

元阳梯田核心区不同土地利用类型土壤水文效应研究

李阳芳¹, 宋维峰¹, 和 俊², 彭永刚³, 董建新⁴

(1. 西南林业大学 环境科学与工程学院, 昆明 650224; 2. 云南省水利厅, 昆明 650021;

3. 云南红河州水利局, 云南 蒙自 661000; 4. 云南大学 商旅学院, 昆明 650091)

摘 要:为了揭示元阳梯田区森林土壤涵养水源的机理,采用双环法和环刀法等,对元阳梯田核心区有林地、灌木林地、荒草地和坡耕地的持水性能及孔隙情况等进行了研究。结果表明:土壤的质地和有机质对土壤的持水量有重要影响;有机质对土壤持水能力产生直接影响,有机质含量越多,土壤的持水能力越强;质地对土壤的持水能力产生间接影响;灌木林地土壤的持水量最大,深度 0—20 cm 的灌木林地土壤的总持水量为 1 404.8 t/hm²;土壤的初期含水量对土壤的初渗速率有较大影响,4 种土地利用类型中以荒草地的初渗速率为最大。由结果可知,元阳梯田区森林具有持水能力强、入渗特性好的特点,充分发挥了森林调节水文的功能。

关键词:元阳;梯田;土壤;水文效应

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0054-04

A Study on the Soil Hydrological Effect on Different Land Use Types of Terraced Core Area in Yuanyang

LI Yang-fang¹, SONG Wei-feng¹, HE Jun², PENG Yong-gang³, DONG Jian-xin⁴

(1. College of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;

2. Department of Water Resources of Yunnan Province, Kunming 650021, China; 3. Honghe Prefecture Water Conservancy Bureau of Yunnan Province, Mengzi, Yunnan 661000, China; 4. Department of Business School, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: In order to reveal the mechanism of the water conservation in forest soil of the terraced fields in Yuanyang, double ring method and ring technique of using knife was used to study the holding water performance and the pore situation about the woodland, shrub, waste grassland and slope farmland on terrace core area in Yuanyang. The results showed that soil texture and organic matter had important effects on soil water retention, soil texture had an indirect effect on the soil water-holding capacity, the organic matter directly affected the soil water-holding capacity, the more the organic matter content was, the stronger the soil water-holding capacity was. Shrub soil had the largest soil water retention, total holding water in the depth of 0—20 cm in shrubs soil was up to 1 404.8 t/hm²; the initial water content of soil had a great effect on initial permeability rate of soil, the waste grassland had the largest initial permeability rate in four land use types. Based on the results, the terraced fields in yuanyang, forest has a strong water-holding capacity and a good infiltration characteristics, and can play the role in hydrological functions of the forest.

Key words: Yuanyang; terraced fields; soil; hydrological effect

土壤子系统为森林生态系统生态水文功能作用面的最后一个层次,也是最为重要的子系统。森林土壤具有调节地表径流,抵抗土壤侵蚀破坏的作用^[1],森林生态系统的生态水文功能是森林植被与土壤及气候条件长期综合作用的结果^[2]。土壤入渗速率和土壤持蓄水能力是决定森林生态系统涵养水源能力

的关键因素,林地调蓄降水的作用主要表现在土壤水分入渗情况、非毛管孔隙水(快速持水)的贮存能力和“有效”蓄水容量上^[3]。最大储水能力和土壤的总孔隙度有关,它是指土壤中全部孔隙都充满水分时的储水量,而有效储水能力与土壤非毛管孔隙度有关,它反映了土壤的调蓄能力,是评价土壤层水文功能的重

收稿日期:2012-04-25

修回日期:2012-06-25

资助项目:国家自然科学基金项目“哈尼梯田水源区森林涵养功能与梯田保水保土机理研究”(31070631)

