

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

杨艳鲜, 方海东, 潘志贤, 冯光恒, 沙毓沧, 纪中华, 杜波, 和寿甲

(云南省农业科学院热区生态农业研究所, 云南 元谋 651300)

摘 要: 对干热河谷旱坡地 I (罗望子+木豆), II (罗望子+木豆+柱花草), III (罗望子+象草), IV (罗望子+自然草被) 等 4 种复合生态农业模式 0~40 cm 土层水分进行监测和分析的结果表明: 4 种模式的土壤含水量主要受自然降水的影响, 雨季和旱季差异显著; 不同模式对土壤含水量的影响存在差异, 其中, 模式 II 和模式 IV 有较强的保水持水能力; 在雨水补给不足时, 模式 III 对土壤水分的利用效率最高, 模式 IV 最低; 土壤水分季节波动模式 IV 最小, 模式 III 波动最剧烈; 雨季, 4 种模式具备良好的层间补水能力, 旱季, 模式 I 和 II 土层间补水能力最强。总体上看, 4 种模式对干热河谷旱坡地的土壤水分均有一定的保持能力, 但模式 II 的保水持水能力最强, 综合效益最好, 更利于干热河谷旱坡地生态农业的可持续发展。

关键词: 生态农业; 土壤水分; 旱坡地; 干热河谷; 元谋; 云南

中图分类号: S152.7; S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0248-05

土壤水分是气候、植被、地形及土壤因素等自然条件的综合反映, 对整个生态系统的水热平衡起决定性作用^[1]。由于降水入渗, 根系吸水、土面蒸发与地下水向上补给等作用的时空变化, 土壤水分动态在不同时间、不同土壤深度和不同地表覆盖下均呈现不同的变化特征^[2]。干旱半干旱地区的水分资源缺乏, 导致其生态环境极其脆弱, 近年来, 随着国内外对环境问题研究的日益重视, 以及土壤水分在干旱半干旱地区植被恢复中的重要性, 干旱半干旱地区的土壤水分研究已成为区域土壤水分研究的重点研究方向^[3~6]。干热河谷气候炎热干旱, 特别是在春季和初夏的植物生长季节, 水热矛盾尤为突出^[7]。土壤干旱是干热河谷植被恢复和生态农业模式建设的重要限制因子, 也是该区发展可持续生态农业的重要依据和评价的主要指标。研究干热河谷旱坡地生态农业模式的土壤水分特征对保证该区发展生态农业的生态安全, 提高旱坡地土壤保墒抗旱能力, 以及增强旱坡地克服干旱胁迫, 防治水土流失, 都具有极其重要的意义。本文报导元谋干热河谷旱坡地 4 种不同生态农业模式土壤水分的时空差异特征, 希望为干热河谷旱坡地生态农业模式的筛选、优化和生态可持续性评价提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

元谋干热河谷位于金沙江流域干热亚区^[8], 最显著的特点是高蒸发量和低降雨量, 干湿季分明, 干旱现象严重, 生态环境脆弱, 气候垂直分异明显, 植被生产力水平低, 载畜量低。该区光热资源丰富, 年日照时数 2 670 h, 日照百分率 62%, 全年太阳总辐射量 641.8 kJ/cm², 年均气温 21.9℃, ≥10℃年积温 7 786℃, 持续天数 350 d, 终年基本无霜^[8], 年降雨量 624.0 mm, 6~10 月份占年降雨量的 90%; 年蒸发量 3 507.2 mm, 为降雨量的 5.6 倍^[9]。旱坡地是该区主要的土地类型, 未开垦荒坡地占土地面积的 56%^[10]。

本文以云南省农业科学院热区生态农业研究所所在元谋干热河谷旱坡地建立的 4 种林草复合生态农业模式为研究对象, 即罗望子+木豆 (I)、罗望子+木豆+柱花草 (II)、罗望子+象草 (III) 和罗望子+自然草被 (IV)。其中罗望子种植年限均 15 年, 复合模式建立时间为 2002 年, 模式基本情况见表 1。

