

# 巨尾桉工业原料林坡面产流产沙动态特征

王智慧<sup>1,2</sup>, 张静美<sup>3</sup>, 赵一鹤<sup>2</sup>

(1. 西南林业大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650224;

2. 云南省林业科学院, 云南 昆明 650201; 3. 云南林业职业技术学院, 云南 昆明, 650224)

**摘要:** [目的] 分析对比 3 种不同土地利用类型 3 a 坡面产流产沙动态变化, 为巨尾桉工业原料的可持续经营管理服务。[方法] 对云南省普洱市巨尾桉工业原料林、灌木林、撂荒地 3 种土地利用类型径流小区进行连续 3 年定位观测。[结果] 2010—2012 年研究区降雨集中在 6—10 月, 3 a 降雨量逐年减少。径流小区年径流总量变化依次为: 2012 年 < 2010 年 < 2011 年, 2012 年径流总量比 2011 及 2010 年分别减少了 52.28% 和 40.92%。2010—2012 年 6—10 月坡面产流顺序依次为: 巨尾桉工业原料林 < 灌木林 < 撂荒地, 巨尾桉工业原料林比灌木林和撂荒地分别减少产流 25.01% 和 30.86%。2010—2012 年土壤侵蚀总量变化依次为: 2012 年 < 2010 年 < 2011 年, 2012 年土壤侵蚀总量比 2011 及 2010 年分别减少了 41.83% 和 18.49%。3 a 间土壤侵蚀总量与年际径流总量变化趋势一致。巨尾桉工业原料林比灌木林及撂荒地分别减少土壤侵蚀量 47.56% 和 50.69%, 3 个径流小区土壤侵蚀量大小顺序与产流量一致。[结论] 巨尾桉工业原料林水土保持效益最为显著, 防止水土流失的效益最佳。

**关键词:** 巨尾桉工业原料林; 径流小区; 坡面; 产流产沙

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)02-0111-05

中图分类号: S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.021

## Dynamic Variation of Slope Runoff and Sediment Yield from *Eucalyptus Grandis* × *E. Urophylla* Industrial Plantations

WANG Zhihui<sup>1,2</sup>, ZHANG Jingmei<sup>3</sup>, ZHAO Yihe<sup>2</sup>

(1. Environmental Science and Engineering Academy of Southwest Forestry

University, Kunming, Yunnan 650224, China; 2. Yunnan Academy of Forestry, Kunming,

Yunnan 650201, China; 3. Yunnan Forestry Technological College, Kunming, Yunnan 650024, China)

**Abstract:** [Objective] To analysis the dynamic variation of slope runoff and sediment yield of three different land use types in the past three years, and provide a theoretical basis for sustainable management of *Eucalyptus Grandis* × *E. Urophylla*. [Methods] A located observation on runoff plots of three different land use types of *Eucalyptus* plantation, shrubbery and abandoned land of Pu'er City in Yunnan Province was conducted in the past three years, to analyze the runoff and sediment yield of the different land use types. [Results] The rainfall of the study area was observed concentrated in June to October from 2010 to 2012. The rainfall of study area gradually reduced in the past three years. The runoff observed in the three runoff plots ranked as: 2012 < 2010 < 2011. The runoff in 2012 reduced by 52.28% and 40.92%, as compared to the value in 2011 and 2010, respectively. The runoff observed from June to October of the three land use types in 2010—2012 ranked as: *Eucalyptus* plantation < shrubbery < uncultivated land. The runoff in that period of *Eucalyptus* plantation reduced by 25.01% and 30.86%, respectively, compared with shrubbery and abandoned land. The yearly sediment rank observed in the three plots was 2012 < 2010 < 2011. The observed value in 2012 reduced by 41.83% and 18.49%, respectively, as compared to the sediment in 2011 and 2010. Sediment and the total annual runoff volume varied consistently in the past three years. *Eucalyptus* plantation reduced sediment yield by 47.56% and 50.69%, respectively, against the shrubbery and abandoned land. [Conclusion] *Eucalyptus* plantation has the best effect of soil and water conservation.

