

黄土丘陵区刺槐生长及林地土壤水分动态规律研究

吴照柏¹, 杨新民^{1,2}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 通过分析长历时黄土丘陵区人工刺槐林的单木生长和土壤水分动态变化, 研究了黄土丘陵区刺槐生长和林地土壤水分动态规律。结果表明: 在黄土丘陵区人工刺槐总体上可分为三个阶段, 其生长量具有慢—快—慢的生长节律, 而在其生长的第三阶段又有生长量的小幅波动回升。而随着刺槐生长状况的变化, 刺槐林深层(5~8 m) 土壤水分含量也出现相应的上下波动, 表明刺槐生长状况由刺槐林下的土壤水分状况所决定。此外还探讨了黄土丘陵区人工林土壤水分低湿层恢复的可能性。

关键词: 黄土丘陵区; 人工刺槐林; 土壤水分演变

中图分类号: S 152. 7; S792. 27 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 04-0117-04

Artificial *Robinia pseudoacacia* Growth and Soil
Moisture Variation in Loessial Hilly-Gully Region

WU Zhao-bai¹, YANG Xin-min^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources;
2. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: According to the long-term observation data of artificial *Robinia pseudoacacia* growth and soil moisture in hilly-gully region of the Loess Plateau, the variation processes of artificial *Robinia pseudoacacia* growth and soil moisture were studied. The results showed that growth process of *Robinia pseudoacacia* was divided into three stages, the growth rate of artificial *Robinia pseudoacacia* had the characteristic of “slow-fast-slow”. In the third growth stage, the growth rate fluctuated. As artificial *Robinia pseudoacacia* grew, soil water content of the deep soil layer (5~8 m) of artificial *Robinia pseudoacacia* also fluctuated, indicating that artificial *Robinia pseudoacacia* growth was dominated by soil moisture. In addition restoration possibility of soil moisture of deep soil profile was also analyzed.

Key words: loessial hilly-gully region; artificial *Robinia pseudoacacia*; soil moisture

水是制约黄土高原植被恢复的关键因素, 大气降水、土壤水是该区植被用水的基本来源和直接来源^[1]。黄土高原的土壤特性及其气候和植被的过渡带特征使人们更加重视其在植被恢复、营造后所产生水文生态效应。人工林因具有较高的生产力与较好的防护效果, 在黄土高原植被建设及水土保持工作中一直倍受重视。但随着人工林的生长发育, 林下土壤易产生土壤水分的过耗, 并导致土壤水分低湿层, 即土壤“干层”的出现, 这在黄土丘陵区已为众多研究所证实^[1,2~6]。这种土壤水分低湿层产生后究竟会如何演变? 囿于资料积累的缺陷, 这方面的研究较少, 且有不同的观点^[4,6]。本文试图通过刺槐林地土壤含水量的长期定位观测数据和后期补测数据及黄土丘陵区人工林生长规律的综合分析来研究作为人工林生态系统重要组成部分之林下土壤水分的演变进程。

1 研究区概况与研究方法

试验区位于杏子河流域属延河一级支流, 地处黄土丘陵沟壑区第二副区, 在气候上为典型大陆性季风气候, 在植被区划上属森林草原区。区内年日照时数为 1 904 h, 年辐射量为 493 kJ/cm², 年平均气温 8. 8℃, 10℃积温为 3 160. 2℃, 区内年平均降水量 549. 1 mm, 降水年变率较大, 枯水年只有 300 mm 左右, 丰水年可达 900 mm 以上, 且降水年内分配不均, 7~9 月降水占全年降水量的 60% 以上, 冬季降水不足全年降水量的 5%, 蒸发力大于 1 463 mm。黄绵土是区内主要土壤类型。土壤剖面颗粒组成均一, 以粉砂粒级为主, 黏粒含量较少, 质地分级属轻壤土, 萎蔫湿度 5. 1%。海拔在 1 100~1 300 m 之间。

