

金沙江干热河谷人工林土壤水分研究

岳学文，方海东，钱坤建，方 晋，奎建蕊，潘志贤，杨艳鲜，纪中华，彭 辉  
(云南省农业科学院 热区生态农业研究所,云南 元谋 651300)

摘 要:以金沙江干热河谷 6 种人工林为例,采用 TRIME-PICO-IPH TDR 测定雨季(6—10 月)土壤水分,每个样地设 3 个重复,分析不同人工林内的土壤水分变化特征。罗望子纯林土壤含水量稳定,变异系数小,且含水量较其他人  
工林高。随着深度的增加,不同人工林之间的土壤含水量差异逐渐变小。根据土壤对降雨的蓄积、利用情况,将 0—  
100 cm 的土壤剖面分为水分剧烈变化层、弱利用层,草本植物水分利用层、土壤水分微调节层。  
关键词:土壤含水量;变异系数;人工林;金沙江干热河谷  
中图分类号:S715 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2011)02-0125-04

A Study on Soil Moisture in Different Plantations in Dry-Hot Valley of Jinsha River

YUE Xue-wen, FANG hai-dong, QIAN Kun-jian, FANG Jin, KUI Jian-rui,  
PAN Zhi-xian, YANG Yan-xian, JI Zhong-hua, PENG Hui  
(Institute of Tropical Eco-agricultural Sciences, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yuanmou, Yunman 651300, China)

**Abstract:**Six kinds of plantations in Yuanmou County of Yunnan Province,a typical dry-hot area in the valley  
of Jinsha River, were selected. Soil moisture was determined with TRIME-PICO-IPH TDR in rainy season  
(from June to October). Each sample area was selected in triplicate to analysis the variety characteristics of  
the soil moisture. Soil moisture is vey stable and the variation coefficient is much less in the pure forest of  
tamarindus indica and its soil moisture content is higher than the others. With the increase of the soil depth,  
the soil moisture differences among the plantations diminish gradually. The soil profile at 0—100 cm was di-  
vided into 4 layers by saving and using the rainfall of soil, i. e. moisture dramatical-change layer, moisture  
weak-utilization layer, herbaceous plant moisture utilization layer and soil moisture slight-adjustment layer.  
**Key words:**soil moisture; coefficient of variance; plantation; dry hot valley of Jinsha River

金沙江干热河谷是长江上游典型的生态脆弱区。干燥、炎热的自然环境使得该区域内植被易破坏、难恢复,水土流失严重。土壤干旱、干化是金沙江干热河谷造林困难的主要原因<sup>[1]</sup>。论文以金沙江干热河谷的典型区域云南省元谋县为例。县境内干而热的气候特征,引起以“土壤干化”为主的生态问题,植被根际区土壤水分长时间严重亏缺<sup>[1]</sup>。特殊的自然环境使元谋干热河谷的成因<sup>[2-3]</sup>、植被恢复<sup>[4-6]</sup>、农业发展<sup>[7-9]</sup>、土壤水分<sup>[10-13]</sup>、荒漠化<sup>[14-16]</sup>、土壤侵蚀<sup>[17-18]</sup>等成为研究的焦点。不同土地利用下的土壤含水量对降雨的响应有一定差别<sup>[19]</sup>,雨季林地获得的降水是土壤水分的唯一来源,雨季林地内储存水分的多少,直接影响旱季土壤水分的供给能力。土壤水分的供

给能力是影响干热河谷植被分布的主要原因<sup>[1]</sup>。坡度对土壤水分的影响主要在地表 30 cm 以下,且为阴坡含水量高于阳坡<sup>[11]</sup>,但通过人工改变局地微地形,强化降雨入渗,可增加土壤含水量<sup>[20]</sup>,土壤水分变化在年内表现出缓慢失墒期、土壤水分积累期、土壤水分缓慢消耗期和土壤水分稳定期等 4 个时期<sup>[21]</sup>。降水是影响干热河谷土壤含水量的主要因素。深入研究不同林地内土壤水分的来源、储存、分配、利用对治理干热河谷脆弱生态环境具有重要的理论和实践意义。

