

# 黄龙山区不同类型小流域的产流过程及其特征

吴钦孝, 李秧秧

(中国科学院、水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100, 陕西杨凌)

**摘要** 在黄龙山区选择自然条件基本相似的森林小流域、森林采伐小流域和荒坡草灌小流域, 利用量水堰, 于1999) 2003 年对流域的产流及其过程进行了系统的研究。结果表明: 不同类型小流域径流的年际和年内变化不同。森林小流域全年产流, 产流量主要与降水量有关; 荒坡草灌小流域则仅在暴雨季节产流, 产流量主要与雨强有关。除发生特大暴雨年份外, 森林小流域的产流量均超过荒坡草灌小流域, 5 年内平均前者比后者多 3 倍。不同类型小流域对降水的调节作用不同, 5 年平均森林小流域比荒坡草灌小流域减少洪水径流 94.9%, 达 51.2 mm, 增加枯水期径流 0.15 mm, 占年径流量的 81.7%, 从而使流域径流保持相对均匀和稳定。采伐森林可以改变小流域的径流分布, 常年径流被暴雨径流所代替, 但其量比荒坡草灌小流域少。不同类型小流域产流过程不同, 森林小流域产流过程平缓, 洪水起伏程度小; 而荒坡草灌小流域产流曲线陡峭, 洪峰形成迅速, 回落也较快。

**关键词** 黄龙山区; 小流域; 产流

## Yield process and its characteristics in different kind of small watersheds in Huanglong mountainous area

Wu Qinxiao, Li Yangyang

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,  
Northwest Sci&Tech University of Agriculture and Forestry, 712100, Yangling, Shaanxi, China)

**Abstract** Using the method of measuring weir, the runoff yield and its process are studied in forested watershed, cutting watershed and rangeland watershed during the period from 1999 to 2003 in Huanglong mountainous area. The results show that the runoff variations of interannual and seasonal are various. The runoff in forested watershed is yielded during a whole year and its amount is mainly connected with precipitation. The runoff in rangeland watershed is yielded only in storm season and its amount is mainly connected with storm intensity. Except the rare storm year, the annual runoff yield amount in forested watershed is more than that in rangeland watershed and the former tops the latter by 3 times on an average of 5 years. The different kind of small watersheds have also different functions on the regulation of the precipitation. The annual flood runoff amount in forested watershed has decreased by 94.9% over the rangeland watershed, up to 51.2 mm on an average, and the runoff in dry season in the former has increased 0.15 mm over the latter, amounting to 81.7 percent of annual runoff amount, which results in the runoff yield in the watershed relatively well distributed. Cutting forest can change the runoff distribution in watersheds. The runoff yield during a whole year is replaced by that only formed in storm season, but its amount is less than that in rangeland watershed. The process of runoff yield in different kind of small watershed is various. In forested watershed it is comparatively gentle and its fluctuating range is comparatively smooth, while the curve of runoff yield in rangeland watershed is steep, the flood peak is formed rapidly, and it falls after a rise more quickly.

收稿日期: 2005-01-10 修回日期: 2005-04-08

项目名称: 国家自然科学基金项目/黄土高原森林对小流域径流影响的研究(40171093); 国家自然科学基金重点项目/干旱半干旱地区森林与水资源的相互影响及合理调控机理(32030290)

第一作者简介: 吴钦孝(1937), 男, 研究员、博士生导师。主要研究方向: 黄土高原植被恢复与森林保持水土功能及机制。

E2mail: qxwu@ms.iswc.ac.cn

Key words Huanglong mountainous area; small watershed; runoff yield

流域是水土流失的基本单元,其产流和产流过程,因受多种因子的制约,较坡面远为复杂。流域内,由于地貌、地形差异,径流可形成不同的流线,影响水分的空间分布;而不同的坡面和坡位,因接收太阳辐射能量不同,使各地土壤水分含量不一,影响水分入渗;在流域的不同部位,则由于汇流面积不同,产生的径流量也不会一样。

