

塔里木河流域白杨农田防护林蒸散量计算模式研究

李岳坦^{1,2}, 胡顺军¹, 李新虎^{1,2}, 马诺^{1,2}

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 在综合分析气候、植物生物学特性和土壤湿度三方面因素的基础上, 利用多年的白杨农田防护林试验资料, 建立了塔里木河流域白杨农田防护林蒸散量的计算模式, 并利用白杨林实际蒸散量的测量值, 对模式进行了验证。结果表明, 该模式计算精度较高, 可以作为计算塔里木河流域白杨农田防护林蒸散量的一种方法而使用。

关键词: 白杨农田防护林; 实际蒸散量; 潜在蒸散量; 计算模式

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2007)02-0072-03

中图分类号: S715.4

Calculation Model of Aspen Shelter Belt Evapotranspiration in Tarim River Basin

LI Yue-tan^{1,2}, HU Shun-jun¹, LI Xin-hu^{1,2}, MA Nuo^{1,2}

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumuqi 830011, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Based on the comprehensive analysis of climate factor, biological feature and soil humidity as well as the experimental data of aspen shelter belt for years, a calculation model for aspen shelter belt evapotranspiration in the Tarim River basin was built and verified with the evapotranspiration data directly measured in aspen shelter belt. The result revealed that the model had high precision and could be used to calculate the evapotranspiration in aspen shelter belt of the Tarim River basin.

Keywords: aspen shelter belt; actual evapotranspiration; potential evapotranspiration; calculation model

农田防护林对于防风固沙, 改善农田小气候, 降低地下水位有着十分重要的作用, 是干旱、半干旱地区, 尤其是沙漠绿洲生态的重要组成部分^[1]。

在干旱地区由于降水稀少, 林地生态系统水量平衡方程中地表径流和土壤入渗相对减少, 林地蒸散成为森林生态系统主要水分支出项。林地蒸散耗水在水量平衡中所占的比例随着干燥系数的增大和林分郁闭度的增大而提高^[2]。目前建立实际蒸散量的计算模式常用的方法是先得到下垫面的潜在蒸散, 然后以潜在蒸散为“标准”速率, 扣除与土壤和植被有关因子的影响, 从而得到实际蒸散^[3-4]。利用常规气象资料结合林地试验资料建立了塔里木河流域白杨农田防护林的蒸散量计算模式, 来研究塔里木河流域农田防护林的水分状况, 不但可以代替实测以节省大量的人力、物力和财力, 而且可为塔里木河流域水量平衡和生态需水量的估算提供基础理论依据。

1 试验材料与方法

林地试验资料来源于中科院新疆生态与地理所阿克苏水平衡站的白杨农田防护林, 该防护林白杨树

高约 8 m, 直径约 10 cm, 林龄约 10 a。该站位于塔里木河上游的冲积平原新型绿洲内。地理坐标: 东经 80°50', 北纬 40°37', 海拔 1 024 m。年平均气温 11.2℃, 年降水量 45.7 mm, 无霜期 207 d。农田及附近防护林的地下水位约为 2.0 m 左右, 土壤质地为粉沙壤土。在白杨农田防护林地内埋设了中子管, 每 5 d 一次用中子仪测定一次林地内的土壤水分状况。降水、温湿度、日照等基本气象因素及田间持水量、凋萎系数等土壤水分资料均在站内进行同步测定。

2 蒸散量的计算

用水量平衡法, 计算蒸散的表达式为^[5-8]:

$$E_T = R + I - R_s + \frac{W_s}{t} \quad (1)$$

式中: E_T ——某一时段的蒸散量 (mm); R ——降雨量 (mm); I ——灌水量 (mm); R_s ——地表径流量 (mm); W_s ——土壤水储存量的变化量 (mm)。

