

花江喀斯特石漠化区不同经济型植物的土壤蓄水特征

鲍 乾, 梁建发, 王 棋, 杨 瑞

(贵州大学 林学院, 贵阳 550025)

摘 要:选择贵州省花江喀斯特石漠化综合治理区分布广泛的几种典型生态经济型种植模式花椒、金银花、砂仁、火龙果、构树、花椒金银花混交林为研究对象,以荒草地为对照,对各植物的土壤物理性质和蓄水性能进行了对比研究。结果表明:(1)研究区土壤容重的浮动范围为 1.09~1.40 g/cm³,并随土层深度增加而增加;孔隙度随土层深度增加而减小,上层土壤的蓄水性能和通透性能优于下层。(2)与荒草地相比,构树、火龙果、花椒金银花混交林、花椒、金银花的土壤容重和孔隙度状况都优于荒草地,只有砂仁比荒草地差。(3)从土壤含水量和 0—30 m 总蓄水量来看,混交林土壤含水量最大(37.69%),分别比金银花、火龙果、构树、花椒、荒草地、砂仁高 3.18%,4.33%,4.83%,7.49%,10.15%,13.18%;总蓄水量表现为花椒金银花混交林(1 769.54 t/hm²)>火龙果(1 732.94 t/hm²)>构树(1 722.14 t/hm²)>花椒(1 698.43 t/hm²)>金银花(1 655.58 t/hm²)>荒草地(1 640.79 t/hm²)>砂仁(1 428.75 t/hm²)。 (4)相关分析表明土壤容重和毛管孔隙度与最大持水率及毛管持水率均呈极显著相关($p<0.01$),相关系数分别为-0.931,0.897,-0.915,0.890。因此,在花江喀斯特石漠化植被恢复过程中应优先考虑以花椒金银花为代表的混交林与火龙果模式。

关键词:花江;生态经济型植物;土壤结构特性;土壤持水性能;总蓄水量

中图分类号:S714.7 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2017)01-0018-07

Characteristics of Soil Water Storage Under Different Eco-vegetation Types in Huajiang Karst Rocky Desertification

BAO Qian, LIANG Jianfa, WANG Qi, YANG Rui
(College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: We selected several different eco-economic vegetation restoration models which widely distribute in Huajiang karst demonstration area of rocky desertification integrated rehabilitation of Guizhou Province, set waste-grassland as control. The soil physical properties and water storage capacity was compared by means of alcohol combustion method and cutting ring water immersion method. The results show that: (1) the range of the soil bulk density in the study area are 1.09~1.40 g/cm³, the soil bulk density increases with the soil depth, while the soil porosity decreases with the increase of soil depth, suggesting that the upper soil water storage capacity and permeability are better than that of the lower layer; (2) compared with waste-grassland, the soil bulk density and porosity status under *Broussonetia papyrifera*, *Hylocereus undulates* Britt, *Zanthoxylum planispinum* var. *din-tanensis*, *Lonicera japonica* and mixed forest have been improved, while the soil bulk density and and porosity status have the worst performance under *Amomum villosum*; (3) for the total water storage capacity and soil moisture content of soil (0—30 cm), the maximum moisture content (37.69%) was observed in the mixed forest, which is 3.18%, 4.33%, 4.83%, 7.49%, 10.15%, 13.18% more than that under *Lonicera japonica*, *Hylocereus undulatus* Britt, *Broussonetia papyrifera*, *Zanthoxylum planispinum*, waste-grassland and *Amomum villosum*, respectively; the total water storage capacity decrease in the order: mixed forest (1 769.54 t/hm²)>*Hylocereus undulatus* Britt (1 732.94 t/hm²)>*Broussonetia papyrifera* (1 722.14 t/hm²)>*Zanthoxylum planispinum* (1 698.43 t/hm²)>*Lonicera japonica* (1 655.58 t/hm²)>waste-grassland(1 640.79 t/hm²)>*Amomum villosum* (1 428.75 t/hm²); (4) correlation analysis shows that the soil bulk density and capillary porosity are highly significantly correlated with the maximum water holding capacity and capillary water holding capacity($p<0.01$), the correlation coeffi-

cients are -0.931 , 0.897 , -0.915 and 0.890 , respectively. Therefore, the priority should be adopt mixed forest with *Zanthoxylum planispinum* and *Lonicera japonica*, *Hylocereus undulatus* Britt in the process of vegetation restoration in Huajiang karst rocky desertification.

