

黄土丘陵区刺槐生长季生态需水研究

陈天林¹, 徐学选^{1,2}, 张北赢², 何萍³

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 安塞县农业经济管理站, 陕西 安塞 717400)

摘 要: 刺槐林的生态需水量可以理解为该林地的蒸散耗水量, 受大气环境、植被生长状况与生长特性、土壤水分条件的综合影响。林木暂时凋萎含水量和生长阻滞含水量分别是能保证林木基本生存和正常生长时土壤含水量的下限, 因此, 相应的刺槐林地耗水量分别为平均最小生态需水量和平均适宜生态需水量, 其数值通过计算林地的潜在蒸散量并利用土壤水分修正系数和林木系数进行订正获得。经计算, 黄土丘陵区燕沟流域刺槐幼年林生长季(5—10月)的最小生态需水量为 420.3 mm, 适宜生态需水量为 506.7 mm; 刺槐青年林的最小生态需水量为 602.4 mm, 适宜生态需水量为 730.4 mm。

关键词: 刺槐; 生态需水; 潜在耗水量; 黄土丘陵区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0054-04

中图分类号: S152.7+.2

Ecological Water Requirement of *Robinia Pseudoacacia* in Loess Hilly Region

CHEN Tianlin¹, XU Xue-xuan², ZHANG Beiying², HE Ping³

(1. College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling,

Shaanxi 712100, China; 3. Agronomy Management Work-station of Ansai County, Ansai, Shaanxi 717400, China)

Abstract: The ecological water requirement of *Robinia pseudoacacia* can be expressed by the evapotranspiration of trees in growing season. It can be influenced by weather, vegetation, and soil moisture. If soil moisture is above temporary wilt or growth retard, tree growth can be sustained, basically or normally. Therefore, soil water contents for temporary wilt and growth retard can be taken as the minimum ecological water requirement and the suitable ecological water requirement of *Robinia pseudoacacia*, respectively. They can be estimated by introducing soil factor and tree species factor to potential evapotranspiration with Penman formula. Accordingly, the ecological water requirement (May to Oct.) for *Robinia pseudoacacia* in Yangou watershed is estimated. The minimum and suitable ecological water requirements of childhood *Robinia pseudoacacia* are 420.3 and 506.7 mm, respectively. The minimum and suitable ecological water requirements of young *Robinia pseudoacacia* are 602.4 and 730.4 mm, respectively.

Keywords: *Robinia pseudoacacia*; ecological water requirement; potential evapotranspiration; loess hilly region

植被生态需水是指为了保证植被生态系统健康生长, 并确保其生态服务功能得到正常发挥而必须消耗的一部分水量^[1]。在黄土丘陵区, 水资源匮乏是该地区社会经济可持续发展的主要限制因素, 同时也是影响植被生态建设的根本因子, 所以植被生态需水研究对于该地区的生态环境建设具有极其重要的意义^[2]。通过对黄土丘陵区生态需水量的研究, 可以使我们对该地区水资源的分配以及区域水文过程有

的认识, 从而更好地为该地区的生态环境建设决策提供参考。本文所选树种为刺槐是因为刺槐适应性强, 生长速度快, 是我国干旱半干旱地区主要的造林树种, 更是黄土丘陵区的主要代表树种。近年来, 由于我国华北地区和西北地区周期性和非周期性干旱所引起的水分亏缺, 致使刺槐在生长季大量落叶甚至干梢死亡, 说明水分因子已成为影响刺槐生长的关键因子^[3-6]。

收稿日期: 2007-12-04

修回日期: 2008-01-10

资助项目: 国家科技支撑计划课题(2006BA D09B07); 中国科学院百人计划项目(KZCX2-YW-BR-02)

作者简介: 陈天林(1981-), 男(汉族), 甘肃省靖远县人, 硕士, 主要从事流域管理研究。E-mail: cttchen893@hotmail.com。

通讯作者: 徐学选(1966-), 男(汉族), 陕西省大荔县人, 博士, 研究员, 主要从事生态水文研究。E-mail: xuxue-xuan@nwsuaf.edu.cn。

1 研究区概况

本研究所选燕沟流域位于陕西省延安市南 3 km 处,东经 109° 20′ —109° 35′,北纬 36° 20′ —36° 32′,属黄土高原丘陵沟壑区第 II 副区,暖温带半湿润半干旱季风气候,多年平均温度 8.5 °C~ 9.5 °C,多年平均降水量 558.4 mm^[7],5—10 月多年(1951—2001)平均降水量为 485 mm。流域内土壤为黄土母质上发育的黄绵土,砂粒(2.0~ 0.05 mm)含量占 19%,粉粒(0.05~ 0.02 mm)含量占 65.2%,黏粒(< 0.02 mm)含量占 15.8%。流域面积 47 km²,刺槐林面积 965 hm²。

