

# 木论喀斯特森林水土流失规律研究

黄承标<sup>1</sup>, 谭卫宁<sup>2</sup>, 覃文更<sup>2</sup>, 韦国富<sup>2</sup>, 吴敏<sup>1</sup>, 韦月鸾<sup>2</sup>

(1. 广西大学 林学院, 南宁 530004; 2. 木论国家级自然保护区管理局, 广西 环江 547100)

**摘要:**森林水土流失是森林水文生态效益评价的重要指标。通过坡面径流小区测流法,于 2006—2010 年连续 5 a 对木论喀斯特森林及灌草坡植被进行水土流失的对比观测研究。结果表明:(1)林地年地表径流量为 0.78~2.85 mm,年均值为 1.77 mm,占年均降雨量的 0.10%,比灌草坡(5.87 mm)减少了 69.8%;(2)林地年土壤侵量为 9.9~28.5 kg/hm<sup>2</sup>,年均值为 17.7 kg/hm<sup>2</sup>,比灌草坡(58.7 kg/hm<sup>2</sup>)减少了 69.8%;(3)林地年养分(N,P,K)流失量为 0.008~0.028 kg/hm<sup>2</sup>,年均值为 0.019 kg/hm<sup>2</sup>,比灌草坡(0.064 kg/hm<sup>2</sup>)减少了 70.3%;(4)土壤及养分流失主要集中在 5—8 月,分别占全年流失总量的 76.3%,92.7%,与该区同期降雨量的年内分配相匹配。

**关键词:**喀斯特森林;水土流失;养分流失;木论国家级自然保护区

中图分类号:S715.3;S714.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0034-04

## Study on Soil and Water Loss in Karst Forest in Mulun

HUANG Cheng-biao<sup>1</sup>, TAN Wei-ning<sup>2</sup>, QIN Wen-geng<sup>2</sup>, WEI Guo-fu<sup>2</sup>, WU Min<sup>1</sup>, WEI Yue-luan<sup>2</sup>

(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Management Bureau of Mulun National Nature Reserve, Huanjiang, Guangxi 547100, China)

**Abstract:** Forest soil erosion is an important indicator for evaluating ecological benefits of forest hydrology. The comparison of soil and water losses between the karst forest and shrub—grass vegetation was carried out in Mulun National Nature Reserve from 2006 to 2010 through the slope surface runoff plots. The results showed that: (1) the average surface runoff in Karst forest was 1.77 mm/a (0.78~2.85 mm/a), which occupied 0.10% of the local average annual rainfall and reduced 69.8% compared with the shrub—grass slope (5.87 mm); (2) the average soil erosion in Karst forest was 17.7 kg/(hm<sup>2</sup>·a), 9.9~28.5 kg/(hm<sup>2</sup>·a), decreasing 69.8% compared with shrub—grass soil erosion (58.7 kg/hm<sup>2</sup>·a); (3) the average total nutrient loss (N, P, K) in Karst forest was 0.019 kg/(hm<sup>2</sup>·a), reducing 70.3% compared with the shrub—grass (0.064 kg/hm<sup>2</sup>·a); (4) soil and water loss and nutrient loss mostly concentrated from May to August, accounting for 76.3%, 92.7% of the total annual loss, which matched the rainfall pattern in the same area.

**Key words:** karst forests; soil and water loss; nutrient loss; Mulun National Nature Reserve

森林是陆地生态系统的重要组成部分,占地球陆地表面积的 33%,具有良好的水土保持功能<sup>[1-2]</sup>。研究森林生态系统水土保持功能有助于了解森林生态系统中水分的运转过程与机制以及对生态系统结构、生物地球化学循环、能量代谢和生产力的影响,为森林合理经营利用、保护自然和水资源以及维持人类生存环境的稳定提供持续发展的科学理论。研究森林与径流的关系不仅对造林或采伐规划、流域水资源管理、河流生物多样性及生境保护具有十分重要的作

用,还有助于我们理解与评估河流形态变化、泥沙迁移及水灾与旱灾的规律。有关森林对水土流失的影响已有较多的报道<sup>[3-16]</sup>,但对于喀斯特森林植被对水土流失的影响研究少见报道。喀斯特环境被视为与沙漠边缘一样的脆弱生态环境。我国喀斯特分布面积占国土面积的近 1/8,主要分布于贵州、广西、云南三省以及川东、川南、湘西南、鄂西等地区。由于长期以来受人类活动的影响,加上喀斯特地区的岩石裸露、水文特殊、缺水少土等自然条件,大多数喀斯特地