1.2 研究方法

采用传统的烘干法, 对 4 种模式土壤水分的周年动态变化进行连续监测, 根据套种牧草的根系密

收稿日期: 2008-10-06

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAC01A11); 云南省基金项目 (2006D0092M)

作者简介: 杨艳鲜 (1977—), 女, 助研, 主要从事生态农业研究及水土保持工作。E-mail: yyyx99@163.com。

通讯作者: 纪中华 (1963—), 女, 研究员, 主要从事生态农业研究及生态恢复工作。E-mail: rjszh@tom.com。

度分布情况,监测土层深度确定为 0~20 cm 和 20~40 cm 两个层次^[11],用利于取土特制的土钻进行取土,每层 6 个重复。采样时间间隔为 1 个月,自

2005 年 4 月至 2006 年 3 月。降雨量取自元谋县气象局观测的气象数据。

表 1 模式基本情况

Table 1 The basic situation of four eco-agricultural models

模式代号 Code of model	罗望子 Tamarind			土壤 Soil		备注 Remark
	密度(m×m) Density	株高(m) Plant height	冠幅(m×m) Breadth of tree	容重(g/cm ³) Bulk density	孔隙度(%) Soil porosity	
I	5×8	6.8	6.6×6.9	1.59	40.0	1 年生木豆 Annual pigeon pea
II	6×8	5.4	3.5×3.9	1.53	42.3	多年生牧草 Perennial grazing
III	6×8	4.9	3.3×3.3	1.68	36.2	多年生牧草 Perennial grazing
IV	5×6	4.3	3.1×3.3	1.61	39.4	自然草被 Natural grass

2 结果与分析

2.1 不同生态农业模式土壤含水量的年内变化

干热河谷雨、旱季分明,旱季高温与干旱并存,形成长时期(6~7 个月)低于凋萎湿度的水分状况^[11],大气降雨是土壤水分补给的主要途径,土壤水分的变化主要受降雨的影响,但其变化又是降雨、土壤蒸发、植物蒸腾等因素达到动态平衡的结果^[12]。在该区大气降雨是旱坡地土壤水分补给的最直接的方式,在无条件灌溉区也是唯一的补给。

由图 1 可知 4 种生态农业模式 0~40 cm 的土壤水分的变化与降雨的季节变化有明显的一致性,土壤含水量变化与降水量呈明显的正相关,可以区分为雨季(6~10 月)和旱季(11 月~翌年 5 月)。无论是雨季还是旱季,模式 II 和 IV 的土壤含水量都明显的高于模式 I 和 III,这个结果与杨艳鲜^[13]等人对 4 种模式的水土保持效益的研究结果一致,进一步说明了模式 II 和 IV 在水土保持和水源涵养方面的优越性。