2 研究方法

许多学者研究表明,在黄土高原森林生态系统中,系统蒸散耗水量是其最主要的水分支出项^[8-9]。故而,在本研究中将刺槐林生态系统的蒸散耗水量作为刺槐林的生态需水量。林地实际蒸散量受大气环境、植被生长特性与生长状况以及土壤水分条件的综合影响,表达式如下

$$E = K_s \cdot K_c \cdot P_E \quad (1)$$

式中: E ——林地实际蒸散量(mm/d); K_s ——土壤水分修正系数,与土壤质地及土壤含水量有关; K_c ——林木系数,与树木种类和生长状况有关; P_E ——由气候条件决定的潜在耗水量(mm/d)。

在黄土高原丘陵沟壑区,林地的耗水时段主要集中在生长季节,即每年的 4—10 月^[10],而在延安燕沟流域,根据多年的物候资料,刺槐在 4 月下旬枝叶才开始抽绿,所以,我们在计算燕沟流域刺槐林的耗水支出时以其生长季(5—10 月)作为生态需水量的计算时段。

2.1 刺槐林生态需水各影响因子的确定

2.1.1 潜在耗水量(P_E)的计算 林地的潜在耗水量是某一气候条件下林地的潜在蒸散量,其值仅与当地的气候条件有关,通过气象资料利用 Penman 公式

计算^[11-13]。本文根据延安站 50 a(1951—2001)逐月气象资料来计算刺槐林在生长季逐月每日的平均潜在耗水量。表达式为

$$P_E = \frac{\frac{P_0}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} \cdot R_n + E_a}{\frac{P_0}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (2)$$

式中: P_E ——潜在蒸散量(mm/d); P_0 ——标准大气压, $P_0 = 1013.25$ (hPa); P ——计算地点平均大气压(hPa); Δ ——平均气温时饱和水汽压随温度的变化率, $\Delta = de_o/dt$; γ ——温度常数, $\gamma = 0.66$ (hPa/°C); R_n ——太阳净辐射,以所能蒸发的水层深度计(mm/d); E_a ——干燥力(mm/d)或称安全检查气动力学项。

分项计算

$$e = 6.1 \times 10 \times \frac{7.043t}{273+t} \quad (3)$$

$$\Delta = 6.1 \times 10 \times \frac{7.043t}{273+t} \times \frac{4683.11}{(273+t)^2} \quad (4)$$

$$R_n = 0.75Q_a \left[a + b \left(\frac{n}{N} \right) \right] - \sigma T_k^4 (0.56 - 0.079 \sqrt{e_a}) \times \left[0.10 + 0.90 \left(\frac{n}{N} \right) \right] \quad (5)$$

$$E_a = 0.26(e_o - e_a)(1 + CU_2) \quad (6)$$

式中: e_o ——饱和水汽压(hPa); e_a ——实际水汽压(hPa); t ——平均气温(°C); Q_a ——大气顶层太阳辐射量(mm/d),可根据纬度计算或查表^[14]; a , b ——经验系数,取联合国粮农组织推荐值 $a = 0.18$, $b = 0.55$; n ——实际日照时数(h/d); N ——太阳可照时数(h/d),可根据纬度计算或查表; σ ——斯蒂芬—鲍茨曼(Stefair Boltzman)辐射常数, $\sigma = 2.01 \times 10^{-9}$ [mm/(d·K⁴)]; T_k ——绝对温度(K), $T_k = t + 273.15$; C ——风速修正系数,按照月平均最高温度 t_M 与最低温度 t_m 的差值确定^[15]; U_2 ——2 m 高处风速(m/s),本文所用为气象站常规观测的风速,须乘以 0.75 的修正系数^[16]。风速修正系数、各气象因子值及潜在蒸散量计算结果见表 1。

表 1 风速修正系数、各气象因子值及潜在蒸散量计算结果

月份	P /hPa	e_o /hPa	e_a /hPa	t /°C	t_m /°C	$t_M - t_m$ /°C	C	U_2 /(m·s ⁻¹)	n /h	N /h	Q_a /(mm·d ⁻¹)	P_E /(mm·d ⁻¹)
5	903	48.0	25.5	17.2	> 5	14.9	0.75	1.45	7.8	14.0	16.4	6.84
6	900	52.9	31.0	21.2	> 5	14.7	0.75	1.38	8.1	14.5	17.2	6.86
7	899	47.0	33.4	23.0	> 5	12.4	0.61	1.10	7.3	14.3	16.7	5.13
8	902	41.6	31.4	21.5	> 5	11.7	0.54	1.01	6.9	13.5	15.4	4.27
9	908	31.7	23.8	16.0	> 5	12.2	0.61	1.12	6.0	12.4	13.1	3.19
10	912	21.3	14.9	9.8	> 5	13.1	0.68	1.24	6.1	11.3	10.6	2.35

