

云南元谋干热河谷造林区植被 生长与土壤渗透性的关系

张建辉, 李 勇, 杨 忠

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 通过云南元谋干热河谷造林区林分生物量及生产力指标与双环入渗试验的土壤入渗性能指标的相关分析, 发现乔木生长与土壤渗透性具有显著正相关关系($P < 0.01$), 地表枯枝落叶量与土壤渗透性的相关关系也较密切($P < 0.05$), 而灌木生长与土壤渗透性无显著相关。研究指出, 改善土壤入渗性能的措施, 如沿等高线开深沟种植、禁止放牧践踏、保护地表枯枝落叶等均对林木生长有积极的影响。

关键词: 林分生产力; 林木生长; 土壤渗透性; 植被恢复

中图分类号: S152.7⁺; S72 **文献标识码:** A

过去几十年, 在云南元谋干热河谷地区, 植树造林、绿化荒山的工作收效甚微。直到最近几年才有一些成功的造林地出现。虽然在这样的地区气候条件是林木生长的一个重要影响因素, 但仅是间接重要的^[1], 并非是林木成活的绝对限制。而土壤水分条件, 特别是土壤水分吸收性能是林木生长土壤环境的重要方面。已有研究证明, 这个地区植被恢复的主要限制因素是土壤水分缺乏^[2]。

为适应该地区的干热条件, 抗旱性强的速生树种按树被选作主要的乔木类型。但这类树木在该地区的生长相对于水分条件较好的地区如四川盆地及南方大多数地区有较大差距^[3]。明显地, 元谋干热河谷地区的树木生长在很大程度上受到土壤水分条件的胁迫。德国植物生理学家 Walter 认为在干旱地区土壤水分对树木的供应依土壤质地而定, 与湿润地区相反, 质地粘重的土壤有最干旱的生境条件, 而石质土则有最湿润的树木生境; 沙土则介于二者之间^[1]。但是, 在干旱和半干旱地区, 土壤水分性质怎样影响树木生长尚不完全清楚, 更缺乏定量化关系的研究。为此, 本文通过对元谋干热河谷地区土壤渗透性与树木生长关系的研究, 认识半干旱区土壤水分性质在植被恢复中的作用。

1 研究区和研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于云南省元谋县($25^{\circ}25'N \sim 26^{\circ}07'N$ 和 $101^{\circ}E \sim 102^{\circ}25'E$), 系金沙江干热河谷。海拔 950 m ~ 1 350 m, 年均温 $22^{\circ}C$, 年均降雨量 611 mm, 其中 86 % 发生在 6 ~ 10 月。年均蒸发量 3 911 mm, 为年均降雨量的 6 倍, 因此, 本地区终年缺水, 严重影响植物成活与生长。

研究区土壤均为燥红土, 发育于泥岩、冲洪积物、片岩及砾岩等不同类型母质。植被类型为乔灌木混合, 其中乔木为人工种植的桉树, 灌木以车桑子、余甘子为主, 主要草本为自然生长的扭黄茅。乔灌木已有 6 a ~ 8 a 的生长历史, 而草本每年旱季经历枯萎或放牧后于雨季来临时再生。

1.2 研究方法

土壤入渗速率测定采用实地双环入渗试验法。入渗仪外环直径 50.5 cm, 内环直径 35.5 cm, 内、外环高均为 30 cm。入渗试验位置均在植物样方内并紧邻标准木。

植物样方测定面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$, 观测项目有: 树龄、密度、树高、树胸径、灌木生物量、草本生物量、地面枯枝落叶量等(表 1)。样方内乔木进行每株检尺, 根据样方内树木的平均高度和平均胸径, 选取相同大小的树木一株, 以 0.25 m 间距进行树干解剖并分别测量地上、下部生物量、细根重量及分布情况(表 1)。

表 1 土壤渗透性、林分生物量及生产力指标基本特征

Table 1 Fundamental featrues of soil infiltration, forest biomass and forest productivity