区的森林植被已遭到严重破坏而消失殆尽。本文试图通过对木论国家级自然保护区典型森林植被及其破坏后形成的灌草坡植被进行连续的定位监测对比研究,为该区森林植被的水土保持效益提供科学评价依据和基本数据。

## 1 研究区自然概况

木论国家级自然保护区位于广西壮族自治区环江毛南族自治县境内,地处云贵高原南缘,北面与贵州茂兰国家级自然保护区相连,东经  $107^{\circ}54'01''$ — $108^{\circ}05'51''$ ,北纬  $25^{\circ}07'01''$ — $25^{\circ}12'22''$ ,林区以峰丛洼地为主,地势西北高,东南低,海拔高度为 376~816 m,总面积 10 829.7  $\text{hm}^2$ ,是一个以喀斯特森林生态系统为重点保护对象的自然保护区。根据本项目气象观测资料(2006—2010年),年均气温  $16.5^{\circ}\text{C}$ ,最热月均温  $24.3^{\circ}\text{C}$ ,最冷月均温  $6.6^{\circ}\text{C}$ ,极端高温  $38.1^{\circ}\text{C}$ ,极端低温  $-4.8^{\circ}\text{C}$ ;年均降雨量 1 691.2 mm;主要集中在 4—8月,占全年降雨总量的 75.2%,年均蒸发量 532.3 mm,年均相对湿度 86%,属中亚热带季风湿润气候区。

木论保护区植物茂盛,森林覆盖率达 94.8%,是我国中亚热带石灰岩森林植被保存完好的地区之一。从植被垂直分布规律看,海拔 700 m 以上主要为针阔混交林带,700 m 以下为常绿落叶阔叶混交林带和落叶阔叶林带。据调查,保护区内有维管束植物 173 科 522 属 980 种,其中列入国家重点保护的珍稀濒危植物有单性木兰(*Kmeria septentrionlis* Dandy)、伞花木(*Eurycorymbus cavaleriei* Rehd. et Hand)、香木莲(*Manglietia aromatica* Dandy)、掌叶木(*Handeliodendron bodineri* Rehder)等 15 种,还发现新植物种 13 种,并有翠柏(*Sabina squamata* cv. *Meyeri*)、桂楠(*Phoebe kwangsiensis*)等稀有树种为建群种的群落分布。木论自然保护区目前仍保存着大片的喀斯特森林在全球极为罕见。因此,它具有极高的保护和研究价值。

本项目的研究地域选择在海拔 500~600 m 的北坡地段,内各设置 1 个径流小区,土壤厚度一般为 30 cm 左右,绝大部分为石头裸露。其中森林植被径流小区的乔木层密度 3 363 株/ $\text{hm}^2$ ,郁闭度 0.8,平均树高 15.4 m,平均胸径 5.2 cm。以单性木兰、石山楠(*Phoebe calcrea* S. Lee et F. N. Wei)、小巴豆(*Croton tigilium* L. var. *xiaopadou* Y. T.)、卵果海桐(*Pittosporum ovoideum* Gowda)、冬桃(*Elaeocarpus duclouxii* Gagnep)等为优势种;林下灌木层以香叶树(*Lindera communis* Hemsli),杜茎山(*Maesa ja-*

*ponica* Mor), 驳骨九节(*Psychotria siamica* Hutch),野鸭椿(*Euscaphis japonica* Kanitz),苞茎拔葵(*Smilax ocreata* A. DC)等为优势种,平均高 1.2 m,盖度 50%;林下草本层以干旱毛蕨(*Cyclosorus aridus* Ching),大叶仙茅(*Curculigo capitulata* O. Ktze),薄叶卷柏(*Selaginella delicatula* Alston),肾蕨(*Nephrolepis cordifolia* Presl),疏齿铁角蕨(*Asplenium wrightioides* Christ)等为优势种,平均高度 0.3 m,盖度为 30%;林地枯枝落叶层现存量为 14.8 t/ $\text{hm}^2$ 。灌草坡植被径流小区的灌木层有杜茎山,香叶树(*Lindera communis* Hemsli)等,平均高度 1.1 m,盖度 5%;草本层以扭黄茅草丛(*Heteropogon contortus*)和大叶仙茅(*Curculigo capitulata* O. Ktze)等为优势种,平均高度 0.5 m,盖度 85%;枯枝落叶层现存量为 1.3 t/ $\text{hm}^2$ 。