1 研究区概况

研究区位于云南省元谋县,地理坐标为 25°29′—

收稿日期:2010-08-31 修回日期:2010-10-13  
资助项目:国家“十一·五”支撑计划项目(2006BAC01A11);国家支撑项目(2008BAD98B00)  
作者简介:岳学文(1983—),男,硕士,研究方向为生态恢复和地理信息系统。E-mail:46179535@qq.com  
通信作者:纪中华(1963—),女,研究员,研究方向为生态农业和生态恢复。E-mail:rjsjzh@163.com

26°06'N,101°35'—102°06'E,是典型的南亚热带季风河谷干热气候区<sup>[22]</sup>,年均气温约 21.9℃,≥10℃年积温 7 786℃,持续天数 350 d,终年基本无霜<sup>[22]</sup>。土壤主要为燥红土和变性土。稀树灌草丛是适应金沙江干热河谷自然环境的顶极植物群落<sup>[23]</sup>,在土层较厚、阴坡等立地环境有少量的乔木。草本种类较多,其中以扭黄茅(*Heteropogon cantortus*)、龙须草(*Enlaripsis binata*)、孔颖草(*Bothrichloa camus*)等为主;灌木多为车桑子(*Dodonaea angustifolia*)、余甘子(*Phyllanthus emblice*);乔木较少,常见的是攀枝花(*Gossampinus malabarica*)、罗望子(*Tamarindus indica*)。

## 2 研究方法

海拔 1 500 m 是土壤含水量的分水岭,1 500 m 以下影响土壤水分的气象因子影响程度近似<sup>[24]</sup>,而

典型的金沙江干热河谷区也主要分布在海拔 1 500 m 以下。鉴于此,本研究选取了海拔在 950~1 050 m 之间的燥红土林内的 6 个土地利用类型,分别是:银合欢+罗望子、罗望子纯林、银合欢间伐林、罗望子+自然草被、罗望子+余甘子+自然草被、麻疯树+自然草被 6 种(表 1)。在 6 类样地中,样地Ⅱ内的罗望子已栽种 15 a 左右,林下郁闭度高,草本植物较少。其余样地的乔木、灌木林下阳光照射均较充足。实验设一个光板地作为对照。在每个人工林内埋 3 个土壤水分测试管,每根测试管可测试深度为 1 m,以德国生产 TRIME-PICO-IPH TDR 土壤剖面水分测量系统获取土壤水分数据。根据元谋干热河谷多年降雨特征,分析 7—10 月雨季不同人工林内土壤含水量变化特征。测量深度分别为 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm。测量结果为土壤水分体积分数(%)。

表 1 样地基本特征

样地类型(系号)	样地特征
银合欢间伐林(Ⅰ)	银合欢胸径大多在 8 cm 左右,雨季幼苗较多,旱季部分幼苗枯萎。银合欢株距 0.5~0.7 m、行距 1.5 m
罗望子纯林(青年林)(Ⅱ)	林内郁闭度达 95%,林龄 12~15 a 之间,林下物种稀少
罗望子+银合欢(Ⅲ)	林下郁闭度为 60%~70%,银合欢、罗望子胸径 5 cm 左右,伴有车桑子、扭黄茅
罗望子+自然草被(Ⅳ)	罗望子树龄小,扭黄茅覆盖度在 90%以上,林内开阔
罗望子+余甘子+自然草被(Ⅴ)	草被盖度 65%~75%,罗望子株行距 5 m×4 m,余甘子与罗望子间作,株距 1.2~1.7 m
车桑子+麻疯树(Ⅵ)	草盖度 30%~45%,车桑子密度 3~4 株/m <sup>2</sup> ,株高 50~70 cm
对照(CK)	地表为裸露燥红土、方圆 2 m 内无任何植被

## 3 结果与结论

### 3.1 不同人工林下土壤含水量的变化

土壤含水量差异主要是由于不同植被类型对土壤的改良作用和对蒸发、截留的影响所造成的<sup>[19]</sup>。在金沙江干热河谷,不同土地利用方式对土壤含水量影响显著,土壤含水量随土壤深度的增加而增加(表 2)。在草本植物盖度较高的土地中,草本植物盖度的高低与土壤含水量变化成反比关系,即地表草本植物盖度越高,土壤含水量越低。如在类型Ⅴ中,扭黄茅的盖度比Ⅳ低,其土壤含水量反而比Ⅳ高,同时也大于其他人工林。究其原因:在这两类人工林中,草本盖度高,而草本层的根系主要集中在地下 20—60 cm 处,其根系吸收了大量的土壤水分,从而使得土壤含水量下降明显。干热河谷土壤表层的水分主要以蒸发形式散失,很少为植物吸收利用<sup>[11]</sup>。在Ⅱ中,地表郁闭度高、林下物种稀少,太阳辐射和地面辐射带走的水分相对较少,在Ⅱ中土壤含水量相对较高且随深度的增加而缓慢增加。把Ⅱ与Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ对比可以发现,草本植物盖度偏高、太阳辐射是导致土壤

