

## 闽北不同土地利用方式径流量动态变化特征

韩永刚<sup>1</sup>, 王维明<sup>1</sup>, 杨玉盛<sup>2</sup>

(1. 福建省水土保持试验站, 福州 350003; 2. 福建师范大学地理科学学院, 福州 353000)

**摘 要:**采用定位研究方法和小集水区试验技术方法, 通过两年的降雨量数据观测, 对闽北地区木荷林地、杉木林地、封山育林地和对照等不同土地利用方式的小集水区进行坡面径流动态规律研究。研究结果表明: 试验小区地表径流的产生主要是受降雨量的影响, 而与降雨强度的关系不大, 地表径流量与降雨量之间呈现出极显著的非线性二次抛物线关系 ( $P < 0.01$ )。4 种不同土地利用方式的月平均径流量一般随月降雨量的增大而增大, 并且在同 1 月份间其平均地表径流量的大小趋势为: 对照 > 封山育林 > 杉木 > 木荷, 均是在 6 月份达到最大值, 9 月份出现最小值。对照比木荷林地、杉木林地、封山育林地更容易产生地表径流, 林地具有较好的涵养水源和保持水土作用。

**关键词:**不同土地利用方式; 降雨量; 径流量

**中图分类号:** F301.24; S157

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2006)05-0262-05

## Change in Dynamics of Runoff in Different Land Use in Northern Fujian

HAN Yong-gang<sup>1</sup>, WANG Wei-ming<sup>1</sup>, YANG Yu-sheng<sup>2</sup>

(1. Soil and Water Conservation Experimental Station of Fujian Province, Fuzhou 350003;

2. College of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 353000, China)

**Abstract:** Dynamics of surface runoff in different land use, viz. forest lands of *Schima superba* and Chinese fir, enclosing and tending forest and the control in northern Fujian were studied for two years through in situ method of catchment. The results showed that the production of surface runoff was mainly related with the amount of precipitation, not with its intensity. Also significant parabola relationship between surface runoff and the amount of precipitation was found ( $P < 0.01$ ). Average monthly runoff in four land use patterns generally increased with the increase of monthly precipitation and the maximum runoff occurred in June and the minimum in September. In the same month, the order of the average surface runoff in different land use was the control > enclosing and tending forest > Chinese fir > *Schima superba*. It is obvious that forests can play better role in soil and water conservation than other land use.

**Key words:** land use pattern; precipitation; surface runoff

不同土地利用方式径流量差异所引起的水土流失是水土保持定位研究的主要内容之一, 不断揭示和发现各种土地利用类型径流量的动态变化规律具有重要的意义。闽北位于中亚热带, 该地区不同土地利用类型小集水区的土壤水分、坡面径流以及小集水区的径流动态变化规律具有一定的代表性。本文通过定位研究闽北不同土地利用方式的径流规律及其特征, 为正确评价小流域水土保持效益和科学经营管理该地区土地资源提供了理论依据。

### 1 研究地概况

定位观测研究的试验地位于闽江上游的建瓯市东门牛坑垅(东经 117°45'58" ~ 118°57'11", 北纬 26°38'54" ~ 27°20'26"), 为低山丘陵地貌。建瓯市属中亚热带海洋性季风气候, 年平均气温 18.7℃, 最高温度 41.4℃, 最低温度 -7.3℃, 年平均降雨量 1 663.7 mm, 降雨多集中在 3~8 月, 蒸发量 1 327.3~1 605.4 mm, 年平均湿度 80%, 年均日照时数 1 812.7 h。土壤为白垩纪钙质、泥质砂砾岩发育的山地红壤。

以木荷 (*Schima superba*) 林地、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 林地、封山育林地和对照地为研究对象, 这些林

地的前身均为杂木林地, 1986 年 10 月皆伐, 其试验地土壤基本理化性质(见表 1)。1987 年 2 月, 木荷林和杉木林为分别用木荷和杉木统一规格的苗造林, 挖穴造林, 穴长、宽、深为 40 cm × 40 cm × 40 cm, 株行距均为 2 m × 2 m, 两种人工林地的管理措施相同, 到目前为止, 其林分的年龄已达到 18 年。