在 1974~1975 年造林的刺槐林内设标准小区, 土壤水

① 收稿日期: 2004-07-10

基金项目: 中国科学院知识创新工程“黄土高原水土保持和生态环境建设试验示范研究”, 编号为“KZCX1-06-01-02”资助
作者简介: 吴照柏(1978-), 男, 安徽庐江人, 中科院水利部水土保持研究所硕士研究生, 研究方向为水土保持与植被恢复。

分测定自 1980~1989 年每月采用土钻法测定,测深 2 m; 1985 年以后每年生长季初与生长季末分别加测 5 m 土层土壤湿度; 1989 年后不定期测定,测深 8~10 m,每次 2 个重复。生长分析为在小区内伐取标准木 6 株,进行树干解析。

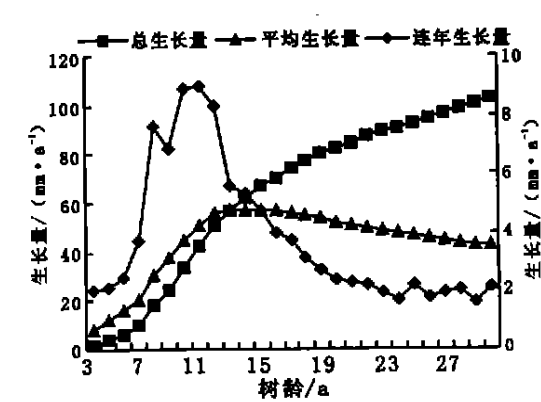
2 结果与分析

2.1 刺槐单木生长进程

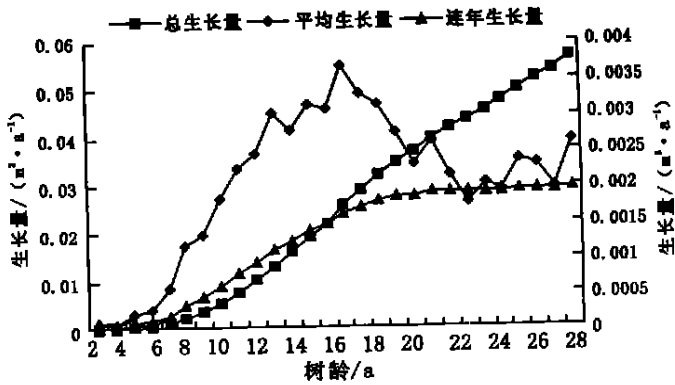
根据现代人工林营林理论^[7],森林的整个生长发育过程,大体分为三个阶段。(1)个体的生长阶段。(2)开始郁闭的阶段。(3)自然稀疏的阶段。随着郁闭度的逐渐加大,同种个

体间竞争日益激化,各个体之间出现大小,优劣明显的差别,被压制的劣势木逐渐枯死,于是产生自然稀疏过程,这说明林分已发展到最大密度。根据培育目的,在这个阶段内要进行多次疏伐,以调整林分保持最适宜密度。

刺槐单木的生长进程已经有过很多研究,如彭鸿等^[8]对渭北高原刺槐生长过程的研究,杨红旗等^[9]对矿区刺槐生长过程的研究等。这些研究都说明刺槐的单木生长遵循 S 型曲线规律。且认为刺槐林在无人为干扰情况下,林分内单木的生长(胸径、树高、材积等)存在一个激烈分化期。



(a)刺槐单木胸径生长进程



(b)刺槐单木材积生长进程

图 1 刺槐单木生长进程

图 1(a) 说明,刺槐胸径在 5 龄时就有较大的生长量到 9 龄时获得最大连年生长量,其后生长速度微有下降,但仍在一个较高的水平上,这种速生状在 11 龄后,生长速度开始直线下降,预示着林分内部剧烈竞争的开始。而竞争的结果是使这种生长的下降趋势持续到 24 龄时达到其生长速度的最低点。此期间由于部分劣势木被分化淘汰而退出竞争,竞争强度减小,此后刺槐胸径生长速度基本处于同一水平而有所波动。说明刺槐林分在经过长达 12 年的竞争、分化之后终于在一个新水平上重新获得了平衡。刺槐单木的材积生长也有相似的趋势,如图 1(b) 所示,其于 1989 年,刺槐 16 龄时生长速度达到最高点。此后由于竞争的作用,材积生长速度逐年下降,直至 1996 年以后,其材积生长又有小幅波动。