长期以来,国内外在流域的产流研究,特别是在森林对流域产流量的影响上,存有不同意见。多数研究结论认为,采伐森林,降低森林覆盖率,可以不同程度地增加径流量。与此同时,也有研究指出,森林流域的年径流量较无林或少林流域多<sup>[1-3]</sup>。同样的情况也表现在黄土高原的研究<sup>[3-5]</sup>中,据刘向东、杨雨行等在六盘山和吕梁山区的研究,森林覆盖率高的流域产流量大;而穆兴民、徐学选等在黄土区的

测定结果表明,增加森林会导致流域年径流量的减少。

本研究以黄龙山区在地形和地貌上具普遍性和代表性的小流域为对象,对不同类型流域的产流过程和特征进行了系统的研究,探讨了森林和采伐森林对径流量和径流分布的影响,这对于合理布局水土保持措施,进行流域的治理与开发,具有重要的意义。

## 1 自然概况

试验布设在陕西省宜川县铁龙湾林场的松峪沟流域。根据图面资料,在该流域内选择3个自然条件基本相似的邻近小流域进行地面调查,得其基本情况和沟道特征如表1所示。

表1 小流域基本情况和沟道特征

Tab. 1 Main conditions and gully characteristics of small watersheds

对比流域	流域面积	主沟道长	主沟道比降	梁坡面积	沟坡面积	沟道面积	沟道走向	岩石类型
	hm <sup>2</sup>	m		hm <sup>2</sup>	hm <sup>2</sup>	hm <sup>2</sup>		
森林小流域 No. 1	301.1	670	11.25@10 <sup>-3</sup>	201.3	91.60	01.10	南北	页岩
森林小流域 No. 2	241.0	500	11.50@10 <sup>-3</sup>	161.5	71.41	01.09	南北	页岩
荒坡草灌小流域 No. 3	101.0	250	11.35@10 <sup>-3</sup>	61.8	31.16	01.04	北南	页岩

森林小流域 No. 1 为中龄人工油松(*Pinus tabulaeformis*)林和近熟天然山杨(*Populus davidiana*)林所覆盖,其中油松和山杨的面积约各占一半:油松主要分布在梁顶和梁坡,平均高11~12 m,平均直径11~12 cm,郁闭度01.5~01.7;山杨则主要分布在沟坡和沟头地带,平均高7~8 m,平均直径8~9 cm,郁闭度01.5~01.6。流域森林覆盖率95%以上。林下灌木和草本植物发育较好,盖度01.3~01.5。林地枯枝落叶层厚2~3 cm。

森林小流域 No. 2 的植被状况与森林小流域 No. 1 基本相似,前期曾用于流域水文观测,后期森林被皆伐用作对比流域。

荒坡草灌小流域 No. 3 由荒坡和草灌地块镶嵌组成,其中荒坡主要分布在梁顶和山坡上部,草灌则多在梁坡中、下部和沟坡。观测初期灌木林面积约占流域总面积的20%,并曾对其进行割灌处理,后经封禁和天然萌发,目前覆盖率已增至约40%,主要植物种有白刺花(*Sphora vicifolia*)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、白羊草(*Bothriochloa is2*

*chaemum*)等。

## 2 研究方法

采用流域对比法。于1999~2003年在小流域的沟口相对侵蚀基准点,利用三角形量水堰,配以自记水位计,记录流域径流量和径流过程。同时,用自记雨量计,记录每次降水量和降水过程。

## 3 结果与分析

### 3.1 流域产流的基本特点

流域产流不同于坡面产流。一般而言,流域面上的产流是不均匀和不同步的,产流有先有后,也有不同的组成和大小。流域的产流通常具有以下的特点:产流首先开始于坡面较陡、土壤含水量高或含水饱和的地段,由于流域面上水分下渗特征的多变和急变性,其产流的基本特征与下渗的一般特性有关;在降水和下渗的综合影响下,流域产流不同步,在次降水过程中,产流的面积在不断变化,全流域同时产流的现象是很少见的<sup>[6]</sup>。对于黄龙山区的森林小流

域来说,流域除面上产流外,降水还通过植物根系穿插、死亡后在土壤中留下的根孔,动物的运动通道和生存的居穴,以及由于膨胀收缩形成的土壤裂隙等多种途径,下渗后在沟道基岩附近渗出,形成常流水。这种沟道内的径流,不同于坡面的超渗产流,属蓄满产流,它主要取决于降水量的大小,而与降水强度无关。

