

滇中地区小流域水土流失治理前后产流模式变化研究

段青松¹, 吴伯志², 字淑慧²

(1. 云南农业大学水利水电学院; 2. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201)

摘要: 通过生物措施、工程措施和耕作措施对滇中地区典型小流域——王家箐进行综合治理, 对治理前后气象、水文资料进行观测分析。得出如下结论(1) 采取水土保持措施不改变流域地下水的退却过程。(2) 该流域产流模式是超渗—蓄满兼容的转换产流模式, 治理前以超渗为主, 治理后以蓄满为主, 且有逐步向蓄满产流转变的趋势。(3) 采取水土保持综合治理措施后, 径流中地下径流含量增加, 流域地下蓄水量也相应增加。

关键词: 滇中地区; 小流域; 水土流失; 治理; 产流模式

中图分类号: S 157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)02-0058-03

The Changes in Runoff Yielding Pattern from a Watershed in the Central Yunnan Province After Conservation Implementation

DU AN Qing-song¹, WU Bo-zhi², ZI Shu-hui²

(Faculty of Water Resource, Hydranlic and Architecture, YA U;

Faculty of Agronomy and Biotechnology, YA U, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to control soil and water loss in Wangjiaqing watershed in the central Yunnan Province, engineering, biological and crop cultivation measures were implemented. The data of climate, hydrology were collected and analyzed. It is concluded that after conservation implementation the reducing procedure coefficient of ground water is constant, the model of runoff yield includes excess infiltration and excess storage at the same time, and excess storage is the main pattern, the amount of ground runoff and water is significant rising.

Key words: the central Yunnan Province; small watershed; soil and water loss; conservation measures; runoff yielding pattern

小流域是土壤侵蚀、产沙和输沙的基本单元, 也是进行水土流失综合治理的基本单元。近几十年来, 我国以小流域为对象, 开展了大量的水土流失治理和研究工作, 并取得了丰硕的成果。其中, 结合不同地区, 采取水土保持措施后对流域产流模式的影响方面也有一些研究, 但由于产流方式的复杂性和各地自然条件的不同, 研究的结论也不尽相同^[1-3]。但针对滇中地区自然条件, 研究小流域在水土流失治理前后产流模式的变化尚未见报导。为此在欧盟“坡地作物系统生产力和可持续性改善研究”课题中, 对滇中地区小流域水土流失治理前后产流模式的变化进行了研究, 为类似地区的水资源充分利用和水土保持效益评价提供参考依据。

1 产流模式及判别

1.1 产流模式

所谓产流, 是指流域中各种径流成分的生成过程, 其本质是水分在下垫面垂直运动中, 在各种因素综合作用的发展过程, 也是流域下垫面(包括地面和包气带)对降雨的再分配过程。不同的下垫面条件具有不同的产流机制, 不同的产流机制又影响着整个产流过程的发展, 呈现不同的径流特征。

常见的产流模式有三种: 降雨后只有当包气带达到田间持水量后产生地下径流的产流模式称为蓄满产流; 当雨未包气带未达到田间持水量, 而未产生重力水的产流模式称为超渗产流。既有超渗产流也有蓄满产流的模式称为超渗—蓄满兼容的转换产流模式^[1]。

1.2 影响流域产流的因素

影响流域产流的因素很多, 但主要的有三类: 流域下垫面因素, 降雨特性和流域蒸散发特性。其中, 有些是缓变因素, 它们决定流域产流的基本特性, 即产流模式; 有些是急变或多变因素, 它们在时空上变化比较强烈, 决定一次降雨洪水过程中产流的时空变化及大小。流域下垫面因素包括地形地貌特性、植被类型及分布、人类活动类型及分布、地下水的埋深和土壤含水量的分布等。其中, 前两项为缓变因素, 后三项加上降雨特性和流域蒸散发特性为急变因素。

径流过程是各种因素综合作用的结果, 但某些因素改变引起的产流模式的变化必然在出口断面的实测资料中反映出来。因此, 可通过对次洪径流涨落过程的分析 and 径流成分的分割来分析水土保持治理措施对流域产流模式的影响^[1]。

1.3 产流模式的判别

¹ 收稿日期: 2005-05-16

基金项目: 欧盟“坡地作物系统生产力和可持续性改善研究”ERBICT 980326; 云南省科技厅“山坡地作物生产持续发展研究”97C012

作者简介: 段青松(1971—), 男, 云南大理人, 讲师, 主要从事水土保持和水资源利用研究; 通讯作者: 吴伯志(1960—), 男, 云南玉溪人, 博士, 云南农业大学教授, 博士生导师, 主要从事作物栽培与耕作和水土保持方面的研究。