木荷 (*Schima superba*) 林地的坡度为 26.5°, 调查时的保留密度为 1700 株/hm<sup>2</sup>, 郁闭度 0.90, 平均胸径 9.0 cm, 平均树高 10.50 m。林下植被覆盖度约为 85%, 灌木以短尾越橘、黄瑞木、乌药、山胡椒、白花龙、乌饭树、金樱子等为主, 草本植物以芒萁为主, 占 70%, 另有少量狗脊、乌蕨。林下枯枝落叶层现存量为 2.64 t/hm<sup>2</sup>。

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 林地坡度 23.5°, 调查时的保留密度为 2 390 株/hm<sup>2</sup>, 郁闭度 0.80, 平均胸径为 10.8 cm, 平均树高为 8.7 m。林下植被覆盖度约为 95%, 灌木以乌饭树、短尾越橘、黄瑞木、山胡椒、毛冬青、葱木、细齿叶柃、山矾等为主; 草本植物以芒萁为主, 占 90%, 另有少量乌蕨; 林枯枝落叶层现存量为 4.04 t/hm<sup>2</sup>。

封山育林地坡度为 28°, 是在杂木林皆伐后采取封禁措

\* 收稿日期: 2006-06-12

作者简介: 韩永刚(1980-), 男, 山西襄垣县人, 硕士, 助理农艺师, 现从事水土保持治理工作。

施,让其天然更新,调查时林中多灌木与乔木幼树,平均高度为 1.8 m,盖度接近 100%,偶见较高的木荷。灌木主要有石栎、黄瑞木、短尾越橘、乌药、盐肤木、乌饭树、莢迷、木蜡树等;草本很少,平均高度为 0.5 m,主要有芒萁、芒和蕨等;林

下枯枝落叶层现存量为 1.056 t/hm<sup>2</sup>。  
对照地坡度 15°,原来也是杂木林地,1986 年 10 月皆伐后种植柑橘,柑橘林密度为 833 株/hm<sup>2</sup>,2000 年 4 月柑橘树砍伐后,将采伐剩余物移走,适当平整坡面,定期清除杂草。

表 1 土壤基本理化性质

林地	层次/cm	有机质/%	全 N/(g·kg <sup>-1</sup> )	全 P/(g·kg <sup>-1</sup> )	全 K/(g·kg <sup>-1</sup> )	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	毛管孔隙/%	非毛管孔隙/%	饱和持水量/%	毛管持水量/%	凋萎含水量/%	有效含水量/%
木荷林地	0~20	2.990	0.938	0.622	6.027	1.064	43.46	8.06	47.577	41.017	9.461	38.115
	20~40	1.600	0.610	0.454	7.913	1.271	43.77	7.27	43.746	35.853	9.265	34.481
	40~60	1.057	0.459	0.340	7.650	1.275	45.34	5.07	40.020	35.575	9.111	30.909
	60~80	0.934	0.384	0.258	7.929	1.306	43.87	5.87	41.093	33.534	9.007	32.087
	80~100	0.675	0.309	0.515	7.729	1.332	44.13	4.53	36.537	33.136	8.953	27.584
杉木林地	0~20	2.799	0.808	0.401	6.272	1.076	43.31	9.49	49.054	40.234	7.920	41.134
	20~40	1.680	0.625	0.400	9.379	1.279	41.04	5.73	36.572	33.890	7.798	28.774
	40~60	1.113	0.406	0.424	7.805	1.331	42.26	4.07	34.807	31.749	6.810	27.997
	60~80	0.886	0.381	0.452	7.892	1.393	42.37	2.99	32.575	30.427	6.387	26.187
	80~100	0.770	0.299	0.407	7.856	1.388	41.93	2.62	33.099	30.811	6.014	27.085
封山育林地	0~20	2.653	1.019	0.213	9.447	1.074	45.69	7.62	54.022	42.433	6.530	47.492
	20~40	1.157	0.637	0.264	12.598	1.337	40.47	4.59	33.696	30.267	7.300	26.396
	40~60	0.811	0.525	0.371	12.482	1.461	40.22	2.84	29.478	27.537	7.698	21.780
	60~80	0.661	0.430	0.341	12.281	1.456	39.64	2.42	28.893	27.231	8.250	20.644
	80~100	0.678	0.406	0.330	14.239	1.465	39.68	2.57	31.010	28.794	7.304	23.706
对照地	0~20	1.161	0.624	0.219	6.116	1.246	37.50	6.86	34.660	24.019	6.807	27.853
	20~40	0.860	0.702	0.214	6.264	1.423	37.05	4.40	30.133	25.042	6.846	23.287
	40~60	0.710	0.517	0.296	6.322	1.427	36.33	4.18	29.392	26.459	6.725	22.667
	60~80	0.871	0.343	0.287	6.119	1.458	35.90	3.42	26.964	24.615	7.122	19.842
	80~100	0.661	0.362	0.225	6.276	1.509	37.14	1.69	32.891	26.092	8.568	24.323