含水量差异的主要因素。在郁闭度高、草本层盖度低的林地内,土壤含水量相对较高。

表 2 不同用地类型剖面土壤含水量 %

类型	0—	20—	40—	60—	80—
	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm
Ⅰ	6.1	9.7	14.4	15.6	14.7
Ⅱ	12.3	15.2	15.5	16.4	17.2
Ⅲ	6.2	7.9	13.5	13.6	13.1
Ⅳ	6.4	7.9	10.0	12.2	16.0
Ⅴ	4.5	6.2	11.0	13.2	16.7
Ⅵ	14.2	14.4	15.6	18.6	21.7
CK	2.1	11.7	14.2	14.8	21.2

在Ⅰ和Ⅲ中,雨季 80—100 cm 处土壤含水量有小幅下降。土壤含水量受植物根系的分布深度影响显著。这与庄建琦<sup>[19]</sup>研究的合欢林对土壤含水量的影响较为显著,降低了深层土壤的含水量。而在Ⅵ内,车桑子和麻疯树均是抗干旱、抗贫瘠树种,树种的生理结构对调节土壤水分有一定作用,其土壤含水量在所有土地利用类型中相对较高。

### 3.2 不同土地利用方式中土壤含水量变异系数

变异系数是衡量一组观测数据变化程度的统计

值。变异系数的大小反映了受环境水热交换的影响强弱,反映了层间水分的稳定性<sup>[25]</sup>。在统计学中,以标准差和平均数的比值记为变异系数。

$$C_V = S / X \quad (1)$$

式中: $C_V$ ——变异系数; $S$ ——观察数据组标准差; $X$ ——观测数据组的平均值。

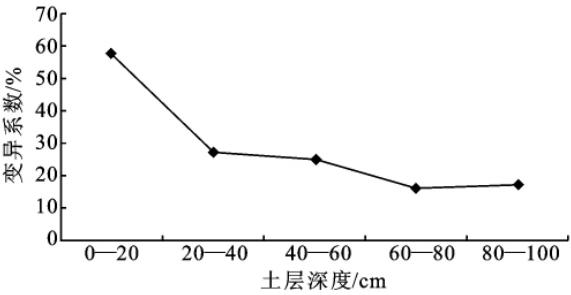


图 1 不同深度土壤水分变异系数

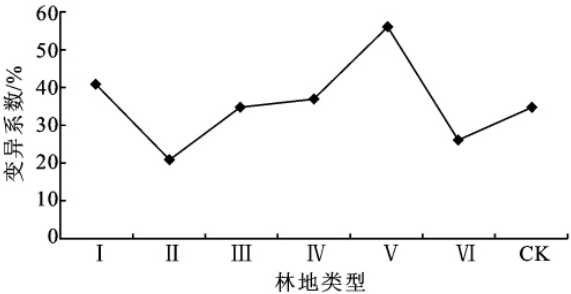


图 2 不同用地类型土壤水分变异系数

利用变异系数可揭示不同深度以及不同土地利用方式中含水量变化幅度。随着深度的增加变异系数逐渐降低,0—20 cm 的变异系数最大。40—60,60—80,80—100 cm 处变异系数相对平缓。由于物种组成、地表覆盖、林龄等的差异,不同用地类型中的变异系数起伏较大(图 2)。相对而言,Ⅲ、Ⅳ、Ⅵ的变异系数大体在同一水平上,V 是所有类型中乔木和灌木较多的一个,同时也是所有类型中含水量差异最大的一个(表 3),其变异系数也最大。林内物种数量过多,消耗的土壤水分也最多,当没有外界水源补充时,土壤含水量下降迅速,土壤含水量变异大。