通过分析流量过程与径流成分, 可对流域产流模式做出判断。通常, 在无雨期, 流域有比较缓慢的退水过程线, 是由地下径流形成的; 而在多雨期, 会出现各种洪峰, 常常陡涨陡落, 是由地面径流形成的。流量过程线的形状主要决定于这两种水源的组合。通常可将流量过程线水源补给的区别作为判断产流模式的主要依据^[4]。

在作流量过程线分析时, 可将洪前退水曲线外延。若可与洪后退水曲线重合, 说明本次降雨没有产生地下径流, 洪水全是地面径流, 表现出洪峰陡涨陡落、曲线基本对称、洪水历时短的特点。这是超渗产流模式^[5]。

洪前退水曲线外延后不能与洪后退水曲线重合, 且后者较前者有明显抬高, 说明流量过程具有丰富的地下水补给。由于地下水汇流速度缓慢, 次洪过程呈现涨洪陡、落洪缓的偏态型, 以及洪水历时很长的特点。这是蓄满产流模式^[5]。

某些流域的产流并不是一成不变的, 洪水的涨落和水源的补给有时表现出超渗—蓄满兼容的产流模式。

2 材料与方法

2.1 小流域概况

王家箐小流域位于云南昆明市东北 60 km 的寻甸县柯渡镇可郎办事处, 地理位置为北纬 25°28'11", 东经 102°53'66", 流域面积为 0.57 km², 海拔高度范围 1 860~2 473 m, 相对高差 613 m, 从最高点到最低点的平均坡度为 29.2%。表土主要为红壤, 海拔高度在 2 050 m 以上部分为砂岩, 在 1 950~2 050 m 之间的为白云岩和石灰岩, 在 1 860~1 950 m 之间的为页岩。区内多年平均降雨量为 908 mm, 雨季(5~10 月)为 824 mm, 占年降雨量的 91%, 旱季(11~次年 4 月)为 84 mm, 占年降雨量的 9%。在流域面积中, 林地 15.2 hm², 占 26.6%; 荒地 3.1 hm², 占 5.4%; 坡耕地 38.92 hm², 占 68.0%, 其坡度大多在 25°以上, 且不规整。大春作物为玉米、

烤烟和马铃薯, 小春作物为小麦和豌豆, 属滇中典型的土壤侵蚀小流域。

2.2 治理措施

针对该小流域的实际, 以改善小流域的生态环境、保证耕地的可持续利用、改善地力、提高耕地效益、保持水土为目的, 采取了下述生物措施、工程措施和耕作措施进行治理。

(1) 工程措施。于 1999 年 3~5 月中旬, 在有地表径流冲刷山体形成的冲沟上, 建立 7 道拦沙坝, 拦截泥沙, 阻止冲沟继续扩大, 避免大面积的滑坡, 保证道路村庄的安全。为解决流域内冬春季节干旱、作物种植和生长严重缺水的问题, 修建了总容积为 520 m³ 的 6 个蓄水池和相应的输水管道, 确保干旱季节作物用水。

(2) 生物措施。于 1999 年 12 月~2000 年 3 月, 对>25°的坡耕地, 实施退耕还林、还草, 合理规划种植板栗、花椒, 在原有荒山荒坡上种植华南松增加覆盖度。在<25°的东侧坡耕地上沿等高线种植 3 条宽 0.5 m 的草带, 使之逐步形成地埂, 以减少地表径流的冲刷。

(3) 耕作措施。从 1999 年 5 月起, 采用等高线种植、麦秆和薄膜覆盖、少耕或免耕、双垄种植玉米和玉米间作大豆等措施, 加强雨水入渗, 减少旱季地表蒸发, 改善土壤结构, 达到减少水土流失, 改善微环境, 提高作物产量为目的。

2.3 观测项目和方法

(1) 降雨量。在实验地安装了自记雨量计和从英国进口的全自动气象记录仪(Delta-T), 从 1997 年底开始观测降雨量, 降雨强度等指标, 并互相校核。

(2) 径流量。在流域出水口建立了水文观测站, 从 1997 年底开始用 SW40 型日记式水位计记录过水断面的水位。用 LS25-1 流速仪(号码: 930441)测定流速, 设 3 条测线, 用 1 点法施测, 根据过水断面的面积, 计算其过流量, 建立王家箐水文站水位—流量关系见表 1。