2 研究方法

采用坡面径流小区等定位观测方法与小集水区试验技术方法相结合,利用 2001~2002 两年的时间对木荷林、杉木林、封山育林和对照等典型森林径流小区的水文、径流量动态变化规律等进行观测。具体测定方法如下<sup>[1]</sup>:

2.1 气象因子观测

在研究区设有海拔 300 m 标准常规气象观测场,分别布设自记雨量计、雨量筒、蒸发皿、百叶箱、地表温度计、曲管地温计等,测定内容包括大气温度、大气湿度、地表温度(包括地表最低和最高温度)、不同深度(5 cm、10 cm、15 cm、20 cm)的地中温度、降雨、蒸发等。其中,降雨量使用国内先进的 CB2 型自动雨量仪和人工观测相结合进行测定。

2.2 小集水区径流量测定

采用并行流域试验法,选择地形、地质、土壤、气象等条件相似的地段,分别在木荷林地、杉木林地、封山育林地和对照试验地中选取坡度比较一致的坡面布设径流小区,径流小区设计为长方形,长边(顺坡)垂直投影长度 20 m,短边(沿等高线)10 m,对照地(裸露地)长边垂直投影长度 20 m,短边 5 m。小区四周设截水墙,下端设梯形集水槽,集水槽下设集流池,水位标尺固定在集流池内壁靠小区一侧,小区上方及两侧设截流沟和排水沟,小区各部分的建造材料及规格如下:

截水墙用水泥预制板建造,厚 2 cm,长 1 m,宽 50 cm,埋入地下 25~35 cm,预制板间用水泥勾缝,相邻小区共用一截水墙。

集水槽是连接小区与集流池的部分,呈梯形、上部宽 10 m(对照为 5 m)、下部宽 20 cm。集水槽用碎石水泥铺底,表面用水泥抹面。

集流池为长方形,长 2 m,宽 1 m,深 1.2 m,用砖砌,内壁用水泥砂浆抹面,池底设镀锌管用于排水,镀锌管外端装有控制阀门。在距集流池底 1 m 处安装九个分流孔,其中一孔与分流池相连,分流池长、宽、深各 1 m,与集流池共用一墙,集流池内水位高于 1 m 时采用九孔分流装置分流。

液体径流量的观测:当集流池内水位高于 5 cm 时,直接从水位标尺读取,当水位低于 5 cm 时用量水容器量取,当集流池内水位高于 1 m 时,集流池开始分流,此时径流量为集流池水量与分流池水量的 9 倍之和,根据各小区实测面积推算径流量。

3 结果与分析

3.1 降雨量动态变化特征

降雨是森林水分输入的重要来源,是决定森林生长状况的重要因素之一。根据福建省多年气象资料(表 2),建瓯多年平均降雨量为 1 677.4 mm,3~6 月是试验区降雨量最大的季节,占多年平均降雨量的 60.21%;因受台风的影响,7~10 月的降雨量变率较大,但平均降雨量小于 3~6 月的降雨量,占多年平均降雨量的 23.25%;而 11~12 月及 1~2 月的降雨量则相对较少,偶尔见大雨,仅占多年平均降雨量的 16.54%。5 月份降雨量最大,为 311.5 mm,12 月份降雨量最小,仅为 44.7 mm,最大月的降雨量约为最小月的 7 倍。根据定位观测期间设置的自记雨量计资料(表 2)显示:2001 和 2002 年的降雨量分别为 1 384.4 mm 和 1789.7 mm,2002 年的降雨量比 2001 年多 405.3 mm。2001 年的降雨量低于多年平均降雨量,而 2002 年的则高于多年平均降雨量。2001 和 2002 年 3~6 月降雨量分别占年降雨量的 52.50%和 46.51%,均小于该时段多年平均降雨量占降雨总量 60.21%的比例;而 7~10 月