**Keywords:** *Eucalyptus* plantation; runoff plots; slope; runoff and sediment yield

收稿日期: 2014-03-17

修回日期: 2014-04-06

资助项目: 云南省社会事业发展专项“云南藏区典型区域生态安全与防控技术研究及应用示范”(2010CA010)

第一作者: 王智慧(1987—), 女(汉族), 内蒙古自治区包头市人, 硕士研究生, 研究方向为恢复生态学。E-mail: 517092259@qq.com。

通信作者: 赵一鹤(1970—), 男(汉族), 云南省大理市人, 博士, 副研究员, 主要从事特种经济林资源培育与开发利用研究。E-mail: 903796259@qq.com。

桉树(*Eucalyptus*)原产地为澳大利亚及其附近岛屿。在中国栽培历史已有 100 多年,因其抗性强、适应性广、种植容易、萌芽力强、速生高产等特点,为 3 大速生造林树种(桉、松、杨)之一<sup>[1-2]</sup>。巨尾桉(*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*)是以巨桉(*Eucalyptus grandis*)为母本、尾叶桉(*E. urophylla*)为父本的杂交品种,目前已成为我国南方各省短周期工业原料林的主要栽培品种,其综合了巨桉生长快,纸浆得率高,以及尾叶桉对低海拔干旱土壤的适应性和抗溃疡病能力强的特点。巨尾桉工业原料林的迅猛发展,获得了巨大的经济和社会效益,但随着巨尾桉工业原料林的大发展和研究的不断深入,其生态环境风险问题引起了社会的广泛关注和学术界的许多争论,巨尾桉工业原料林的水土保持效应问题是争论的焦点之一,但针对巨尾桉工业原料林产流产沙方面的研究,相关文献尚未见有报道<sup>[3-4]</sup>。近几年来,云南巨尾桉工业原料林种植面积在不断扩大,在云南省南部热带、南亚热带高原山地独特的地形地势和气候条件下,很有必要对巨尾桉工业原料林的产流产沙的变化动态进行研究。本研究拟选取巨尾桉工业原料林与邻近撂荒地、灌木林地 3 种土地利用类型,采用坡面径流小区试验法,通过连续 3 a 的观测研究,探讨巨尾桉工业原料林与撂荒地、灌木林地的产流产沙动态变化规律。从而更科学和客观认识巨尾桉工业原料林的水土保持效应,为云南省巨尾桉工业原料林的可持续经营管理提供理论基础和科学依据<sup>[5]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区所在地普洱市澜沧拉祜族自治县地处云南省西南部,属南亚热带山地湿润季风气候;多年平均气温 18.9~19.3 °C 之间,多年平均降雨量 1 102.8~2 793 mm,全年分干季和雨季,干季从 11 月至翌年 5 月,雨量较少,雨季从 6—10 月,降水量占全年总降水量的 86.9%。

根据调查,研究区土壤为红壤,土层厚度为 100—140 cm。巨尾桉纯林于 2004 年营造,采用扦插苗挖穴整地造林,造林密度 1 995 株/hm<sup>2</sup>,巨尾桉树高 19~27 m,胸径为 9.3~24 cm,郁闭度为 50%,草本层盖度为 65%。灌木林为次生常绿灌木林,郁闭度为 25%,草本层盖度为 40%。撂荒地主要为当地群众的弃耕地,草本层盖度为 50%。

### 1.2 研究方法

1.2.1 径流小区和雨量计布设 根据研究区自然环境条件,在 2009 年,选择巨尾桉工业原料林、灌木林及撂荒地 3 种不同地类。在具有代表性的地段统一布设水平投影面积 5 m×20 m 的标准径流小区。小区上方设排水渠,防止上游来水进入小区,下方集流池大小为 1 m×1 m×1 m,小区左右两边预留 1 m 的保护带。在 3 个径流观测点中间地形开阔的地方布设一个自记雨量计测定每场降雨的降雨量。径流小区基本情况详见表 1。

表 1 径流小区基本情况

小区类型	海拔高度/m	坡位	坡度/(°)	坡向	灌、草层优势物种
巨尾桉工业原料林	1 393	坡中下部	16	E	飞机草( <i>Eupatorium odoratum</i> ) 大叶仙茅( <i>Curculigo capitulata</i> ) 紫茎泽兰( <i>Ageratina adenophora</i> )
灌木林	1 405	坡中下部	15	E	蕨类( <i>Callipteris esculenta</i> ) 飞机草 狗尾草( <i>Setaria viridis</i> )
撂荒地	1 412	坡中下部	15	E	莎草( <i>Kyllinga brevifolia</i> ) 蕨类