2.2 刺槐生长模型研究

为了研究刺槐生长模型,结合刺槐的生长规律及前人的研究成果^[8~10],初步选定以下几种模型作为刺槐单株生长模型进行研究。表 1 表明,几种模型的拟合效果都较好,都达到了 F 检验极显著水平。在对材积的生长拟合中,三次方程决定系数值及 F 也较高,但从图形上看其前期的预测值为负不能满足要求故舍去。总体上看用理查德方程模拟刺槐生长最为适合,其胸径及材积生长模型决定系数及 F 值分别都是所有模型中最高的,且通过 $F_{0.01}(3, 24)$ 的极显著测验。对曲线 $Y_5=101.503(1-e^{-0.1709x})^{4.572}$ 求其拐点,得 $X=8.89$,即当树龄为 8 龄或 9 龄时,刺槐胸径连年生长量达到最高,而此后生长开始下降;同样对 $Y_{11}=0.0690(1-e^{-0.1119x})^{5.4862}$ 求其拐点知当树龄为 15 龄左右时刺槐材积连年生长量达到最大,与实测值十分吻合。速生区间是使 $d^3Y_5/dt^3=0$ 的两个点,经解得, $t_1=3.88, t_2=13.91$ 。即当刺槐在 4 年后即进入胸径速生期,而当 14 年时速生期结束。同样可求得材积生长的速生期在 4.83~15.08,即 5—15 龄之间。材积生长曲线 $Y_{11}=0.0690(1-e^{-0.1119x})^{5.4862}$,则材积连年生长量为 $Y_{11}=dY_{11}/dt$,而材积的平均生长量为 $Q=Y/t$,令 $Q=Y_{11}$ 则可解出 $t=24.954$,即当树龄为 25 龄时刺槐达数量成熟龄。可以看出从模型分析出的结果与实测情况十分吻合。

表 1 刺槐生长模型

	方法	R^2	df	F 值	模型
胸径	对数式	0.937	26	388.5	$Y_1=25.594\ln t$
	二次式	0.988	25	995.55	$Y_2=4.755t-0.036t^2$
	三次式	0.995	24	1560.71	$Y_3=1.551t+0.325t^2-0.009t^3$
	单分子式	0.940	25	970.14	$Y_4=286.866(1-e^{-0.0164x})$
	理查德式	0.997	24	11178.2	$Y_5=101.503(1-e^{-0.1709x})^{4.572}$
	逻辑斯蒂	0.986	24	2706.89	$Y_6=95.554/(1+31.5551e^{-0.3037x})$
材积	对数式	0.823	26	125.36	$Y_7=0.0108\ln t$
	二次式	0.990	25	1249.80	$Y_8=-5.3E-0.0006-0.05t^2$
	三次式	0.999	24	10458.3	$Y_9=-5E-0.001t+0.0002t^2-0.06t^3$
	单分子式	0.898	25	321.73	$Y_{10}=370.9834(1-e^{-4.7639x})$
	理查德式	0.999	24	30395.76	$Y_{11}=0.0690(1-e^{-0.1119x})^{5.4862}$
	逻辑斯蒂	0.994	24	3717.2	$Y_{12}=0.05620/(1+72.7757e^{-0.2511x})$

2.3 林地土壤水分演变规律

林地土壤水分变化规律,一直是黄土高原植被恢复研究中的一个热点。杨新民,余新晓等研究了黄土高原人工林地土壤水分的年内变化规律,认为在黄土高原林下土壤水分的

年内变化明显, 且可明显分为四个时期。而王孟本、程积民等研究了该区林地土壤水分变化的年际间变化, 认为在黄土高原林地土壤水分主要由生长季及上年降水量决定。但林下土壤水分随树木生长的演变规律尚少见于报道。