### 312 不同类型小流域的年径流量

森林对河(沟)道年径流量的影响及其调节功能,是森林涵养水源作用的主要内涵,它对于确定一个地区的森林覆盖面积,开展多种营林措施,分析水资源状况的变化,都具有十分重要的意义。

31211 年径流量的年际变化 根据对森林小流域 No. 1 与荒坡草灌小流域 No. 3 连续 5 年的观测(表

2),受降水、流域面积、下垫面等因素影响,不同流域的年际径流变化不同。森林小流域 No. 1 的径流量主要与降水量有关,在年降水量 350~500 mm 时,其年径流量在 2~4 mm 范围内;只有当年降水量超过 700 mm 时,径流量才迅速增至 20 mm,反映了森林系统容纳降水的能力随降水增加呈下降的趋势,而荒坡草灌小流域 No. 3 的径流量,则主要与雨强有关。在无大暴雨情况下,5 年内均在 1~3 mm 之间变动。只有在 1997 年 7 月 31 日的一次特大暴雨中,在 412 h 内降水达 5312 mm,平均雨强 0121 mm/min,最大 15 min 雨强 1120 mm/min,此时荒坡草灌小流域 No. 3 的径流深高达 111591 mm,是森林小流域 No. 1 01184 mm 的 6210 倍,使当年荒坡小流域 No. 3 的径流量超过森林小流域 No. 1 的 312 倍<sup>[7]</sup>。

表 2 森林小流域 No. 1 与荒坡草灌小流域 No. 3 年径流量比较

Tab. 2 Comparison of annual runoff amount between forested watershed No. 1 and rangeland watershed No. 3

年份	小流域类型	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	E	年降水量
1999	森林 No. 1	01006	01002	01258	01270	01264	01127	01761	01033	01394	01258	01210	01146	21729	4001.2
	荒坡草灌 No. 3							01983						01983	
2000	森林 No. 1	01096	01240	01507	01412	01064	01219	01361	01213	01237	01244	01120	01079	21792	3761.3
	荒坡草灌 No. 3							01460			01834			11294	
2001	森林 No. 1	01113	01088	01128	01159	01076	01007	01052	01183	01433	01205	01159	01136	11739	3421.6
	荒坡草灌 No. 3								11170					11170	
2002	森林 No. 1	01118	01089	01200	01164	01509	01192	01260	01061	11024	01507	01300	01178	31602	4761.9
	荒坡草灌 No. 3						11024	21030						31054	
2003	森林 No. 1	01071	01064	01180	11007	11138	21475	21230	21786	41420	51541	01350	01134	201396	7171.4
	荒坡草灌 No. 3					01154	01038	01598	01057	01266	01170			11283	
5年合计	森林 No. 1	01404	01483	11273	21012	21051	31020	31664	31276	61508	61755	11139	01673	311258	23131.4
	荒坡草灌 No. 3					01154	11062	41071	11227	01266	11004			71784	
平均	森林 No. 1	01081	01097	01255	01402	01410	01604	01733	01655	11301	11351	01228	01135	61252	4621.7
	荒坡草灌 No. 3					01031	01212	01814	01246	01053	01201			11557	

31212 年径流量的年内变化 由表 2 可见,森林小流域 No. 1 全年产流,沟道内常年流水。其产流量在上半年呈逐月增长之势,7)9 月达到高峰,然后逐渐减少。荒坡草灌小流域 No. 3 则仅在雨季出现大雨时,才有径流产生;平时一般小雨,降落的雨水会被干旱的土层吸收。5 年观测期间,该小流域除 5、6、9、10 月各有少量产流外,主要发生在 7、8 两月,其余时间沟道干涸无水。森林小流域 No. 1 在 5 年内的平均径流量 61252 mm,径流系数 01013 5;荒坡草灌小流域 No. 3 则分别为 11557 mm 和 01003 4,比森

