

晋南人工刺槐林需水量计算及分析

马义虎, 陈丽华, 余新晓
(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 根据气象资料, 运用彭曼公式(Penman's formula)和桑斯维特公式(Thornthwaite's formula), 计算并分析了晋南黄土高原刺槐林的潜在蒸散量; 结合2, 3, 5, 7, 13年生刺槐的耗水特性系数, 计算得出其生长季(5-10月份)的需水量和需水总量; 最后分析了刺槐林地水分供需状况。其结果显示, 在晋南黄土高原, 5年生以下的刺槐普遍能适应当地水分状况, 而7年生以上的刺槐, 由于缺乏水分, 生长普遍受到抑制。以此提出, 在水分条件较好的沟谷地、阴坡和半阴坡可营造刺槐用材林, 在水分条件较差的半阳坡和阳坡可营造刺槐生态公益林。
关键词: 刺槐; 蒸散量; 需水量; 水分供需状况
中图分类号: S715.5; S792.27 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)06-0089-03

The Calculation and Analysis of Artificial Acacia
Plantation's Water Demand in the South of Shanxi Province

MA Yi-hu, CHEN Li-hua, YU Xin-xiao
(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: According to the local weather data, the potential evapotranspiration of artificial acacia plantation in the south of Shanxi Province was calculated and analyzed by both Penman's formula and Thornthwaite's formula. According to the results and the water consumption coefficients of the acacias that are 2, 3, 5, 7 and 13 years old, the water demand of the acacias in their growing period (May-Oct.) was worked out. Then the water supply-demand equilibrium was analyzed. The results show that in general the acacias that are less than 5 years old can adapt to the local water situation in the south of Shanxi, yet the acacias that are more than 7 years old can not. It is suggested that acacia timber forest should be planted in the places of ravine area, shady hillside and semi-shady hillside where the water situation is good. While ecological public welfare acacia forest should be planted on semi-sunny hillside and sunny hillside where the water situation is bad.
Key words: acacia; evapotranspiration; water demand; water supply-demand equilibrium

1 引言

计算植物的需水量长期以来受到国内外专家学者的极大重视。1948年, 彭曼(H. L. Penman)和桑斯维特(Thornthwaite, C. W)提出了蒸发力的概念^[1]。此后, 许多学者从植物与气象的关系入手, 提出了一系列植物消耗水分的理论, 提出了许多计算植物需水量的模型。其中一部分模型可用公式 $ET_{ci} = K_{ci} \times ET_{oi}$ 来概括, ET_{ci} 为植被需水量(mm); ET_{oi} ——潜在蒸散量(mm); K_{ci} ——植物耗水特性系数。模型的主要区别在于如何计算潜在蒸散量(ET_{oi})。目前常用的潜在蒸散计算模型有彭曼公式、桑斯维特公式、水面蒸发量法、布兰尼-克雷德尔公式、詹森-海斯公式和特克公式^[2]。其中, 常用彭曼公式和桑斯维特公式计算林分的潜在蒸散量。1998年, 陈昌毓^[2]用彭曼公式计算甘肃干旱半干旱地区林木蒸散量; 2001年, 闫俊华^[3]曾用彭曼公式计算人工松林生态系统蒸散力; 2002年, 余新晓^[4]曾用彭曼-蒙太斯方程计算长江上游暗针叶林生态系统的蒸散量; 2003年, 侯振宏^[5]曾用彭曼-蒙太斯方程计算不同密度刺槐林的需水量。同时, 研究者们也常运用试验实测的方法研究林木的需水量。本文以晋南部黄土高原区吉县的人工刺槐林地

为研究对象, 采用彭曼公式和桑斯维特公式计算了刺槐林地的潜在蒸散量, 结合实测所确定的刺槐耗水特性系数, 计算得出刺槐的需水量, 并与该区分水分条件作以对比分析。