Keywords: Huajiang; Eco-economic vegetation; structural properties of the soil; soil water holding capability; total water storage capacity

森林的蓄水性能是森林生态系统的重要功能之一,其中林地土壤是水分贮蓄的主要场所。土壤物理性质状况决定了土壤水分储蓄方式,并直接影响了水源涵养功能强弱^[1]。土壤容重、孔隙度及持水特性是反映土壤水源涵养功能的重要指标,是当前研究中主要采用的评价因子^[2-4]。在不同林地类型中,由于植物自身生物学特性与林地林分结构不同,其水源涵养功能存在一定差异。比较不同森林植被类型下土壤蓄水能力,可以探明涵养水源能力较强的植被类型,这对水土保持和生态修复等都具有极其重要的意义^[1,5]。20 世纪 90 年代,杨汉奎开始关注关岭县花江峡谷地区的石漠化问题,并认为小流域治理是该地区防治石漠化的有效途径^[6];其后,但文红对花江峡谷地区的生态环境特征进行了深入研究,并针对当地特有的峡谷气候首次提出了花椒—玉米、乌臼—砂仁等生态经济型配置模式^[7]。21 世纪后,研究人员在花江地区建立了喀斯特石漠化综合治理区,花椒、砂仁、金银花等植物成为了当地推广的主要生态经济型植物^[8-9]。规模化种植花椒后,王脰等对花椒林地和荒草地不同土层厚度的土壤含水量进行了研究,发现花椒林地具有良好的保持水土、涵养水源的功能^[10]。李安定等对该地区广泛分布的不同小生境的土壤水分动态进行了研究,提出需要对石槽、石沟中的植物进行补水^[11]。然而,随着该区域种植的经济型植物种类的增加以及缓坡的梯台工程改良,对新增种在梯台上的不同生态经济型植物对林地土壤物理性质及蓄水能力影响的研究,至今少见报道。为分析种植的不同生态经济型植物对土壤蓄水性能影响,本文以荒草地作为对照,采用野外采样和室内试验分析相结合的研究方法,研究不同生态经济型植物对土壤物理性状、蓄水能力的影响,为该地区的石漠化治理和生态修复提供一定的理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省安顺市贞丰县与关岭县交接处的北盘江河段峡谷两岸,东经 $105^{\circ}36'30''$ — $105^{\circ}46'30''$ 、北纬 $25^{\circ}39'13''$ — $25^{\circ}41'00''$ 。研究区地貌类型为典型的喀斯特高原峡谷,地表裸露破碎,地势起伏大,海拔为 $600 \sim 1\,200$ m,相对高差 600 m;年均温 18.4°C ,年极端最高气

温为 32.4°C ,年均极端最低气温为 6.6°C ,年总积温达 $6\,542.9^{\circ}\text{C}$,年均降雨量 $1\,100$ mm,且时空分布不均,降水主要分布在 5—10 月,占全年总降水量的 83%;冬春温暖干旱,夏秋湿热,为半亚热带季风湿润气候。区内土壤以石灰岩、泥灰岩为成土母质的石灰土为主,兼有黄壤;但是该区石漠化面积却在 70%以上,是贵州省石漠化极为严重的地区。研究区内主要生长的植物有顶坛花椒(*Zanthoxylum planispinum* var. *din-tanensis*)、金银花(*Lonicera japonica*)、香椿(*Toona sinensis*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、朴树(*Celtis sinensis*)、余甘子(*Phyllanthus emblica*)、仙人掌(*Opuntia stricta* var. *dillenii*)、砂仁(*Amomum villosum*)等植物。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 本试验于 2015 年 8 月在花江喀斯特石漠化治理示范区,相同海拔内选择花椒、构树、砂仁、金银花和火龙果 5 个物种单纯构成的纯林、花椒金银花混交形成的混交林,共 6 种生态经济林类型;以荒草地作为对照,采用五点采样法,每种模式选择 5 株标准株,在每一株距株 20 cm 处按 10 cm 为一个土层,在 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm 土壤处设置采样点,每一土层厚度取 3 个重复,共 315 个样,用环刀和铝盒取样,并带回室内试验分析。

1.2.2 测定方法 土壤容重、孔隙度测定采用环刀法,总孔隙度用 $P_t = 93.947 - 32.995b$ 来计算, b 为容重, P_t 为总孔隙度^[12],土壤含水量、最大持水率、毛管持水率、田间持水率、土壤蓄水量采用森林土壤物理性质测定法(LY/T1210-1275—1999)测定,土壤总蓄水量 $W_t = P_t \times 1\,000 \times h$, h 为土层厚度^[2,13]。

1.2.3 数据处理与方法 采用 Excel 2007, IBM SPSS Statistics 19.0 软件对数据进行分析处理,采用单因素方差分析各生态经济型植物土层间的水分物理特性指标和总蓄水量的差异性,用 Pearson 相关分析方法研究不同类型的土壤含水量和蓄水量与容重、孔隙度之间的相关性^[14]。