林小流域 No. 1 少 7511%。进一步分析表明,在 5 年中,森林小流域 No. 1 的产流量均比荒坡草灌小流域 No. 3 高。只有在出现特大暴雨,径流有大幅度增加时,荒坡草灌小流域 No. 3 的年径流量才会超过森林小流域 No. 1。

31213 径流量与降水量的关系 不同流域由于植被覆盖程度和立地条件不同,产生的径流量与降水量的关系也不相同。荒坡草灌小流域 No. 3 因受暴雨的影响大,两者之间的变化缺乏内在联系;而森林小流域 No. 1 在林分对降水的层层截持和土壤渗透

下, 径流量与降水量具明显的相关性。据 1999) 2003 年测定, 其径流量随月份的变化与降水量有类似的趋势, 即前半年径流量逐月增加, 以 7) 9 月为高峰, 下半年逐月减少(表 3)。回归分析表明, 两者

之间呈幂函数关系(  $n= 12, R^2= 0.1855$ ):

$$Y = 0.1053 X^{0.6368}$$

式中: Y 为径流量, mm; x 为降水量, mm。

从表 3 可以看出, 1999 年至 2003 年森林小流域

表 3 森林小流域 No. 1 在 1999) 2003 年的月平均降水量和径流量

Tab. 3 Changes of monthly average precipitation and runoff amount in forested watershed No. 1 during the period from 1999 to 2003

指标	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	E
降水量/mm	51.5	21.9	91.4	281.3	361	571.4	801.3	811.3	951.4	561.2	71.6	21.3	4621.7
径流量/mm	0.081	0.1097	0.1255	0.1402	0.1410	0.1604	0.1733	0.1655	0.1301	0.1351	0.1228	0.1135	6125.2

No.1 平均每降水 7410 mm 产生 1 mm 径流, 根据这一比例绘制了径流量、降水量与月份的关系图(图 1)。由图 1 可见: 每年 10 月至翌年 4 月降水量与径流量之比 < 7410, 平均每降水 4410 mm 便产生 1 mm 径流; 5) 8 月降水量与径流量 > 7410, 平均每降水

10612 mm 才产生 1 mm 径流, 9 月则基本相当, 表明了年内不同时段森林对降水利用的差异, 同时也是森林涵养水源作用的体现。

### 3.1.3 森林对小流域径流的调节作用

森林对小流域径流的影响, 不仅表现在年径流量的大小上, 更重要的是反映在对径流的调节上, 即对洪水径流的拦蓄和对枯水径流的补给。

3.1.3.1 森林对洪水径流的影响 反映洪水径流过程和特征的主要指标是流域的水文特征值。把各种水文特征值结合在一起, 可定量地说明其森林对洪水径流的影响。

根据 1999) 2003 年森林小流域 No. 1 和荒坡草灌小流域 No. 3 的 5 次主要洪水观测, 其各种水文特征值见表 4。可以看出, 在相同降水条件下, 森林小流域 No. 1 的洪水历时均比荒坡草灌小流域 No. 3

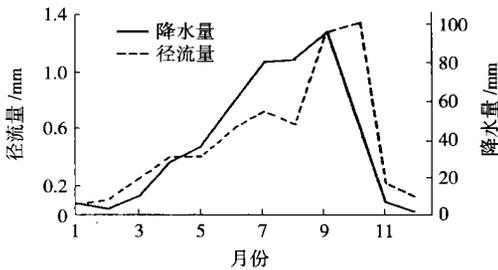


图 1 森林小流域 No. 1 径流量、降水量随月份的变化过程

Fig. 1 Changes of runoff amount and precipitation with months in forested watershed No. 1

表 4 森林小流域 No. 1 与荒坡草灌小流域 No. 3 水文特征值比较

Tab. 4 Comparison of hydrologic characteristic values between forested watershed No. 1 and rangeland watershed No. 3