2 研究区概况

研究区吉县位于山西省吕梁山南端, 属典型黄土残塬沟壑区。地理坐标在东经110°27'~111°07'与北纬35°53'~36°21'之间。该区属暖温带大陆性气候, 冬季寒冷干燥, 夏季温度较高。年降水量为575.9 mm, 无霜期平均170 d左右, 年平均气温10℃, 历年最低气温-20.4℃, 历年最高气温38.1℃, 光照时数平均2563.8 h, 最高年2775.6 h, 最低年2074.9 h。稳定通过10℃的年平均积温为3357.9℃, 最高年3646.7℃, 最低年2807.5℃。风向除冬季外, 以偏南风为多。年平均风速2 m/s, 3~6月份平均风速2.4 m/s, 历年平均出现八级以上大风日数6 d, 其中3~6月出现3 d。研究区土壤类型为褐土, 可分为三个亚类: 丘陵褐土, 主要分布在丘陵、塬面、沟坡, 一般海拔在450~1500 m之间; 普通褐土, 多分布在海拔1400~1600 m之间的天然次生林和灌草坡; 淋溶褐土, 分布在1600 m以上的天然次生林。研究区主要乔木树种有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等; 主要灌木树种有胡枝子

* 收稿日期: 2004-12-10
基金项目: 国家“十五”科技攻关课题(2001BA510B02-02)
作者简介: 马义虎(1978-), 男, 在读硕士, 专业: 水土保持与荒漠化防治, 研究方向为流域管理。

(*Lespedeza bicolor*)、黄刺玫(*Rosa x anthina*)、酸枣(*Ziziphus acidj ujuba*)等;主要草本植物有黄花蒿(*Artemisia annua*)、裂叶蒿(*Artemisia tanacetifolia*)、猪毛菜(*Salsola collina*)等。

3 计算方法

本文采用彭曼公式和桑斯维特公式计算研究区人工刺槐林的潜在蒸散量。

(1) 彭曼公式(Penman’s formula)。彭曼公式是综合性公式^[6],它在能量平衡法的基础上,引用干燥力的概念,经过简捷的推导而来,公式如下:

$$ET_{oi} = \left\{ \frac{p_0 \Delta}{p} \left[0.75Q_A \left(a + b \frac{n}{N} \right) - \sigma T_K^4 (0.56 - 0.079 \overline{e_a}) \right. \right. \\ \left. \left. (0.1 + 0.9 \frac{n}{N}) \right] + 0.26(e_s - e_a)(1 + Cu_2) \right\} \left(\frac{p_0 \Delta}{pY} + 1.0 \right) \quad (1)$$

式中: ET_{oi} ——潜在蒸散量; p_0 和 p ——海平面标准大气压和计算地点大气压; Δ ——饱和水气压—温度曲线的斜率; Y ——湿度计常数; n 和 N ——实际日照时数和理论日照时数; σ ——斯蒂芬—玻尔兹曼常数; C ——风速修正系数; a 、 b ——经验系数; e_s ——饱和水气压; e_a ——平均水气压; T_K ——平均温度; Q_A ——理论太阳辐射; u_2 ——风速。

(2) 桑斯维特公式(Thornthwaite’s formula)。该公式主要适用于干旱和半干旱地区,研究区所在地山西吉县即属其列,公式如下:

$$ET_{oi} = 1.6K_d \left(\sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514} \right) (6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.49239) \quad (2)$$

式中: ET_{oi} ——潜在蒸散量; T_i ——平均气温; K_d ——平均昼长改正系数; I ——热效应指标。

4 计算及分析

4.1 潜在蒸散量计算及分析与耗水特性系数

到目前为止,无论是国内还是国外,还没有一个公式计算出来的潜在蒸散量数据能够全面地反映各种地理条件下的蒸发特征^[1]。每个公式都有其不完善的地方。同样的气候条件下,用彭曼公式计算的潜在蒸散量春夏季偏低,秋季偏高,而桑斯维特公式的计算结果春夏季偏高,秋季偏小。以下

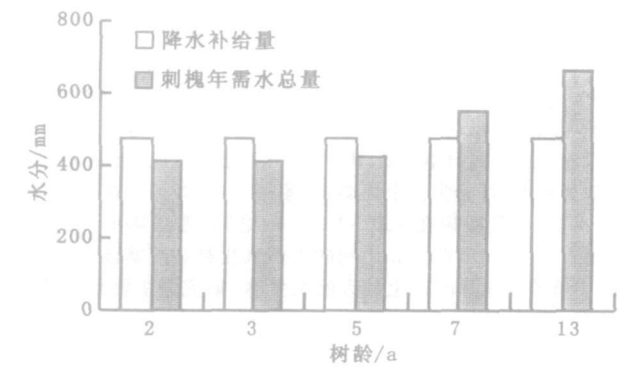


图1 晋南不同树龄刺槐年水分供需平衡状况图

2、3、5年生刺槐在生长季(5~10月份)的水分供需状况见表3和图2。计算数据表明,2、3、5年生刺槐的需水总量分别为409.13 mm、415.33 mm和427.72 mm,均低于降水补给总量478.6 mm,其水分盈余量分别为69.47 mm、63.27 mm和50.88 mm,水分满足率分别为116.98%、115.23%和