的降雨量分别占年降雨量的 29.10 % 和 34.70 % ,均高于该时段多年平均降雨量占降雨总量 23.25 % 的比例,11 ~ 12 月及 1

~ 2 月的降雨量分别占年降雨总量的比例则略高于该时段多年平均降雨量占降雨总量的比例。

表 2 2001 ~ 2002 年降雨量月统计

年份	月降雨量/mm												合计
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2001	77.7	95.1	46.4	127.7	240.0	312.7	173.8	171.7	9.6	47.7	38.8	43.2	1384.4
2002	115.3	30.6	100.8	261.8	133.0	336.7	145.2	133.3	115.5	227.0	52.2	138.3	1789.7
1961 ~ 1990 (多年平均降雨量)	66.4	112.6	189.4	230.2	311.5	278.9	111.7	103.2	106.9	68.2	53.7	44.7	1677.4

注:1961 ~ 1990 年月平均降雨量资料,来自福建省气象中心 1996 年 12 月整编的福建省气象资料。

从观测期间(2001 ~ 2002)的降雨量趋势线上(图 1)还可以看出,2001 年和 2002 年的降雨量均在 6 月份达到最大值,分别为 312.7 mm 和 336.7 mm,而降雨量的最小值则出现在 2001 年的 9 月份和 2002 年的 2 月份,分别为 9.6 mm 和 30.6 mm。2001 ~ 2002 年的降雨量在 6 月份以前呈逐渐上升的趋势,6 月份达到高峰后,到 7、8、9 月份又呈现出明显的下降趋势,10 月份以后略有回升,这与 1961 - 1990 年 30 年的统计资料相比具有一定的相似性。

森林保持水土、涵养水分、减少洪峰等效益的一个基本指标<sup>[2]</sup>。众所周知,森林植被能够减少和调节地表径流,在不同地条件下,随着森林覆盖率的增加,地表径流量显著减少,但影响地表径流的因素是多样的,复杂的,除了降雨等直接气象因素外,还取决于土壤质地、湿度、结构、水分物理性质、地形、森林植被的类型及其覆盖程度等。探讨不同人工林生态系统的地表径流规律及其特征,对于防洪减灾、水资源的开发利用、森林涵养水源效益的评价等都是非常重要的。

3.2.1 降雨量与地表径流量的关系

降雨是影响地表径流的重要因素之一,它直接影响着地表径流量的大小。在两年的定位观测期间(2001 ~ 2002),对木荷林地、杉木林地、封山育林地和对照地的地表径流量和降雨量之间建立回归模型表明,其地表径流量和降雨量之间存在着二次抛物线回归关系,回归关系如图 2 - 5 所示(注:地表径流量的大小用单位面积内径流小区的地表径流深 R 表示)

由上述 4 种图形的地表径流和降雨量之间非线性的二次抛物线回归关系表明:地表径流量随着降雨量的增加而增加,但不是呈现出匀速递增的趋势,即一场大降雨情况下所产生的地表径流量要远远大于一场小降雨所产生的地表径流量。根据对各林分降雨 - 地表径流关系的长期内在分析表明: > 50 mm/ 次的降雨次数约占总降雨次数的 15 % ~ 20 %,但这些降雨量所产生的地表径流量却占总径流量的近 50 %,因此,从气候因子方面来说,本试验地区径流量的多少主要是由降雨量的大小来决定的,而与降雨强度的关系不大;从产流机制方面来说,主要以蓄满产流为主<sup>[3]</sup>,其回归方程如表 3:

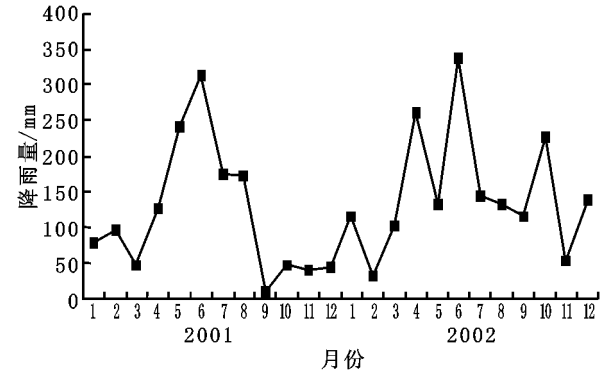


图 1 试验地观测期间降雨量分布图

3.2 径流量

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,以其所具有的能量侵蚀土壤、改变流域的地貌特征。它反映了流域植被、土壤、气候等综合水文特征,是衡量

