

文章编号: 1674-7054(2018)01-0061-08

金沙江干热河谷银合欢人工林的土壤水分变化特征

王艳丹^{1 2}, 张梦寅^{1 2}, 范建成^{1 2}, 何光熊^{1 2}, 张明忠^{1 2}, 方海东^{1 2}

(1. 云南省农业科学院 热区生态农业研究所, 云南 元谋 651399;

2. 元谋干热河谷植物园, 云南 元谋 651399)

摘要: 土壤水分是植物耗水的主要来源, 对植物的生理活动有着重大影响。通过对金沙江干热河谷地区银合欢人工林的土壤含水量进行研究, 分析其时间和空间上的动态变化特征及影响因素, 结果表明: 银合欢林的土壤含水量在雨季时期较高, 旱季时期较低; 随土层深度增加, 土壤含水量也逐渐增加, 且上层土壤含水量变化幅度大于下层; 银合欢林土壤含水量的年际变化随着降雨量的增大而增加, 但存在滞后效应; 银合欢林在雨季阶段可以有效地降低 0~40 cm 土层的水分蒸发, 起到良好的涵养水源作用; 银合欢林种植对土壤理化性质产生了重大的影响, 使得土壤容重下降, 土壤孔隙度增加, 土壤有机质增加, 对土壤蓄水能力和持水性产生积极作用; 土壤砂粒含量与土壤含水量呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 土壤粉粒、粘粒含量与土壤含水量呈显著负相关关系 ($P < 0.05$)。总之, 在金沙江干热河谷地区, 合理发展银合欢人工林种植能有效地改良土壤物化性质, 提高土壤持水、保水能力, 具有良好的保持水土、涵养水源等生态作用。

关键词: 土壤水分; 降水量; 垂直变化; 土壤机械组成; 有机质

中图分类号: S 714.2 文献标志码: A DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2018.01.008

土壤水分不但影响着土壤特性和植物生长, 而且也从一定程度上影响植物分布和小气候的变化^[1]。土壤水分是林木生长和发育的必要的的环境因素之一, 各种林木利用水分绝大多数都是通过根系吸收土壤水分。由于土壤水分供给的有效性, 使之成为林木生长和生存的制约因素^[2]。土壤中所含的水量不仅受土壤特性的制约, 而且受降雨、入渗、蒸发、蒸腾和其他水分运动的影响, 所以, 土壤含水量会随空间、时间不断发生变化。对于基本依赖于自然降水的干热河谷区, 在植被恢复过程中水分的限制性很大, 提高水分利用率是非常重要的。自然降水渗入土壤, 随后变成土壤水, 土壤水是林木生长直接的供水源。土壤水分是影响干旱区山地植被恢复与重建的首要因素^[3], 人工林的稳定性主要受到土壤水分的限制^[4]。土壤水分的状况, 对地表植物生态系统起着至关重要的影响^[5]。国内外学者从土壤机械物理性质、持水性、入渗性等角度对森林土壤的水分特征做了大量研究^[6-10], 研究土壤水分的动态变化可以体现森林生态系统水分小循环的结构与功能特征。元谋干热河谷生境是我国西南地区最特殊的生态环境, 抗干扰性低, 稳定性差, 生态系统比较脆弱^[11]。银合欢 (*Leucaena leucocephala*) 是干热河谷主要人工林类型之一。人工林是在人为控制下形成的生物群落, 其植物种类单一、结构简单、抗病虫害能力弱^[11]。笔者对金沙江干热河谷银合欢人工林土壤水分的动态变化及其与土壤理化性质间的关系进行了研究, 以期为干旱区人工林的科学经营和人工林的地力评价提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况 银合欢人工林 (25°41'28"N, 101°52'47"E) 位于云南省元谋县热区生态农业研究所的

收稿日期: 2017-08-18

修回日期: 2017-10-27

基金项目: 国家重点研发计划: 西南干旱河谷区生态综合治理及生态产业发展技术研发 (2017YFC0505102)

作者简介: 王艳丹 (1990-) 女, 研究实习员, 硕士, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: wangyandankm@163.com