## 2 研究方法

### 2.1 径流小区的设置

在研究区域内,选择相同海拔(575 m)以及相似坡度( $39^{\circ}$ )的直型坡的地段上,分别设置森林和灌草坡植被的径流小区各 1 个,径流小区的水平面积为 5 m(宽) $\times$ 10 m(长)。由隔水墙、集流沟、引水槽、接水池和排水设施等部分组成,用火砖及高标号水泥建造而成,接水池内径规格为 1.0 m(宽) $\times$ 1.0 m(长) $\times$ 1.0 m(高)。

### 2.2 地表径流量的观测及其计算

每次降雨后,于次日 8:00,用钢尺测量接水池中四个底角的水位高度(cm),然后计算水池内的平均水位高度(m),再分别计算出每次降雨过程的地表径流深度(mm)。即:地表径流深度(mm)=水位高度(m) $\times$ 水池底面积( $\text{m}^2$ ) $\times$ 1000/径流小区面积( $\text{m}^2$ )。

### 2.3 土壤侵蚀量的观测及取样

在每次测量接水池中的水位高度后,全部排出水池中的浑水,并分别用塑料壶取水样 500 ml 带回室内,经沉淀求算其泥沙含量;同时将接水池内的淤泥全部取出自然风干称重,浑水中的泥沙量与淤泥中含沙量之和称为土壤侵蚀量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。

### 2.4 养分流失量的测定

将沉淀后的水样和自然风干后的淤泥样品按国标标准<sup>[17]</sup>分别测定其主要养分(N,P,K)含量。其中全氮用浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$ — $\text{HClO}_4$  消化法消化—凯氏半微量法测定;全磷用氢氧化钠碱熔—钼锑抗比色法测定;全钾用火焰光度计法测定。

### 2.5 观测数据的统计与分析

根据观测数据资料,运用数理统计方法<sup>[18]</sup>对两

种植类型各监测数据进行显著性差异检验以及相关分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 地表径流特征

森林地表径流是指大气降水落到森林冠层后,一部分被林冠截留与蒸发变成水蒸汽返回大气,一部分沿林冠空隙及枝叶滴下,又被林下灌草植被层及枯枝落叶层截留贮存与蒸发;降水到达地面后,一部分下渗形成地下水,其余的水沿着斜坡形成漫流,通过冲沟、溪涧注入河流,汇入海洋的过程。其数值的大小是反映森林涵养水源、保持水土功能的重要指标。经统计,森林年地表径流量变化于 0.78~2.85 mm 之间,年变异系数达 51.9%,表明该区森林植被地表径流量在不同年份存在较大波动,这是由于在不同年份暴雨级以上降雨次数不同所致。林地年均地表径流量为 1.77 mm,占年均降雨量的 0.10%,比灌草坡(5.87 mm)减少 69.8%。对两种植被类型历年地表径流量进行差异显著性检验,结果  $t$  值统计量 = 5.0839 >  $t_{0.01} = 4.6041$ ,达到极显著水平。说明该区森林植被对减缓年地表径流作用明显。同时说明,森林一旦遭受破坏,退化成灌草坡,势必导致地表径流的成倍增大。

地表径流的月变化规律,从多年平均值来看(图 1),两种植被类型的变化规律较一致,其产流量主要集中在 5—8 月,占全年径流总量的 91.3%~92.7%,这是由于此时段内多出现暴雨或大暴雨量级降雨的缘故。但在不同年份的不同季节也存在微弱的波动,两种植被类型各月地表径流的比较,森林内月地表径流量相应占灌草坡植被的 11.7%~47.4%,平均值占 30.2%。通过对这两种植被类型连续 5 a 各月地表径流量的差异显著性检验,结果  $t$  值统计量 = 4.3901 >  $t_{0.01} = 2.7564$ ,达到极显著水平。说明该区森林植被对减少月地表径流作用明显。