### 1.2.2 观测与计算方法

(1) 径流量和泥沙含量。降雨过程使用自记雨量计记录并分析次降雨的降雨量及降雨历程。采用定位观测方法,每次降雨结束后测定 3 个径流场的径流量和泥沙量。径流量通过对集流池中集水采用体积法求得,并且每次产流后取样观测径流泥沙。取样方法为把集流池中集水搅匀后,取满 3 个标准取样容器,再用比重法测定泥沙含量。每个取样重复检验 3

次,按公式(1)计算泥沙含量:

$$\rho = \frac{\left(\frac{G}{V} - \rho_w\right) \cdot \rho_s}{\rho_s - \rho_w} \quad (1)$$

式中: $\rho$ ——含沙量(kg/m<sup>3</sup>);  $G$ ——样品泥水重(kg);  $V$ ——样品泥水体积(m<sup>3</sup>);  $\rho_w$ ——水的比重(1×10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>);  $\rho_s$ ——泥沙的比重(2.65×10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>)。

(2) 减流率。通过计算减流效应特征指标减流率来体现蓄水减流效应,按照水保法(成因分析法)计

算蓄水减流效应特征指标减流率:

$$\eta_w = \Delta W / W \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $\eta_w$ ——减流率(%);  $\Delta W$ ——有植被覆盖后径流量的变化量( $\text{m}^3$ );  $W$ ——对照区产生的径流量( $\text{m}^3$ )<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 年际间降雨量变化动态

2010—2012 年研究区降雨量集中在 6—10 月, 3 a 的年降雨量分别为 1 233.7, 897.9 和 416.6 mm, 3 a 降雨量逐年减少, 与云南省 2010—2012 年整体降雨量逐年减少情况相符。2010 年雨季降雨 20 次, 均发生产流, 月降雨次数最多为 7 月, 共 7 次, 月降雨最大为 7 月, 共降雨 367.3 mm, 占监测时段降雨量的 29.77%; 2011 年雨季降雨 17 次, 月降雨次数最多为 7 月, 共 6 次, 月降雨最大为 7 月, 为 298.2 mm, 占监测时段降雨量的 33.21%; 2012 年雨季降雨 8 次, 月降雨次数最多为 8 月, 共 3 次, 月降雨最大出现在 8 月, 为 159.7 mm, 占监测时段降雨量的 38.33%。3 a 降雨量最大月份集中在 7—8 月, 且月降雨量与月降雨次数之间存在正相关关系。

### 2.2 不同土地利用类型年际间坡面产流量动态

2010 年 3 种立地类型小区径流量最大月份均出现在 9 月, 该月巨尾桉工业原料林、灌木林、撂荒地径流小区产流量分别为 39.6, 57.18, 65.48 mm, 分别占雨季径流量的 36.07%, 31.78%, 31.14%; 2011 年径流量最大月均为 7 月, 该月巨尾桉工业原料林、灌木林、撂荒地径流小区产流量分别为 54.71, 65.37 和 71.23 mm, 分别占雨季径流量的 30.39%, 30.41%, 31.77%; 2012 年均出现在 8 月, 该月巨尾桉工业原料林、灌木林、撂荒地径流小区产流量分别为 33.97, 41.25 和 41.57 mm, 分别占雨季径流量的 40.22%, 39.55%, 38.96%。2010 年径流小区月径流量最大值的出现相较于月降雨量最大值有一定的滞后性, 2011 与 2012 年径流量与降雨量的最大月份相一致。3 种土地利用类型径流小区年际径流情况详见表 2。结果表明, 2010—2012 年研究区 3 种土地利用类型径流小区年径流总量从小到大顺序为: 2012 年 <