通信作者: 方海东 (1979-) 男, 副研究员, 硕士, 主要从事生态恢复研究工作。E-mail: rqsfdh@163.com

小跨山流域内,属于典型的南亚热带季风河谷干热气候区,海拔为 1 088 ~ 1 167 m,坡度约为 30.9°,年平均降雨量 613.8 mm,年平均气温 21.9 °C。土壤类型为燥红土,母岩母质主要为第四系下更新统元谋组砂质、粉砂质沉积物^[12]。该区域为典型的金沙江干热河谷严重生态退化区,属于金沙江支流龙川江下游的河谷地段,地貌类型为深切河谷的低山丘陵,沟壑密度为 21.5 km · km⁻²。1995 年开始采用银合欢作为先锋树种对该区域进行生态恢复,截至 2016 年林内平均郁闭度已达 0.75,郁闭效果较为理想,银合欢生长良好,迅速覆盖地表。目前银合欢人工林树种比较单一,以银合欢为主,伴生植物物种有桉树(*Eucalyptus*)、山合欢(*Albizia kalkora*)、坡柳(*Dodonaea viscosa*)、扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、蔓草虫豆(*Atylosia scarabaeoides*)和孔颖草(*Bothriochloa pertusa*)等,但数量较少。

1.2 样地设置及调查 在元谋县小跨山流域的银合欢人工林内随机选取 8 个 100 m × 100 m 随机样地,其基本特征见表 1。选择该流域未治理区(光板地)内 100 m × 100 m 空白样地,作为对照(CK)。调查每个样地的海拔、坡度、坡向、林分郁闭度、林龄、乔木高度、平均胸径和主要植物类型作为群落特征数据,并记录数据。

表 1 银合欢人工林样地基本特征

Tab.1 Basic data of the sample plots

样地号 Plots	海拔/m Altitude	坡度/° Gradient	坡向 Exposure	郁闭度/% Canopy density	林龄 Stand age	平均高度/m Average height	平均胸径/cm Average DHB	主要植物类型 The predominant? plant types
Q1	1154	15.2	ES	73	11	9.77	8.25	银合欢、坡柳
Q2	1149	44.1	WS	84	11	7.68	5.43	银合欢、山合欢、坡柳
Q3	1148	33.5	EN	67	11	11.06	8.44	银合欢、扭黄茅
Q4	1140	44.5	N	80	11	6.36	5.50	银合欢、扭黄茅、罗望子
Q5	1148	35.3	S	62	11	7.34	5.63	银合欢、坡柳
Q6	1152	26.0	WN	57	11	9.04	6.03	银合欢、孔颖草
Q7	1125	25.2	EN	70	11	7.26	7.97	银合欢、坡柳、扭黄茅
Q8	1099	23.2	W	87	11	8.75	6.86	银合欢、山合欢、坡柳
CK	1126	24.6	W					裸地

1.3 土壤样品的测定和分析方法 在每个银合欢人工林样地内埋 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,测量深度分别为 0 ~ 20 cm, 20 ~ 40 cm, 40 ~ 60 cm, 60 ~ 80 cm, 80 ~ 100 cm。研究采用自动小型气象站,实时监测和传输降水量数据,用来对比分析研究区域土壤水分变化规律及与降水量之间的关系。在每个样地内挖 1 个 100 cm 深的土壤剖面,按土壤不同深度 0 ~ 20 cm, 20 ~ 40 cm, 40 ~ 60 cm, 60 ~ 80 cm, 80 ~ 100 cm 分层取样,每次 3 个重复,得到对应土层的混合土壤样品。对照样地与人工林内取样方法相同。同时在每个样地用环刀法取样,将环刀垂直压入各层土壤,削去环刀两端多余土壤,作为对应的环刀土样,及时带回实验室待测。环刀土样采用环刀浸泡法测定土壤容重和孔隙度^[13]。混合土样放在实验室自然风干,研磨,过 2 mm 筛孔,保存待用。用比重计法测定土壤机械组成^[14],土壤质地采用美国制颗粒分级制,2.0 ~ 0.05 mm 为砂粒,0.05 ~ 0.002 mm 为粉粒,<0.002 mm 为粘粒。用重铬酸钾容量法测定有机质^[15];用 pH 酸度计测定土壤 pH。把某一土层深度的土壤总孔隙饱和时的含水量作为土壤饱和贮水量,土壤非毛管孔隙饱和时的含水量作为土壤非毛管贮水量,也叫有效贮水量,土壤毛管孔隙饱和时的含水量作为土壤毛管贮水量^[16]。土壤饱和贮水量、非毛管贮水量和毛管贮水量根据实测的土壤孔隙度数据,由公式^[17]计算。用 Excel 和 SPSS 20.0 进行数据处理和分析。

$$W_c = 10P_c h \dots\dots\dots (1)$$

$$W_{nc} = 10P_{nc} h \dots\dots\dots (2)$$

$$W_t = 10P_t h \dots\dots\dots (3)$$

式中:W_c——土壤毛管贮水量(mm);W_{nc}——土壤非毛管(有效)贮水量(mm);W_t——土壤饱和贮水量(mm);