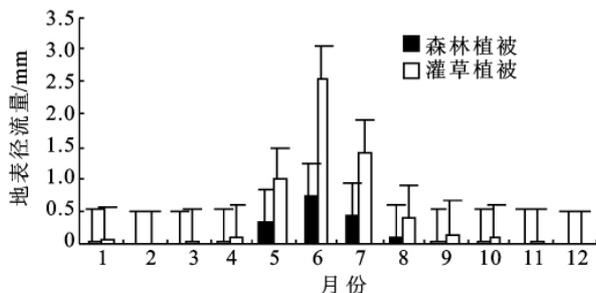


图 1 木论森林与灌草坡地表径流量的比较

地表径流量与同期降雨量之间存在一定的关系,通过分别对两种植被类型连续 5 a 的 66 次产流过程

的地表径流量与同期降雨量进行回归相关分析,得出两种植被类型的地表径流量( $Y_{林mm}$ )与降雨量( $X_{mm}$ )的关系以直线相关性较佳,其中森林植被的关系式为: $Y_{林mm} = 0.0007X_{mm} - 0.0144 (R^2 = 0.82)$ ;灌草坡植被的关系式为  $Y_{草mm} = 0.0020X_{mm} - 0.0221 (R^2 = 0.88)$ 。说明该区森林植被地表径流量受降雨量的影响显著。

#### 3.2 土壤侵蚀特征

土壤侵蚀是指在水力、风力、冻融、重力等营力作用下,土壤、土壤母质及其它地面组成物质被破坏、剥蚀、搬运和沉积的全部过程,是侵蚀动力因素和侵蚀环境因素共同作用的结果。土壤侵蚀量的大小是集中反映不同森林植被类型保持水土功能的重要指标。由图 2 可见,木论森林年土壤侵蚀量变化于 7.8~28.5 kg/hm<sup>2</sup>,年变幅达到 50.9%,与同期林地年地表径流量的变幅相当。林地土壤侵蚀微弱,多年平均值仅为 17.7 kg/hm<sup>2</sup>,比灌草坡(58.7 kg/hm<sup>2</sup>)少 69.8%。经过对这两种植被类型历年土壤侵蚀量的差异显著性检验,结果  $t = 5.0839 > t_{0.01} = 4.6041$ ,达到极显著水平。表明森林保持水土、减少土壤侵蚀的作用十分明显。

土壤侵蚀量与同期降雨量之间也存在一定的关系,将两种植被类型的年土壤侵蚀量(kg/hm<sup>2</sup>)分别与同期年降雨量( $X_{mm}$ )进行回归,得出森林植被的土壤侵蚀量与年降雨量的关系以线性相关关系较佳,回归式为  $Y_{年土壤侵蚀} = 0.0307X_{mm} - 34.127 (R^2 = 0.96)$ ;而灌草坡植被的土壤侵蚀量与年降雨量的关系则以二次曲线关系较佳,其回归式:  $Y_{年土壤侵蚀量} = -0.0003X_{mm}^2 + 0.9888X_{mm} - 840.87 (R^2 = 0.92)$ 。

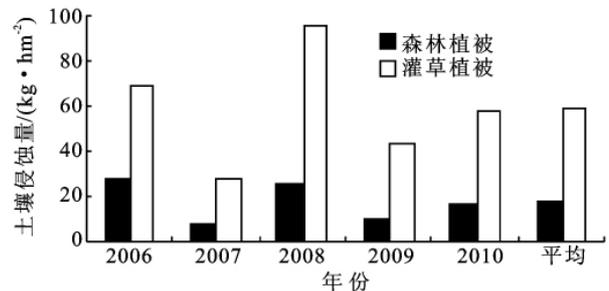


图 2 木论森林与灌草坡土壤侵蚀量的比较

#### 3.3 养分流失特征

养分流失量包括地表水和侵蚀土壤中的养分流失,其中养分流失量主要存在于侵蚀土壤中,而地表径流中的养分含量极少,例如磷的养分含量极其微小。由图 3 可知,森林植被年水土养分(N,P,K)流失量变化于 0.011~0.028 kg/hm<sup>2</sup>,年平均流失量为 0.019 kg/hm<sup>2</sup>,年变幅达 52.1%,其中森林植被年平

均水土养分流失量比灌草坡植被 ( $0.064 \text{ kg/hm}^2$ ) 少 70.3%。经过对这两种植被类型逐年水土养分流失量的差异显著性检验, 结果  $t = 5.0002 > t_{0.01} = 4.6041$ , 达到极显著水平。两种植被类型养分流失量的分配格局(图3)表现较一致, 均呈现出  $N > K > P$  的变化序列, 其中 P 的含量极少。