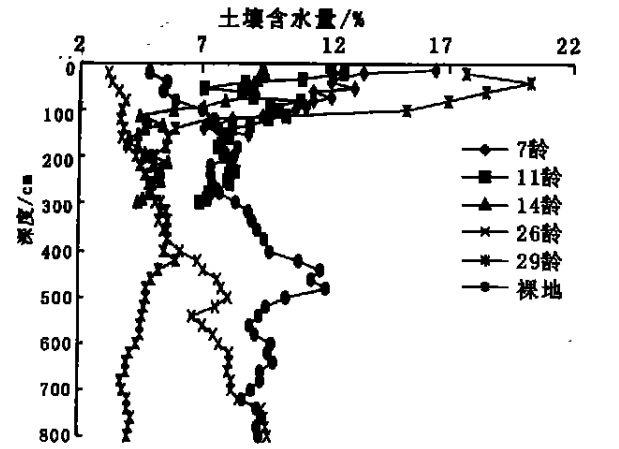


图 2 刺槐林生长不同年限土壤水分剖面变化

由图 2 可以看出刺槐林地表层 1 m 以内土壤湿度受环境因素影响极大, 干湿变化剧烈, 因此本文不作具体分析。而 1~2 m 深土层土壤湿度从小到大依次为 26 龄、14 龄、29 龄、7 龄、11 龄及裸地的土壤水分值相差不大。在 2~3 m 土层中 14 龄时的土壤湿度最低, 26 龄及 29 龄的土壤湿度值基本相似, 比前者略好, 而 11 龄及裸地的土壤水分状况最好, 其平均值分别为 7.88%, 7.66%。这说明在刺槐林对 2~3 m 土层土壤水分的大量利用是在 11 龄之后, 14 龄之前的一段时间内开始的, 但刺槐林减小径流增加入渗的作用则在 11 龄之前就有所表现。若以 11 龄时的土壤含水量值为基数, 则人工刺槐林在这 3 年时间内消耗 2~3 m 土层中储水达 46.25 mm 之多。而在 14 龄之后其 2~3 m 土层的含水量已无多大变化, 且与试验地的土壤萎蔫湿度值较为吻合, 说明刺槐林在 14 龄时对这一层次的土壤水分利用已达最大程度, 即该层土壤含水量已无法再为植物利用。3~4 m 土层的土壤含水量随林龄变化情况与上一层次基本相似。不同的是这一层次中 11 龄时的土壤含水量也低于裸地土壤含水量。说明 11 龄时刺槐的根系已开始部分利用这一土层中的土壤储水。4~5 m 土层中 14 龄与 29 龄土壤含水量仍然接近且为最低。而 26 龄平均土壤含水量已达 7.50%, 比 14 龄与 29 龄时的土壤储水量分别高出 36.55 mm, 31.50 mm。且 26 龄和 14 龄时的土壤含水量曲线在 4.5 m 时相交, 因为 26 龄时的刺槐林刚从前阶段的衰退生长中恢复过来, 重又加剧了对土壤水分的利用。5 m 以下土层中 29 龄时土壤含水是最低, 而后是 26 龄, 及裸地。26 龄时的土壤含水量曲线与裸地土壤含水量曲线在 7.3 m 处相交, 说明 26 龄时刺槐林地的 7.3 m 以下土壤水分已基本恢复到未造林前的水平。

从 2~5 m 土层总体来看, 刺槐林在 14 龄时土壤储水量最低, 与裸地相比亏缺达 183.51 mm, 与 11 龄时相比亏缺达 120.18 mm, 而此时正值刺槐速生期的末期, 随后刺槐生长即出现衰退。而当刺槐林地在经过其林分长时间的生长衰退后, 其土壤储水量可以认为有了一定程度的恢复, 虽然这种