作者简介:李阳芳(1986—),女,云南昭通人,硕士研究生,主要从事土壤侵蚀方面的研究。E-mail:ztliyangfang@126.com

通信作者:宋维峰(1967—),男,甘肃省会宁县人,博士,教授,主要从事生态环境工程和森林水文教学和科研工作。E-mail:songwf85@126.com

要指标之一^[4]。最大持水量(饱和持水量),能够用来衡量土壤的持水性能^[5]。土壤容重和孔隙度是反映土壤物理性质的重要参数,能够反映土壤的透水性、通气性和根系延展时阻力的大小^[6-7]。有研究表明^[8],结构性理想的土壤更利于保水保肥和扎稳根系。林木对地表水的调节功效是通过林地表层土壤实现的,所以应是森林所形成的特殊土壤才能涵养江河水源,由此可知,并非有林即可养水^[9]。

元阳梯田核心区的森林覆盖率达到 50% 以上,上千年来形成了以“森林—水系—村寨—梯田”为主的生态系统,其独特的水文效应在历年的干旱中发挥了重要作用。特别是在近几年云南省所面临的大旱以来,哈尼梯田常流水的现象,引发了国内广大科研工作者的关注。目前,由于元阳梯田独特的自然景观和人文历史,使得对元阳梯田的研究大都停留在景观格局、文化发展及森林水文等方面,对元阳梯田核心区土壤水文效应方面的研究较少。因此,对元阳梯田核心区不同土地利用类型土壤的结构性、入渗特性等进行实验分析,总结出元阳土壤的水文特性,有利于揭示森林涵养水源的功能,有利于元阳梯田的开发与保护,实现梯田的可持续发展。

表 1 不同土地利用类型土壤剖面情况

土地利用类型	主要植物类型	挖深/cm	经度	纬度	土壤分层情况	深度/cm	颜色
有林地	灰木(<i>Symplocos paniculata</i>)	75	102°46′15.5″	23°05′54.6″	表层(淋溶层)	30	黑(灰)棕色
	石栗(<i>Aleurites moluccana</i>)				下层(淀积层)	45	黄棕色
灌木林地	野牡丹(<i>Melastoma candidum</i>)	115	102°46′16.6″	23°05′4.5″	表层(淋溶层)	25	黑棕色
	菝葜(<i>Smilax china</i> L.)				下层(淀积层)	90	黄棕色
荒草地	荩草(<i>Arthraxon hispidus</i>)	60	102°46′16.3″	23°05′53.3″	表层(淋溶层)	20	灰棕色
	龙爪茅(<i>Dactyloctenium aegyptium</i>)				下层(淀积层)	40	黄棕色
坡耕地	芋头(<i>Colocasia esculenta</i> L. Schoot)	100	102°46′17″	23°05′52″	表层(淋溶层)	30	浅棕色
					下层(淀积层)	70	黄色

2.2 土壤物理性质的测定

土壤容重和孔隙度共同决定了土壤吸持水量的能力,土壤的非毛管孔隙度对土壤蓄水调洪能力具有重要影响^[10-13]。本文用烘干法测定土壤含水量,用环刀法测定土壤容重、孔隙度、非毛管孔隙度等物理性质,土壤持水力计算公式为:

$$S=10000hp$$

式中: S——土壤持水力(t/hm²); h——土层厚度(m); p——非毛管孔隙度(%)^[14]。同时采用比重计法测定土壤质地;采用重铬酸钾法测定有机质。

2.3 土壤入渗测定

土壤入渗性能的测定是在雨后 24 h,采用野外原位双环法进行^[15]。双环内环直径 28 cm,高 25 cm;外环直径 54 cm,高 25 cm。各指标处理方法为:初渗

1 研究区概况

元阳县位于云南省南部,哀牢山脉南段,红河南岸,处于 102°27′—103°13′E,22°49′—23°19′N,元阳梯田位于元阳县中部,其核心区约有梯田 1.32 万 hm²,分布于海拔 700~1 800 m,坡度为 15°~75°的沟壑山岭间。受红河水系和藤条江水系的切断,无一平川,山峦叠嶂,沟壑纵横、梯田密布,为山高谷深的切割中山地貌。土壤多以黄壤和黄棕壤为主,土壤剖面完整,土层厚度约为 1 m,土地利用类型以有林地、灌木林地、荒草地、坡耕地、梯田(水作)为主。