指标类型	范 围	平均值	标准差	样本数
初始入渗速率(mm/min)	1.40~25.00	7.42	6.70	12
稳定入渗速率(mm/min)	0.025~5.95	1.50	1.61	12
30min 累计入渗量(mm)	14.76~284.94	113.90	90.94	12
60min 累计入渗量(mm)	16.74~444.26	171.72	145.32	12
120min 累计入渗量(mm)	18.57~827.91	282.43	257.16	12
树高(m)	3.59~7.82	5.89	1.44	12
树胸径(cm)	2.79~6.11	4.62	1.19	12
树地上部生物量 A(t/hm ²)	6.58~49.86	25.54	15.72	12
树地上部生物量 B(t/hm ²)	2.03~19.57	8.43	5.12	12
A/B	1.52~3.77	3.02	0.72	12
树细根生物量/B	0.08~0.26	0.14	0.05	12
灌木生物量(t/hm ²)	0~3.01	0.85	1.11	12
草本生物量(t/hm ²)	0.10~2.06	0.84	0.53	12
枯枝落叶量(t/hm ²)	0.04~0.71	0.29	0.21	12
全林生物量(t/hm ²)	10.47~70.08	35.96	21.02	12
树高增长率(m/a)	0.32~1.21	0.79	0.26	12
树胸高总断面积(m ² /hm ²)	2.25~12.87	7.21	3.39	12
全林净生产量(t/hm ² ·a ⁻¹)	1.17~8.44	4.26	2.42	12

2 结果与分析

2.1 林木生长状态与土壤渗透性

总体上,土壤渗透性与树高、胸径、胸高断面积等树木生长状态指标均呈显著相关($P<0.05$)(表2)。从相关系数大小来看,各项土壤渗透性指标中稳定入渗速率与树木生长状态三指标的关系最密切,土壤稳定入渗速率对这三项林木生长指标的影响表现为胸高断面积(相关系数 $r=0.7354$, $P<0.01$)>树高($r=0.7534$, $P<0.01$)>胸径($r=0.6734$, $P<0.05$)。初始入渗速率与三项指标的相关性均弱于其它渗透性指标,说明土壤吸收水分容量更多地取决于较长时间尺度入渗速率或稳定入渗速率。不同时段的累计入渗量与树木生长状态指标的极显著或显著相关性(表2)进一步说明这一关系。这反映了造林地土壤结构的不稳定性和差异性。

表2 树木生长状态指标与土壤入渗速率和累计入渗量的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between the status indices of tree growth and soil infiltration rates/accumulated infiltration amounts

入渗指标 (mm/min; mm)	树高 (m)	树胸径 (cm)	树胸高断面积 (m ² /hm ²)
初始入渗速率	0.6122 ²⁾	0.5071 ¹⁾	0.4353
稳定入渗速率	0.7354 ³⁾	0.6734 ²⁾	0.7593 ³⁾
30min 累计入渗量	0.7218 ³⁾	0.6299 ²⁾	0.6389 ³⁾
60min 累计入渗量	0.7324 ³⁾	0.6452 ²⁾	0.6934 ²⁾
120min 累计入渗量	0.7310 ³⁾	0.6492 ²⁾	0.7331 ³⁾
平均值	0.7066 ²⁾	0.6210 ²⁾	0.6520 ²⁾

1) $P<0.1$; 2) $P<0.05$; 3) $P<0.01$;

2.2 林分生物量与土壤渗透性

表3指出,地表枯枝落叶量与土壤入渗速率和累计入渗量呈显著($P<0.05$)或在 $P<0.1$ 水平上相关,说明枯枝落叶量与土壤入渗性能的关系较为密切。但全林生物量与土壤入渗速率和累计入渗量的相关性尚未达到显著水平。对树木来说,地上部生物量与土壤稳定入渗速率和较长时间尺度(120 min)的累计入渗量呈显著相关。相对地,树木地下部生物量与土壤渗透性的相关性较地上部弱,这反映了本区林木地上部生长对土壤水分条件的反应较为灵敏。树木地上部与地下部生物量之比与渗透性的相关虽未达到显著水平,但其相关系数绝对值相对较大(平均相关系数为0.4025),说明在有限的水分供给下,树木为适应环境条件,其根系不得不发展。水分愈少,树木地下部根系占树木生物量的比重愈大。表3也表明草本生物量与土壤渗透性无相关性,说明该区土壤水分条件并不构成草本生长的限制,这与实地观察结果完全相符。同时也说明了全林生物量与土壤渗透性相关不显著的原因。

2.3 林分生产力与土壤渗透性

林分生产力是客观地反映植物的实际增长状况和特征的指标。从反映树木生长情况的两项指标(表4)看,土壤入渗速率与胸径增长速率未表现显著相关关系,而与树高增长速率有相关性($P<0.1$),尤其是30 min累计入渗量与树高增长速率相关达到显著水平($P<0.05$)。说明在干热环境条件下,造林地树木生长初期,土壤吸收水分的增加对于