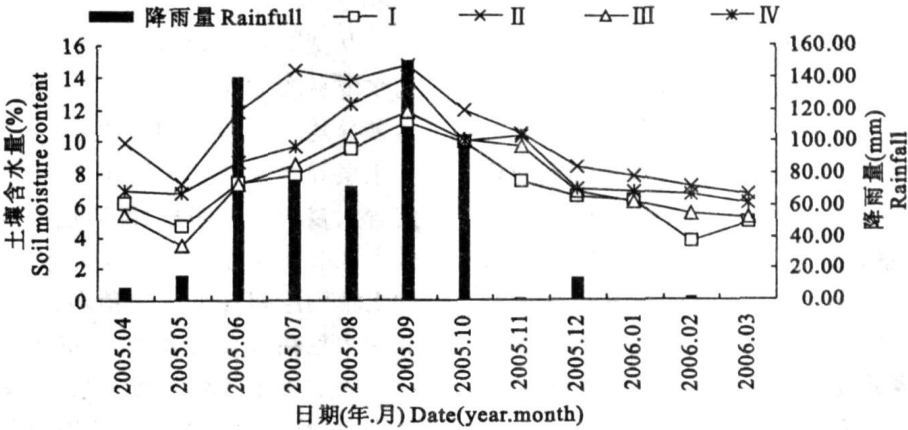


图 1 不同模式土壤含水量与降雨量的年内变化

Fig.1 The changes of soil moisture content in a year under four models

2.2 不同生态农业模式土壤含水量差异比较

表 2 中不同模式类型土壤水分变异系数的季节特征说明,相对于雨季而言,模式 I、II 和 III 在旱季土壤水分波动较剧烈,模式 IV 波动较小。图 1 和表 2 也不同程度地反映了不同的生态农业模式之间土壤水分的差异,说明在干热河谷区建立不同的生态农业模式会影响土壤的水分条件。

由图 1 和表 2 可以看出:周年土壤含水量和均值都是模式 II 和 IV 大于 I 和 III,模式 II 的优势尤其突出,年均值达到 10.40%,其次是模式 IV 和 III,模式 I 最低为 7.16%;土壤含水量变幅和标准差在不同模式间的差异规律一致,两个指标值均为模式 III > 模式 II > 模式 IV > 模式 I;正距平值和负距平值在模式 I、II 和 III 中的差异较小,而模式 IV 则与其他

模式的差异较大;模式Ⅲ季节变异系数差异最明显, 其次是模式Ⅰ、Ⅱ,模式Ⅳ则差异不明显。

表 2 不同模式土壤含水量特征
Table 2 The characters of soil moisture content under four models

模式 Model	变化幅度 Range (%)	年平均值 Mean (%)	正距平 Positive departure (%)	负距平 Negative departure (%)	标准差 Standard deviation (%)	均值 Mean(%)		变异系数(%) Coefficient of variation	
						雨季 Rain season	旱季 Dry season	雨季 Rain season	旱季 Dry season
Ⅰ	7.48	7.16	4.05	−3.43	2.15	8.13	5.69	15.04	22.85
Ⅱ	8.08	10.40	4.35	−3.73	2.44	13.27	8.27	11.27	17.60
Ⅲ	8.41	7.55	4.31	−4.10	2.83	8.38	6.05	20.93	31.49
Ⅳ	7.81	8.80	5.14	−2.67	2.40	10.93	7.26	19.59	19.16

综上所述,4 种生态农业模式中,模式Ⅱ的土壤含水量高,雨季、旱季差异明显,保水持水能力最强;模式Ⅳ的土壤含水量略低,且动态变化也较和缓,土壤水分季节波动差异不明显,负距平的绝对值最小,雨水补给不足时,植被对土壤水分的利用效率最低;模式Ⅲ土壤含水量较低,年内波动变化明显,季节内波动变化剧烈,负距平的绝对值最大,体现了在雨水补给不足时,其土壤中的水分能被植被根系充分利用;模式Ⅰ土壤含水量最低,季节性差异和变化波动明显。

2.3 不同生态农业模式土壤含水量剖面比较

土壤干旱主要是由土壤对降水的蓄纳和土壤水的保持性能极低造成。尤其是植被丧失后,雨滴的溅击、表土遭受侵蚀、土壤板结和紧实化特征突出,土壤的入渗性能很低^[14]。在生态恢复中,植被类型不同,根系分布深度、密度及叶片蒸腾强度也具有很大差异,而土壤的蒸发和植被的蒸腾不同,由此引起的土壤干燥化程度和土壤水分的分布也不同^[15]。地面生物量的种类和盖度也对土壤含水量起重要作用^[16],生物量大的植被区具有延缓雨水聚集、截流拦沙、增强土壤入渗的效应^[17]。从图 2 可以看出:模式Ⅱ和Ⅳ中 0~40 cm 土层的周年土壤含水量都是随着土层的加深而升高,且各土层的平均土壤含水量都明显高于模式Ⅰ和Ⅲ(见图 3),一方面说明不同生态农业模式涵养水源的效果不同,另一方面也显示了植被恢复对根层土壤水分的损耗。在 4 种生态农业模式中,套种的 4 种植被投影盖度均在 90%以上,但由于柱花草和自然草被是直接覆盖于地表,能增加降水入渗,减少地表蒸发,具良好的水源涵养效果,而木豆属于小灌木,种植密度较小,且植株下部 0~30 cm 分枝较少,在地表形成一层裸露而空旷的空间,致使地表的径流和蒸发增加,象草则由于速生,刈割频繁,大量的消耗了土壤水分,所以