由于中子管埋设深度较大, 为 350 cm, 可以把饱和带和非饱和带看作一个整体来进行处理, 所以在这里对渗漏量不予考虑。

在特定条件下,如长期无降水也无灌溉,因而没有径流和渗漏,由此蒸散量等于土壤蓄水量的变化,水量平衡方程简化为^[9]:

$$E_T = \frac{W_s}{t} \quad (2)$$

在试验中用中子仪测得了白杨农田防护林 0—350 cm 土层的平均体积含水率。由于中子仪测试具有较高的精度,可以用(2)式计算长期无降雨条件下的农田防护林蒸散量的精确值。本文将以水量平衡法作为标准,作为建立塔里木河流域白杨农田防护林蒸散量计算模式的基础和检验该模式的精度。

3 蒸散计算模型

林地实际蒸散量主要受气象条件、土壤水分状况和植物生物学特性的综合影响。在干旱区,土壤含水量一般较低,土壤水分基本处于亏缺状态,从而导致林木的蒸腾强度低于土壤水分供应时的蒸腾强度。并且土壤含水量越低,这种降低越明显。因此,旱区林地的土壤水分状况对林地的蒸散影响十分重要。

干旱区林地的实际蒸散量一般可以用下式表示^[10-12]:

$$E_{T_a} = f(s) \times K_c \times E_{T_0} \quad (3)$$

式中: E_{T_a} ——林地实际蒸散量; $f(s)$ ——土壤水分有效性函数; K_c ——植物系数; E_{T_0} ——参考植物的潜在蒸散量。植物系数 K_c 与植物的种类、品种、生育期及生长状况有关系。

3.1 E_{T_0} 的计算

在此采用联合国粮农组织(FAO)推荐的彭曼—蒙蒂斯公式,其计算公式为^[13-18]:

$$E_{T_0} = \frac{0.408 (R_n - G) + \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{+ (1 + 0.34 u_2)} \quad (4)$$

式中: ——饱和水汽压与温度曲线的斜率 (kPa/); R_n ——作物表面的净辐射 [MJ/(m²·d)]; G ——土壤热通量 [MJ/(m²·d)]; ——湿度计常数 (kPa/); T ——平均气温 (°C); u_2 ——2 m 高度处的平均风速 (m/s); e_s ——饱和水汽压 (kPa); e_a ——实际水汽压 (kPa)。

3.2 K_c 的计算

植物系数 K_c 是某种植物的实测植物需水量与潜在蒸散量的比值,即^[12,19-20]:

$$K_c = E_T / E_{T_0} \quad (5)$$

式中: E_T ——实测植物需水量; E_{T_0} ——参考植物的潜在蒸散量。

植物系数 K_c 一般是先随时间推移逐渐增大,当覆盖达到某一程度时取得最大值,然后又随时间缓慢减小。在模拟计算时,植物系数 K_c 与时间的关系可以用经验公式表达,这里我们采用下列形式的经验公式^[21-24]:

$$K_c = K_{cm} e^{-\left(\frac{t_m - t}{c}\right)^2} \quad (6)$$

式中: t ——时间; t_m —— K_c 达到最大值 K_{cm} 时的时间; c ——经验常数。不同植物的 t_m , K_{cm} 和 c 不同。本文采用这种形式,建立了白杨植物系数与时间的关系。两者之间的关系见图 1,二者之间的关系式为:

$$K_c = 1.3062 e^{-0.5\left(\frac{D-180-1874}{51.285}\right)^2} \quad (7)$$

式中: D ——日序; K_c ——植物系数。

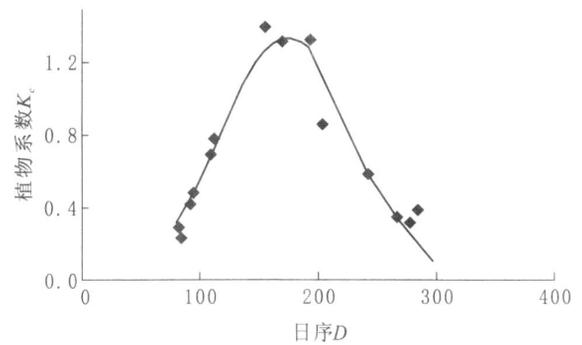


图 1 植物系数 K_c 与日序 D 的关系

3.3 $f(s)$ 的计算

研究表明植物蒸散与土壤中的有效水分含量有关,可把土壤水分有效性函数表示为相对有效土壤湿度的函数^[4,10-11,16,25-27],即:

