

# 不同配置模式毛竹林水土流失特征

张锦娟<sup>1,2</sup>, 王冉<sup>1,2</sup>, 陆芳春<sup>1,2</sup>, 李钢<sup>1,2</sup>

(1. 浙江省水利河口研究院, 杭州 310020; 2. 浙江广川工程咨询有限公司, 杭州 310020)

**摘要:**选取安吉县毛竹纯林、毛竹—杨桐混交林、毛竹—杨桐—萱草混交林作为研究对象,对大气降雨和3种林分中的地表径流量、土壤流失量、养分流失量(总氮和总磷)进行了研究。结果表明:(1)安吉县6—10月份降雨量呈明显波动趋势,降雨量为6.0~106.0 mm。根据降雨强度划分等级安吉县25场降雨划分为小雨、中雨、大雨和暴雨。(2)安吉县暴雨对应的径流系数相对较高,其次为大雨。3种林分中毛竹纯林径流系数最大,毛竹—杨桐—萱草混交林最小。(3)3种林分径流系数、土壤流失量和养分流失量变化趋势基本一致,均呈明显波动趋势。6月和8月经流系数、土壤流失量和养分流失量相对较大。(4)降雨量与地表径流回归方程和地表径流与土壤流失量回归方程均为线性回归方程,说明降雨量与地表径流、地表径流与土壤流失量均呈线性关系。

**关键词:**农业工程; 水土流失; 径流小区; 毛竹林

**中图分类号:**S157.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2017)03-0092-04

## Characteristics of Soil and Water Loss on Bamboo Forest Lands

ZHANG Jinjuan<sup>1,2</sup>, WANG Ran<sup>1,2</sup>, LU Fangchun<sup>1,2</sup>, LI Gang<sup>1,2</sup>

(1. Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary, Hangzhou 310020, China;

2. Zhejiang Guangchuan Engineering Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310020, China)

**Abstract:** Bamboo pure forest, Bamboo—*Cleyera japonica* mixed forest and Bamboo—*Cleyera japonica*—*Hemerocallis* mixed forest were selected in Anji County. Atmospheric precipitation, surface runoff, soil loss and nutrient loss (total nitrogen and total phosphorus) were studied. The results showed that: (1) rainfall showed a trend of fluctuations from June to October in Anji County, rainfall is 6.0~106.0 mm. According to the rainfall intensity grade, rainfall in Anji County was divided into light rain, moderate rain and heavy rain; (2) runoff coefficient corresponding to the rainstorm was relatively high, followed by heavy rain, runoff coefficient was the largest in three kinds of forest lands, Bamboo—*Cleyera japonica*—*Hemerocallis* mixed forest was minimum; (3) the trend of the runoff coefficient, soil loss and nutrient loss of 3 kinds of stands were basically same, all of which showed a trend of fluctuation, in June and August, the runoff coefficient, soil loss and nutrient loss were relatively large; (4) the regression equation of rainfall and surface runoff and the regression equation of surface runoff and soil loss were all linear regression equations, which showed that there was the linear relationship between rainfall and surface runoff, surface runoff and soil loss, respectively.

**Keywords:** agricultural engineering; soil and water loss; runoff plots; Bamboo forest

毛竹是我国南方重要的竹林资源,其中浙江是毛竹分布最丰富的省份之一<sup>[1]</sup>。浙江省毛竹资源量大,分布广,根据浙江省森林资源及其生态功能价值公告,20个县市毛竹林面积在1万hm<sup>2</sup>以上,又以安吉县毛竹林面积最大,立竹量最多<sup>[2]</sup>。安吉县毛竹林面积占全县森林总面积的37.8%<sup>[3]</sup>。自20世纪90年代初,全县竹农成规模地进行了毛竹林地垦复,提高了毛竹立竹量和出笋