注:表中各符号含义同公式(1)~(6)。

2.1.2 林木系数(K_c)的确定 林木系数是植物最大需水量与最大可能蒸散量的比例系数,其大小随植物种类和植物所处环境的不同而不同,一般通过试验取得。由于燕沟流域内刺槐树龄不均一,本文参考黄土高原与华北土石山区防护林体系综合配套技术研究报告中的成果。

根据马义虎、陈丽华等的研究成果^[17],将 2, 3, 5 a 生的刺槐林分为一组为幼年林,将 7, 13 a 生的刺槐林分为另一组为青年林,分别计算刺槐幼年林和青年林的林木系数,结果见表 2。

表 2 不同树龄刺槐各月的林木系数

树龄/a	5	6	7	8	9	10
幼年林(2, 3, 5)	0.43	0.40	0.53	0.90	0.86	0.91
青年林(7, 13)	0.42	0.65	0.87	1.40	1.10	1.39

2.1.3 土壤水分限制系数(K_s)的确定 土壤水分限制系数是土壤水分条件对蒸散的影响函数,它表示当土壤水分供应不充足时,林地实际蒸散的变化情况,与土壤质地和土壤含水量有关,通过 Jensen 公式^[18]确定,当 $S_w \leq S \leq S_l$ 时表达式如下

$$K_s = \ln \left[(S - S_w) / (S_l - S_w) \times 100 + 1 \right] / \ln 101 \quad (7)$$

式中: S ——土壤实际含水量; S_w ——土壤凋萎含水量,燕沟流域的黄土凋萎含水量一般为干土重的 3.5% ~ 3.8%^[18],本文取平均值 3.56%; S_l ——为土壤临界含水量,其等同于毛管断裂湿度,一般为田间持水量的 70% ~ 80%,本文取 75%,为干土重的 16%^[19-20]。

通过对植被耗水与土壤含水量关系的分析及刺槐林地土壤水分有效性的划分,林木暂时凋萎含水量 S_l 和生长阻滞含水量 S_r 分别为保证林木基本生存和正常生长时土壤含水量的下限^[21-23],相对应的刺槐生态需水量分别为最小生态需水量和适宜生态需水量。

张小泉^[24],王孟本^[25]等学者认为,在黄土高原地区,刺槐等造林树木暂时凋萎点的土壤基质水势可达 -1.0×10^6 Pa 以下。在本文中将 -1.0×10^6 Pa 作为本研究区内刺槐生长的暂时凋萎水势。根据我们在燕沟流域所测定的土壤水分特征曲线,当土壤基质水势为 -1.0×10^6 Pa 时,对应的土壤水分含量为干土重的 8.34%,将该值作为保证刺槐林基本生存的暂时凋萎含水量 S_l 。

杨文治、邵明安通过对黄土高原土壤水分的系统研究后认为,黄土高原地区田间稳定湿度时的土壤基质水势为 -1.0×10^5 Pa^[19]。因此,在本文中将 -1.0×10^5 Pa 作为刺槐生长的土壤阻滞水势,查询该地区

土壤水分特征曲线得到对应的土壤水分含量为干土重的 14.4%,将该值作为保证刺槐林正常生长的生长阻滞含水量 S_r 。

将 S_l , S_r 分别带入(7)式得出各自对应的土壤水分修正系数 $K_{sl} = 0.80$, $K_{sr} = 0.97$ 。

3 刺槐生态需水量

将 K_s , K_c , P_E 值分别代入(1)式,计算得到黄土丘陵区燕沟流域各龄级刺槐生长季(5—10月)各月的日平均生态需水量,再乘以各月相应的天数,得出生长季各月的平均生态需水量,累加得到整个生长季研究区各龄级刺槐的生态需水量。

从表 3 中可以看出,青年刺槐林生态需水量远大于幼年刺槐林,最小生态需水量青年林较幼年林大 182.1 mm,适宜生态需水量则差距更甚,青年林和幼年林相差达 223.7 mm,这就可以解释燕沟流域及黄土丘陵区的一些地方 5 a 以下的刺槐林生长状况良好,而 5 a 以上刺槐林除沟谷地、阴坡等一些土壤水分条件较为优越的地方外,都出现不同程度的干梢、落叶及“小老树”等情况;8月是研究区刺槐林生态需水量最大的月份,这是因为 8 月份气温相对较高,刺槐林生长茂盛蒸散最为强烈的缘故。

表 3 各龄级刺槐平均生态需水量 mm

月份	E_{ly}	E_{lq}	E_{ry}	E_{rq}
5	73.0	71.3	85.6	86.4
6	65.8	107.0	79.8	129.7
7	67.4	110.7	81.7	134.2
8	95.4	148.4	115.7	180.0
9	65.7	84.1	79.7	102.0
10	53.0	80.9	64.2	98.1
合计	420.3	602.4	506.7	730.4