2 研究方法

2.1 样地选择与样品采集

2011 年 7 月于元阳梯田区选择具有代表性的四种土地利用类型(有林地、灌木林地、荒草地、坡耕地),测定其海拔高度、坡度、坡位、地形等立地因子;在所选定的样地中挖好剖面,观察其分层情况,记录每层颜色,具体情况见表 1。分别按 0—20,20—40,40—60 cm 的土层取样(每层土 3 个重复),同时用土壤袋取适量土样带回实验室做进一步分析。

率=最初入渗时段内渗透量/入渗时间,本研究取最初入渗时间为 1 min;平均渗透速率=达稳渗时的渗透总量/达稳渗时的时间;稳渗率为单位时间内的渗透量趋于稳定(即内环水头趋于稳定)时的渗透速率^[16]。

3 结果与分析

3.1 土壤持水情况分析

土壤的质地、结构决定了土体蓄水能力的强弱,进而也决定了土壤水分供给的有效性,使之成为林木生长和生存的主导因子^[14]。

通过环刀法,对元阳梯田核心区有林地、灌木林地、荒草地和坡耕地的质地、土壤孔隙情况进行实验分析,结果如表 2 所示。

表 2 不同土地利用类型土壤孔隙情况

土地利用类型	土层深度/ cm	容重/ (g·cm ⁻³)	有机质 含量/%	毛管含 水率/%	孔隙度/%			持水量/(t·hm ⁻²)		
					总孔隙度	毛管孔 隙度	非毛管孔 隙度	饱和持 水量	毛管持 水量	非毛管持 水量
有林地	0—20	0.90	8.41	56.73	65.92	51.24	14.68	1318.4	1024.8	293.6
	20—40	1.03	7.74	50.93	61.27	52.27	9.00	1225.4	1045.4	180.0
	40—60	1.08	3.80	50.05	59.15	54.18	4.97	1183.0	1083.6	99.4
灌木林地	0—20	0.79	11.07	74.10	70.24	58.44	11.80	1404.8	1168.8	236.0
	20—40	0.88	6.11	62.98	66.89	55.25	11.64	1337.8	1105.0	232.8
	40—60	0.91	4.89	58.17	65.55	53.10	12.45	1311.0	1062.0	249.0
荒草地	0—20	0.98	7.32	50.56	63.08	49.46	13.62	1261.6	989.2	272.4
	20—40	1.11	6.16	42.19	58.11	46.83	11.28	1162.2	936.6	225.6
	40—60	1.25	3.47	35.59	52.96	44.36	8.60	1059.2	887.2	172.0
坡耕地	0—20	1.05	9.23	43.34	60.56	45.30	15.26	1211.2	906.0	305.2
	20—40	1.14	2.92	43.15	56.98	49.19	7.79	1139.6	983.8	155.8
	40—60	1.41	1.23	31.51	46.68	44.53	2.15	933.6	890.6	43.0

由表 2 可知,四种土地利用类型中,土壤容重均随着土层深度的增加而增大,同土层深度相比,土壤容重最大的为坡耕地,最小的为灌木林地;土壤的总孔隙度随着土层深度的增加而减小,其中以灌木林地土壤总孔隙度最大。4 种土地利用类型中有机质含量从上至下逐渐递减,在 0—20 cm 的土层中,有机质含量均较高。有机质能够改良土壤结构,促进团粒状结构的形成,从而增加土壤的疏松性,改善土壤的通气性和透水性。土壤疏松不仅有利于植物生长,而且也可促进土壤持水能力增强;因此,作为亲水性极强的有机质对土壤的持水能力产生了较为有利的影响,也是评价土壤水文功能时的重要指标。