量,明显增加了经济效益,但同时随着产业经济的发展,毛竹林垦复程度日渐加深、面积逐渐扩大,一系列生态环境问题逐步显现,如:大面积竹木混交林被改造成毛竹纯林,导致物种流失,生物多样性贫乏,生态稳定性差;高强度的粗放经营,导致大部分陡坡山地水土流失严重,水源涵养功能下降等<sup>[4]</sup>。

降雨是引起水土流失的重要因素之一,降雨量和降

雨强度等特征对产生地表径流和泥沙具有重要影响<sup>[5]</sup>。此外,降雨强度与水土流失的程度和发生频率等都存在密切关系<sup>[6-7]</sup>。但这些相关研究主要集中在干旱和半干旱地区,虽然南方山区也有研究,但多集中在阔叶林和针叶林,而对于南方最重要的林业资源——毛竹林,研究较少。因此,本研究选择素有“中国竹乡”的安吉县作为研究区域,分别对3种主要毛竹林类型:毛竹纯林、毛竹+杨桐混交林和毛竹+杨桐+萱草混交林为研究对象,统计2015年6—10月降雨事件,分析降雨强度、径流量、土壤流失量和养分流失量以及降雨与后者的关系,探讨3种林分水土流失特征,为毛竹林合理经营与水土流失治理提供科学依据。

## 1 研究区概况

安吉县位于浙江西北部,湖州市辖县之一,地处太湖西南部,北靠天目山,面向沪宁杭,东经119°14′—119°53′,北纬30°23′—30°53′,总面积约为1 886 km<sup>2</sup>。地形呈西南高东北低的趋势。安吉县属于典型亚热带海洋性季风气候,四季分明,多年平均降水量在1 550 mm左右,年最大降雨量1 870 mm,最小850 mm,降雨在年内分布不均,4月、5月为春雨季节,约占全年降雨量的20%;5月、6月梅雨明显,约占全年降雨量的15%;7—9月为台风、雷雨、秋雨季节,多局部雷阵雨。多年平均温度为15.5℃。安吉县森林覆盖率和植被覆盖率分别达到了71%和75%,主要植被类型以毛竹林为主。土壤为山地红壤,土层以中、厚层为主,冲积土层较厚,土质疏松,以轻壤质土为主,但毛竹林土壤砾石含量高<sup>[8]</sup>。

## 2 研究方法

本研究在研究区内布设3种植被配置模式,分别为毛竹纯林、毛竹—杨桐混交林、毛竹—杨桐—萱草混交林,每种植被配置模式重复3次,即一共布设9个坡面径流小区。降雨量采集采用人工简易量筒装置测量,降雨量装置水平安装于空旷处,内置储水设备,室内配备雨量筒。当有降雨发生时,记录降雨时间,雨量储水设备开始储水,当降雨停止,并且6 h内未发生降雨,便记录降雨停止时的时间,并取出储水设备,用量筒量取水量,做好记录。径流和泥沙量测定采取降雨量超过20 mm时进行水池水深测定,若水池内水清澈见底,可不取样;否则进行取样,每次需进行水池清理。水样中总氮测定采用碱性过硫酸钾紫外分光光度法(GB11894—89),总磷测定采用钒钼磷酸比色法(GB11893—89)。数据分析采用SPSS 19.0和Excel进行分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 降雨特征

由图1看出,对安吉县6—10月共25场降雨事件进行统计分析,主要降雨量和降雨强度特征如下:安吉县6—10月份降雨量呈明显波动趋势,最小降雨量为6.0 mm,最大降雨量为106.0 mm,降雨量主要集中在30 mm左右。根据一小时降雨量将降雨等级划分为:小雨( $\leq 2.5$  mm)、中雨(2.6~8.0 mm)、大雨(8.1~15.9 mm)和暴雨( $\geq 16.0$  mm)<sup>[9]</sup>。因此,对安吉县25场降雨强度进行划分,发现小雨占到了4%,中雨占到了36%,大雨占到了40%,暴雨占到了20%,降雨量级主要以中雨和大雨为主。