表 1 水位—流量实测值

水位/m	0.02	0.05	0.09	0.145	0.2	0.254	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8
流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.011	0.051	0.136	0.281	0.462	0.647	0.847	1.059	1.285	1.518	1.757	2.262	2.781	3.32

利用 Excel 分析, 得到水位(H)—流量(Q) 关系式:

$$Q=4.96H^{1.475} \quad \text{相关系数 } R=0.998$$

3 结果与分析

3.1 流域标准退水曲线的推求

退水曲线是流域蓄水量的消退过程线, 流量过程线的分割及不同水源的划分常采用退水曲线。为了分析该小流域产流模式, 从资料中选取一些峰后无降雨径流补给的退水过程, 点绘于同一图上, 左右移动使其尾部重合, 作外包线, 可得本流域的标准退水曲线。此退水曲线符合地下水退水规律^{[6][7]}:

$$Q(t)=Q(0)e^{-t/K_g}$$

式中: $Q(t)$ —— t 时刻流量(m³/s); $Q(0)$ —— $t=0$ 时的流量(m³/s); K_g ——地下水退水参数或地下水蓄水常数, 具有时间因次。我们分别做出各年的流域标准退水曲线, 得到 1998~2002 年各年 K_g 值见表 2。

表 2 1998~2002 年各年 K_g 值

	1998	1999	2000	2001	2002
K_g 值	0.020	0.018	0.023	0.019	0.026

从表 2 可以看出, 治理前后几年间 K_g 值没有大的变化(处于 0.018 到 0.026 之间), 其间的差异, 我们认为主要是由于绘制标准退水曲线的误差造成的。所以, 可以认为水土保持措施对流域蓄水量的消退过程无影响, 这与文献[5]中“对某一流域而言, 地下径流退水曲线比较稳定”的观点是一致的(本研究中 K_g 取 5 年的平均值 $\bar{K}_g=0.021$)。

3.2 地下、地面径流的划分

在无降雨时, 该流域出口过水断面的实测水位为 0(干涸状态), 可以近似认为该小流域没有基流, 即在区分地面径流与地下径流时不考虑基流的含量, 地下径流只包括壤中流和浅层地下径流。如下图, 一次洪水总径流量应是流量过程线与横轴包围的面积, 起涨点为 A 点(值为 0), 退水终点为 C 点, 则面积 $ABCA$ 即为次洪总量。在实际洪水过程线的退水曲线上, 用已制好的流域标准退水曲线, 在纵坐标不变的情况下左右移动, 使两者尾部重合, 其分离点就是地面径流的终止点, 如图中的 H 点。有了地面径流终止点 H , 连 AH , 则面积 $AHCA$ 即为地下径流量。而地面径流量等于次洪总量减去地下径流量, 即 $ABHA$ 包围的面积。

3.3 产流模式的变化

根据流域标准退水曲线, 对 1998~2002 年总计 187 场径流过程进行分析, 若径流过程中没有地下径流, 则该次降

雨产流过程为超渗产流, 反之为蓄满产流, 可得观测期间降雨产流情况如下表 3。

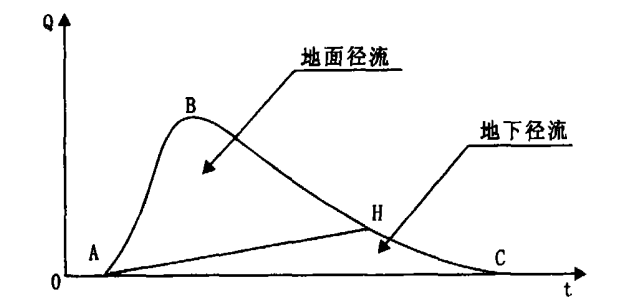


图 1 地面径流和地下径流的划分图

表 3 1998 年 ~ 2002 年各年蓄满产流与超渗产流场次统计

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年统计	蓄满与超渗 场次比值
1998 年 蓄满		1	2	3	1	9	3	2					21	
超渗				2	3	1	10	6	2	1	1	1	27	
月统计	1	2	5	4	10	13	8	2	1	1	1	1	48	0.78
1999 年 蓄满	1					2	1	3	4	1			12	
超渗		1			4	2	8	5					20	
月统计	2			4	4	9	8	4	1				32	0.60
2000 年 蓄满					8		4	7	1	1			21	
超渗					4	4		1	1				10	
月统计				12	4	4	8	2	1				31	2.10
2001 年 蓄满			1		5	5	3	5	3	2			24	
超渗		1			1		4		3		1		10	
月统计	1	1		6	5	7	5	6	2	1			34	2.40
2002 年 蓄满					5	4	6	10	2	4			31	
超渗					2	2	3	3	0	1			11	
月统计				7	6	9	13	2	5				42	2.82
合计 蓄满	1	1	3	3	19	20	17	27	10	8			109	
超渗	1	1		2	14	9	25	15	6	2	2	1	78	