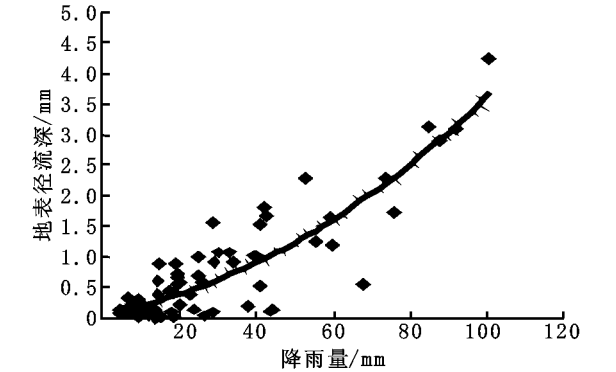


图 2 木荷地表径流与降雨量的关系

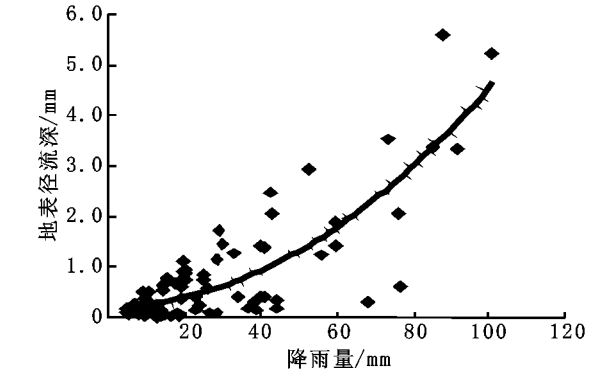


图 3 杉木地表径流与降雨量的关系

表 3 3 种林地及对照的降雨 - 产流回归模型

类型	$R = aP^2 + bP + c$	$n$	$R^2$	$F$	Signif $F$
木 荷	$R = 0.0002 P^2 + 0.0098 P + 0.1124$	73	0.7317	99.550	0.0000
杉 木	$R = 0.0004 P^2 + 0.0001 P + 0.2437$	80	0.6883	88.339	0.0000
封山育林	$R = 0.0002 P^2 + 0.0098 P + 0.1124$	81	0.7038	96.237	0.0000
对 照	$R = 0.0012 P^2 + 0.4760 P - 1.7118$	74	0.8519	212.842	0.0000

3.2.2 不同土地利用方式的年地表径流量

不同土地利用方式的年地表径流量具有很大的差异。

2001 ~ 2002 年 4 种土地利用方式产生的地表径流量大小顺序为:对照(907.81 mm) > 封山育林(66.17 mm) > 杉木林(63.65 mm) > 木荷林(52.34 mm),对照所产生的地表径流量是其他土地利用方式的 15 ~ 18 倍,说明在一次性降雨过程中,对照地产生的地表径流量要远远大于木荷林地、杉木林地和封山育林地的地表径流量;4 种土地利用方式的年地表径流系数分别为:43.60 %、2.94 %、2.86 % 和 2.44 %,对照的要远远大于木荷、杉木和封山育林,木荷林地调节地表

径流的功能最好,其次是杉木林和封山育林,可见森林对地表径流调节的重要作用。一方面,森林通过林冠层、枯枝落叶层对大气降水进行截留,减少了进入林地的降雨量和降雨强度,从而直接影响地表径流的形成及其数量,尤其是林地内的枯枝落叶层,它不仅能吸收、涵养大量的水分,而且增加地表的粗糙度,影响地表径流的流动,延缓径流的流出时间;

另一方面,森林的存在,能够改良土壤,增加土壤的有机质,森林中的植物根系和土壤动物,能够使土壤孔隙度和入渗率增加,森林使土壤的结构变得更加疏松,因而能够吸收、渗透比裸露地更多的水分;再者,森林浓密的林冠层和松软的枯枝落叶层,使降水的动能和势能减少,并使雨水对土壤的冲刷力减弱,从而起到防止和减少土壤侵蚀的水文生态功能。