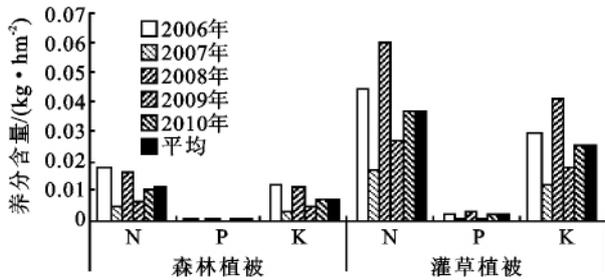


图3 木论森林与灌草坡养分流失量的比较

## 4 结论

通过连续 5 a 对木论喀斯特森林及其灌草坡两种植被类型水保效益的定位监测对比, 得出木论喀斯特森林植被年平均土壤侵蚀模数为  $1.77 \text{ t/km}^2$ , 侵蚀模数极微弱, 属于微度侵蚀范围 ( $< 200 \text{ t/km}^2$ ), 充分显示出该区森林植被对保持水土、防止土壤退化等方面具有极重要的功能。相反, 森林一旦遭受破坏, 如本文中的原森林植被改变成灌草坡植被后, 导致水土流失成倍增加, 造成周边的生态环境恶化。因此, 必须加强该区森林植被的保护管理措施, 逐步建立和健全森林生态效益的补偿机制, 以充分发挥森林植被的水文生态功能, 确保周边地区的生态安全。

参考文献:

- [1] Matheussen B, Kirschaum R, Goodman I A, et al. Effects of land cover change on streamflow in the interior Columbia River Basin (USA and Canada) [J]. Hydrological Processes, 2000, 14(5): 867-885.
- [2] 罗海波, 钱晓刚, 刘方, 等. 喀斯特山区退耕还林(草)保持水土生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 31-35.
- [3] Swank W T, Crossley D A. Forest Hydrology and Ecology at Coweeta [M]. New York: Springer-Verlag, 1988.
- [4] Chirino E, Bonet A, Bellot J, et al. Effects of 30-year-old *Aleppo pine* plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain [J]. Catena, 2006, 65(1): 19-29.
- [5] Chandler D G. Reversibility of forest conversion impacts on water budgets in tropical karst terrain [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 224(1/2): 95-103.
- [6] 孙惠南. 近 20 年来关于森林作用研究的进展 [J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 407-412.
- [7] 刘艳, 刘学全, 崔鸿侠, 等. 低丘黄壤区不同植被恢复模式水土保持功能分析 [J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 49-52.
- [8] 赵健, 魏天兴, 陈致富, 等. 陕西吴起县退耕还林地不同植被水土保持效益分析 [J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 31-34, 49.
- [9] 李锡泉, 田育新, 袁正科, 等. 湘西山地不同植被类型的水土保持效益研究 [J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 123-126.
- [10] 魏晶, 吴钢. 辽西低山丘陵区人工油松林和沙棘林的水文生态效应 [J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2087-2092.
- [11] 邓南荣, 吴志峰, 刘平, 等. 白盆珠水库库区坡面径流侵蚀规律初步研究 [J]. 土壤与环境, 2001, 10(3): 185-187.
- [12] 闫俊华, 周国逸, 张德强, 等. 鼎湖山顶级森林生态系统水文要素时空规律 [J]. 生态学报, 2003, 23(1): 2359-2366.
- [13] 李香云, 王玉杰. 缙云山两种植被类型对坡面产流的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(5): 81-84.
- [14] 张喜, 薛建辉, 许效天, 等. 黔中喀斯特山地不同森林类型的地表径流及影响因素 [J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(6): 527-537.
- [15] 伍红琳, 张辉, 孙庆业. 坡面人工植物群落修复对水土流失及控磷的影响 [J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 26-30.
- [16] 周毅, 魏天兴, 解建强, 等. 黄土高原不同林地类型水土保持效益分析 [J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 12-21.
- [17] 森林土壤分析方法: 森林土壤水化学分析 (GB 7892-87) [S]. 北京: 标准出版社, 1998.
- [18] 贾乃亮. 数理统计 [M]. 3 版. 北京: 中国林业出版社, 1991: 155-159.