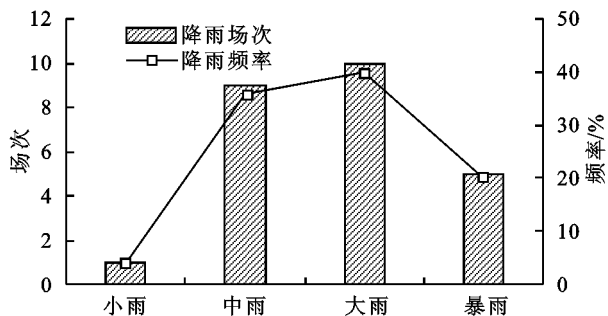


图1 降雨场次与频率分布

### 3.2 毛竹林复合经营水土流失格局

对安吉县毛竹纯林、毛竹—杨桐混交林以及毛竹—杨桐—萱草混交林3种林型6—10月共11次水土流失情况进行监测与分析,即采集1场中雨、5场大雨和5场暴雨情境下的径流量、土壤流失量、总氮养分流失量和总磷养分流失量,结果见表1。从表1中可以看出,暴雨对应的径流系数相对较高,其次为大雨,中雨次之。表明雨强越大,径流系数也越大,相对更易产生径流;反之径流系数越小。因此,大雨量级的降雨是水土流失的主要动力<sup>[10]</sup>。3种林分中毛竹纯林径流系数最大,毛竹—杨桐混交林次之,毛竹—杨桐—萱草混交林最小,说明植物物种多样性越大越利于拦蓄降雨,而毛竹纯林结构单一,易产生径流,从而使得径流系数相对最大。

由于暴雨雨滴集中,对土壤侵蚀力强,所以相较于中雨和大雨更易导致土壤流失。本研究中3种林分土壤流失量均随雨强的增大而增大。但在3种林分中土壤流失量有所差异,同径流系数一样表现为毛竹纯林土壤流失量最大,毛竹—杨桐混交林次之,毛竹—杨桐—萱草混交林最小。这与安吉县大量的挖竹笋活动有关,而混交林中有杨桐和萱草等植物物种,可以附着在土壤表层,减少土壤流失量。土壤流

失伴随着一定的养分流失,同样总氮和总磷流失量随着降雨强度的增加而增加,3 种林分中也表现为毛竹纯林养分流失量最大,其次是毛竹—杨桐混交林,最后是毛竹—杨桐—萱草混交林。

表 1 不同配置模式毛竹林水土流失分级统计

| 雨量级 | 雨强/<br>(mm·h <sup>-1</sup> ) | 径流系数/% |       |          | 土壤流失/(kg·hm <sup>-2</sup> ) |        |          |
|-----|------------------------------|--------|-------|----------|-----------------------------|--------|----------|
|     |                              | 毛竹纯林   | 毛竹—杨桐 | 毛竹—杨桐—萱草 | 毛竹纯林                        | 毛竹—杨桐  | 毛竹—杨桐—萱草 |
| 中雨  | 3.0                          | 1.18   | 1.02  | 1.05     | 9.67                        | 10.00  | 7.00     |
| 大雨  | 8.5                          | 4.42   | 3.00  | 2.43     | 19.59                       | 20.00  | 10.84    |
| 大雨  | 10.5                         | 5.71   | 5.00  | 2.76     | 55.00                       | 32.00  | 20.30    |
| 大雨  | 13.5                         | 6.30   | 5.38  | 6.00     | 83.78                       | 61.15  | 70.00    |
| 大雨  | 14.0                         | 10.00  | 6.00  | 8.00     | 270.00                      | 196.00 | 119.00   |
| 大雨  | 14.5                         | 0.95   | 1.10  | 0.78     | 9.92                        | 6.50   | 8.00     |
| 平均值 | 12.0                         | 5.48   | 4.10  | 3.99     | 87.66                       | 63.13  | 45.63    |
| 暴雨  | 16.0                         | 1.15   | 1.11  | 0.73     | 9.60                        | 10.00  | 5.66     |
| 暴雨  | 17.0                         | 5.59   | 4.08  | 3.60     | 49.52                       | 54.00  | 20.00    |
| 暴雨  | 17.5                         | 1.79   | 1.67  | 1.19     | 4.95                        | 5.00   | 2.65     |
| 暴雨  | 18.0                         | 6.29   | 5.66  | 5.03     | 134.00                      | 99.00  | 30.00    |
| 暴雨  | 18.0                         | 4.12   | 5.00  | 3.00     | 15.76                       | 16.00  | 12.00    |
| 平均值 | 17.0                         | 3.79   | 3.50  | 2.71     | 42.77                       | 36.80  | 14.06    |