3 结果与分析

3.1 不同经济型植物的林下土壤结构特征

土壤容重和孔隙度直接影响着土壤保水、透气、透水的性能,土壤孔隙是土壤中水分、养分、空气等运

移的通道,是植物根系生长的场所,可以表征土壤的物理结构和水文特征^[15]。

3.1.1 土壤容重特征 土壤容重是土壤紧实度的敏感性指标,也是表征土壤质量的重要参数^[16]。土壤越疏松,或是土壤中有大量的裂隙、根孔、或小动物穴,则孔隙度大而容重小,反之土壤越紧实则容重越大^[5]。土壤容重越小,土壤的结构性就愈好,有利于土壤的气体交换和渗透性的提高;同时,滞留贮水量、吸持贮水量和饱和贮水量也就越大^[17-18]。由表 1 可知,随土层深度的增加,各经济型植物的土壤容重总趋势也在不断增加,但各种类型的植被土层深度间的容重变化幅度却存在着差异:火龙果(0.41)>荒草地(0.27)>花椒金银花混交林(0.16)>金银花(0.09)>砂仁(0.07)>构树(0.06)>花椒(0.05),这是由于表层植被枯落物的蓄积、施用粪肥,以及太阳和风等

外界条件对暴露表土的物理作用等使得土壤结构较为疏松,容重小于下层。从各经济型植物容重均值来看,土壤容重的浮动范围为:1.09~1.40 g/cm³,各植被类型依次为:构树(1.08)<火龙果(1.09)<花椒金银花混交林(1.10)<花椒(1.11)<金银花(1.17)<荒草地(1.19)<砂仁(1.41)。构树林下土壤容重小是由于其主根发达,侧根多而细,且扎入土壤较深;其树叶富含养分,凋落到土壤后分解为有机质,这些都促进其形成良好的土壤结构。上述结果表明,种植构树、火龙果、花椒金银花混交林具有降低土壤容重,改善土壤结构的作用;其中构树、花椒金银花混交林容重较小是由于其自身生物特性所产生的结果,而火龙果是由于其较高的经济价值驱使当地农户投入劳动和管理成本,施用农家粪肥后才达到了降低容重,改善土壤结构的作用。

表 1 不同经济型植物的林下土壤孔隙度和容重

植物 类型	土层 厚度/cm	总孔 隙度/%	毛管 孔隙度/%	非毛管 孔隙度/%	容重/ (g·cm ⁻³)
花椒	0—10	58.45±1.65	51.27±1.66	7.18±0.99	1.08±0.08
	10—20	56.83±0.92	50.17±0.57	6.66±0.85	1.12±0.06
	20—30	54.56±1.28	48.51±1.55	6.05±1.26	1.13±0.04
	均值	56.61±1.19	49.98±1.26	6.63±1.03	1.11±0.06
构树	0—10	59.28±1.22	48.73±1.57	10.55±1.45	1.05±0.10
	10—20	57.30±2.07	47.92±0.68	9.38±1.56	1.05±0.07
	20—30	55.64±0.94	46.55±1.77	9.09±0.83	1.13±0.12
	均值	57.74±1.41	47.73±1.34	9.67±1.28	1.08±0.10
砂仁	0—10	48.68±1.30	38.79±1.51	9.89±1.46	1.37±0.08
	10—20	47.76±1.34	39.76±1.55	8.01±1.78	1.41±0.04
	20—30	46.53±1.30	40.15±1.10	6.38±0.97	1.44±0.06
	均值	47.67±1.31	39.57±1.39	8.09±1.30	1.41±0.06
金银花	0—10	56.80±0.78	45.93±0.87	10.87±0.59	1.13±0.08
	10—20	56.11±1.23	44.92±1.35	11.19±0.82	1.15±0.11
	20—30	52.65±1.37	42.01±2.32	10.64±0.95	1.22±0.11
	均值	55.19±1.13	44.29±1.39	10.91±0.79	1.17±0.10
火龙果	0—10	65.77±0.99	50.69±2.31	15.08±1.15	0.85±0.03
	10—20	55.23±0.70	48.17±2.34	7.06±1.28	1.17±0.02
	20—30	52.29±1.58	46.32±1.26	5.97±1.23	1.26±0.05
	均值	57.76±1.09	48.39±1.97	9.37±1.22	1.09±0.03
花椒金银 花混交林	0—10	60.79±1.62	52.61±1.38	8.18±1.11	1.01±0.11
	10—20	58.63±1.39	50.08±0.98	8.14±1.83	1.13±0.05
	20—30	57.54±1.44	50.97±0.35	6.56±1.96	1.17±0.07
	均值	58.99±1.48	51.22±0.90	7.63±1.63	1.10±0.08
荒草地	0—10	58.53±1.22	49.90±1.69	8.63±0.65	1.07±0.06
	10—20	55.92±1.77	47.77±1.44	8.15±1.16	1.15±0.10
	20—30	49.63±1.41	44.54±1.38	5.09±1.01	1.34±0.06
	均值	54.69±1.77	47.40±1.50	7.29±0.94	1.19±0.07