对两种公式计算的结果进行综合,得出研究区刺槐林在生长季(5~10月份)的潜在蒸散量(见表1)。计算结果表明,潜在蒸散量的高峰时期出现在6~8月份,分别占总蒸散量的19.3%、21.83%、20.1%,共占61.22%;5月份占15.36%,9~10月份分别占16.14%、7.28%,共占23.42%,为潜在蒸散量的2个低值时段。光照和气温是影响潜在蒸散量的主要因子^[7],6~8月时值夏季,此时光照时数多,光照强度大,气温、地温均比较高,使该期成为刺槐林潜在蒸发量的高峰时期。此状况与研究区10年的气象资料正相吻合,6~8月份,光照和温度均为全年的高峰时期,其平均日照时数分别为259.1h、230.1h、220.9h,平均气温分别为21.7℃、23.1℃、22.1℃,平均地面温度分别为28.0℃、27.0℃、26.6℃。

表1 刺槐林蒸发力状况									
方法	项目	年份	5月	6月	7月	8月	9月	10月	合计
彭曼法	潜在蒸散量	2002	76.83	100.46	127.68	126.79	122.62	48.36	602.74
		2003	108.86	128.56	135.07	135.58	134.65	51.26	693.98
桑斯维特法	/ mm	2002	89.4	109.86	118.72	107.49	70.04	39.04	534.55
		2003	105.7	139.66	159.7	128.45	72.92	41.78	648.21
	平均值/mm	95.2	119.64	135.3	124.58	100.06	45.11	619.89	

根据不同树龄刺槐的实际耗水量(5~10月份)和由研究区气象资料计算出的潜在蒸散量(5~10月份),可以确定刺槐在不同生长发育阶段的耗水特性系数(见表2)。

表2 不同树龄刺槐的耗水特性系数							
树龄	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均值
2	0.44	0.38	0.52	0.88	0.83	0.89	0.66
3	0.43	0.40	0.53	0.90	0.85	0.91	0.67
5	0.42	0.42	0.55	0.92	0.90	0.93	0.69
7	0.42	0.58	0.78	1.28	1.00	1.22	0.88
13	0.41	0.71	0.96	1.52	1.20	1.56	1.06

注:引自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

4.2 需水量计算及分析

随着树龄的增加,刺槐的生物量逐渐增多,其需水量也相应上升。如图1所示,在不同树龄刺槐的需水总量与降水补给总量的关系上,5年生以下的刺槐需水总量小于降水补给总量,5年生以上的刺槐需水总量则大于降水补给总量。而5年生刺槐的需水总量小于并最接近于降水补给总量。因此,可将5年生刺槐作为分界点,将这5个年龄的刺槐分为两组,其中2、3、5年生刺槐为一组,7年生与13年生刺槐为一组,对其进行水分供需状况分析。

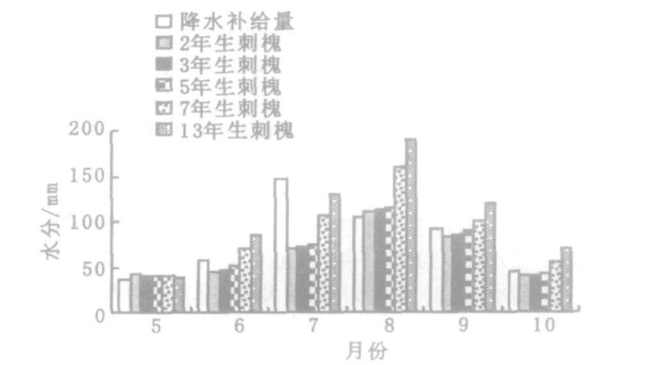


图2 晋南不同树龄刺槐月水分供需平衡状况图

111.9%,均在100%以上。由此可见,这3种树龄刺槐的年水分供需状况良好,能够充分满足其生长需求。

从刺槐生长过程上看,7~9月份是2、3、5年生刺槐的需水高峰时期,其需水总量分别为263.04 mm、268.88 mm和279.08 mm,分别占到了各自生长季需水总量的64.29%、