3.3 毛竹林复合经营水土流失动态

3.3.1 地表径流动态比较 对 6—10 月 3 种林分地表径流动态进行分析,结果见图 2。从图 2 中可知,3 种林分径流系数变化趋势基本一致,均呈明显波动趋势,最大值出现在 6 月 19 日,达到 10.0%,对应暴雨,最小值出现在 7 月 13 日,仅为 0.7%。6 月和 8 月径流系数值相对较大,在采集的 11 场降雨中,5 场暴雨中有 4 场集中于 6 月和 8 月,而 5 场大雨中有 3 场也集中于以上两个月。因此 6 月和 8 月径流系数相对其他两个月偏大。此外,毛竹纯林径流系数始终大于其他两种林分。

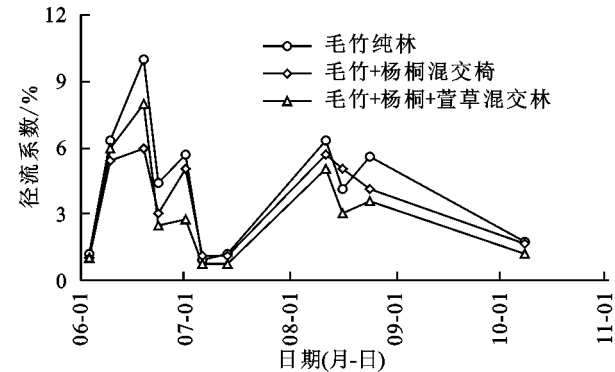


图 2 2015 年径流系数动态比较

3.3.2 土壤流失动态比较 对 6—10 月 3 种林分土壤流失量进行分析发现,土壤流失量变化趋势基本保持一致,但毛竹纯林土壤流失量始终大于其他两种林分(图 3)。结合图 2 可以看出,径流量越大,3 种林分土壤流失量也越大,且各林分之间土壤流失量差异显著。土壤流失量在 6 月份达到最大,为 270.0 kg/hm<sup>2</sup>,10 月最小,仅为 2.7 kg/hm<sup>2</sup>。降雨强度是引起

土壤流失的主要原因之一,雨强越大,雨滴过于集中,对土壤表层的冲击力也越大。由于暴雨和大雨主要集中于 6 月和 8 月,因此土壤大量流失也主要集中于 6 月和 8 月。