洪号	小流域类型	降水量	洪水历时	洪峰流量	洪水总量	洪水径流量	洪水起伏量	单位面积洪水量
		mm	h	$10^{-3} m^3 s^{-1}$	$m^3$	mm	$10^{-3} m^3 s^{-1} h^{-1}$	$m^3 km^{-2}$
1	森林 No. 1	231.0	91.0	01.53	61.30	01021	01.059	201.9
	荒坡草灌 No. 3		81.0	291.31	102143	11024	31.664	1.0241.3
2	森林 No. 1	411.3	131.0	71.89	52197	01176	01.607	1761.0
	荒坡草灌 No. 3		81.5	811.73	203103	21030	91.615	2.0301.3
3	森林 No. 1	261.4	141.0	21.16	91.75	01032	01.154	321.4
	荒坡草灌 No. 3		21.8	281.29	117102	11170	101.104	1.1701.2
4	森林 No. 1	331.1	261.0	01.25	51.50	01018	01.010	181.3
	荒坡草灌 No. 3		241.0	51.36	83141	01834	01.223	8341.1
5	森林 No. 1	221.9	71.0	21.16	91.60	01032	01.309	311.9
	荒坡草灌 No. 3		51.5	281.29	45197	01460	51.144	4591.7

长, 其历时差主要取决于降水特征, 即降水历时和雨强, 最大可达 1112 h; 但洪峰流量前者比后者小, 两者最大可相差 12 倍。森林小流域 No. 1 在 5 次降水

中形成的洪水径流量很少, 仅为 01279 mm, 且起伏量小, 此时荒坡草灌小流域 No. 3 的洪水径流量达到 51518 mm, 相当于前者的 1918 倍, 起伏量也大; 因

此,作为反映流域整体对洪水产生影响程度的单位面积洪水量,森林小流域 No. 1 要小的多,仅变化在  $1013 \sim 17610 \text{ m}^3/\text{km}^2$  之间,而荒坡草灌小流域 No. 3 则在  $42619 \sim 203013 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ,比森林小流域 No. 1 大  $1014 \sim 4614$  倍。在小流域具有相似地貌结构的情况下,这种差异体现了下垫面森林保持水土、涵蓄降水的能力。

31312 森林对枯水径流的影响 黄土高原具有明显的雨季和旱季。枯水季节在该地区一般指干旱少雨的冬春季节。当月平均河川径流量占全年的比例小于 5% 时,被称为枯水期。

影响枯水期径流的主要因素,除降水量外,受下垫面特别是植被的影响明显。森林通过其组成部分,阻滞地表径流,增加土壤入渗,削减洪峰流量,使年径流量组成由以汛期地表洪水为主,转化为比较稳定的地下径流补给为主,有效增加了枯水期的径流量。

根据对 2 种小流域类型的观测可以看出:5 年内荒坡草灌小流域 No. 3 的产流都出现在 5) 10 月,其中特别是 7 月,径流量占年径流量的 5213%,其余时间,包括枯水期在内均没有径流发生;而森林小流域 No. 1 则不同,全年都有径流产出,其中 11 月至翌年 2 月的枯水期径流量占年径流量的 817%,其余时间的径流量中,基流流量 41591 mm,占年径流量的 7314%,地表洪水流量 11120 mm,占 1719%,洪枯比为 7B3,从而使年内沟道径流保持相对均匀和稳定。此外,森林小流域 No. 1 的面积比荒坡草灌小流域 No. 3 大,沟槽下切较后者稍深,也对枯水径流的产出量有一定的影响。

31313 采伐森林对径流的影响 既然下垫面影响流域径流的大小和过程,那么改变下垫面,采伐原有森林亦必将在流域产流上得到反映。为了阐明采伐森林对流域径流的影响,选择了与森林小流域 No. 1 邻近的森林小流域 No. 2,将生长在其中的林木进行皆伐。

皆伐前小流域 No. 2 的年径流量为 2173 mm,径流系数 01005 7。与此同时,森林小流域 No. 1 的年径流量为 3121 mm,径流系数 01006 7,两者相比,差异不大。在 10 次洪水事件中:森林小流域 No. 1 的洪水径流量变动为 01002 9~ 01055 1 mm,平均 01018 6 mm,径流系数 01000 8;森林小流域 No. 2 的洪水径流量变动为 01001 7~ 01042 0 mm,平均 01017 5 mm,径流系数 01000 7,表明该 2 个森林小流域不仅洪水径流量都很小,而且其差值亦微不足道。