$$f(s) = f\left(\frac{W - W_z}{W_k - W_z}\right) \quad (8)$$

式中: W ——观测时段内的平均土壤含水量 (mm); W_z ——凋萎含水量 (mm); W_k ——林地田间持水量 (mm)。当 $W = W_k$ 时,土壤水分供应充足,蒸散已不受土壤水分的影响,此时 $f(s) = 1$,由于本文研究的塔里木河流域的植被,而塔里木河流域的年降水量很少,这种情况本文不予考虑。当 $W_z < W < W_k$ 时,土壤水分供应不充足,蒸散受土壤水分的影响,这正是干旱区的典型状况^[10]。本文利用公式(8),并根据实测的田间持水量和凋萎系数,建立了土壤水分有效性函数 $f(s)$ 与观测时段内的平均土壤含水量 W 之间的关系,研究发现二者之间呈线性关系,如图 2 所示。

土壤水分有效性函数 $f(s)$ 与观测时段内平均土壤含水量 W 的关系式可用下式表示:

$$f(s) = 7.2654 W - 1.909 \quad (9)$$

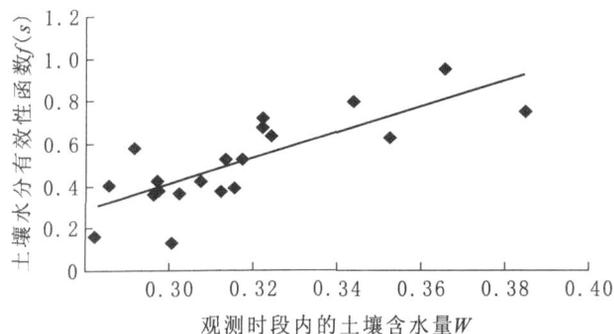


图 2 土壤水分有效性函数 $f(s)$ 与观测时段内平均土壤含水量 W 的关系

相关系数 $r = 0.7815$, $n = 20$, 查表得^[28], 临界相关系数 $r_{\alpha 0.01} = 0.5610$, $r > r_{\alpha}$, 这说明两变量在信度 $\alpha = 0.01$ 水平上达到了极显著性。

4 精度检验

据(3)式,将(4),(7),(9)3式相乘便可得到塔里木河流域白杨农田防护林蒸散量的计算模式为:

$$E_{T_a} = (7.265W - 1.909) \times 1.306 e^{-0.5 \left(\frac{D-180-187}{51.285} \right)^2} \times E_{T_0} \quad (10)$$

为了验证白杨农田防护林蒸散量计算模式的精度,在此利用(2)式的计算结果对(10)式的计算结果进行验证。结合该站的常规气象资料,利用式(10)计算了蒸散量 E_{T_a} ,同时也用水量平衡法得到了实际蒸散量 E_T ,利用两者绘制了白杨林实际蒸散量计算值与实际测量值比较图(图3),同时也建立了二者之间的关系表达式:

$$E_T = 0.9684 E_{T_a} \quad (11)$$

(相关系数 $r = 0.8407$, 自由度 $D_F = 29$)