3.3 不同人工林对土壤水分的利用研究

3.3.1 水分剧烈变化层、弱利用层 0—20 cm 是干热河谷植被对土壤水分的弱利用层。降水是林地土壤水分的主要来源,而支出则主要是地表水分的蒸发和草本层的蒸腾。即使在雨季,若是半个月无降雨,土壤表层水分迅速下降到凋萎系数以下,而一旦有降雨,土壤含水量迅速增加。在 0—20 cm 含水量最高 12.1%,最低 2.1%,土壤含水量变化剧烈,变异系数高达 58%,土壤含水量稳定性差。元谋干热河谷的典型土壤是燥红土<sup>[26]</sup>。据黄成敏<sup>[13]</sup>的研究,金沙江干热河谷普通燥红土的凋萎湿度是 9.4%,而表

1 的数据表明,在 0—20 cm,除Ⅱ和Ⅵ外,其他人工林内的土壤含水量均低于凋萎湿度,植物生长难以利用。

3.3.2 草本植物水分利用层 从表 2 可以看出,在所有用地类型中,20—80 cm 土壤含水量的处最大值、最小值的均值分别为 14.9%、10.2%,相差 4.7%,土壤含水量差异较大。在 20—80 cm,是金沙江干热河谷地区草本植物根系的主要分布区,同时也是部分乔木和灌木根系的分布区。在植物种类和数量均较多的样地内,该层的土壤含水量较其他林地低,如在样地Ⅳ和Ⅴ中,扭黄茅、罗望子、车桑子大量吸收了 40—60 cm 和 60—80 cm 的土壤水分,含水量明显低于其他人工林,土壤水分利用率高、利用量大。

表 3 不同林地 20—80 cm 土壤含水量差异 %

类型	最大值	最小值	最大与最小之差
I	15.6	9.6	5.9
Ⅱ	16.4	15.2	1.2
Ⅲ	13.6	7.9	5.7
Ⅳ	12.2	7.9	4.3
Ⅴ	13.2	6.2	7.0
Ⅵ	18.6	14.2	4.4
均值	14.9	10.2	4.7

3.3.3 土壤水分微调节层 伴随着土壤深度的增加,土壤水分受地表蒸发的影响显著下降。在 80—100 cm,吸收该深度土壤水分的植物主要是一些乔木和大灌木。由于物种组成的差异,土壤水分调节层的深度存在一定差异,例如在银合欢分布较多的Ⅰ和Ⅲ中,该层是土壤水分的利用层含水量有小幅下降(表 2)。但在其他人工林内,该层则起着调节土壤水分的承上启下作用。在旱季持续干旱期和雨季的间歇性干旱期,100 cm 下的土壤水分在土壤水势的作用下,向植物根系附近富集,帮助植物渡旱。

4 结 论

以扭黄茅为主的草本植物在金沙江干热河谷区发布广、盖度大,土壤水分含量低、物种多样性差。罗望子青年林内郁闭度大,可有效防止土壤水分蒸发。在土壤侵蚀严重的区域栽种银合欢、麻疯树等抗旱性能强的物种可在短期内控制土壤侵蚀,但银合欢林内深层土壤含水量较其他人工林内低,导致这一现象的原因有待深入研究。

参考文献:

[1] 蒋俊明,费世民,何亚平,等.金沙江干热河谷植被恢复探讨[J].西南林学院学报,2007,27(6):11-15.  
[2] 明庆忠,史正涛.三江并流区干热河谷成因新探析[J].

中国沙漠,2007,27(1):99-104.

[3] 何永彬,卢培泽,朱彤. 横断山—云南高原干热河谷形成原因研究[J]. 资源科学,2000, 22(5):67-72.

[4] 何锦峰,杨忠,陈国阶. 金沙江干热河谷泥岩坡地植被恢复研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(2):319-322.

[5] 青翠,王龙,李靖. 金沙江干热河谷区生态修复技术体系初探[J]. 中国水土保持,2006(4):39-41.

[6] 杨忠,庄泽,秦定懿,等. 元谋干热河谷水保林营造技术研究[J]. 水土保持通报,1999,19(1):38-42.

[7] 纪中华,杨艳鲜,廖承飞,等. 元谋干热河谷退化坡地立体种养生态农业模式建设[J]. 西南农业大学学报,2005,18(3):1-4.

[8] 杨艳鲜,纪中华,沙毓沧,等. 元谋干热区退化山地复合生态农业模式自然资源的利用研究[J]. 西南农业大学学报,2006,19(增刊):206-209.