P_c ——毛管孔隙度(%) ; P_{nc} ——非毛管孔隙度(%) ; P_t ——总孔隙度(%) ; h ——土层深度(m)。

2 结果与分析

2.1 土壤理化特征 开垦光板地建植银合欢人工林,种植 11 年后,银合欢林的土壤机械组成发生明显的变化,银合欢林各土壤层次的 0.25 ~ 0.05 mm 粒级和 < 0.002 mm 粒级增加,而其余粒级与光板地相比均减少(表 2)。随着土层深度的增加,银合欢林的 2.0 ~ 1.0 mm, 1.0 ~ 0.5 mm 粒级含量逐渐增加, 0.5 ~ 0.25 mm, 0.25 ~ 0.05 mm, 0.05 ~ 0.02 mm, 0.02 ~ 0.002 mm 和 < 0.002 mm 粒级逐渐减少(表 2)。从土壤颗粒组成来看,银合欢林 0 ~ 80 cm 土层的土壤砂粒(2.0 ~ 0.05 mm)含量均在 75% 以上(表 2),机械组成整体较粗,土壤质地非常松散。银合欢林地的土壤容重在 0 ~ 80 cm 土层均小于光板地(表 2),人工林的平均土壤容重为 1.60 ~ 1.71 $g \cdot cm^{-3}$,光板地的为 1.77 ~ 1.88 $g \cdot cm^{-3}$ 。

银合欢人工林的 0 ~ 20 cm, 20 ~ 40 cm, 40 ~ 60 cm 和 60 ~ 80 cm 土层非毛管孔隙度比光板地分别高 2.12%、4.85%、2.88% 和 3.49%,总孔隙度也有所增加(表 2)。银合欢林土壤总孔隙度和毛管孔隙度随土层深度的增加而减小(表 2),可见林木根系分布集中的土壤上层保水通气能力明显高于根系分布较少的土壤下层。

与光板地比较,0 ~ 80 cm 土层的银合欢林下土壤毛管贮水量、非毛管贮水量和饱和贮水量有所增加(表 3),平均增加量分别为 13.46 mm、6.67 mm 和 12.64 mm。可见,与光板地相比,银合欢林能够有效地增加土壤的毛管贮水量、非毛管贮水量和饱和贮水量,具有较好的蓄水能力。并且,0 ~ 40 cm 土层的毛管贮水量、非毛管贮水量和饱和贮水量均大于 40 cm 以下的深层土壤(表 3),说明表层土壤的贮水性能好于深层土壤。

银合欢林的 pH 为 6.19 ~ 7.13,CK 的 pH 为 6.32 ~ 7.72(表 2)。银合欢林的土壤 pH 比 CK 低,并且随着土壤深度的增加,pH 差别减小(表 2)。

与光板地相比,0 ~ 60 cm 土层的银合欢林的土壤有机质增加了 27.84 $g \cdot kg^{-1}$,60 ~ 100 cm 土层的土壤有机质含量差别不大(表 2),说明土壤有机质的形成主要发生在 0 ~ 60 cm 土层。银合欢林和 CK 的土壤有机质随着土壤深度的增加而减少,土壤有机质的差异随着土层深度的增加而减小(表 2)。

表 2 银合欢林地土壤的理化性质

Tab.2 Physical and chemical properties of the tested soil

样地 Plots	土层深度/cm Soil depth	各粒级含量/% Soil granularity							容重 /($g \cdot cm^{-3}$) Soil bulk density	毛管孔隙度/% Capillary porosity	非毛管孔隙度/% Non-capillary porosity	总孔隙度/% Total porosity	pH	有机质/ ($g \cdot kg^{-1}$) Soil organic matter
		2.0-1.0 mm	1.0-0.5 mm	0.5-0.25 mm	0.25-0.05 mm	0.05-0.02 mm	0.02-0.002 mm	<0.002 mm						
银合欢林 Leucaena forests	0~20	1.67	1.71	25.24	47.92	5.92	6.93	10.61	1.60	30.53	9.09	39.62	7.13	24.31
	20~40	3.07	2.89	25.19	46.69	5.39	6.62	10.16	1.66	29.22	8.14	37.36	7.06	17.28
	40~60	7.32	5.15	23.27	45.00	5.01	5.46	8.80	1.68	30.46	6.14	36.60	6.86	14.36
	60~80	13.02	9.65	20.19	39.48	4.33	5.18	8.15	1.71	27.45	8.02	35.47	6.58	7.49
	80~100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.19	4.35
对照区 Bare lands	0~20	7.79	11.43	33.49	26.62	7.33	8.60	4.75	1.77	26.24	6.97	33.21	7.72	11.52
	20~40	8.68	14.00	32.12	26.01	6.94	8.12	4.13	1.82	28.03	3.29	31.32	7.23	8.45
	40~60	13.74	16.98	30.21	24.05	5.36	6.23	3.45	1.85	26.93	3.26	30.19	7.01	8.11
	60~80	20.98	16.49	26.33	22.99	5.13	5.95	2.13	1.88	24.53	4.53	29.06	6.58	7.50
	80~100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.33	4.15