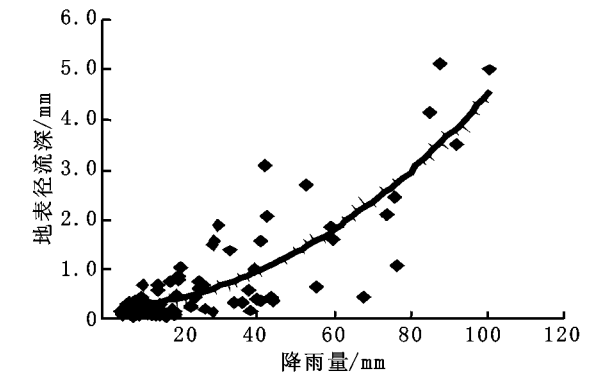


图 4 封山育林地地表径流与降雨量的关系

3.2.3 不同土地利用方式的月地表径流量动态变化

不同土地利用方式的月地表径流量动态变化与降雨量大小的月动态变化相一致。在闽江上游地区 3~6 月为雨季,降雨量大,降雨次数多,不同土地利用方式的月平均地表径流量都相对较高;而 11 月至翌年 2 月则为旱季,降雨量少,降雨次数也少,偶见大雨,所以月平均地表径流量都相对

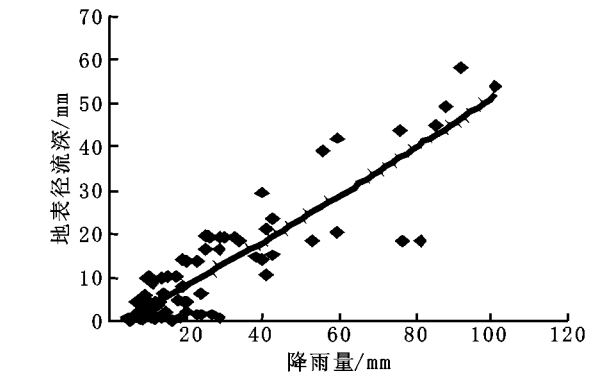


图 5 对照地表径流与降雨量的关系

较低。根据我们两年定位观测的数据可知:降雨量增大的月份,其月平均径流量一般也随之增大,并且在同一月份间其平均地表径流量的大小趋势为:对照>封山育林>杉木>木荷,并且均是在 6 月份达到最大值,9 月份出现最小值,其基本趋势是随着月降雨量的变化而变化。(图 6~9)