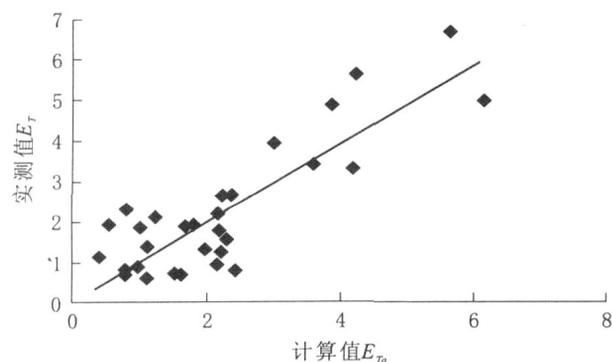


图 3 阿克苏水平衡站白杨农田防护林蒸散量计算值与实测值的比较

从图3和(11)式可以看出,用该方法计算的白杨农田防护林蒸散量与实际测量值之间的结果基本一

致,都在 1:1 直线附近,这说明利用(10)式计算塔里木河流域的白杨农田防护林的蒸散量是可行的,可以取得较好的结果。

5 结论

(1) 在综合考虑气候因素、植物生物学特性和土壤湿度三方面因素的基础上,基于多年的白杨农田防护林试验资料,分别计算出了参考植物的潜在蒸散量 E_{T_0} ,植物系数 K_c 和土壤水分有效性函数 $f(s)$,并将三者相乘,建立了塔里木河流域白杨农田防护林含水量的计算模式。

(2) 利用水量平衡原理得到的白杨农田防护林蒸散量的间接测量值对模式计算结果进行了验证。结果表明模式计算精度较高,可以作为塔里木河流域白杨农田防护林的蒸散量的计算模式。

[参 考 文 献]

- [1] 沈言俐,杨诗秀. 腾发条件下林带—农田地下水动态特征的模拟[J]. 清华大学学报(自然科学版),1998,38(1):79—83.
- [2] 王华田. 林木耗水特性研究评述[J]. 世界林业研究,2003,16(2):23—27.
- [3] Isabel Alves, Maria do Rosario Cameira. Evapotranspiration estimation of root zone water quality model: evaluation and improvement [J]. Agricultural Water Management,2002,57(1):61—73.
- [4] 王菱,倪建华. 以黄淮海为例研究农田实际蒸散量[J]. 气象学报,2001,59(6):784—794.
- [5] 邵爱军,彭建萍,刘培斌. 用水量均衡法确定腾发量[J]. 华北水利水电学院学报,1996,17(3):24—28.
- [6] 李锋瑞,赵松岭,李凤民. 陇东黄土旱塬作物组合系统农田耗水规律研究[J]. 生态学报,1995,15(4):420—426.
- [7] 杨兴国,杨启国,柯晓新,等. 旱作春小麦蒸散量测算方法的比较[J]. 中国沙漠,2004,24(5):651—656.
- [8] 刘士平,杨建锋,李宝庆,等. 新型蒸渗仪及其在农田水文过程中的应用[J]. 水利学报,2000(3):29—36.
- [9] 李临颖. 冬小麦日蒸散量的计算[J]. 应用气象学报,1992,3(2):248—253.
- [10] 杨启国,张旭东,杨兴国,等. 旱作小麦农田实际蒸散量计算模式研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(1):34—38.
- [11] 康绍忠,熊运章. 干旱缺水条件下麦田蒸散量的计算方法[J]. 地理学报,1990,45(4):475—483.
- [12] 赵聚宝,李克煌. 干旱与农业[M]. 北京:中国农业出版社,1995. 147—148.
- [13] 王仰仁,孙小平. 山西农业节水理论与作物高效用水模式[M]. 北京:中国科学技术出版社,2003. 41—44.

从关联度看,也就是混交林对地表径流的灰色关联度最大,其次为阔叶林和楠竹林,对照区的最小。在一定的程度可以认为在降雨到径流的过程中,植被类型对径流效应的作用程度表现为混交林最大,其次为阔叶林,再次为楠竹林。

从林分的空间结构进行分析解释不同植被类型之间关联度的差异。混交林上层的空间有阔叶和针叶相交,构成了该植被的第一层拦截;在乔木下有集中小乔木和灌木的存在,填补了林冠下的空间,使得降雨后雨滴落下,形成了层层缓冲动能的作用;林下的枯落物中有四川大头茶和马尾松的叶子混合,马尾松本身结构粗,富有松脂,四川大头茶的木纤维长,所以在林下形成较厚的枯落物层;土壤是空间层次中最下的一层,四川大头茶里的油脂与油松里的松脂对改造土壤结构有很好的作用,混交林的土壤有很好的下渗能力和保水能力。