注:“-”表示未测数据

Note:“-” Represents unmeasured data

表3 银合欢林地和光板地不同土层的土壤贮水能力

Tab. 3 The soil water-holding capacity of *Leucaena leucocephala* forests and bare lands in different soil layers

样地 Plots	土层深度/cm Soil depth	土壤毛管贮水量/mm Capillary storage capacity	土壤非毛管贮水量/mm Mon-capillary storage capacity	土壤饱和贮水量/mm Saturated storage capacity
银合欢林 <i>Leucaena</i> forests	0~20	61.06	18.18	79.24
	20~40	58.44	16.28	74.72
	40~60	60.92	12.28	73.20
	60~80	54.90	16.04	70.94
	平均值	58.83	15.70	74.53
对照区 Bare lands	0~20	52.48	13.94	66.42
	20~40	56.06	6.58	62.64
	40~60	53.86	6.52	60.38
	60~80	49.06	9.06	58.12
	平均值	45.37	9.03	61.89

2.2 土壤水分的季节动态变化 研究区域的降雨量季节变化曲线总体呈单峰型(图1),旱雨季差异明显,降雨多集中于雨季的6~10月份,这几个月的降雨量占全年总降水量的82.91%,且常以大雨或暴雨的形式进行。在旱季1~4月和11~12月的降雨总量为57.8 mm,仅为全年降雨量的9.01%,其中2月降雨量最低,仅为4 mm。

空间尺度上,随着土壤层次的增加,各层土壤含水量逐渐增加,但在旱季20~40 cm土层的土壤含水量大都低于0~20 cm土层,80~100 cm处土壤含水量季节变化较其他层次缓和(图1)。

时间尺度上,银合欢人工林在不同土壤层次的土壤含水量的年际变化规律基本一致(图1),1~4月份土壤含水量较低且变化比较平稳,从5月份开始,土壤含水量急剧增加,在8月份达到最大值,之后的9~12月土壤含水量连续下降。

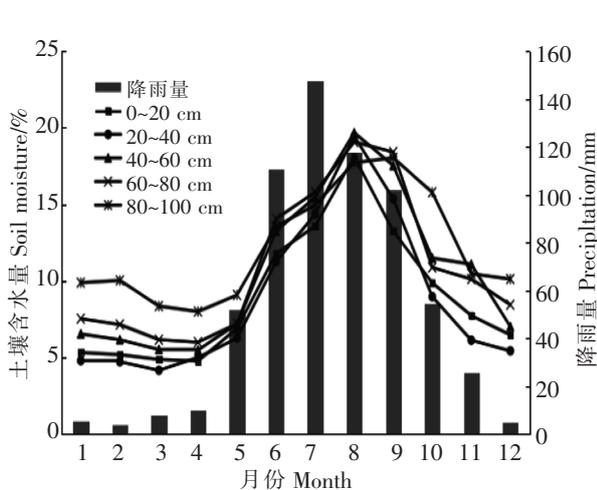


图1 银合欢林土壤含水量季节动态变化
Fig.1 Dynamic seasonal change of soil moisture content of *Leucaena leucocephala* forests

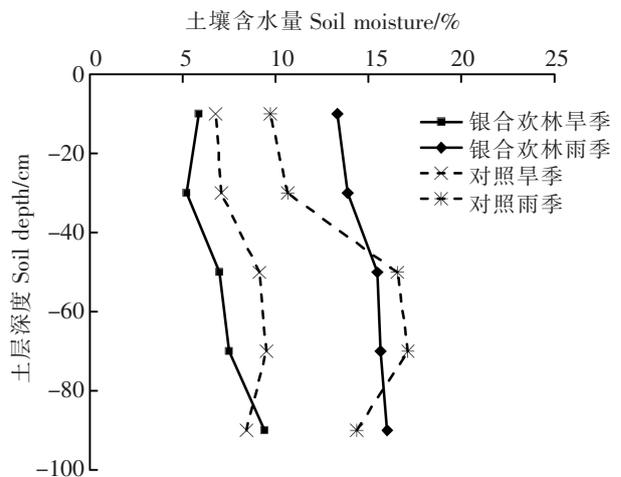


图2 银合欢林地旱季、雨季土壤水分垂直变化
Fig.2 Vertical changes of soil moisture of *L. leucocephala* plantations in dry-and wet-seasons