由元阳土壤容重和孔隙度情况分析,可见,有林地的容重和孔隙度在本研究中均不是最好的,灌木林地表现出较好的容重和孔隙度,这与前人研究结果^[4]存在偏差,一般情况下林地土壤容重较低,孔隙度较大,具有较大数量的水稳性团粒结构,土壤持导水性好,入渗量大,透气性好。由于本文中所选的有林地 为退耕还林的人工林地,其树木长势较好,但人为活动对土壤的容重和孔隙度产生影响,所以在分析结果中出现了林地容重大于灌木林地,孔隙度小于灌木林地的情况。由于元阳土层深厚,土壤结构较好,因此各土层持水能力也较强。对于 0—60 cm 层的土壤来说,与无林地相比,林地蓄洪作用主要反映在非毛管孔隙水的贮存能力上。由表 2 可知,0—60 cm 层的土壤,灌木林地和有林地均表现出较强的持水性,荒草地持水能力强于坡耕地,其中有林地和坡耕地的毛管持水量在总持水量中的比例比灌木林地和荒草地大,非毛管孔隙度所占的比例以荒草地为最大,灌木林地次之,有林地和坡耕地相差不大。

3.2 土壤入渗情况分析

土壤的渗透性是土壤重要的水分物理性质之一,也是林分涵养水源的重要指标。土壤渗透性的好坏,直接关系到地表径流量的大小,渗透性能越好,地表径流越少,土壤侵蚀量也会相应减少^[17]。对元阳梯田核心区有林地、灌木林地、荒草地和坡耕地的入渗情况进行野外原位双环法测定,表层土的基本情况如表 3 所示,双环测定结果见图 1—2。

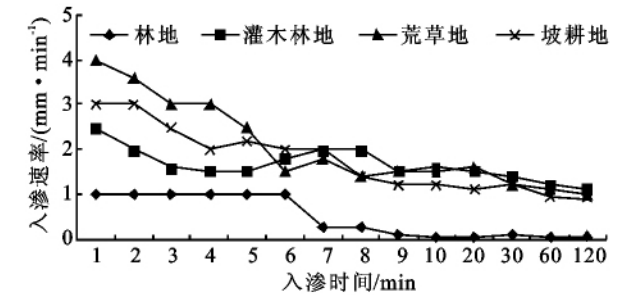


图 1 不同土地利用类型土壤水分入渗过程曲线

由图 1 中可见,在入渗初期,4 种土地利用类型的入渗速率均较大,在 1~5 min 之间,有林地的入渗速率较稳定,保持在 1 mm/min,灌木林地表现出先减后增再减小的波动情况,荒草地表现出减小趋势,坡耕地的入渗较不稳定,呈现出波动情况;在 6~20 min 之间,有林地的入渗速率逐渐减小,并趋于稳定;灌木林地、荒草地、坡耕地变化幅度较小,灌木林地在 9~20 min 之间呈现出短暂的稳渗过程,在 20 min 时,坡耕地出现入渗高峰,继而入渗速率减小;荒草地在入渗 30 min 以后基本达到稳渗,灌木林地和坡耕地的入渗速率都在 120 min 之后趋于稳定。但在实际测定中,4 种土地利用类型的土壤水分入渗速率并没有固定在某一个特定的数值,而是在不断地变化中,基于其变化幅度较小,可近似看做达到稳渗。

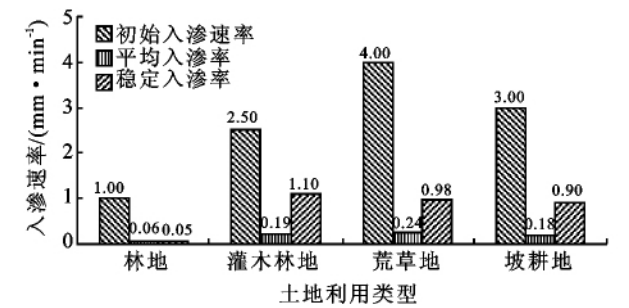


图 2 不同土地利用类型土壤渗透情况

由表 3 中可知,荒草地 0—20 cm 土层初期含水量最低,灌木林地的最高;在图 2 中,荒草地的初渗速率最大,有林地最快达到稳渗,灌木林地、荒草地、坡耕地的稳渗速率相差不大;表 4 表明,土壤的初期含水量与初渗速率的相关系数为-0.691,可见初期含水量与初渗速率之间呈现出负相关关系。土壤水分的入参与土壤初期的含水量有密切关系,土壤的初期含水量越高,入渗率越低;反之,土壤初期含水量越低,入渗率越高。4 种土地利用类型中的土壤入渗速率均较小,可能是因为雨后土壤中的含水量较高,影响了土壤的入渗。