1999 年经上级有关部门批准,对森林小流域 No. 2 实行了皆伐,伐后从 2000) 2003 年连续 4 年进行了观测,其结果见图 2。

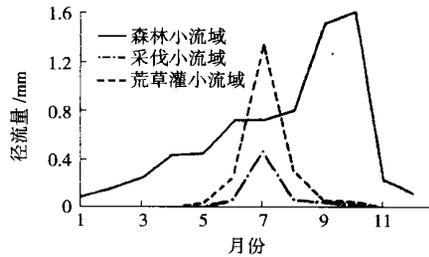


图 2 采伐森林对小流域径流的影响

Fig. 2 Influence of cutting forest on the runoff yield in small watershed

从图 2 可以看出,森林小流域 No. 1 全年的产流为一连续曲线,以 9 月最大,1 月最小。采伐后的森林小流域 No. 2 则为一不连续的间断曲线,产流发生在 5) 10 月,与荒坡草灌小流域 No. 3 的产流时间吻合。也就是说,森林采伐后,由于改变了下垫面,使沟道中径流发生了变化,在原有径流消失后,代之以出现了暴雨径流,但其量比荒坡草灌小流域 No. 3 小。在 5 次洪水事件中,森林小流域 No. 1 的洪水径流量变动在 01018~ 01176 mm,平均 01055 8 mm,径流系数 01001 9;采伐后的森林小流域 No. 2 的洪水径流量变动在 01060~ 01718 mm,平均 01290 8 mm,径流系数 01009 9,表明该 2 个森林小流域洪水径流量已有明显差异。

由于该项试验仅进行 4 年,且观测期内年降水量起伏大,从 34216 mm 到 71714 mm,相差 1 倍多,雨季暴雨的数量也仅 6 次,平均 1 年不足 2 次;因此,对于上述试验结果,特别是采伐对于流域径流的影响,尚需继续深入观测与分析。

#### 314 森林小流域的产流过程

流域产流虽同样受降水、下垫面、坡面等多种因子的影响,但较之坡面产流,其过程要复杂得多,这是因为选择的坡面无论在地形、坡度、坡向、下垫面等方面都较为均一,而流域内这些因子的多样性远为丰富,且流域的类型和面积也不相同,这些都会给径流的汇流产生影响,出现径流同步、叠加等现象,形成不同的径流过程。图 3 所列为森林小流域 No. 1 和荒坡草灌小流域 No. 3 的 3 次洪水产流过程。