3.1.2 土壤孔隙度特征 孔隙度和毛管孔隙度是评价土壤物理性质的重要指标^[19],土壤孔隙的大小、数量和分布则是孔隙度评价的具体指标^[20]。另一方

面,土壤孔隙的数量、大小以及分布直接决定着土壤的透气性、持水保水性能以及作物根系在土壤空间的伸展;最后达到影响土壤的肥力和作物产量的效

果^[17,21]。由表2可知,随土壤的深度增加,所选用的不同植物的总孔隙度都呈减小态势,波动范围为46%~60%,为壤土和黏土。以0—10 cm层为例,总孔隙度的差别表现为火龙果(65.77%)>花椒金银花混交林(60.79%)>构树(59.28%)>荒草地(58.53%)>花椒(58.45%)>金银花(56.80%)>砂仁(48.68%)。其中,火龙果0—10 cm层总孔隙度最大,为65.77%,分析其原因为当地农户施用农家肥堆积在火龙果根部附近的表土上,粪肥腐化后形成疏松多孔的土壤结构,从而改善了土壤质地。同时,还可以看出砂仁与其他植被间的孔隙度差异显著($p<0.05$),种植砂仁对土壤孔隙度的改良作用小于其他几种植物,甚至小于作为对照的荒草地,原因可能是构树、花椒、金银花三者根系的分布范围和根系的径级都比砂仁大,其对土壤的穿插作用提高了土壤的孔隙度,而砂仁的叶大根短的生物学特征使其对土壤的改良效果不明显。在0—30 cm的土壤深度区间内,总孔隙度均值表现为花椒金银花混交林(58.99%)>火龙果(57.76%)>构树(57.74%)>花椒(56.61%)>金银花(55.19%)>荒草地(54.69%)>砂仁(47.66%),这说明花椒金银花混交林、火龙果、构树林下土壤结构疏松,具有良好的通透性,它们的生长对土壤结构的改良作用优于后者,原因可能为花椒金银花混交林由于其枯枝落叶增肥效应和根系交叉而叠加的穿插作用的影响,土壤较为疏松;而火龙果则通过人工施肥措施改良了土壤,构树则是通过根系分布和力学作用提高了土壤质地。

从毛管孔隙和非毛管孔隙来看,所取的0—30 cm层的土样中上层毛管孔隙度均值普遍大于下层,并且花椒金银花混交林(51.22%)>花椒(49.98%)>火龙果(48.39%)>构树(47.73%)>荒草地(47.40%)>金银花(44.29%)>砂仁(39.57%);非毛管孔隙度中,金银花(10.91%)>构树(9.67%)>火龙果(9.37%)>砂仁(8.09%)>花椒金银花混交林(7.63%)>荒草地(7.29%)>花椒(6.63%)。这表明花椒金银花混交林、花椒、火龙果、构树的土壤蓄水能力比后者强,它们对土壤的保水功能具有良好的促进作用;金银花、构树、火龙果林地的非毛管孔隙度较大,说明它们对土壤的渗透能力和调节水分的功能具有改善作用,能够在降水时期让水分快速渗入土壤下层,并把多余的水分暂时保存在非毛管孔隙中。同时,也可以看出:研究区域土壤孔隙的主要差异反映在总孔隙度与毛管孔隙度上。在降水时,花椒金银花混交林、花椒林、火龙果、构树下的表土能够较快吸纳雨水,使水分滞留在下层土壤;金银花和砂仁的表土,毛管孔隙较少,不利于吸纳和存

储水分;然而,在干热的花江喀斯特峡谷地区,土壤吸纳和储存水分的能力是植被恢复和生长的重要条件,也是经济型植被体现生态功能最重要的指标之一。

3.2 不同经济型植物的土壤蓄水能力分析

在林地生态系统中,土壤层是最主要的水分贮存库和水文调节器,其对地表径流、土壤潜流以及地下水的补给都有重要的影响^[22]。土壤的保水和蓄水性能则主要体现在毛管孔隙保留住土壤中水分,促进植物根系吸收、蒸腾以及土壤蒸发;非毛管孔隙提供水流通道的和暂时贮存空间上,同时两者也都具有减少地表径流和防止土壤侵蚀的功能^[23-24]。