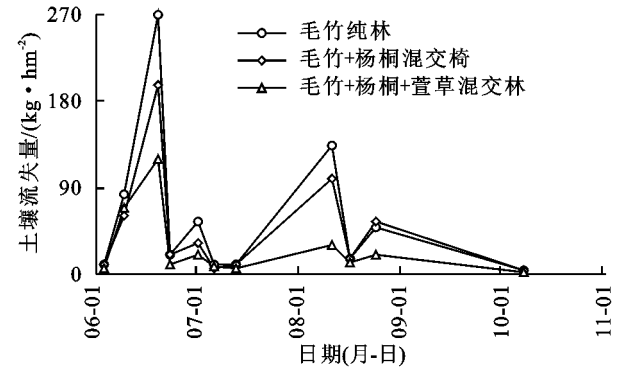


图 3 土壤流失量动态比较

3.3.3 养分流失动态比较 本研究对土壤养分流失的研究主要集中于对总氮和总磷的流失(图 4 和图 5)。分析 6—10 月 3 种林分总氮和总磷流失量发现,二者变化趋势与土壤流失量基本一致,均表现为 6 月最高,达到 10.62 kg/hm<sup>2</sup>,0.15 kg/hm<sup>2</sup>,7 月最低,仅为 0.09 kg/hm<sup>2</sup>,0.003 kg/hm<sup>2</sup>。这是由于土壤养分(即总氮和总磷)附着于土壤颗粒上,当土壤颗粒随径流迁移时,颗粒表层的养分也随径流一起迁移,从而引起养分流失。同样地,毛竹纯林相较于其他两种林分养分流失最多。

3.4 毛竹复合经营水土流失影响因素

应用 SPSS 对雨强、降雨量、径流量、土壤流失量、总氮流失量和总磷流失量进行 Pearson 相关性分析,发现各个因子之间均存在相关性,相关系数为

0.650~0.995。进一步将径流量与雨强、降雨量进行逐步回归分析,最终保留降雨量作为因变量,并与径流量构成线性回归方程,结果见表 3;将土壤流失量

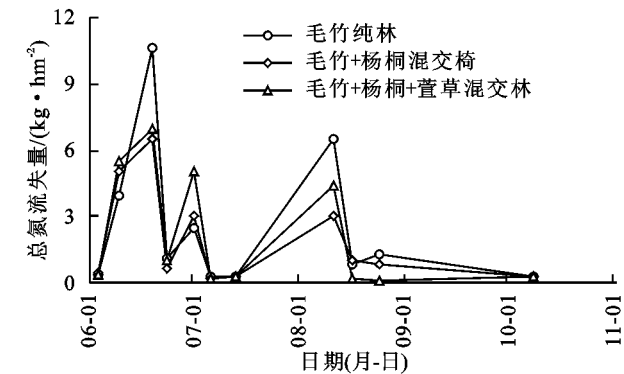


图 4 总氮流失量动态比较

| 表 3 径流量与降雨量回归方程 |                  |           |                |
|-----------------|------------------|-----------|----------------|
| 样地<br>种类        | 回归方程             | 显著性<br>水平 | 决定<br>系数 $R^2$ |
| 毛竹纯林            | $y=0.009x-0.140$ | 0.05      | 0.868          |
| 毛竹+杨桐混交林        | $y=0.008x-0.146$ | 0.05      | 0.873          |
| 毛竹+杨桐+萱草混交林     | $y=0.007x-0.116$ | 0.05      | 0.947          |

注:  $y$  代表径流量,  $x$  代表降雨量。

| 表 4 土壤流失量与径流量、降雨量回归模型 |                            |       |
|-----------------------|----------------------------|-------|
| 样地种类                  | 回归方程                       | $R^2$ |
| 毛竹纯林                  | $y=400.400m-1.412n+22.815$ | 0.973 |
| 毛竹+杨桐混交林              | $y=324.435m-1.070n+21.812$ | 0.985 |
| 毛竹+杨桐+萱草混交林           | $y=277.651m-0.670n+14.144$ | 0.977 |

注:  $y$  代表土壤流失量;  $m$  代表径流量;  $n$  代表降雨量。

通过回归分析可知,对于研究区域不同类型毛竹林地的产流量主要受降雨量影响,而土壤流失量主要受降雨量和径流量共同影响。其中,径流量随降雨量的增加而增加,这是由于地表受雨滴的打击易形成浑浊的泥浆,泥浆在下渗过程中将土壤孔隙堵塞,造成雨水下渗减少,从而使得地表径流迅速增加,通常雨强越大越易形成地表径流<sup>[11]</sup>。而土壤流失量随径流量的增加而增加。降雨通过地表径流引起土壤侵蚀。降雨将地表面层土壤剥离,形成雨滴溅蚀,径流则负责将剥离的土粒运移带走。因此,土壤流失量随径流量的增加而增加。此外,通过回归系数可知,毛竹纯林产沙产流最多,毛竹+杨桐混交林次之,而毛竹+杨桐+萱草混交林最少。

