	27.5	39.3	33.7	35.3	36.3	37.3	38.0	38.4	38.6	38.2	362
林 偏差	0	0.8	4.0	15.7	19.0	0.3	2.7	>100	3.0	14.9	3.0
裸 实测	19.6	18.2	16.7	16.0	17.0	14.2	14.9	14.4	13.4	10.0	154
地 预测	19.6	15.1	18.2	17.4	16.8	16.0	15.1	14.3	13.3	12.2	158
地 偏差	0	17.0	9.0	8.8	1.2	12.7	1.3	0.7	0.7	22.0	2.3

从表 4 中可以看到, GM (2, 1) 模型用于预测混交林的年地表径流没有得到理想的结果, 原因主要是混交林地地表径流太小, 细小的误差就可能完全破坏应有的预测精度, 但用于预测裸地和桉树林的年度地表径流却有相当高的精度, 完全可以用来对这两种地表径流情况作预报。而且, 如果考虑的是一个时段 (如数年), 则如上的预报方程无论是混交林还是桉树林和裸地都有足够的准确性。

2.3.2 逐月地表径流预报

逐月地表径流预报比逐年预报的难度要大得多。这是因为时间的短促, 资料的随机性就迅速增大。一般可以认为逐月的相对偏差小于 100% 则是优良的预报 (表 5)。

表 5 3 种植被类型下公式 (4) 的参数 (逐月)

Tab. 5 The parameter of equation (4) for the three vegetation types (in the unit of month)

参 数	A	B	C	D	E
混交林	0.271 7	4.781 9	0.192 1	-4.245 4	4.278 4
桉树林	0.136 6	622.781 5	0.164 0	-480.613 4	511.923 4
裸 地	0.140 2	256.975 6	0.167 5	-199.312 4	210.682 4

同样, 将按月计算得到的二阶累积曲线差分两次, 得到预测的月径流系数, 与实测的月径流系数加以对比, 分水文季节作比较 (表 6)。

表 6 原序列的干湿季地表径流系数预测精度

Tab. 6 The estimation accurate of surface flow coefficient for hydrological dry and wet seasons in a year

水文季节	干季	湿季	Σ
实测值	0.7	19.3	20.0
混交林 预测值	1.7	14.4	16.1
偏差 (%)	135.6	25.5	19.8
实测值	221.8	294.1	515.9
桉树林 预测值	313.9	342.0	655.9
偏差 (%)	41.5	16.3	27.1
实测值)	94.2	129.3	223.5
裸 地 预测值	142.1	142.5	284.6
偏差 (%)	50.8	10.2	27.3

GM (2, 1) 模型用于预测月地表径流时, 效果尚可, 但在干季一般都有较大的偏差。考虑到月地表径流的多变性, 应该说这个模型已经很不错了。

3 讨论与商榷

森林地的产流问题长期以来受到人们的关注, 一般情况是林地的径流系数普遍较小, 但也不尽然, 小良试验站 3 种植被类型下的地表径流系数就存在很大的差异, 非但如此, 桉树林下的地表径流的各个参数都接近甚至比光裸地的还要严酷。这就要求我们在营造不同目的林分时加以慎重的研究。否则, 可能起着相反的作用。

对地表径流的时间序列进行模拟以用于估测与预报是一件十分艰巨的工作, 特别是在森林水文上所针对的范围往往很小, 并且由于实际情况资料获得的时间往往不长的情况下, 更不容易做到准确。本文用灰色系统的 GM (2, 1) 模型模拟的结果似已达到了满意的结果, 但针对的观测资料是比较长的, 短时间的预测仍需要作很大的改进, 不妨用多次累积的方法加以解决。这方面值得一试, 但工作量将成倍地增加。

参 考 文 献

- 1 余作岳, 皮永丰. 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的研究. 1985, (3): 97—108.
- 2 余作岳, 彭少麟, 张文其等. 广东小良热带人工林水分系统研究. 热带亚热带森林生态系统的研究. 1990, (6): 117—124.
- 3 胡荣轩. 黄河中游区水、沙变化趋势及其预测. 地理学报. 1992, 47 (4): 315—324.
- 4 邓聚龙. 灰色系统、社会、经济. 北京: 国际工业出版社, 1985.

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

Zhou Guoyi Yu Zuoyue Peng Shaolin

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

Key words: Surface flow; Vegetation type; Grey system; GM (2, 1) model

Abstract

On the technology of sealed catchment and the theory of Grey System GM (2, 1), we have gotten several smoothly changing models of time to the second order summation of surface flow coefficient in the three catchments of mixed forest (MF), eucalypti forest (EF) and naked land (NL) from the consecutive measurement of ten years. The method was as follows:

If $X_i(0)$ ($t=1, 2, \dots, N$) be the series of time (year or month) to surface flow coefficient, let:

$$X_i(1) = \sum_{t=1}^t X_i(0) \quad (t=1, 2, \dots, N) \quad \text{first order summation}$$

$$X_i(2) = \sum_{t=1}^t X_i(1) \quad (t=1, 2, \dots, N) \quad \text{second order summation}$$

$X_i(2)$ varies much more smoothly than $X_i(1)$ does, and then, simulating $X_i(2)$ ($t=1, 2, \dots, N$) with differential equation, we will have the model of second order summation of surface flow to time. The results show that the processes of surface flow in the three catchments were greatly different. In EF and NL, they were totally controlled by precipitation, and their flood constituted the most part of surface flow, that means that there is basically no buffering function in these two catchments. The yearly and monthly surface flows of the three catchments have been estimated with high preciseness by these models, which have proved to be practicable in runoff prediction.