3.2.1 不同土层厚度持水能力的差异分析 土壤持水能力是评价土壤涵养水源及调节水分循环的一个重要指标,可分为最大持水、毛管持水、非毛管持水^[25]。由表2看出,随着土壤厚度的增加,各类的经济型植物反映土壤持水能力的指标基本都呈下降趋势。在各项指标上具体表现为:各土层厚度的土壤含水量变动幅度为1.08%~6.62%,其中最小的为花椒(1.08%),最大的为金银花(6.62%);而最大持水率、毛管持水率以及田间含水量的变动幅度分别为1.24%~26.89%,1.11%~16.56%,0.93%~19.24%,其中变动幅度最大的都为火龙果,变动幅度最小都为砂仁,原因可能是火龙果不同土壤厚度间的土壤孔隙度、容重等因素的差异造成的;在土壤孔隙度和容重的数据分析中,火龙果0—10 cm的表层土壤孔隙度、容重的变动幅度也最大就证明了这点,其原因主要是人工施用粪肥和覆盖干草改善了表土层的理化性质。另一方面,变动幅度较大是基于火龙果0—10 cm表层在最大持水率、毛管持水率以及田间含水量上都排在最前,这表明相对其他植被类型的表层,它不仅具有更好的物理性质,并且这种土层厚度间的差异性还有利于在降水集中的时间段,使不同土层能够层层递进地发挥出蓄水保水的功能。火龙果、花椒金银花混交林、花椒的最大持水率、毛管持水率较大,表明种植它们是土壤具有良好的持水特性,并且在它们的土层中能够蓄存更多的水分用于植物生长;在雨季后能保留较多水分,在旱季水分蒸发后还能留有一部分供植物根系吸收。

在0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm的土层中,土壤含水率以及毛管持水率最高的都是花椒金银花混交林,最低的为砂仁或荒草地;对于最大持水率,0—10 cm土层中最大的为火龙果(73.95%),10—20 cm的土层中最大的为构树(60.49%),20—30 cm中最大的为花椒金银花混交林(63.32%),而各层最大持水率最低的都是砂仁。在田间含水量上,0—10 cm的土层中火龙果含水量

表现最优;10—20 cm 和 20—30 cm 的土层中,花椒金银花混交林都排在最前。这表明持水能力的大小,不仅反映在植物类型不同所带来的影响,还反映在不同土层厚度所产生的垂直梯度差异上。

表 2 不同恢复型植被的土壤蓄水性能

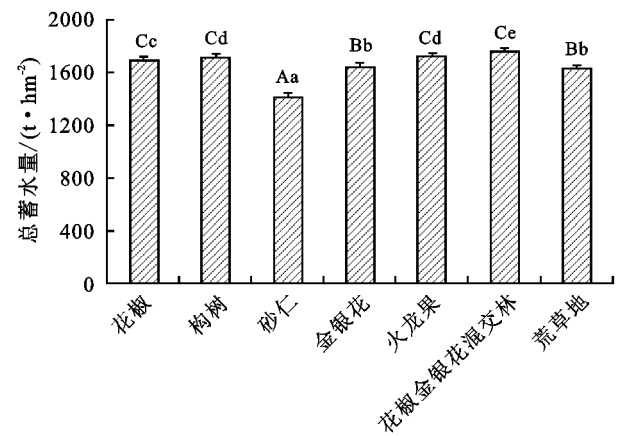
植物类型	土层厚度/cm	土壤含水量/%	最大持水率/%	毛管持水率/%	田间含水量/%	蓄水量/(t·hm ⁻²)	0—30 cm 总蓄水量/(t·hm ⁻²)
花椒	0—10	30.71±1.99	63.86±2.07	50.08±2.47	39.69±3.68	584.53±23.90	1698.43
	10—20	30.26±1.29	55.23±2.33	44.25±1.10	37.88±3.29	568.29±19.42	
	20—30	29.63±0.96	51.23±2.20	41.37±2.00	35.11±3.66	545.61±12.84	
	均值	30.20	56.77	45.23	37.56	566.14	
构树	0—10	32.49±0.93	59.55±2.52	47.06±3.32	40.36±1.79	592.80±23.76	1722.14
	10—20	33.83±0.88	60.49±2.75	47.67±2.80	39.82±1.99	572.96±29.05	
	20—30	32.27±0.77	51.01±2.01	41.42±2.91	34.10±1.88	556.38±16.84	
	均值	32.86	57.02	45.38	38.09	574.05	
砂仁	0—10	25.01±2.94	36.58±2.66	29.65±3.36	24.19±2.59	485.85±30.76	1428.75
	10—20	24.86±2.24	36.47±3.15	29.57±3.74	24.36±2.79	477.62±27.36	
	20—30	23.66±0.57	35.34±3.42	28.68±2.28	23.43±1.74	465.28±30.57	
	均值	24.51	36.13	29.30	23.99	476.25	
金银花	0—10	37.56±3.61	57.75±2.83	46.78±2.47	37.08±2.56	567.96±26.20	1655.58
	10—20	35.03±3.16	54.66±3.02	43.99±3.86	35.76±3.72	561.11±35.12	
	20—30	30.94±2.68	45.75±3.24	37.42±3.08	31.39±3.75	526.51±35.05	
	均值	34.51	52.72	42.73	34.75	551.86	
火龙果	0—10	32.77±3.29	73.95±4.77	55.48±2.75	51.59±3.37	657.71±9.88	1732.94
	10—20	34.71±3.01	54.96±4.20	44.85±3.94	35.79±3.61	552.28±6.98	
	20—30	32.62±2.09	49.06±3.66	39.92±2.97	32.35±2.45	522.95±15.87	
	均值	33.36	59.32	46.75	39.91	577.65	
花椒金银花混交林	0—10	38.28±2.26	71.67±4.37	57.37±4.12	49.26±4.89	607.86±37.67	1769.54
	10—20	36.82±1.71	59.67±3.54	48.72±3.52	39.93±3.28	586.32±26.51	
	20—30	37.98±3.78	63.32±3.46	51.58±3.74	41.61±4.38	575.36±32.18	
	均值	37.69	64.88	52.56	43.60	589.85	
荒草地	0—10	24.68±2.53	53.91±3.68	42.12±2.39	41.78±3.91	585.26±20.01	1640.79
	10—20	27.61±2.91	45.53±3.86	36.82±2.51	32.38±3.54	559.21±22.86	
	20—30	29.43±0.21	42.81±1.57	35.31±1.38	29.67±1.39	496.31±19.30	
	均值	27.24	47.41	38.08	34.61	546.93	