[9] 杨艳鲜,廖承飞,沙毓沧,等. 元谋干热河谷旱坡地双链型罗望子、牧草生态农业模式高效配套技术研究[J]. 中国生态农业学报,2008,16(2):464-468.

[10] 穆军,李占斌,李鹏,等. 干热河谷干季土壤水分动态研究[J]. 长江科学院院报,2009,26(12):22-25.

[11] 蒋俊明,费世民,王鹏,等. 干热河谷阴坡和阳坡土壤水分动态研究[J]. 四川林业科技,2005,26(5):30-35.

[12] 杨艳鲜,方海东,潘志贤,等. 云南元谋干热河谷区旱坡地不同生态农业模式土壤水分差异性分析[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2):248-252.

[13] 黄成敏,何毓蓉. 云南省元谋干热河谷土壤水分的动态变化[J]. 山地研究,1997,15(4):234-238.

[14] 刘淑珍,张建平,范建蓉,等. 云南元谋土壤退化特征及原因分析[J]. 中国沙漠,1996,16(1):1-2.

[15] 刘淑珍,黄成敏. 云南元谋土地荒漠化特征及原因分析[J]. 中国沙漠,1996,16(1):1-8.

[16] 张建平. 元谋干热河谷土地荒漠化的人为影响[J]. 山地研究,1997,15(1):53-56.

[17] 张建平,杨忠,庄泽. 元谋干热河谷区水土流失现状及治理对策[J]. 云南地理环境研究,2001,13(2):22-27.

[18] 周红艺,李辉霞,范建蓉. 元谋干热河谷土壤侵蚀敏感性评价[J]. 中国水土保持,2009(4):39-41.

[19] 庄建琦,葛永刚,王道杰,等. 干热河谷生态恢复区土壤水分变化研究[J]. 水土保持研究,2009,16(6):35-39.

[20] 李艳梅,王克勤,刘芝芹,等. 云南干热河谷不同坡面整地方式对土壤水分环境的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(1):15-19.

[21] 李艳梅,王克勤,刘芝芹,等. 云南干热河谷微地形改造对土壤水分动态的影响[J]. 浙江林学院学报,2005,22(3):259-265.

[22] 王克勤,沈有信,陈奇伯,等. 金沙江干热河谷人工植被土壤水环境[J]. 应用生态学报,2004,15(5):809-813.

[23] 何毓蓉,徐建忠,黄成敏. 金沙江干热河谷区变性土的特征及系统分类[J]. 土壤学报,1995. 32(增刊):102-103.

[24] 柴宗新,范建蓉. 金沙江干热河谷植被恢复的思考[J]. 山地学报,2001,19(4):381-384.

[25] 穆军,李占斌,李鹏,等. 干热河谷干季土壤水分动态研究[J]. 长江科学院院报,2009,26(12):22-25.

[26] 何毓蓉,黄成敏. 云南省元谋干热河谷的土壤系统分类[J]. 山地研究,1995,13(2):73-78.

~~~~~

(上接第 124 页)

序为 Cr> Cu > Pb > Zn ,重金属综合污染指数平均值为 7.275,为重度污染,Cr 污染已相当严重,底泥受到重金属 Cu、Zn、Pb、Cr 的复合污染。使用模糊综合评价发现,底泥中重金属污染情况严重。由于底泥中的重金属主要来源于入河水体,因此控制上游污染源的排放和加快清淤是控制底泥中重金属含量的主要途径。对于重点厂家,除了要关注一些常规监测项目外,更应加强特征污染因子的监测和治理力度。

参考文献:

[1] 杨丽原,沈吉,张祖陆,等. 南四湖表层底泥重金属和营养元素的多元分析[J]. 中国环境科学,2003,23(2):206-209.

[2] 周根娣,吴静波. 运河(杭州段)底泥污染物含量分布调查[J]. 环境污染与防治,2001(1):36-39.

[3] 王宁,张刚,王爱. 湖泊内源污染的环保疏浚及其效果[J]. 环境科学研究,2004,17(2):34-37.

[4] 周维博,郭小砾. 塔里木河水质模糊模式识别评价[J]. 水资源保护,2007,23(4):33-36.

[5] 顾征帆,吴蔚. 太湖底泥中重金属污染现状调查及评价[J]. 甘肃科技,2005,21(12):21-23.

[6] GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.

[7] GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,1995.

[8] 奚旦立,孙裕生,刘秀英. 环境监测[M]. 北京:高等教育出版社,2004.