树高增长, 较胸径增长明显。全林净生产量与不同时段的累计入渗量、土壤稳定入渗速率的相关性也达到显著水平($P<0.05$)。且在考查的三项指标中

相关性最大。同时, 表4也指出, 初始入渗速率与此三项指标并无显著相关性。

表3 林分生物量与土壤入渗速率和累计入渗量的相关系数
Table 3 Correlation coefficients between forest biomass and soil infiltration rates/accumulated infiltration amounts

入渗指标 (mm/min)	乔 木					灌 木 生物量 (t/hm ²)	草 本 生物量 (t/hm ²)	枯 枝 落叶量 (t/hm ²)	全 林 生物量 (t/hm ²)
	地上部 生物量 A (t/hm ²)	地下部 生物量 B (t/hm ²)	总生物量 (t/hm ²)	A/B	细根生 物量/B				
初始入渗速率	0.4387	0.2877	0.4065	0.3087	0.2226	0.1901	-0.1786	0.6027**	0.4097
稳定入渗速率	0.5384*	0.3303	0.5089**	0.4084	-0.2062	0.2591	0.0881	0.5662**	0.4931
30min 累计入渗量	0.4547	0.2548	0.4106	0.4210	-0.0778	0.2102	0.1521	0.6535**	0.4236
60min 累计入渗量	0.4852	0.2749	0.4389	0.4428	-0.1407	0.1970	0.1369	0.6102**	0.4499
120min 累计入渗量	0.5102*	0.3001	0.4643	0.4314	-0.1870	0.2020	0.1065	0.5530*	0.4737
平 均 值	0.4854	0.2896	0.4458	0.4025	-0.0780	0.2117	0.0610	0.5971**	0.4500

* $P<0.1$; ** $P<0.05$

表4 林分生产力与土壤入渗速率和累计入渗量的相关系数
Table 4 Correlation coefficients between forest productivity and soil infiltration rates/accumulated infiltration amounts

入渗指标 (mm/min; mm)	树高增长率 (m/a)	树胸径增长率 (cm)	全林净生产量 (t/hm ²)
初始入渗速率	0.3708	0.2540	0.4587
稳定入渗速率	0.5344 ¹⁾	0.4334	0.6463 ²⁾
30min 累计入渗量	0.5976 ²⁾	0.4555	0.5903 ²⁾
60min 累计入渗量	0.5716 ¹⁾	0.4412	0.6030 ²⁾
120min 累计入渗量	0.5303 ¹⁾	0.4139	0.6077 ²⁾
平 均 值	0.5209 ¹⁾	0.3996	0.5812 ²⁾

1) $P<0.1$; 2) $P<0.05$

3 讨 论

3.1 影响地土壤渗透性的因素

林地土壤渗透性受诸多土壤性质的制约, 其中土壤紧实度是最重要的因素之一^[4]。就本区而言, 它受土壤母质/母岩性质、种植时整地、生长期间放牧、人为践踏等的深刻影响。土壤母质的不同导致土壤质地、结构发育的差异, 自然产生土壤渗透性的变化。但是, 土壤母质的特性相对地不易受环境的变化而改变。种植时在坡地平行于等高线开沟, 疏松的土壤回填, 这一过程极大地改善了土壤紧实状况, 有利于提高土壤渗透性。已有研究表明放牧导致土壤容重剧烈增大, 严重降低土壤渗透性^[5]。前文分析指出, 地表枯枝落叶与土壤入渗速率有显著相关性, 这两者之间互为因果关系。换言之, 良好的渗透性利于植物生长, 故生物量大, 枯枝落叶也相应增多; 反之, 地表枯枝落叶丰富也利于保护土壤, 增加有机质含量, 促进土壤结构发育, 同时阻滞地表径

流, 两种作用均促进土壤渗透性改善。因此, 为获取燃料在幼林地林下收集枯枝落叶的行为应被禁止。

3.2 灌草的耐旱性

从前文分析可见, 林地灌、草的生长(生物量)与土壤渗透性无相关性, 特别是草本生物量与土壤入渗速率的相关系数相对更小(表3), 这反映了在该地区草灌生长对水分在量上的要求并不太高, 只要地表有一定的水分条件便能满足生长需求, 这与草、灌特别是该区草种扭黄茅的较强耐旱性有关。在元谋干热河谷区, 只要无放牧和人为践踏, 以扭黄茅为主的本地草本总是生长茂密, 地表覆盖度 $>95\%$ 。由此可见, 前文的分析结果与实际是吻合的。因此, 在绿化造林工程实施中, 我们可以利用这一特点, 在造林区先种灌、草, 利用其根系强化土壤入渗的特点^[9], 增大土壤水贮量, 或实行封闭管理, 在自然条件下让草灌迅速生长覆盖地面, 再行植树^[7, 8]。这一方法, 在其它地区如岷江干旱河谷等已有应用, 取得了满意的效果。