2.3 旱季、雨季土壤水分垂直变化 在各个土壤层,银合欢林和光板地的土壤水分在雨季均远高于旱季(图2),这与研究区域内的旱雨季降雨量差异明显的特点相符。雨季时期(6~10月),银合欢人工林地在0~40 cm土层的水分含量远远大于光板地的,在60~80 cm土层则小于光板地的,最后在80~100 cm土

层大于光板地土壤的含水量(图 2)。说明银合欢林的种植对保持 0~40 cm 土层的水分含量起到一定作用。旱季时期(1~5 月、11~12 月)银合欢人工林的土壤含水量在 0~80 cm 处低于光板地的(图 2);在 80~100 cm 土层银合欢林的土壤含水量大于光板地的(图 2)。

2.4 土壤水分的影响因素分析

2.4.1 降雨量对土壤水分的影响 自然降雨是本研究区土壤水分的唯一来源,该区域的降雨量变化趋势与银合欢林各层土壤含水量的变化趋势相似(图 1),但在雨季土壤含水量的变化滞后于降雨量的变化,降雨量在 7 月份达到峰值,土壤含水量在 8 月份达到最大值。银合欢林土壤含水量与降雨量相关分析结果为土壤层次 0~20 cm 20~40 cm 40~60 cm 60~80 cm 80~100 cm 的相关系数分别为 0.911 0.906, 0.887 0.890 0.809,均表现相关极显著($P < 0.01$),说明降水量与各土层含水量之间有良好的拟合关系,即土壤含水量随着降雨量的增大而增加,但存在滞后效应。

2.4.2 土壤有机质与土壤水分的关系 银合欢人工林的土壤含水量与 0~100 cm 土层有机质含量呈显著的线性负相关($P < 0.05$,图 3),即土壤有机质增加则土壤含水量减少。

2.4.3 土壤颗粒组成与土壤水分的关系 通过分析银合欢林 0~80 cm 土层的土壤颗粒组成与土壤含水量之间的相关性,发现银合欢林不同土壤颗粒组成砂粒(2.0~0.05 mm)、粉粒(0.05~0.002 mm)和粘粒(< 0.002 mm)与土壤含水量之间的线性关系均显著($P < 0.05$,图 4),但砂粒含量与土壤含水量呈正相关,粉粒和粘粒呈负相关(图 4)。

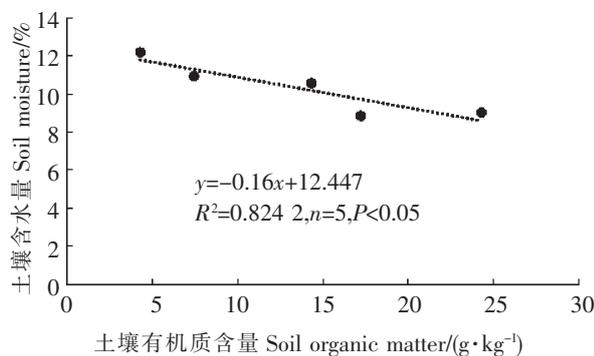


图 3 银合欢林的土壤有机质与含水量的线性关系
Fig.3 The linear relationship between soil organic matter content and soil moisture content of *L. leucocephala* plantations

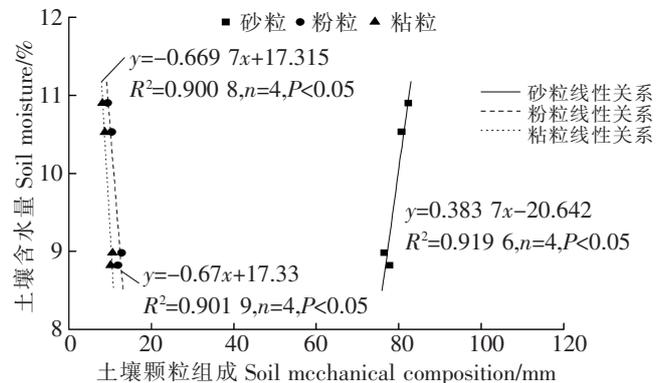


图 4 银合欢林的土壤颗粒组成与含水量的线性关系
Fig.4 The linear relationship between the soil organic matter content and the soil moisture content of *L. leucocephala* plantations