表 3 不同土地利用类型 0—20 cm 土层土壤基本情况

土地利用类型	土层深度/cm	容重/(g·cm ⁻³)	自然含水量/%	通气度/%
林地	0—20	0.90	31.06	37.87
灌木林地	0—20	0.79	34.2	43.27
荒草地	0—20	0.98	25.8	37.84
坡耕地	0—20	1.03	28.46	30.81

表 4 土壤物理性质与土壤渗透性相关关系

项目		初渗速率	平均入渗	稳渗速率
容重	Pearson 相关系数	0.365	0.250	-0.021
	sig.	0.635	0.750	0.979
自然含水	Pearson 相关系数	-0.691	-0.316	-0.090
	sig.	0.309	0.684	0.910

4 讨论

(1) 土壤的持水能力与土壤的容重和孔隙度有关,土壤容重越小,土壤孔隙度越多,土壤的持水量也越大;有机质含量越高,土壤的持水量越大,4 种土地利用类型的持水能力强弱为:灌木林地>有林地>荒草地>坡耕地,元阳梯田区的土壤具有较大的持水能力。

(2) 土壤入渗情况野外原位双环法测定结果表明,有林地在整个入渗过程中最先达到稳渗,其初渗速率和稳渗速率均为最小,荒草地的初始入渗速率最

大,为 4 mm/min,初渗速率与土壤初期含水量呈负相关关系,由于试验为雨后 24 h 进行,土壤含水量较大,影响了土壤的渗透性能,今后可在旱季做一对比试验加以阐述。

参考文献:

[1] 张文广,胡远满,张晶,等. 岷江上游地区近 30 年森林生态系统水源涵养量与价值变化[J]. 生态学杂志,2007,26(7):1063-1067.

[2] 王云琦,王玉杰. 三峡库区典型森林植被生态水文功能[J]. 生态学杂志,2010,29(10):1892-1900.

[3] 于志明,王礼先. 水源涵养林效益研究[M]. 北京:中国林业出版社,1991.

[4] 姜海燕. 大兴安岭森林生态系统水文特性的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2008.

[5] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业科学出版社,1993.

[6] 孙艳红,张洪江,程金花,等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2006,20(2):106-109.

[7] 王光玉. 杉木混交林水源涵养和土壤性质研究[J]. 林业科学,2003,39(S1):15-20.

[8] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学[M]. 高等教育出版社,2006.

[9] 郭汉卿. 中西河流域主要森林类型水文特征及其水文功能研究[D]. 山西临汾:山西农业大学,2005.

[10] 宋吉红. 重庆缙云山森林水文生态功能研究[D]. 北京:北京林业大学,2008.

[11] 刘霞,张光灿,李雪蕾,等. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报,2004,22(2):111-115.

[12] 夏江宝,屈志远,朱玮,等. 鲁中山区不同人工林土壤水分特征[J]. 中国水土保持科学,2005,19(6):45-50.

[13] 刘贤德,李效雄,张学龙,等. 干旱半干旱区山地森林类型的土壤水文特征[J]. 干旱区地理,2009,32(5):691-697.

[14] 胡淑萍,余新晓,岳永杰. 北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):146-150.

[15] 段兴凤,宋维峰,李健,等. 云南省元阳梯田水源区森林土壤入渗特性研究[J]. 水土保持通报,2011,31(4):47-52.

[16] 刘道平,陈三雄,张金池,等. 浙江安吉主要林地类型土壤渗透性[J]. 应用生态学报,2007,18(3):493-498.

[17] 田育新,李锡泉,吴建平,等. 小流域森林生态系统林地土壤渗透性能研究[J]. 水土保持研究,2006,13(4):173-175.