64.74%和65.25%。同时,7~9月份的降水补给也为全年高峰时期,与刺槐需水高峰重合,总量为342.4 mm,均超过这三种刺槐在7~9月份期间各自的需水总量,满足率大于100%。5、6、10月份为2、3、5年生刺槐需水低谷期,也正值降水补给低谷期,但降水补给量仍能满足它们的正常生长,其中,除5月份水分供需状况基本持平外,6、10月份的水分满足率均大于100%。由此可见,2、3、5年生刺槐的需水与水分补给在时间分布上相吻合,能够适应研究区一般刺槐林地的水分状况。

表 3 不同树龄刺槐水分供需平衡状况

林龄	项目	5月	6月	7月	8月	9月	10月	共计
2	需水量/mm	41.89	45.46	70.36	109.63	83.05	40.15	409.13
	降水补给/mm	35.8	56.7	146	104	92.4	43.7	478.6
	亏缺量/mm	+6.09	-11.24	-75.64	+5.63	-9.35	-3.55	-69.47
	水分满足率/%	85.46	124.73	207.50	94.87	111.26	108.84	116.98
3	需水量/mm	40.94	47.86	71.71	112.12	85.05	41.05	415.33
	降水补给/mm	35.8	56.7	146	104	92.4	43.7	478.6
	亏缺量/mm	+5.14	-8.84	-74.29	+8.12	-7.35	-2.65	-63.27
	水分满足率/%	87.45	118.47	203.6	92.76	108.64	106.46	115.23
5	需水量/mm	39.98	50.25	74.42	114.61	90.05	41.95	427.72
	降水补给/mm	35.8	56.7	146	104	92.4	43.7	478.6
	亏缺量/mm	+4.18	-6.45	-71.58	+10.61	-2.35	-1.75	-50.88
	水分满足率/%	89.55	112.84	196.18	90.74	102.61	104.17	111.9
7	需水量/mm	39.98	69.39	105.53	159.46	100.06	55.03	545.5
	降水补给/mm	35.8	56.7	146	104	92.4	43.7	478.6
	亏缺量/mm	+4.18	+12.69	-40.47	+55.46	+7.66	+11.33	+66.9
	水分满足率/%	89.55	81.71	138.35	65.22	92.35	79.41	87.74
13	需水量/mm	39.03	84.94	129.89	189.36	120.07	70.37	657.08
	降水补给/mm	35.8	56.7	146	104	92.4	43.7	478.6
	亏缺量/mm	+3.23	+28.24	-16.11	+85.36	+27.67	+26.67	+178.48
	水分满足率/%	91.72	66.75	112.4	54.92	76.96	62.1	72.84

注:不同生长阶段耗水量(E_{T0i})=潜在蒸散量(E_{T0i})×植物系数(K_{ci});黄土区林木生长主控因子是土壤水分,林地土壤水分几乎唯一的来源为当年的降水^[8~10],故以多年的平均降水量作为土壤水分的补给;亏缺量=需水量-降水补给量,“+”号意为水分亏缺,“-”号意为水分盈余;水分满足率= $100\times$ 降水补给/需水量

7和13年生刺槐的水分供需状况可由表3和图2看出,其生长季(5~10月份)需水总量分别为545.5 mm和657.08 mm,大于降水补给总量478.6 mm,水分亏缺量分别为66.9 mm和178.48 mm,水分满足率分别为87.74%和72.84%。由此可知,这两种刺槐的年水分供需状况较差,需求不能得到满足,生长受到抑制。

从刺槐生长过程上看,7月份是这两种刺槐水分条件最好的一个月,其需水量分别为105.53 mm和129.89 mm,都小于该月降水补给量146 mm,水分满足率分别为138.35%

参考文献:

[1] 程维新,胡朝炳,张兴权. 农田蒸发与作物耗水量研究[M]. 北京: 气象出版社,1994.4- 11.

[2] 陈昌毓,董安详. 甘肃干旱半干旱地区林木蒸散量估算和水分适生度研究[J]. 应用生态学报,1998,9(1):79- 87.

[3] 闫俊华,周国逸,陈忠毅. 鼎湖山人工松林生态系统蒸散力及计算方法的比较[J]. 生态学杂志,2001,20(1):5- 8.