4 结论

(1) 安吉县 6—10 月份降雨量呈明显波动趋势,降雨量为 6.0~106.0 mm。根据降雨强度划分等级安吉县 25 场降雨划分为小雨、中雨、大雨和暴雨。其中,小雨占到了 4%,中雨占到了 36%,大雨占到了 40%,暴雨占到了 20%,降雨主要为中雨和大雨。

(2) 3 种林分中毛竹纯林径流系数最大,毛竹—

与雨强、降雨量、径流量之间进行逐步回归分析,最终保留降雨量和径流量作为因变量,并于土壤流失量构成线性回归方程,结果见表 4。

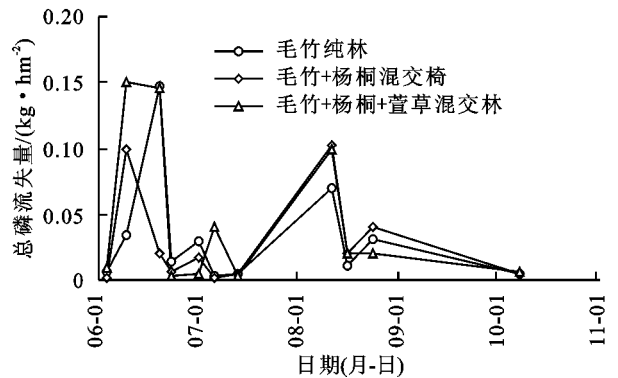


图 5 总磷流失量动态比较

杨桐—萱草混交林最小。而径流系数、土壤流失量和养分流失量变化趋势基本一致,均呈明显波动趋势。6 月和 8 月经流系数、土壤流失量和养分流失量相对较大。

(3) 研究区域不同类型毛竹林地的产流量主要受降雨量影响,而土壤流失量主要受降雨量和径流量共同影响,并且毛竹+杨桐+萱草混交林的减少地表径流和土壤流失作用最大。

参考文献:

[1] 安艳飞. 浙江重要竹种地下系统结构与生物力学研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2009.

[2] 潘春霞,李雪涛,吕玉龙. 安吉县毛竹资源及其生物量研究[J]. 浙江林业科技,2010,30(1):82-84.

[3] 徐小军. 基于 LANDSAT TM 影像毛竹林地上部分碳储量估算研究[D]. 浙江临安:浙江林学院,2009.

[4] 王鹰翔,张金池,刘鑫,等. 苏南丘陵区毛竹林坡面土壤水分对降雨的响应[J]. 水土保持通报,2016,36(1):22-26.

[5] 李广,黄高宝. 雨强和土地利用方式对黄土丘陵区水土流失的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(11):85-90.

[6] Fang N F, Shi Z H, Li L, et al. The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed[J]. Catena, 2012(99):1-8.

[7] 晏清洪,原翠萍,雷廷武,等. 降雨类型和水土保持对黄土区小流域水土流失的影响[J]. 农业机械学报,2014,45(2):169-175.

[8] 于立. 创立一个中国式的生态发展模式:安吉研究[J]. 城市发展研究,2009,16(10):86-91.

[9] 彭志. 毛竹林复合经营植物选择与生态效应研究[D]. 浙江临安:浙江农林大学,2012:19-20.

[10] 李仁山. 广西南部桉树人工林土壤性质与水土流失特征[D]. 南宁:广西大学,2014:26-27.

[11] 江森华,黄荣珍,谢锦升,等. 不同雨强对裸露坡地水土流失的影响研究[J]. 亚热带资源与环境学报,2011,6(4):24-28.