恢复的机理现仍难以解释。与 14 龄时的土壤储水量相比, 26 龄时该土层储水量增加了 45.73 mm。而在经过几年的恢复生长及由此产生的土壤水分的再次的大量消耗之后, 29 龄时 2~5 m 土层土壤储水量又跌落至 207.53 mm, 较 26 龄时其土壤储水量低 30.57 mm。裸地、26 龄、29 龄时 5~8 m 土层土壤储水量分别为 373.36 mm, 330.11 mm, 166.62 mm。可以认为在刺槐林经过数年的恢复生长以后, 又加强了对深层土壤储水的利用。

表 2 刺槐林地 2~5 m 土层土壤含水量变化

	裸地	11 龄	14 龄	26 龄	29 龄
裸地	0				
11 龄	63.33	0			
14 龄	183.51	120.18	0		
26 龄	137.78	74.45	- 45.73	0	
29 龄	168.35	105.02	- 15.16	30.57	0

备注: 表格中数据为其所在列 2~5 m 土壤储水量与其所在行 2~5 m 土壤储水量差值。

2.3 刺槐生长与土壤水分的相互关系

在陕北黄土丘陵区, 人工刺槐林在生长中后期不受人为干扰的情下, 会出现慢—快—慢的生长节律。这是由生物内在生长节律与其外界因子共同起作用的结果。在植物生长的最初阶段, 人工造林情况下, 基本无种间竞争, 而种内竞争尚未开始, 所以其生长速度主要由其本身的生理特性决定。在经过一定时间生长之后, 个体增大, 而环境容量有限, 此时竞争产生, 此后植物的生长主要由土壤含水量决定。由于个体特性及微立地条件的差异, 在竞争后期, 部分个体发生衰亡退出竞争, 土壤水分条件趋向好转, 树木生长又出现了小幅度的上升, 但由于前期对土壤水分的过耗仍然没有完全恢复, 因此, 此时树木的生长仍在较大程度上依赖于气候条件。刺槐林下的土壤水分条件很大程度上又依赖于林分的生长状况。在刺槐生长初期, 耗水量不大, 其林下土壤含水量与裸地土壤含水量区别不大。而当刺槐生长进入盛期, 耗水量加大, 并开始大量利用土壤深层贮水, 在其速生期末, 几乎已使 2~5 m 土层土壤含水量达到凋萎湿度。而后由于刺槐的生长开始衰退, 在经过长达 8 年的低生长后, 刺槐林下深层土壤湿度能略微有所提高。而这种提高又为刺槐林的恢复生长提供了基础。随着刺槐生长的恢复, 林下整层土壤湿度又开始下降, 最终形成一种动态平衡。也就是说, 在年降雨量为 550 mm 黄土丘陵区人工林营造后在其生长的中期会产生一定的土壤低湿层, 但是根据人工林自身的发展进程, 这一低湿层在后期会得到一定程度的缓解, 并能达到一种动态平衡, 为后续演替提供基础。

3 结 论

黄土丘陵区人工刺槐林呈现慢—快—慢的生长节律, 但由于林地土壤水分供给等原因, 刺槐生长在后期会出现较大的波动。理查德模型适于用来模拟该区刺槐单木胸径及材积生长过程。黄土丘陵区刺槐的胸径及材积生长通过速生期都较早, 分别在 15 a 生及 23 a 生左右, 并在 25 a 生时即可达到数量成熟, 表明刺槐具有早期生长优势, 能较快的发挥其生

态防护效益,但其累积生长量上限值较低,故刺槐在黄土丘陵区宜作为生态防护林或农用小径材用材林培育。

刺槐林地土壤水分状况与刺槐的生长状况互为因果。在刺槐生长量较低的前期,生长量较低,林木耗水相对较少,林地土壤水分状况与裸地区别不太明显。在刺槐生长的速生期,由于其耗水量增大,其对林地土壤水分利用的深度与强度都加大,导致林地土壤水分状况逐渐恶化。恶化了的林地土壤水分状况长期制约着刺槐的生长,而刺槐长期较低的生

长量又使林地土壤水分状况得到部分改善,这种改善后的土壤水分状况又有利于刺槐的生长,最终刺槐生长与林地水分状况达到动态平衡,有利于其作为生态防护林而长期存在,并能为其后续演替提供基础条件。同时如果将刺槐林作为农用小径材用材林培育,在其生长中后期应进行人工抚育管理,实行疏伐,调节密度,改善林地土壤水分状况,则林木生长量还有可能获得一定程度提高。

参考文献:

[1] 穆兴民,徐学选,王文龙,等. 黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 210- 216.