3.2.2 不同植被类型土壤蓄水能力的比较分析 在蓄水量上,除砂仁(127.53 t/hm²)和荒草地(89.95 t/hm²)在不同土层间的变动幅度差异较大外,其他各类植物的变动幅度都在 30 t/hm² 左右。这表明砂仁、荒草地的不同土层间水分的蓄存能力存在显著差异($p<0.05$)(图 1),蓄水量不稳定,在大雨或暴雨后蓄水量会快速达到峰值;而其他几种植物则具有稳定的蓄水能力,能够充分有效地蓄留雨水。另一方面,在各层的蓄水量中,0—10 cm 的土层中,最高的为火龙果(657.71 t/hm²);而 10—20 cm 和 20—30 cm 的土层中最高均为花椒金银花混交林(586.32 t/hm², 575.36 t/hm²);最后,各生态经济型植物的不同土层间蓄水量最低的均为砂仁。

从各经济型植物持水能力指标土层深度间平均值的状况来看,除金银花的土壤含水率(34.51%)位于第二外,花椒金银花混交林、火龙果、构树在各项指标中都分列前三,而荒草地和砂仁都位于最后两位。从土

壤总蓄水量来看,各植被型间存在显著差异($p<0.01$ 或 $p<0.05$),花椒金银花混交林(1 769.54 t/hm²)最高,火龙果(1 732.94 t/hm²)和构树(1 722.14 t/hm²)次之,而砂仁(1 428.75 t/hm²)蓄水量最低,这与持水能力指标所反映的结果相一致。这说明花椒金银花混交林、构树在花江喀斯特石漠化地区种植所发挥出的蓄存水量,改善土壤物理性质的功能优于其他几种植物类型。

综上所述,花椒金银花混交林、构树和火龙果在各项蓄水性能指标中都排于靠前,尤其是花椒金银花混交林表现出了最好的物理性状和蓄水性能,而荒草地和砂仁都排在最后两位。因此,在实际生产中,撂荒和种植砂仁并没有发挥出蓄水保土的最优生态效益,种植砂仁比起撂荒则使土壤蓄水保土的功能退化了;在该区域推动经济发展的同时要保护好生态效益,就需要扩大花椒金银花混交林、构树和火龙果的种植范围,以促进石漠化治理和植被恢复。