注: E_{ly} ——幼年林月平均最小生态需水量; E_{lq} ——青年林月平均最小生态需水量; E_{ry} ——幼年林月平均适宜生态需水量; E_{rq} ——青年林月平均适宜生态需水量。

4 结论

幼年刺槐林生长季 50 a 平均最小生态需水量为 420.3 mm,平均适宜生态需水量为 506.7 mm,与同期多年平均降水量 485 mm 相比差距不太明显。

青年刺槐林生长季 50 a 平均最小生态需水量为 602.4 mm,平均适宜生态需水量为 730.4 mm,与同期多年平均降水量相比差距明显。此结果可以解释前文所述的刺槐在生长季内大量落叶甚至干梢死亡,有些地方刺槐甚至出现“小老树”等现象。

根据刺槐林不同的用途应该选择不同的立地条

件种植,在主要考虑降水量因素的前提下,黄土丘陵区的沟谷地、阴坡、半阴坡等土壤水分条件较为优越的地方应该考虑营造以用材为目的的人工刺槐林;半阳坡、阳坡等土壤水分条件相对较差的可以考虑营造刺槐生态公益林。

[参 考 文 献]

- [1] 何永涛, 闵庆文, 李文华, 等. 森林植被生态需水量的确定和计算[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 151—155.
- [2] 何永涛, 李文华, 李贵才, 等. 黄土高原地区森林植被生态需水研究[J]. 环境科学, 2004, 25(3): 35—39.
- [3] 王九龄, 陈义, 李荫秀. 北京西山树木耐旱能力的初步观察[J]. 北京林业, 1981(2): 10—21.
- [4] 马履一. 北京西山试验林场洋槐人工林干梢死亡原因初探[J]. 北京林业, 1984(2): 1—11.
- [5] 田有亮. 几种阔叶树种水势和膨压的关系及其在抗旱性研究中的应用[J]. 内蒙古林学院学报, 1992(2): 49—53.
- [6] 王孟本, 李洪建, 柴宝峰, 等. 树种蒸腾作用、光合作用和蒸腾效率的比较研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 401—410.
- [7] 徐学选, 张北赢, 琚彤军. 黄土丘陵区降雨、径流、土壤水分的时空分布与对策[J]. 生态环境, 2005, 14(6): 890—893.
- [8] 魏天兴, 朱金兆. 黄土区人工林地水分供耗特点与林分生产力研究[J]. 水土保持学报, 1999(4): 45—51.
- [9] 余新晓, 陈丽华. 黄土地区防护林生态系统水量平衡研究[J]. 生态学报, 1996, 16(3): 238—245.
- [10] 刘绍民. 用 Prestley—Taylor 模式计算棉田实际蒸散量的研究[J]. 应用气象学报, 1998, 9(1): 88—93.
- [11] Penman H L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass[J]. Proceeding of Royal Society Annually, 1948, 193: 454—465.
- [12] 康绍忠, 刘晓明, 熊运章. 土壤—植物—大气连续体水分传输理论及其应用[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994: 122—129.
- [13] 陈玉明, 郭光双, 王广兴, 等. 中国主要作物需水量与灌溉[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995: 45—65.
- [14] 联合国粮农组织. 粮农灌溉及排水丛书[M]. 罗马: 1977: 29—31.
- [15] 中国主要农作物需水量等值线图协作组. 中国主要农作物需水量等值线图研究[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993: 5—7.
- [16] 胡顺军, 潘渝, 康绍忠, 等. Penman—Monteith 与 Penman 修正式计算塔里木盆地参考作物潜在蒸发量比较[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 30—35.
- [17] 马义虎, 陈丽华, 余新晓. 晋南人工刺槐林需水量计算及分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 89—91.
- [18] Jensen E(著), 马文(译). 耗水量与灌溉需水量[M]. 北京: 农业出版社, 1982: 36—45.
- [19] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 23—80.
- [20] Milly P C D. Potential evaporation and soil moisture in general circulation models[J]. Journal of Climate, 1992, 5(3): 209—261.
- [21] 王孟本, 李洪建. 晋西北黄土区人工林地土壤水分动态的定量研究[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 178—184.
- [22] 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, (2): 91—101.
- [23] 余新晓, 张建军, 朱金兆. 黄土地区防护林生态系统土壤水分条件的分析与评价[J]. 林业科学, 1996, 32(4): 289—296.
- [24] 张小泉, 张清华, 毕树峰. 太行山北部中山幼林地土壤水分的研究[J]. 林业科学, 1994, 30(3): 93—100.
- [25] 王孟本, 柴宝峰, 李洪建, 等. 黄土区人工林的土壤持水力与有效水状况[J]. 林业科学, 1999, 35(2): 7—14.