2010 年 < 2011 年, 2012 年径流量比 2011 和 2010 年分别减少 52.28% 及 40.92%。2011 年径流总量比 2010 年多了 119.05 mm, 与研究区两年间降雨量变化趋势不符。分析原因主要为 2011 年 6 月降雨总量为 216.9 mm, 为 2010 年同期降雨量的 1.8 倍, 且次降雨量均为大于 45 mm 的大到暴雨, 径流小区产流总量达到 170.17 mm, 相比 2010 年同期增加 148.87 mm。造成 2011 与 2010 年研究区降雨量与径流量变化趋势不一致。降雨时间短、雨强大的暴雨和大暴雨易造成发生水土流失量的激增, 产流作为一个复杂的过程, 是植被类型、土壤理化性质、降雨量及降雨强度等因素综合作用的结果<sup>[7]</sup>。

2010—2012 年各径流小区产流量从小到大均表现为: 巨尾桉工业原料林 < 灌木林 < 撂荒地, 巨尾桉工业原料林比灌木林和撂荒地分别减少产流 25.01%, 30.86%。分析原因主要有以下两个方面, 一是植被对地表径流的影响是由植被的树冠和植物群体、枯枝落叶层和土壤层综合效能决定的, 撂荒地植被覆盖率低, 植物种类稀少, 土壤质地板结, 不利于雨水下渗。二是巨尾桉工业原料林为 2004 年营造的人工林, 乔木盖度达到 80%, 郁闭度较大, 雨季林内湿度大蒸发量小, 林冠层具有良好的截流降雨削减降雨动能的作用, 枯枝落叶层起到一定削减降雨动能的效应, 巨尾桉工业原料林根系发达, 有人为抚育, 土壤理化性质较好, 持水性能较好, 有利于雨水下渗, 因而能够减少地表径流的形成。灌木林植被覆盖率可达到 80%, 但生长状况一般, 土壤孔隙容易阻塞, 易形成地表径流<sup>[8-10]</sup>。对 3 种土地利用类型产流情况采用多重比较分析(表 3), 结果表明, 巨尾桉工业原料林与撂荒地两组均值间有显著性差异。

2010—2012 年研究区 3 种土地利用类型径流小区月汇总产流情况如图 1 所示。由图 1 可以看出, 3 a 中不同立地类径流小区月径流量次序为: 巨尾桉工业原料林 < 灌木林 < 撂荒地。3 a 累计降雨量最大月为 7 月, 共 840.8 mm, 该月巨尾桉工业原料林、灌木林产流总量达到较大值, 撂荒地达到最大值, 分别为 98.81, 136.20 和 155.35 mm, 巨尾桉工业原料林比灌木林和撂荒地分别减少产流 27.45% 及 36.40%。

表 2 各类型径流小区年际径流情况

小区类型	年径流量/mm			径流总量/mm	减流率/%
	2010 年	2011 年	2012 年		
巨尾桉工业原料林	109.78	180.04	84.47	374.29	30.86
灌木林	179.92	214.93	104.30	499.15	7.80
撂荒地	210.45	224.23	106.70	541.38	

注: 分析减流减沙率时, 均以撂荒地为对照。

表 3 各类型小区产流量多重比较分析 (LSD)

土地利用类型(I)	土地利用类型(J)	均值差(I-J)	标准误	显著性	95%置信区间	
					下限	上限
巨尾桉林	灌木林	-2.052 4	1.055 61	0.058	-4.174 8	0.070 1
	撂荒地	-2.599 4*	1.055 61	0.017	-4.721 9	-0.477 0
灌木林	巨尾桉林	2.052 4	1.055 61	0.058	-0.070 1	4.174 8
	撂荒地	-0.547 1	1.055 61	0.607	-2.669 5	1.575 4
撂荒地	巨尾桉林	2.599 4*	1.055 61	0.017	0.477 0	4.721 9
	灌木林	0.547 1	1.055 61	0.607	-1.575 4	2.669 5