注:小写字母表示在 $\alpha=0.05$ 水平上的显著性,大写字母表示在 $\alpha=0.01$ 水平上的显著性。

图 1 不同恢复型植被的土壤总蓄水量

3.3 不同植被类型土壤蓄水能力参数影响因子的相关分析

为更加深入的研究在石漠化恢复过程中,种植经济生态型植物进行植被恢复的过程中各土壤的蓄水特性因子间的相互关系,对不同植被类型土壤的容重、

毛管孔隙度、非毛管孔隙度等 6 个蓄水能力特征参数进行多元相关分析^[5],结果见表 3。

多元相关分析表明(表 3),各生态经济型植被的土壤含水量与土壤容重呈负显著相关,相关系数为-0.763,而土壤含水量与最大持水率和毛管持水率都为极显著相关,相关系数分别为 0.898,0.914;另一方面土壤容重与最大持水率与毛管持水率均呈极显著相关,相关系数为-0.931,-0.915,两者都表明土壤容重对土壤蓄水功能发挥着关键的影响作用。分析还表明:各生态经济型植被的土壤容重与毛管孔隙度呈极显著负相关,相关系数为-0.892,毛管孔隙度与最大持水率和毛管持水率均为极显著相关,相关系数分别为 0.897,0.890,而非毛管孔隙度与各蓄水参数因子之间的相关关系均不显著,这说明在土壤蓄存雨水的过程中真正发挥作用的还是毛管孔隙度。结果综合说明在喀斯特植被恢复区,影响土壤蓄水功能的主要因子为土壤容重和土壤毛管孔隙度,两者相耦联对土壤蓄水功能发挥着关键作用。

表 3 土壤蓄水能力参数的多元相关分析

指标	项目	土壤容重	毛管孔隙度	非毛管孔隙度	土壤含水量	最大持水率	毛管持水率
土壤容重	相关系数	1					
	ρ 值						
毛管孔隙度	相关系数	-0.892**	1				
	ρ 值	0.007					
非毛管孔隙度	相关系数	-0.117	-0.313	1			
	ρ 值	0.802	0.495				
土壤含水量	相关系数	-0.763*	0.643	0.379	1		
	ρ 值	0.046	0.119	0.401			
最大持水率	相关系数	-0.931**	0.897**	0.068	0.898**	1	
	ρ 值	0.002	0.006	0.885	0.006		
毛管持水率	相关系数	-0.915**	0.890**	0.067	0.914**	0.998**	1
	ρ 值	0.004	0.007	0.887	0.004	0.000	

注: ** 表示极显著相关($p<0.01$); * 表示显著相关($0.01<p<0.05$)。

4 结论与讨论

(1) 在花江典型喀斯特石漠化治理区,不同生态经济型种植模式对土壤物理特性的改善作用具有差异性,其主要反映在不同土层厚度和不同植物类型土壤容重和孔隙度变化上。在土层深度上容重与孔隙度随土层深度增加均呈下降趋势,这与相关研究结论一致^[2,26]。在不同经济型植物之间,土壤容重表现为:构树<火龙果<花椒金银花混交林<花椒<金银花<荒草地<砂仁;而毛管孔隙度为:花椒金银花混交林>花椒>火龙果>构树>荒草地>金银花>砂仁,表明种植花椒金银花混交林、构树、火龙果对该区域的土壤物理性状具有改善效果。构树、花椒金银花混交林容重较小孔隙度较大是由于其自身生物特性所产生的结果,而火龙果则主要是施用有机肥所起到

的疏松土质的作用。

(2) 各生态经济型种植模式的土壤持水能力在土层深度与植物类型间存在着显著差异。反映土壤持水能力的土壤含水量、毛管持水率等指标随土层深度增加而下降,土层间变动幅度也存在较大差异。从不同经济型来看,花椒金银花混交林、火龙果、构树下的平均土壤含水率均较高,而荒草地和砂仁较小。土壤总蓄水量则以花椒金银花混交林(1 749.53 t/hm²)和构树(1 752.14 t/hm²)较高,砂仁最低(1 535.7 t/hm²),表明花椒金银花混交林、构树、火龙果地蓄水特性高于其他植物,而种植砂仁使得土壤水文特性有所退化。水分是喀斯特区域植物生长的主要限制因素,能够蓄存较多的雨水不仅能促进相关经济型植物自身的生长,还能提供水分给林下草本植物吸收,提高表土层的植被覆盖率,从而降低雨水的击溅与冲刷作用,起

到保持水土的效果。

(3) 相关分析表明,土壤容重与土壤含水量呈负显著相关,相关系数为 -0.763 ,而土壤容重与最大持水率与毛管持水率均呈极显著相关,相关系数为 -0.931 , -0.915 。毛管孔隙度与最大持水率和毛管持水率均为极显著相关,相关系数分别为 0.897 , 0.890 ,而非毛管孔隙度与各蓄水参数因子之间的相关关系均不显著,这说明土壤容重和土壤毛管孔隙度为喀斯特石漠化区域土壤蓄水功能的主要影响因子,两者的综合对土壤蓄水功能发挥着关键作用。这与杨媛媛等在对上犹县的研究中认为土壤容重、毛管孔隙度及非毛管孔隙度三者的综合特征对土壤蓄水发挥着关键作用的观点存在一定差异^[5]。非毛管孔隙度主要在土壤中主要起着渗透疏通的作用,在雨水较大时,部分雨水能暂时存储在非毛管孔隙中,从而增加土壤蓄水能力,而在花江喀斯特区域,地下岩溶孔隙较多,雨水通过非毛管孔隙直接渗漏到地下暗流系统。因此,本研究区域中非毛管孔隙与蓄水能力之间的相关性较小。