3.3.1 产流模式月际分布及变化

该流域有明显的雨季和旱季之分。经计算, 该流域在旱季蓄满与超渗场次比值为 1.14, 产流模式以蓄满为主, 雨季蓄满与超渗场次比值为 1.42, 也以蓄满模式为主, 但雨季的蓄满与超渗场次比值较大。其主要原因是雨季降雨次数多, 雨量大, 雨前土壤含水量高, 降雨后包气带容易饱和, 所以蓄满产流的次数增多。

在滇中地区, 5 月份正是大春作物的播种期或苗期, 在水利化程度较低的山区坡耕地, 提高土壤含水量, 保证种子的出苗和幼苗的生长, 对提高作物的产量至关重要。治理前

参考文献:

[1] 汤立群, 陈国祥. 水利水保措施对黄土地区产流模式的影响研究[J]. 人民黄河, 1995, 1(1): 19- 22.

[2] 高^①, 刘丽华, 陈建卓, 等. 小流域综合治理的防洪减沙效应研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 12- 15.

[3] 吴从林, 张平仓. 三峡库区王家桥小流域土壤侵蚀因子初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 3(11- 2): 165- 170.

[4] 庄一鸽, 林三益. 水文预报[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.

[5] 赵人俊. 流域水文模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.

[6] 詹道江, 叶守泽. 工程水文学(第三版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.

[7] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

和治理初期的 1998 年, 1999 年, 5 月份蓄满与超渗产流场次比值为 0.14, 到了 2001 年和 2002 年, 该比值为 3.33, 说明采取水保措施, 促进了雨水的入渗, 提高了降雨的利用率。

3.3.2 产流模式年际变化

从上表 3 可以看出, 1998 年蓄满与超渗场次比为 0.78, 2002 年上升到 2.82。说明该流域产流模式属超渗—蓄满兼容的转换产流模式, 治理前以超渗为主, 治理后以蓄满为主, 且有逐步向蓄满产流转变的趋势。这是由于流域内植树植草、打坝淤地、作物等高种植等综合治理的实施, 使流域地表覆盖度增加, 土壤渗透性提高, 汇流过程延长, 促进了雨水的入渗。因此, 产流机制向有利于壤中流、地下径流产生的方向发展。形成的洪水陡涨缓落, 曲线呈偏态型, 历时变长, 地下径流退水段抬高, 向蓄满产流过渡。

3.4 治理后地下水量的变化

由于只有蓄满产流才有地下径流, 用流域标准退水曲线分割蓄满产流的径流过程线, 得出该场径流的地下径流量, 汇总得到各年地下径流量及其占径流总量的比例见表 4。

表 4 径流中的地下径流量					
年份	年降雨 量/mm	年径流 深/mm	年径流量 量/m ³	年地下径流 总量/m ³	年径流中地下径 流含量/%
1998	1044.8	299.4	170658	355982.1	2.1
1999	900.8	79.4	45258	90219.82	2.0
2000	727.8	59	33630	226377.6	6.7
2001	939.6	71.9	40983	281082.3	6.9
2002	924.8	52.7	30039	647810.8	21.6

从上表的结果看出治理前后地下水量的变化。从 1998 年的 2.1% 上升到 2002 年的 21.6%, 增幅是很大的。2002 年, 流域大部分面积已实现等高线种植, 植被覆盖率也达到较高水平, 在众多因素的充分作用下, 流域的地下水位抬高, 地下径流量大幅增加, 意味着流域的蓄水能力增强。在干季植物缺水量大时, 这对农业生产是大有益处的。而且蓄水含量的增加, 延长了水汽循环, 使地表植被获得充足的水分, 长势更茂盛, 流域水土保持能力增强, 从而形成了良性循环。

4 结 论

- (1) 采取水保措施后, 不改变流域地下水的退却过程。
- (2) 该流域产流模式属超渗—蓄满兼容的转换产流模式, 治理前以超渗为主, 治理后以蓄满为主, 且有逐步向蓄满产流转变的趋势。
- (3) 采取水保治理综合措施后, 全年径流中地下径流量有所增加, 说明地下蓄水量相应也有增长。
- (4) 随着治理程度的不断提高, 流域产流模式是否会向蓄满产流完全转化, 地下蓄水量是否继续增长有待于进一步的试验与分析以及更充分的资料论证。