注：\*表示在 0.05 水平上有显著性差异。

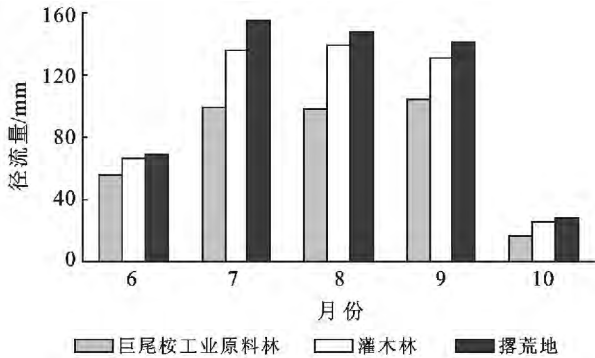


图 1 2010—2012 年 3 种土地利用类型径流小区月汇总产流情况

2.3 不同土地利用类型坡面产沙量比较

3 种土地利用类型土壤侵蚀情况详见表 4。由表 4 可知,2010—2012 年研究区 3 种土地利用类型径流

小区年土壤侵蚀总量次序为:2012 年 < 2010 年 < 2011 年,2012 年 3 种土地利用类型土壤侵蚀总量比 2011 及 2010 年分别减少了 41.83% 及 18.49%。年际土壤侵蚀总量与年际径流总量变化趋势相一致。2010—2012 年研究区共降雨 45 场,3 种土地利用类型土壤侵蚀量次序为:巨尾桉工业原料林 < 灌木林 < 撂荒地。巨尾桉工业原料林保持水土效果最好,撂荒地土壤侵蚀量最大,不同土地利用类型产流趋势一致,巨尾桉工业原料林比灌木林及撂荒地分别减少土壤侵蚀量 47.56% 和 50.69%。巨尾桉工业原料林下垫面的植被覆盖情况较好,在雨滴击溅地表时,植物根系固结土壤的强度也影响着雨滴对地表的直接破坏力,表土固结较好的对降雨的击溅侵蚀的抵抗能力较大,因而土壤流失量较小,在防止坡面侵蚀发生起到了积极作用<sup>[11-12]</sup>。

表 4 各地类径流小区侵蚀量

t/km<sup>2</sup>

土地利用类型	土壤侵蚀量			土壤侵蚀总量	年均土壤侵蚀量
	2010 年	2011 年	2012 年		
巨尾桉工业原料林	2.60	3.84	3.89	10.33	3.44
灌木林	7.48	8.18	4.04	19.70	6.57
撂荒地	5.77	10.19	5.00	20.95	6.98
合计	15.85	22.21	12.92	50.98	

2010—2012 年研究区 3 种土地利用类型径流小区年产流产沙情况又以 2011 年最为典型,分析 2011 年各地类小区的侵蚀量与径流关系可知(图 2),3 个径流小区的土壤侵蚀量的大小顺序与产流量一致;撂荒地单次侵蚀量最大的是 7 月 15 日,高达 3.29 kg/m<sup>2</sup>,当日为年度第二大暴雨。撂荒地林草植被覆盖率低,遇到降雨强度大时土壤直接受到雨滴冲击,使表层土壤结构被破坏,且土壤空隙堵塞质地不利于雨水下渗,使更多的土壤颗粒被击碎后随地表径流流走<sup>[13-14]</sup>。巨尾桉工业原料林在水土保持效果上最为稳定显著,主要是由于巨尾桉工业原料林乔木覆盖率高,雨滴在经过林冠层、树干层截流以及枯枝落叶层后,其降雨动能明显降低,对土壤的冲击破坏力明显下降,次降雨所产生的侵蚀作用不如其它土地利用类型径流小区明显<sup>[15-16]</sup>。巨尾桉工业原料林防止水土流失的效果

最佳,撂荒地产生产沙量最大,灌草丛虽然产流产沙量小于撂荒地,但在降雨强度和降雨量较大时产流量也较高。

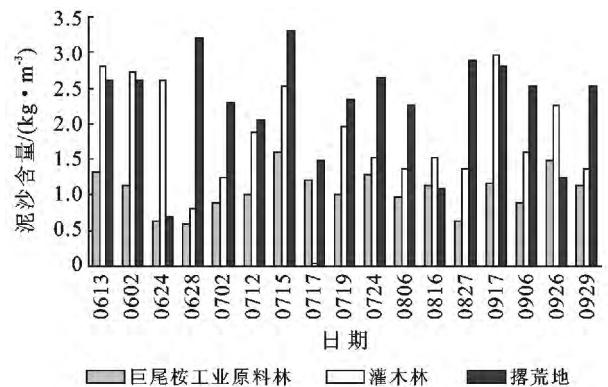


图 2 不同地类径流小区 2011 年产沙情况

### 3 结论

(1) 研究区降雨量年际变化为:2012年<2011年<2010年。2010和2011年研究区降雨次数最多,降雨量最大月均为7月,2012年降雨次数最多,降雨量最大月为8月。巨尾桉工业原料林、灌木林、撂荒地径流小区产流量最大月份2010年均出现在9月,分别占雨季径流量的36.07%,31.78%,31.14%;2011年均为7月,分别占雨季径流量的30.39%,30.41%,31.77%;2012年均出现在8月,分别占雨季径流量的40.22%,39.55%,38.96%。2010年径流小区径流量最大月相较于降雨量最大月出现有一定的滞后性,2011年与2012年径流量与降雨量出现最大值的月份相一致。