3 讨论

种植银合欢林后,对土壤的理化性质产生了一系列的影响,银合欢林的种植改善了土壤结构,使土壤孔隙度增加,其原因是人工林群落能增加土壤有机质的积累,提高土壤黏结性能,植物根系的物理作用能促进土壤微团粒的黏性,形成良好的土壤结构,提高土壤孔隙度和贮水量,增强土壤水力侵蚀条件下的抗分散能力和透水性能^[18],有利于控制地表土壤侵蚀^[19-20]。0~80 cm 土层的银合欢林土壤的毛管贮水量、有效贮水量和饱和贮水量均增加,从水土保持的角度看,土壤毛管贮水量和土壤有效贮水量都具有减少地表径流和防止土壤侵蚀的作用^[21]。土壤容重可以表征土壤涵蓄水分能力和土壤质地特征^[22],容重过大会妨碍林木根系正常生长,降低林地生产力^[23]。本研究中,银合欢林相比光板地在各土层的土壤容重减少,但仍高于 $1.51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ^[24],说明银合欢林林下土壤的通透性能和持水能力均较差。种植银合欢林后导致的 pH 下降,有利于土壤微生物的活动,对林地养分的积累和林木生长十分有利^[15]。

土壤水分垂直变化的一般特征为“降低型”^[25],但本研究结果与其相反。在本研究中,随着土层深度的增加,干热河谷区银合欢林的土壤含水量大致呈现增加趋势,这与张源沛等人^[26]对松砂土的研究和赵艳丽等人^[27]对 0~40 cm 荒漠-绿洲过渡带 3 种生境的研究结果一致。而旱季时期的 20~40 cm 土层含

水量普遍低于0~20 cm土层。经调查发现,旱季阶段银合欢林的林下有大量的幼苗,而幼苗的根系主要集中在20~40 cm处,为了维持正常生长,主要吸收该层次的水分。研究表明,土壤水既受降水状况的制约,又受土壤特性、特别是土壤颗粒组成的影响,尤其在干热河谷地区,蒸发量长期大于降雨量,土壤颗粒组成对土壤含水量具有显著的影响^[28]。本研究结果表明,研究区域土壤的质地应为砂质壤土,随着土层的增加,砂粒含量增加,而粉粒和粘粒含量减少。通过分析银合欢林土壤颗粒组成与土壤含水量的相关性,发现0~80 cm土层的砂粒含量与土壤含水量呈显著正相关($P < 0.05$),说明银合欢林土壤含水量随土层深度的降低与土壤砂粒含量有极大关联。张源沛等人^[26]研究发现松砂土的保水能力较弱,本研究中银合欢林砂粒含量明显较高,土壤结构较疏松,持水能力较弱,水分易下移,导致下层土壤含水量高于上层。此外,干旱区土壤表层较大的蒸腾作用也是造成上层土壤含水量较低的原因之一。

土壤有机质深刻影响着森林生态系统土壤层水分持留^[29],用来量度土壤水分保持及其有效性^[30],而且土壤水分也是土壤肥力的重要促动因素,直接影响植被恢复的进程^[31]。土壤有机质可以通过改善土壤结构,使孔隙度增加,提高土壤水分入渗特性,从而使土壤含水量增加^[32]。然而,本研究的银合欢林土壤有机质与含水量呈负相关。一方面是土壤有机质含量大的土壤,有利于土壤与大气的物质交换,蒸发量也在增大^[33],使得土壤含水量减少,这种效应在蒸发量长期大于降雨量的元谋干热河谷可能更加明显。另一方面,由于土壤有机质与粉粒、粘粒含量呈正相关^[34-35],而土壤粉粒、粘粒含量与含水量呈显著负相关($p < 0.05$),研究区土壤有机质主要来源于银合欢林下枯枝落叶的分解,来源单一,粉粒、粘粒含量对土壤水分的作用深刻影响了土壤有机质和含水量的关系,但具体原因尚需进一步研究。

在不同土层,银合欢林的土壤含水量在雨季较高,而在旱季含水量较低。降雨分配与土壤蒸发过程明显地影响土壤水分的年内变化^[25],干热河谷地区降雨量旱季和雨季差异明显,降雨多集中于雨季6~10月份。由于土壤水分消耗期一般出现在旱季、雨季交替期,此时期一方面气温回升导致土壤蒸发加快,树木叶片开始生长且叶面积迅速扩大,蒸腾速率上升导致蒸腾量增加,由于基本无降水或很少,该时期蒸散消耗大于补给,土壤水分逐渐减少,处于无补给的消耗状态。土壤水分补充时期一般在雨季,此时期林木生长量达最旺盛的阶段,土壤蒸发和林木蒸腾都很强烈,但降水量大,降雨时渗入土壤的水分大于林地蒸散消耗,渗入土壤中的水分依靠重力势和基质势向深层运动^[25],储存于土壤中,导致土壤含水量升高,在雨季中期(8月)出现一年中土壤含水量的峰值。土壤水分消退期一般在雨季旱季交替期,这期间仍有一部分降水,但是雨量较少,而林木仍有较旺盛的蒸腾和生长,加之秋季天气以晴朗为主,林地蒸发比较强,所以渗入土壤中的水分往往不能弥补林地水分消耗,使土壤含水量不断减少。因此,符合本研究中银合欢林土壤含水量和当地降雨量分配具有极显著的相关性($P < 0.01$)的结论。