[2] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91- 101.

[3] 杨文治, 韩仕峰. 黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1985, 第 2 集: 18- 27.

[4] 杨文治. 黄土高原土壤水资源与植树造林[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 433- 438.

[5] 黄明斌, 杨新民, 李玉山. 黄土高原生物利用型干层的水文生态效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 113- 116.

[6] 田均良, 梁一民, 刘普灵. 黄土高原丘陵区中尺度生态农业建设探索[M]. 郑州: 黄河水利出版社. 2003. 147- 185.

[7] 北京林学院. 造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981. 255- 260.

[8] 彭鸿, Reinhard M osandl. 立地 and 人为干扰对渭北黄土高原刺槐人工林个体生长过程的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2003, 34(1): 44- 49.

[9] 杨红旗, 李广宇, 郭占胜, 等. 矿区废弃地刺槐人工林生长规律研究[J]. 河南林业科技, 2002, 22(4): 3- 5.

[10] 朗奎健, 唐守正. IBMPC 系列程序集[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.

(上接第 93 页)

参考文献:

[1] De Roo A P J. The LISEM Project: An Introduction[J]. Hydrological Processes, 1996, 10(8): 1021- 1025.

[2] Jetten V. LISEM: Limburg Soil Erosion Model Windows version 2. USER MANUAL[S]. Utrecht University, 2002.

[3] De Roo A P J, Wesseling C G and Ritsema C J. LISEM: A single- event physically based hydrological and soil erosion model for erainage basins. I: theory, Input and output[J]. Hydrological Processes, 1996, 10(8): 1107- 1118.

[4] De Roo A P J, Offermans R J E, Cremers N H D T. LISEM: A single- event, physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. : Sensitivity analysis, validation and application [J]. Hydrological Processes, 1996, 10(8): 1119- 1126.

[5] De Roo A P J, Wesseling C G, Cremers N H D T, et al. LISEM: a new physically-based hydrological and soil erosion model in a GIS-environment: Theory and implementation [C]. IAHS Publication . Proceedings of the Canberra Conference. 1994, 224: 439- 448.

[6] De Roo A P J and Jetten V G. Calibrating and validating the LISEM Model for two data sets from the Netherlands and South Africa [J]. Catena, 1999, 37: 477- 493.

[7] 杨勤科, 李锐. LISEM: 一个基于 GIS 的流域土壤流失预报模型[J]. 水土保持通报, 1998, 18(3): 82- 89.

[8] Morgan R P C, Quinton J N, Smith R E, et al. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide, version3. 6[Z]. Silsoe College, Cranfield University, 1998.

[9] Takken I, Beuselinck L, Nachtergaele J, et al. Spatial evaluation of a physically based distributed erosion model (LISEM) [J]. Catena, 1999, 37: 431- 447.

[10] Hessel R, Jetten V, Liu B, et al. Calibration of the LISEM model for a small Loess Plateau catchment[J]. Catena, 2003, 54: 235- 254.

[11] Hessel R. Modelling soil erosion in a small catchment on the Chinese Loess Plateau: applying LISEM to extreme conditions[D]. the Netherlands: Faculty of Geographical Sciences, Utrencht University, 2002.

[12] 马修军, 谢昆青. GIS 环境下流域降雨侵蚀动态模拟研究—以 PCRaster 系统和 LISEM 模型为例[J]. 环境科学进展, 1998, 7(5): 137- 143.

[13] 傅伯杰, 邱扬, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 717- 722.