(4) 在喀斯特石漠化区种植生态经济型植物有助于改善土壤水分物理性质,土壤水分物理性质的改善又能够加速石漠化区域的植被恢复过程,植被的恢复又有效遏制了石漠化进程,从而改善当地恶劣的生态环境条件。近年来,贵州省喀斯特石漠化区已成为中国西部喀斯特问题的研究热点区域,相关学者已做过大量研究,针对贵州本省的石漠化治理,前人提出了种植生态经济型植物的治理模式,但是对各种模式治理效果的研究却报道较少。本文所做研究仅对花江石漠化区域几种典型的生态经济型植物的土壤水分物理特性进行了研究,主要着眼点在土壤蓄存水分的能力上,下一步研究人员将增加研究对象,同时对不同生态经济型植物的土壤抗冲性能和抗蚀性能,化学特征以及土壤生物多样性进行深入研究,揭示植物—水—土耦合条件下的石漠化作用机制,为石漠化恢复治理提供科学依据。

参考文献:

- [1] 耿佳,于法展,杨盼盼,等.苏北山丘区典型性次生林下土壤蓄水能力分析[J].水土保持研究,2012,19(1):184-186.
- [2] 李庆云,余新晓,信忠保,等.黄土高原典型流域不同土地利用类型土壤物理性质分析[J].水土保持研究,2010,17(6):106-110.
- [3] 莫非,李叙勇,贺淑霞,等.东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价[J].生态学报,2011,31(17):5009-5016.
- [4] 吴庆贵,邹利娟,吴福忠,等.涪江流域丘陵区不同植被类型水源涵养功能[J].水土保持学报,2012,26(6):254-258.
- [5] 杨媛媛,李鉴北,欧阳勋志,等.上犹县长防林不同森林植被类型土壤蓄水能力初探[J].土壤通报,2012,43(1):10-14.
- [6] 杨汉奎.喀斯特荒漠化是一种地质生态灾难[J].海洋地质与第四纪地质,1995,15(3):137-147.
- [7] 但文红.喀斯特峡谷农业可持续发展模式研究:以贵州省花江峡谷为例[J].中国岩溶,1999,18(3):251-256.
- [8] 熊康宁,李晋,龙明忠.典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J].地理学报,2012,67(7):878-888.
- [10] 王朕,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.
- [11] 李安定,卢永飞,韦小丽,等.花江喀斯特峡谷地区不同小生境土壤水分的动态研究[J].中国岩溶,2008,27(1):56-62.
- [12] 盛茂银,刘洋,熊康宁.中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应[J].生态学报,2013,33(19):6303-6313.
- [13] 国家林业局.森林土壤分析方法(中华人民共和国林业行业标准)[S].北京:中国标准出版社,2000.
- [14] 黄蓉,王辉,王蕙,等.华家岭低效防护林带改造对林地土壤蓄水性能的影响[J].水土保持研究,2014,21(2):53-57.
- [15] 宋小帅,康峰峰,韩海荣,等.辽河源典型森林类型的土壤水文效应[J].水土保持通报,2015,35(2):101-105.
- [16] 王莉,张强,牛西午,等.黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(4):53-56.
- [17] 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):12-16.
- [18] 李卓,吴普特,冯浩,等.容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J].土壤学报,2010,47(4):611-620.
- [19] 李庆梅,侯龙鱼,马风云.黄河三角洲盐碱地不同利用方式土壤理化性质[J].中国生态农业学报,2009,17(6):1132-1136.
- [20] 宫渊波,麻泽龙,陈林武,等.嘉陵江上游低山暴雨区不同水土保持林结构模式水源涵养效益研究[J].水土保持学报,2004,18(3):28-32.
- [21] 孙梅,黄运湘,孙楠,等.农田土壤孔隙及其影响因素研究进展[J].土壤通报,2015(1):233-238.
- [22] 丁访军,王兵,钟洪明,等.赤水河下游不同林地类型土壤物理特性及其水源涵养功能[J].水土保持学报,2009,23(3):179-183.
- [23] 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,2004,18(6):1-5.
- [24] 陈引珍,程金花,张洪江,等.缙云山几种林分水源涵养和保土功能评价[J].水土保持学报,2009,23(2):66-70.
- [25] 张雷燕,刘常富,王彦辉,等.宁夏六盘山地区不同森林类型土壤的蓄水和渗透能力比较[J].水土保持学报,2007,21(1):95-98.
- [26] 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.