雨季时期(6~10月)0~40 cm土层的银合欢林的土壤水分含量大于光板地的,说明在干热河谷区域用银合欢进行生态恢复,在土壤水分的保持方面有着积极的作用,尤其是雨季阶段,银合欢人工林的林下植被盖度高,可以有效地涵养水源和减少表层土壤水分蒸发。在40~80 cm,蒸腾作用的影响减弱,银合欢林为了生长持续吸收土壤水分,而光板地根系作用极弱或几乎不存在,其较粗的土壤质地使得降雨迅速下渗到深层土壤,造成对照样地水分含量高于银合欢林。在80~100 cm层,银合欢林土壤含水量略大于光板地,推测与根系分布造成的土壤紧实程度有关,雨水易于下渗到深层土壤。旱季时期(1~5月、11~12月),降雨量少,而银合欢人工林的生长需要强烈地吸收土壤中的水分^[36],造成土壤水分的进一步减少,使其土壤含水量在0~80 cm处低于光板地。

参考文献:

- [1] 何其华,何永华,包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J]. 山地学报,2003,21(2):149-156.
- [2] 李玉奎. 种植经济绿肥,促进农业可持续发展[G]. 福建省土壤肥料技术试验示范、推广资料汇编(2001-2003年),2004.
- [3] Simmons M T, Archer S R, Teague W R, et al. Tree (*Prosopis glandulosa*) effects on grass growth: An experimental assessment of above and below-ground interactions in a temperate savanna [J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72(4):314-325.
- [4] 朱喜,何志斌,杜军,等. 间伐对祁连山青海云杉人工林土壤水分的影响[J]. 林业科学研究,2015,28(1):55-60.

- [5] 钟祥浩. 干热河谷区生态系统退化及恢复与重建途径 [J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(3): 376-383.
- [6] 余新晓, 赵玉涛, 张志强, 等. 长江上游亚高山暗针叶林土壤水分入渗特征研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 15-19.
- [7] Fernández-Cálvez J, Barahona E, Mingorance M D. Measurement of infiltration in small field plots by a portable rainfall simulator: Application to trace-element mobility [J]. Water, Air & Soil Pollution, 2008, 191(1/4): 257-264.
- [8] Liu S Y, Chen W B. Impacts of ground cover on Laws of temporal and spatial variation of soil moisture [J]. Original Article, 2009, 4(3): 271-275.
- [9] 霍小鹏, 李贤伟, 张健, 等. 川西亚高山暗针叶林土壤渗透性能研究 [J]. 水土保持研究, 2009, 3(16): 192-195.
- [10] Shein E V. Soil hydrology: stages of development, current state, and nearest prospects [J]. Soil Physics, 2010, 40(2): 158-167.
- [11] 张毓涛, 郭树芳, 张新平, 等. 克拉玛依人工林生物量与土壤理化性质 [J]. 干旱区研究, 2015, 32(2): 402-409.
- [12] 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.
- [13] 姚卫红, 胡静霞, 杨新兵. 冀北山地华北落叶松混交林土壤水分物理性质研究 [J]. 防护林科技, 2016(8): 1-3, 11.
- [14] 陈丽琼. 比重计法测定土壤颗粒组成的研究 [J]. 环境科学导刊, 2010, 29(4): 97-99.
- [15] 方海东, 魏雅丽, 刘刚才, 等. 金沙江干热河谷银合欢人工林对土壤养分的影响 [J]. 干旱区研究, 2011, 28(2): 229-234.
- [16] 华孟, 王坚. 土壤物理学 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 34-102.
- [17] 张芝, 史宇, 余新晓, 等. 北京山区典型森林生态系统土壤水文特征研究 [J]. 水土保持通报, 2012, 32(3): 62-67.
- [18] 方海东, 潘志贤, 岳学文, 等. 元谋干热河谷新银合欢林对降水截流的效应 [J]. 热带生物学报, 2014, 5(2): 147-152.
- [19] 王震洪, 段昌群, 梁国江, 等. 牟定城区面山三种人工林群落比较水文生态学研究 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2001, 23(2): 153-158.
- [20] 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.
- [21] 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(5): 691-697.
- [22] 王同顺, 郭建英, 孙保平, 等. 农牧交错区退耕还林地土壤恢复特征的研究——以内蒙古卓资县为例 [J]. 水土保持研究, 2009, 16(6): 134-138, 142.
- [23] 陈建宇. 杉木林下植被生物量与土壤容重关系的研究 [J]. 福建林业科技, 2000, 27(4): 56-60.
- [24] 叶仲节, 柴锡周. 浙江林业 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1980.
- [25] 包志刚, 陈晓燕, 田有亮, 等. 大青山区不同植被下的土壤水分动态 [J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2009(1): 124-126.
- [26] 张源沛, 郑国保, 周丽娜, 等. 荒漠化草原不同机械组成土壤水分运移规律研究 [J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 131-133, 140.
- [27] 赵艳丽, 郭春秀, 李发明, 等. 荒漠-绿洲过渡带不同生境芦苇草地群落土壤含水率与机械组成特征研究 [J]. 草原与草坪, 2014, 34(1): 64-73.
- [28] Grason R B, Western A W, Chiewf H S. Preferred states in spatial soil moisture patterns: local and non-local controls [J]. Water resources research, 1997, 33: 3897-2908.
- [29] Gupta S C, Larson W E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content, and bulk density [J]. Water Resources Research, 1979, 15: 1633-1635.
- [30] 刘效东, 乔玉娜, 周国逸. 土壤有机质对土壤水分保持及其有效性的控制作用 [J]. 植物生态学报, 2011(12): 1209-1218.
- [31] 张忠华, 胡刚. 南亚热带次生林土壤 pH 值与含水量的空间异质性 [J]. 生态科学, 2014, 33(1): 148-153.
- [32] 单秀枝, 魏由庆, 严慧峻, 等. 土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响 [J]. 土壤学报, 1998(1): 1-9.
- [33] 董智军, 赵英. 黑土有机质含量与土壤水分蒸发关系的研究 [J]. 农业系统与综合研究, 2000, 16(2): 145-148.
- [34] 唐炎林, 邓晓保, 李玉武, 等. 西双版纳不同林分土壤机械组成及其肥力比较 [J]. 中南林业科技大学学报(自然科学版), 2007, 27(1): 70-75.
- [35] 安国英, 牛三义, 陈玉娥. 土壤有机质全氮与机械组成之间关系的探讨 [J]. 河北林业科技, 1993(3): 46-48.
- [36] 赵元蛟, 苏文华, 张光飞, 等. 云南元谋干热河谷土壤水分季节动态 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41(8): 3593-3594, 3598.