4 结 语

在干热环境中, 植物的生长与许多土壤理化、生物学等性质有关。但是在诸多影响因素中, 至关重要的是土壤水分物理性质。其中, 土壤渗透性则是决定土壤吸收外界供水(该区为降雨)的能力, 渗透性的好坏直接奠定土体对植物可供水的容量基础。对于云南元谋干热河谷区, 在气候因素对土壤水供应构成限制的情况下, 土壤渗透性是支持植物成活和生长的土壤水分性质中最关键的因素。对于农耕

地, 由于每季种植前的耕作整地, 土壤表层总是处于较疏松状况, 相对于其它土壤水分性质因素(如土壤持水能力、有效水含量、与土层厚层有关的土壤贮水量等), 土壤渗透性并不是问题的主要方面。但是, 对林地来说, 地表不仅得不到耕作疏松, 反而由于人为活动(如放牧、砍柴等)产生压实作用, 因而土壤渗透性成为诸多土壤水分性质因素中的主要矛盾。虽然土体厚度、土壤结构等与土壤贮水能力有密切关系, 但是植物的水分供应来源并不仅仅局限于土壤层。这是由于乔木的深根系, 特别是旱季受水胁迫的情况下, 根系发育更深, 树根可以利用土壤母质甚至岩石裂隙中的水分。因此, 在雨季土壤渗透性愈强, 土体/母质/岩石吸收水分愈多, 其深层也贮水愈多。当旱季来临, 特别是3~5月份缺水严重时, 土体/母质/岩石深层供水对植物生长的重要作用便显现出来。

参考文献:

- [1] H. 沃尔特(中国科学院植物研究所生态室译). 世界植被[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 107~120.
- [2] 张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 116.
- [3] 李春阳, Kari Tuomela. 按树的抗旱性研究进展[J]. 世界林业研究, 1998(3): 22~26.
- [4] 李勇, 徐晓琴, 朱显漠. 等. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J]. 科学通报. 1992, 37(4): 366~369.
- [5] 张建辉, 李勇, 杨忠, 等. 云南元谋干热河谷区放牧对人工幼林地土壤水分性质的影响[J]. 水土保持学报. 2000. 14(2): 41.
- [6] 李勇, 徐晓琴, 朱显漠. 等. 草类根系对土壤抗冲性的强化效应[J]. 土壤学报. 1992, 29(3): 303~309.
- [7] 张建辉. 川江流域防护林区林地的保护性利用[J]. 山地学报(原《山地研究》). 1993. 11(4): 257~260.
- [8] 杨忠, 张信宝, 王道杰, 等. 金沙江干热河谷植被恢复技术[J]. 山地学报(原《山地研究》). 1999, 17(2): 152~156.

Relationship of Vegetation Growth to Soil Infiltration in The Yuanmou Dry-hot Valley, Yunnan Province

ZHANG Jian-hui, LI Yong and YANG Zhong

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041 PRC)

Abstract: The effects of soil infiltration on vegetation growth were examined in the Yuanmou Dry-hot Valley, Yunnan Province to increase our knowledge of how the plants in semiarid areas respond to soil water properties. The vegetation of the study area was a mixture of planted trees (*Eucalyptus camaldulensis* Dehl), planted shrubs (major species: *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq), natural grasses (major species: *Heteropogon contortus*). The soils were dry red soil derived from such parent materials as mudstone, alluvial deposits, schist, and gravel deposits. For each soil, 3 sample plots of 20 m × 20 m were taken for measuring tree height, diameter at breast height (DBH), tree biomass, shrub biomass, grass biomass, amount of litter and root debris, and the like. Infiltration rates were determined in the field by double-ring permeameter. The results showed that tree growth was related closely to soil infiltration. There was a highly significant correlation between tree height and steady infiltration rate of soil ($P < 0.01$). A significant correlation was also found between tree DBH and steady infiltration rate of soil ($P < 0.05$). Furthermore, the amount of litter and root debris on ground surface was correlated closely to soil accumulated infiltration ($P < 0.05$). However, no correlation was found between shrub/grass growth and soil infiltration rate or accumulated infiltration. It was recommended that some effective measures for improving soil infiltration, including excavating deep ditches when planting seedlings, banning livestock grazing, and protecting the litter and root debris on ground surface be taken to promote plant growth.

Key words: forest productivity; tree growth; soil infiltration; vegetation rehabilitation