致使模式Ⅱ和Ⅳ的周年土壤含水量均高于模式Ⅰ和Ⅲ(见图 1);在模式Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ中套种的木豆、柱花草和自然草被的须根系主要分布在 0~20 cm 土层,总体上看,3 种模式的土壤含水量都是随着土层的加深而降低,说明无论是雨季还是旱季,3 种套种植物对根层土壤水分的耗损较明显;在模式Ⅲ中,象草的须根系主要分布在 10~40 cm 土层,6~10 月的雨季,雨热同期,速生频割,约 25 d 就能刈割 1 次,大量消耗 10~40 cm 土层的土壤水分,在降雨量相对较少的 7、8、10 月份,导致主要根层 20~40 cm 的土壤含水量明显低于 0~20 cm 表层,11 月~翌年 5 月的旱季,气温降低,象草生长势大大减弱,表土层 0~20 cm 的蒸发消耗大于根系对 20~40 cm 土壤水分的消耗,所以 0~20 cm 的土壤含水量高于 20~40 cm 土层。

从图 2 可以看出:6~10 月的雨季,降水丰富,雨水容易渗到整个土壤层,4 种模式的土层间含水量差异均较小。11 月~翌年 5 月的旱季,模式Ⅰ和Ⅱ土层间含水量差异均较小,而模式Ⅲ和Ⅳ的土层间含水量差异较明显,说明在极端干旱的情况下,模式Ⅰ和Ⅱ有明显的土层间补水能力,而模式Ⅲ和Ⅳ的土壤则层间补水能力稍弱,主要是由于模式Ⅰ和Ⅱ中木豆在旱季大量落叶,落叶层中水分散失后,形成与表层土不接触的覆盖层,有效防止土壤中的水分蒸散,且土壤层间外界环境的干扰作用降低,层间含水量差异变小。有研究表明枯枝落叶层具有减缓减少地表径流,增加土壤水分下渗,涵养水源的作用^[18,19]。灌丛地表 2~3 cm 厚枯叶层即达到了其保持水土的有效厚度^[20]。模式Ⅲ和Ⅳ枯枝落叶层较少,土层结构变得简单,土壤含水量随土层深度增加而升高,表层土受地表蒸发作用,水分容易散失,与相对湿润的土壤底层产生差异。