(2) 研究区3种土地利用类型径流小区径流总量年际变化为:2012年<2010年<2011年,2012年径流总量比2011年及2010年分别减少52.28%及40.92%。年际径流量与年际降雨量变化趋势在2010年与2011年间存在一定差异。2010—2012年雨季降雨量共计2548.2mm,3种立地类型径流小区产流量从小到大顺序为:巨尾桉工业原料林<灌木林<撂荒地,巨尾桉工业原料林比灌木林和撂荒地分别减少产流25.01%,30.86%。巨尾桉工业原料林与撂荒地产流量存在显著性差异。

(3) 研究区3种土地利用类型径流小区年际土壤侵蚀总量次序为:2012年<2010年<2011年,2012年比2011年及2010年分别减少41.83%及18.49%。年际土壤侵蚀总量与年际径流总量变化趋势相一致。3种土地利用类型土壤侵蚀总量次序为:巨尾桉工业原料林<灌木林<撂荒地,巨尾桉工业原料林比灌木林及撂荒地分别减少土壤侵蚀量47.56%和50.69%。表明巨尾桉工业原料林具有一定的水土保持效应。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 祁述雄. 中国桉树[M]. 2版. 北京:中国林业出版社, 2002:1-22.
- [2] 朱智强,王旭,苏永秀,等. 广西南部地区坡地桉树生长与气象因子的关系[J]. 生态环境学报,2009,18(1):263-267.
- [3] 王会利,杨开太,黄开勇,等. 广林巨尾桉人工林土壤侵蚀和养分流失研究[J]. 西部林业科学,2012,41(4):84-87.
- [4] 赵一鹤,杨时宇,周祥,等. 巨尾桉工业原料林地与不同土地利用类型坡面产流产沙特征对比分析[J]. 水土保持通报,2012,32(1):77-82.
- [5] 王继增,邓岚,郭新波. 开发建设项目水土保持监测中土壤侵蚀模数监测方法探讨:以“东深供水改造工程水土保持监测”项目为例[J]. 水土保持研究,2006,13(1):21-23.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T15774—2008 水土保持综合治理效益计算方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.
- [7] 盛前丽,张洪江. 香溪河流域不同土地利用类型的产流特性研究[J]. 西部林业科学,2009,38(2):28-32.
- [8] 和继军,蔡强国,刘松波. 次降雨条件下坡度对坡面产流产沙的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(5):1263-1268.
- [9] 李香云,王玉杰. 缙云山楠竹林地的降雨径流过程特征及其影响因子研究[J]. 西部林业科学,2009,38(1):36-41.
- [10] 陈杰,刘文兆,张勋昌,等. 黄土高原沟壑区不同树种的水土保持效益及其适应性评价[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(6):97-104.
- [11] 丁琳霞,穆兴民. 水土保持对小流域地表径流时间特征变化的影响[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(3):103-106.
- [12] Börner T, Johnson M G, Rygielwicz P T, et al. A two-probe method for measuring water content of thin forest floor litter layers using time domain reflectometry [J]. Soil Technology, 1996,9(3):199-207.
- [13] 张振明,余新晓,牛健植,等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报,2005,19(3):139-143.
- [14] 杨春霞,肖培青,甄斌,等. 野外不同被覆坡面产流产沙特征[J]. 水土保持学报,2012,26(4):28-31.
- [15] 郭玉红,郎南军,郑科,等. 云南元谋干热河谷区加勒比松人工林枯落物层的水土保持功能研究[J]. 西部林业科学,2007,36(3):42-45.
- [16] 李贵祥,孟广涛,方向京,等. 珠江源头区几种主要林分类型下土壤的水分涵养功能研究[J]. 水土保持学报,2007,20(6):34-36.