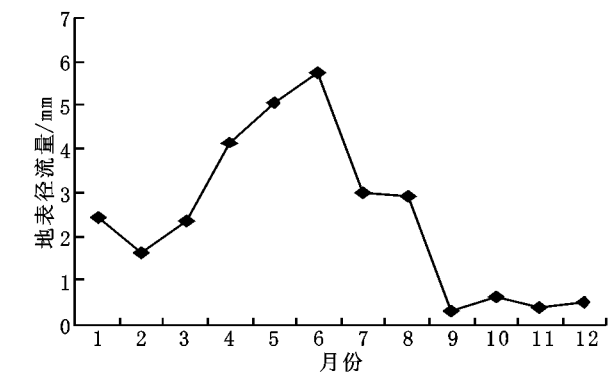


图 6 木荷林地月平均径流量动态变化

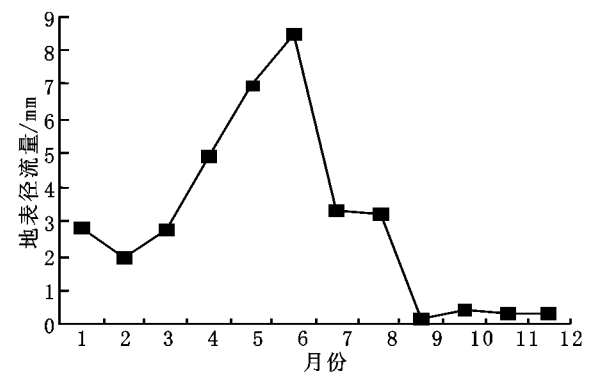


图 7 杉木林地月平均径流量动态变化

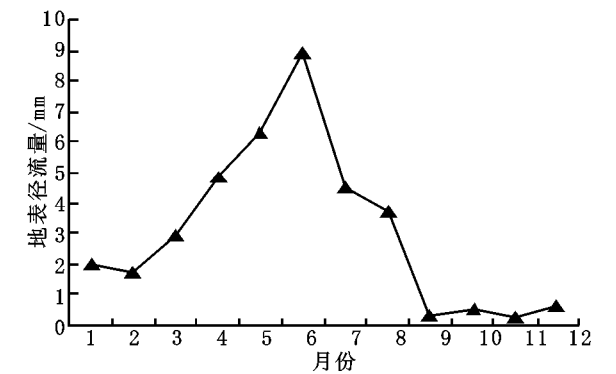


图 8 封山育林地月平均径流量动态变化

从图 6~9 中我们可以看出,4 种不同土地利用方式的径流量月分布曲线较相似,均在 3~6 月份呈现出较大值,而在 7~12 月份之间则相对较小,1~2 月份又有增大的趋势,这和不同月份之间降雨量的大小关系密切。3~6 月是本区的雨季,降雨量约占年降雨量的 50%,4 种不同土地利用方式的径流量也均占到了年径流量的 50%以上;7~10 月的降雨量也较多,其径流量约占年径流量的 30%~40%之间;11

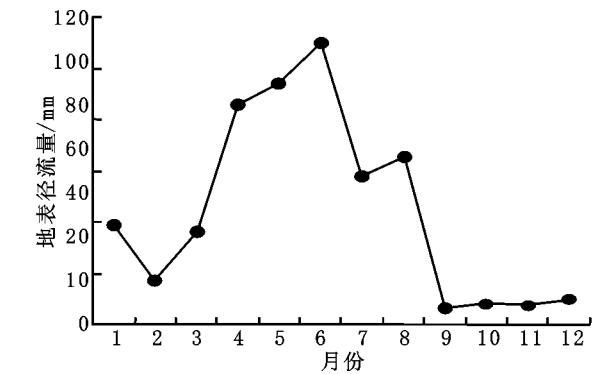


图 9 对照月平均径流量动态变化

~12 月和 1~2 月的降雨总量相对减少,其径流量约占年径流量的 10%~17%之间。以上分析说明,本试验区的径流量有明显的季节分布规律,主要集中在 3~10 月,特别是 3~6 月的传统雨季。其他地区的研究也得出相似的结论,例如:闽东南的水土流失主要发生在 5~9 月的梅雨和雷雨台风季节,径流量占全年的 76.3%<sup>[4]</sup>。黄土高原不同地区随着汛期雨量占年百分数的逐渐增大,土壤侵蚀强度和径流量

也逐渐增大<sup>[5]</sup>。

不同土地利用方式在不同时期的径流量差异也不相同。木荷林、杉木林和封山育林的月平均径流量很接近,而且其分布曲线也较为一致;但对照与三种林地相比,雨季 6 月份的最大径流量则高出约 100 mm,充分体现了林地在雨季的水土保持作用。刘世荣等<sup>[6]</sup>也研究分析认为:森林对地表径流具有良好的调节功能,随着森林植被率的增加,地表径流的形成和土壤侵蚀明显减少。地表径流是引起流域水文变化的主要因子,是洪水流量的主要成分,同时也是水土流失、土壤侵蚀的一个重要因素。探讨不同森林林地或森林集水区地表径流及土壤侵蚀的研究,对于区域水资源的开发利用、森林水源涵养效益的正确评价以及流域的合理规划设计是很有价值的。

## 4 结 论

(1) 闽北地区 3~6 月为雨季,降雨量大、降雨类型丰富,以大雨、暴雨和大暴雨为主要降雨特征;7~10 月受台风影响较严重,年际间变率较大,台风多的年份大雨和暴雨较多,反之则少;而 11 月至翌年 2 月为旱季,降雨量较少,降雨类型几乎都为小雨和中雨,偶尔见大雨。

(2) 不同土地利用方式的年地表径流量具有很大的差异。

### 参考文献:

- [1] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
- [2] 孙阁. 森林对河川径流影响及其研究方法的探讨[J]. 自然资源研究, 1987, (2): 67 - 71.
- [3] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [4] 卢程隆, 黄炎和, 郑添发, 等. 闽东南花岗岩地区土壤侵蚀的研究[J]. 水土保持通报, 1990, 10(2): 41 - 48.
- [5] 王占礼, 邵明安, 王庆瑞. 黄土高原降雨因素对土壤侵蚀的影响[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(4): 101 - 105.
- [6] 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[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.