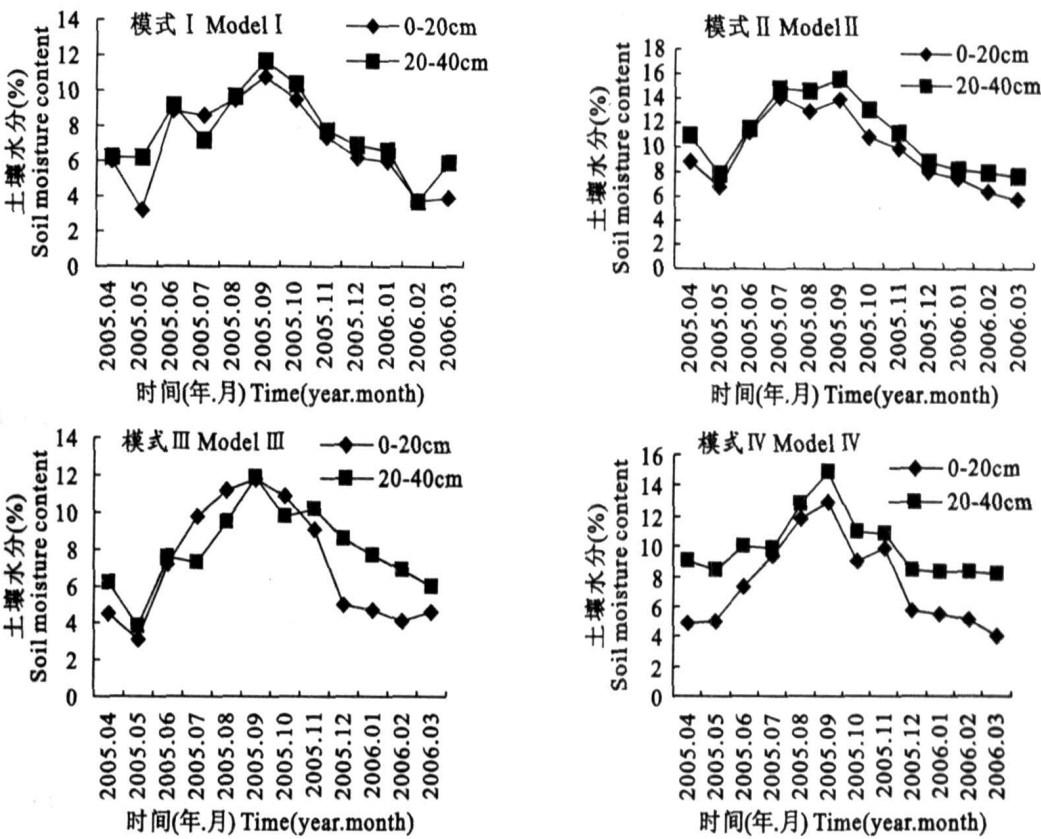


图 2 不同生态农业模式土壤含水量剖面变化
Fig. 2 The changes of soil moisture content in different soil profile under four models

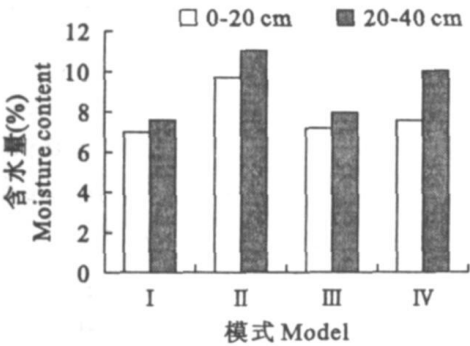


图 3 不同模式不同土层周年平均含水量
Fig. 3 The average soil moisture content in different soil profile under four models in a year

3 结论与建议

1) 在干热河谷旱坡地的 4 种生态农业模式中, 土壤含水量主要受自然降水的影响, 分为明显的雨季和旱季变化; 不同的生态农业模式对土壤含水量的影响存在差异, 其中, 模式 II 和 IV 的土壤含水量较高, 0~40 cm 土层的周年土壤含水量随着土层的加深而升高, 保水持水能力较强; 模式 IV 的土壤含水量略低, 土壤水分季节波动差异不明显, 负距平的绝对值最小, 雨水补给不足时, 植被对土壤水分的利用效

率最低; 模式 III 土壤含水量季节变化波动最剧烈, 负距平的绝对值最大, 在雨水补给不足时, 其土壤中的水分能被植被根系充分利用, 保水持水能力稍差; 模式 I 土壤含水量最低, 保水持水能力最弱。
2) 6~10 月的雨季, 4 种生态农业模式的土层间含水量差异较小, 具良好的层间补水能力; 11 月~翌年 5 月的旱季, 模式 I 和 II 土层间含水量差异较小, 在极端干旱情况下, 有明显的土层间补水能力。
3) 建立的 4 种生态农业模式对干热河谷旱坡地的土壤水分均有一定的保持能力, 但模式 II 的保水持水能力最强, 综合效益最好, 更利于干热河谷旱坡地生态农业的可持续发展。

参考文献:
[1] 王 旻, 钱晓刚, 彭 熙. 花江峡谷不同植被类型下土壤水分时空分布特征[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 139-141.
[2] 彭 建, 杨明德. 贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J]. 山地学报, 2001, 9(6): 511-515.
[3] 庄季屏. 四十年来的中国水分研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 241-247.
[4] 雷志栋, 胡和平, 杨诗秀. 土壤水研究进展及评述[J]. 水科学进展, 1999, 10(13): 311-318.