Soil Moisture of *Leucaena leucocephala* Plantations in the Dry-hot Valley of Jinsha River , Yunnan

WANG Yandan^{1,2} , ZHANG Mengyin^{1,2} , FAN Jiancheng^{1,2} ,
HE Guangxiong^{1,2} , ZHANG Mingzhong^{1,2} , FANG Haidong^{1,2}

(1. Institute of Tropical Eco-agriculture , Yunnan Academy of Agricultural Sciences , Yuanmou , Yunnan 651399 ;

2. Yuanmou Dry-hot Valley Botanical Garden Yuanmou , Yunnan 651399 , China)

Abstract : Soil moisture is known to have a major impact on the physiological activities of plants , and is the main water source for plants. The soil moisture content of *Leucaena leucocephala* plantations or artificial forests in the dry-hot valley of Jinsha River was observed to analyze its temporal and spatial dynamic changes and influencing factors in the plantations. The results showed that the soil moisture content of *L. leucocephala* plantations was higher during the wet season and lower during the dry season. The soil moisture was increased with the soil depth , and its change was greater in the upper layer of the soil than in the lower layer of the soil. The annual changes of the soil moisture content increased with the rainfall , but there existed a hysteresis effect between the soil moisture content and the rainfall. *L. leucocephala* plantations effectively reduced the transpiration of moisture in the 0-40 cm soil layer during the wet season and hence had a good water conservation function. The *L. leucocephala* plantations gave great impact to the physical and chemical properties of the soil by reducing soil bulk density and increasing soil porosity and soil organic matter content , which produced positive effect on the capability of water holding and conservation. The soil sand content of *L. leucocephala* plantations was significantly positively correlated with the soil moisture content ($P < 0.05$) , but significantly negatively with the silt content and the clay content ($P < 0.05$). Therefore , rational development of *L. leucocephala* plantations in the dry-hot Valley of Jinsha River can effectively improve the physical and chemical properties of the soil , and the water retention and conservation of the soil , and hence have an ecological function of soil and water conservation.

Keywords : Soil moisture ; precipitation ; vertical change ; soil mechanical composition ; soil organic matter

(责任编辑: 叶 静)