(上接第 261 页)

力推进河南省城镇化建设等。

## 4 结论与讨论

河南省 1990~2003 年人均生态足迹由 1.106 hm<sup>2</sup> 升至 1.713 hm<sup>2</sup>, 年均增长率 4.33%, 生态足迹需求与供给的比例由 2.65 : 1 增至 3.93 : 1, 供需矛盾突出; 而人均生态赤字由 0.688 hm<sup>2</sup> 升至 1.277 hm<sup>2</sup>, 并以年均 4.2% 的速率持续增长。生态赤字的加剧表明人类对自然的利用超出了其生态承载力。

### 参考文献:

- [1] 张颖, 王万茂. 中国省市区生态足迹差异实证分析[J]. 中国土地科学, 2004, 18 (4): 24.
- [2] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological foot - print[J]. Applications in Sweden and Subregions, Am - bio, 1999(28): 604 - 612.
- [3] 张志强, 徐中民, 程国栋. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J]. 地理学报, 2001, 56 (5): 599 - 603.
- [4] 王伟中. 地方可持续发展导论[M]. 北京: 商务出版社, 2001, (1) 387 - 390.
- [5] 张志强, 徐中民. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报, 2000, 55 (5): 606 - 614.
- [6] 王恩涌. 人文地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 90 - 91.
- [7] 河南省统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计年鉴出版社, 1991 - 2004.
- [8] 中国能源统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计年鉴出版社.
- [9] Wackernagel M, Onisto L, Bello P. Ecological footprint of nations[R]. Commissioned by the earth council for the Rio + 5 Forum. Toronto: International Council for Local Environmental Initiatives, 1997. 12 - 25.
- [10] 李翔, 许兆义, 等. 城市生态承载力研究[J]. 中国安全科学学报, 2005, 2 (2): 3 - 7.
- [11] 邵英角, 刘柳松, 张小平. 南京市生态足迹研究[J]. 国土资源科学, 2005, 22(2): 329.
- [12] 赵勇, 李树人, 等. 生态足迹法在郑州市城市可持续发展中的应用[J]. 河南农业大学学报, 2004, 12 (4): 394 - 398.
- [13] 蔺海明. 甘肃河西绿洲农业区生态足迹动态研究[J]. 农业现代化科学, 2004, 25 (2): 115.
- [14] 罗贞礼, 黄璜. 可持续发展评价模型 - 生态足迹方法及其应用[J]. 热带地理, 2004, 24 (2): 140.

异。2001~2002 年 4 种土地利用方式产生的地表径流量大小顺序为: 对照(907.81 mm) > 封山育林(66.17 mm) > 杉木林(63.65 mm) > 木荷林(52.34 mm), 对照所产生的地表径流量是其他土地利用方式的 15~18 倍。对照以及三种林地的年平均地表径流系数分别为: 43.60%、2.94%、2.86% 和 2.44%, 对照的要远远大于木荷、杉木和封山育林, 木荷林地调节地表径流的功能最好, 其次是杉木林和封山育林。

(3) 对照地比木荷林地、杉木林地、封山育林地更容易产生地表径流, 林地具有较好的涵养水源和保持水土作用。林地地表径流的产生主要是受降雨量的影响, 而与降雨强度的关系不大。地表径流量与降雨量之间呈现出极显著的非线性二次抛物线关系( $P < 0.01$ )。对照以及三种林地降雨量增大的月份, 其月平均径流量一般也随之增大, 并且在同一月份间其平均地表径流量的大小趋势为: 对照 > 封山育林 > 杉木 > 木荷, 均是在 6 月份达到最大值, 9 月份出现最小值, 这说明地表径流量的大小主要随着降雨量大小的不同而异。

致谢: 本文的完成要特别感谢黄荣珍、岳永杰、江森华、卢豪良和王小国等师兄在前期试验中所做的大量工作。此外, 福建省水土保持试验站、南平市水土保持办公室、建瓯市水土保持办公室、建瓯市水土保持试验站也给予了大力的支持和积极的配合。

的范围。总之, 14 年来, 由于河南省各类土地生物生产效率的提高与人均生态足迹的快速增长不成比例, 人地矛盾不断加剧, 导致了河南省的整体发展处于不可持续状态<sup>[14]</sup>。

生态足迹的方法一经提出, 引起了生态经济学家的广泛关注 and 深入讨论。需要指出的是研究中原始数据的真实性、可靠性以及土地类型核算中标准的统一性都会影响评价的结果, 但生态足迹法毕竟为度量区域可持续发展提供了新的审视角度。