[5] 张超, 王会肖. 土壤水研究进展及简要评述[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 2(14): 117—125.

[6] 何其华, 何永华, 包维楷. 干旱半干旱山地土壤水分动态变化[J]. 山地学报, 2003, 21(2): 236—243.

[7] 熊东红, 周红艺, 杨忠, 等. 干热河谷不同岩土组成坡地的土壤水分特征[J]. 山地学报, 2005, 23(增刊): 57—63.

[8] 何毓荣, 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.

[9] 纪中华, 杨艳鲜, 拜得珍, 等. 木豆在干热河谷退化山地的生态适应性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 158—162, 202.

[10] 纪中华, 李建增, 沙毓沧, 等. 元谋干热区旱坡地生态果园建设模式[J]. 农业环境与发展, 2002, 19(1): 8—9.

[11] 黄成敏, 何毓荣, 张丹, 等. 金沙江干热河谷典型区(云南省)土壤退化机理研究——土壤水分与土壤退化[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(6): 578—584.

[12] 何铁光, 石雪晖, 肖润林, 等. 桂西北环境移民示范区柑橘园水土流失及土壤水分动态研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 17—19.

[13] 杨艳鲜, 纪中华, 沙毓沧, 等. 元谋干热河谷区旱坡地生态农业模式的水土保持效益研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 70—73.

[14] 熊毅, 李庆达. 中国土壤[M]. 北京: 科技出版社, 1987: 66—68.

[15] 李晓娜, 郑大伟, 李忠辉. 阴山北麓缓坡丘陵不同植被类型下水分空间分布特征[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 23—25.

[16] 张明忠, 朱红业, 张映翠, 等. 云南干热河谷旱坡地两种覆盖措施对土壤水分的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 37—40.

[17] 王道杰, 崔鹏, 朱波, 等. 金沙江干热河谷植被恢复技术及生态效应[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 95—98.

[18] 吴钦孝, 赵鸿雁, 刘向东, 等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 23—28.

[19] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 168—172.

[20] 吴钦孝, 赵鸿雁, 韩冰. 黄土高原森林枯枝落叶层保持水土的有效性[J]. 西北农林科技大学学报, 2001, 29(5): 95—98.

Variability in soil moisture under four eco-agricultural models on dry slope land in Yuanmou dry-hot valley

YANG Yan-xian, FANG Hai-dong, PAN Zhi-xian, FENG Guang-heng, SHA Yu-cang, JI Zhong-hua, DU Bo, HE Shou-jia

(Institute of Tropical Eco-Agricultural Sciences, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yuanmou, Yunnan 651300, China)

Abstract: The analysis was made of soil moisture in the 0~40 cm soil profile under four eco-agricultural models on dry slope land in a dry-hot valley. The results showed that soil moisture content was influenced mostly by precipitation, and it had conspicuous difference between rainy and dry seasons. Soil moisture content varied under different modles. Model II and IV had strong water-holding power, while model III had the topmost water use efficiency when the precipitation was lack, but model IV's was the lowest. The seasonal fluctuate on soil moisture of the model IV was the lowest, but model III's was the highest. In rainy season, four models had good water supply ability between soil layers. In dry season, model II and I had only good water supply ability between soil layers. As the whole, four models had part water-holding power, but model II was the best one on synthetical benefit, it will make development on eco-agriculture in the dry-hot valley.

Key words: eco-agriculture; soil moisture; dry slope land; dry-hot valley; Yuanmou; Yunnan