阔叶林在上层为四川大头茶的树冠,其特点上一段已经说明,林冠下和混交林差不多,只是在品种和数量上都要少一些。在阔叶林的第二层截流,即使枯落物里主要为四川大头茶,有关试验证明其持水能力没有混交林强。

楠竹林的空间结构是林冠一层拦截,而且楠竹叶面积小,郁闭度小,枯落物层的功能也没有混交林与楠竹林小区的好,所以楠竹林地的降雨与径流的相对联系比较微弱。

农地由于不存在植被,因此它与地表径流的关联度最小。

4 结论

(1) 降雨状况参数和植被状况参数对地表径流的影响大小顺序为:林木的郁闭度 > 林下木的覆盖度 > 降雨量 > 土壤厚度 > 枯落物的厚度。(2) 有植被存在的小区对径流的影响要比没有植被的农地大。通过小区植被类型之间的灰色关联度分析,植被类型与径流的关联程度大小为:混交林 > 阔叶林 > 楠竹林 > 农地;从结构分析可以理解为这个顺序也就是对径流的影响程度大小的顺序。(3) 缙云山植被小区的研究,小范围地尝试了用灰色关联度表示植被参数对径流的影响,对以后的相关研究工作具有积极的促进作用与参考价值。

[参 考 文 献]

- [1] 石培礼,李文华. 森林植被变化对水文过程和径流的影响效应[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 481—487.
- [2] 闫俊华,周国逸. 用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(3): 197—200.
- [3] 张一平,张克映,马友鑫,等. 西双版纳热带地区不同植被覆盖地域径流特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(4): 25—30.
- [4] 高智慧,陈顺伟,蒋妙定,等. 亚热带岩质海岸不同类型植被的水土保持效益[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(4): 380—386.
- [5] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2002.
- [6] (上接第 74 页)
- [7] 樊引琴,蔡焕杰. 单作物系数法和双作物系数法计算作物需水量的比较研究[J]. 水利学报, 2002(3): 50—54.
- [8] 慕彩芸,马富裕,郑序荣,等. 北疆春小麦蒸散规律及蒸散量估算研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 53—57.
- [9] 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试验研究[J]. 水利学报, 2004(1): 17—21.
- [10] 刘钰, Pereira L S, Teixeira J L, 等. 参照腾发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997(6): 27—33.
- [11] 龚元石. Penman-Monteith 公式与 Penman-Monteith 修正式计算参考作物蒸散量的比较[J]. 北京农业大学学报, 1995, 21(1): 68—75.
- [12] 张喜英,陈素英,裴冬,等. 秸秆覆盖下的夏玉米蒸散、水分利用效率和作物系数的变化[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 583—591.
- [13] 雷志栋,罗毅,杨诗秀,等. 利用常规气象资料模拟计算作物系数的探讨[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 119—122.
- [14] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社, 1988. 204—205.
- [15] 罗毅,雷志栋,杨诗秀. 根系层储水量对随机腾发相应特性的初步分析[J]. 水利学报, 1998(5): 44—48.
- [16] 毛晓敏,尚松浩,雷志栋,等. 利用 SPAC 模型对冬小麦蒸散发的研究[J]. 水利学报, 2001(8): 7—11.
- [17] 欧阳竹,罗毅,盖广明,等. 一个预测冬小麦根系储水量的概念性模型[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 593—599.
- [18] 李远华,张明炷,苑文昌,等. 非充分灌溉条件旱作物需水量分析计算研究[J]. 武汉水利水电大学学报, 1994, 27(5): 506—512.
- [19] 康绍忠,邵明安. 作物蒸发蒸腾量的计算方法研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1991(13): 66—74.
- [20] 康绍忠. 计算与预报农田蒸散量的数学模型研究[J]. 西北农业大学学报, 1986, 14(1): 90—101.
- [21] 王玲玲,周纪芾. 常用统计方法[M]. 上海:华东师范大学出版社, 1994. 344.