由图 3 可见,在 3 次产流过程中,森林小流域 No. 1 的产流历时均较荒坡草灌小流域 No. 3 长,其中当降水量大,降水历时短时,2 个流域产流历时的

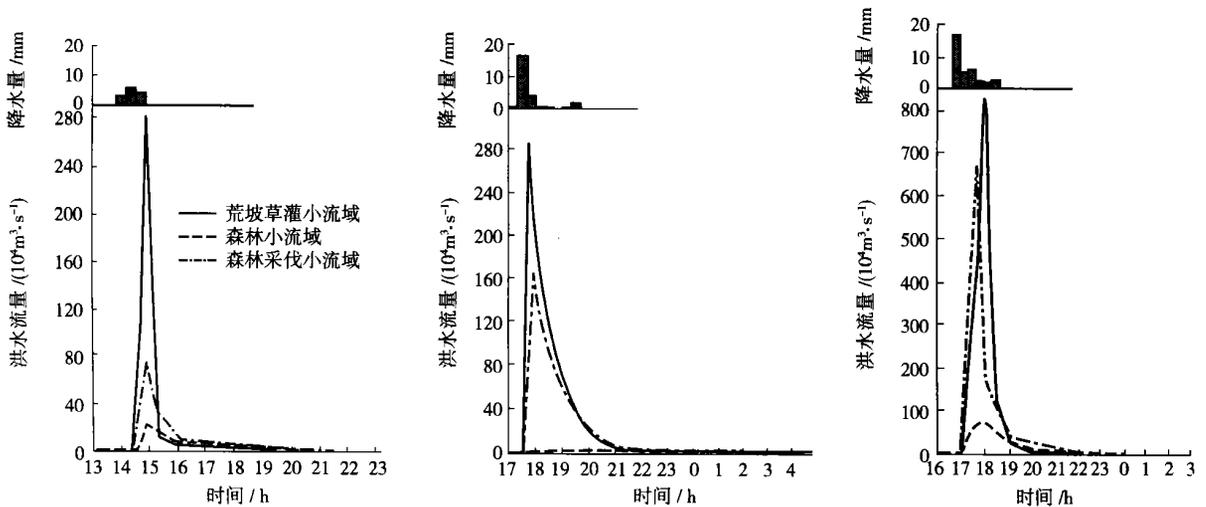


图3 森林小流域 No. 1 与荒坡草灌小流域 No. 3 次洪水产流过程比较

Fig. 3 Comparison of three flood runoff yield processes between forested watershed No. 1 and rangeland watershed No. 3

差异大;反之,则历时的差异小。森林小流域 No. 1 产流时洪水起伏程度小,产流曲线平缓;而荒坡草灌小流域 No. 3 洪水起伏程度大,产流曲线陡峭,洪峰形成迅速,回落也较快。2 个流域产流的最大峰值出现的时间主要取决于最大雨强出现的时间。在一般情况下,出现洪峰最大流量的时间比最大雨强的时间滞后,特别是森林小流域 No. 1,其洪峰的滞后效应比荒坡草灌小流域 No. 3 大;但由于 2 个小流域面积均较小,沟道较短,滞后效应并不十分显著。

#### 4 结论

1) 在黄龙山区的自然条件下,森林小流域从总体上表现为增加年径流量。从 5 年观测期的平均值来看,森林小流域的年径流量为 61252 mm,比荒山草灌小流域的 11557 mm 多 3 倍。这一结果与/黄土高原石质山林区随着森林覆盖率增加,年径流量也增加<sup>[8]</sup>的论述一致。只有在出现特大暴雨的年份,荒坡草灌小流域的产流量才会超过森林小流域。

2) 森林小流域具有较好的调节径流的作用,它可以有效地减少洪峰流量,在近 5 年的 5 次主要洪水观测中,其洪水径流量仅为 01279 mm,比荒山草灌小流域的 51518 mm 少 9419%,且洪水起伏程度小,而枯水径流量则占年径流量的 817%,从而使流域产流变得相对均匀和稳定。

3) 采伐森林可以改变小流域径流分布,暴雨径流会替代原先的常年流水,但因有残存植被因素(如

森林土壤等)的影响,其径流量较荒坡草灌小流域少。在 5 次洪水事件中,森林小流域的洪水径流量平均为 01055 8 mm,采伐小流域则为 01290 8 mm,相当于前者的 512 倍,表明二者已出现明显差异。

4) 不同类型小流域的产流过程不同,森林小流域产流过程平缓,荒坡草灌小流域产流曲线陡峭,洪峰形成迅速,回落也较快。

#### 5 参考文献

- [1] 王德连,雷瑞德,韩创举. 国内外森林水文研究现状和进展. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 156-160
- [2] Zhang Zhiqiang, Wang Lixian, Wang Shengping. Forest hydrology research in China. 中国水土保持科学, 2002, 2(2): 68-73
- [3] 刘世荣,温远光,王兵,等. 中国森林生态系统水文生态功能规律. 北京:中国林业出版社, 1996
- [4] 穆兴民,徐学选,陈霁巍,等. 黄土高原生态水文研究. 北京:中国林业出版社, 2001
- [5] 徐学选,穆兴民,王伟. 基于水土保持的延河流域治理水文响应模型. 中国水土保持科学, 2003, 1(4): 20-24
- [6] 马雪华. 森林水文学. 北京:中国林业出版社, 1993
- [7] 赵鸿雁,吴钦孝. 黄土高原人工油松林小流域产流产沙研究. 自然科学进展, 2001, 11(8): 829-834
- [8] 苏宁虎,刘向东. 中国西北地区森林水文学研究概况及有待解决的几个主要课题M中国林学会森林水文与流域治理专业委员会. 中国森林水文学学术讨论会文集. 北京:测绘出版社, 1989