[4] 余新晓,程根伟,赵玉涛,等. 长江上游安针叶林生态系统蒸散计算[J]. 水土保持学报,2002,16(5):14- 16.

[5] 候振宏,贺康宁,张小全. 晋西黄土高原半干旱区刺槐林分需水量的研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4):180- 183.

[6] 彭世彰,索丽生. 节水灌溉条件下作物系数和土壤水分修正系数实验研究[J]. 水利学报,2004,34(1):17- 21.

[7] 李林,张国胜,汪青春,等. 黄河上游流域蒸散量及其影响因子研究[J]. 地球科学进展,2000,15(3):256- 259.

[8] 李洪健,王孟本,陈良富,等. 刺槐林水分生态研究[J]. 植物生态学报,1996,20(2):151- 158.

[9] 李洪建,王孟本,柴宝峰. 刺槐林地土壤水分的周年变化特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(6):6- 10.

[10] 袁瀛,惠养瑜,吴永麟,等. 黄土丘陵区刺槐生长的影响因子研究[J]. 水土保持研究,1996,3(3):146- 154.

[11] 郝文芳,韩蕊莲,单长卷,等. 黄土高原不同立地条件下人工刺槐林土壤水分变化规律研究[J]. 西北植物学报,2003,23(6):964- 968.

[12] 单长卷,梁宗锁,郝文芳,等. 黄土高原不同立地条件下刺槐生长与水分关系研究[J]. 西北林学院报,2004,19(2):9- 14.

[13] 胡振华,王治国,高宏旭,等. 晋西黄土残塬沟壑区水分变化及其利用效率研究[J]. 山西农业大学学报,2001,21(3):248- 251.

和112.4%。但其他5个月的需水量均大于降水补给量,水分满足率均低于100%,7年生刺槐的最低水分满足率为65.22%,13年生最低水分满足率为54.92%。由此可见,一般刺槐林地的水分状况难以满足7年生以上刺槐正常生长需求。

但是,并非研究区内所有的造林地都不满足7年生以上刺槐的正常的生长发育。晋南属典型的残塬沟壑区,由于地形变化和重力作用的影响,土壤水分在空间上的分布不均,其中有一些造林地土壤水分状况良好,可以满足7年生以上刺槐正常生长的需求。按地形部位为划分标准,良好的土壤水分条件排序为沟谷地> 阴坡> 半阴坡> 半阳坡> 阳坡^[11~13]。因此,如以用材为目标,建议将刺槐林营造在土壤水分条件较好的沟谷地、阴坡和半阴坡;而若仅以增加生物量、保持水土、改善生态环境为目标,土壤水分条件较差的半阳坡与阳坡亦能满足其要求。

5 结 论

(1) 根据彭曼公式和桑斯维特公式,计算出晋南黄土高原人工刺槐林地5~10月份的潜在蒸散量,其值分别为95.2 mm、119.64 mm、135.3 mm、124.58 mm、100.06 mm和45.11 mm,共计619.89 mm。其中6、7和8月份的蒸发力最大,为高峰时期。

(2) 晋南黄土高原的水分状况能充分满足5年生以下的刺槐的正常生长需求。由于2、3和5年生刺槐在生长季(5~10月份)的需水总量(409.13 mm、415.33 mm和427.72 mm)均低于降水补给总量(478.6 mm);除5月份的需水量(41.89 mm、40.94 mm和39.98 mm)与其降水补给量(35.8 mm)基本持平外,6~7月份的需水量均低于其降水补给量。

(3) 晋南黄土高原的水分状况难以满足7年生以上刺槐的正常生长需求。由于7和13年生刺槐在生长季的需水总量(545.5 mm和657.08 mm)均高于降水补给总量(478.6 mm),其亏缺量分别为66.9 mm和178.48 mm;除7月份的水分有少量盈余外,其他月份均为亏缺,其月亏缺量最大可达85.36 mm。随着树龄的增加,其亏缺量会逐渐增加,水分满足率会逐渐下降,水分的供需矛盾会更加突出。

(4) 研究区内林地土壤水分因地形变化与重力作用差异而分布不均,沟谷地、阴坡、半阴坡土壤水分较为充足,可以营造以用材为目的的人工刺槐林。土壤水分条件较差的阳坡与阴坡可以用来营造刺槐生态公益林。