

# 估算阿拉尔灌区农田白杨防护林 4—10 月蒸散量的经验模型

胡顺军<sup>1,2</sup>, 田长彦<sup>1,2</sup>, 宋郁东<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 植物蒸散量主要受能量、土壤含水量和植物生物学特性影响。在多年野外试验基础上, 运用数理统计方法建立了估算阿拉尔灌区农田白杨防护林 2003—2007 年 4—10 月蒸散量的经验模型。分析结果表明, 白杨农田防护林蒸散量与水面蒸发量的比与根系层土壤含水率的关系服从 Logistic 曲线。该模式仅需常规气象与土壤湿度资料, 计算简便, 具有一定的应用价值。

**关键词:** 白杨防护林; 蒸散量; 水面蒸发量; 经验模型

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)05-0158-03

中图分类号: S274.1

## Empirical Model of Estimating Poplar Shelter Belt Evapotranspiration in Cropland of Alaer Irrigation Area

HU Shun-jun<sup>1,2</sup>, TIAN Chang-yan<sup>1,2</sup>, SONG Yu-dong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

**Abstract:** Evapotranspiration is mainly affected by energy, soil moisture content, and biological characteristics of plant. Based on the field experimental data for years, an empirical model to estimate the evapotranspiration of *Populus tomentosa* shelter belt from April to October in cropland of the Alaer irrigation area is established by the way of mathematical statistics method. Results show that the ratio of the evapotranspiration to water surface evaporation and the soil moisture content in root zone display the Logistic curve. The model uses routine meteorological and soil moisture data only, so it is convenient in calculation and valuable in utilization.

**Keywords:** poplar shelter belt; evapotranspiration; water surface evaporation; empirical model

农田防护林是高效农田生态系统的重要组成部分, 具有防风固沙, 截留积雪, 改善农田小气候, 降低地下水位, 排盐脱碱, 减轻干热风、倒春寒、霜冻、沙尘暴等灾害性气候的危害, 增加作物产量, 保护渠道免遭冻胀破坏等重要作用<sup>[1-2]</sup>。农田防护林作为生态建设的重要措施, 是农田生态系统的屏障, 对生态安全与人类生存环境质量的提高有重要的意义<sup>[3]</sup>。农田防护林蒸散量是干旱区绿洲灌区水平衡的重要消耗项<sup>[4]</sup>, 是灌区生态需水的重要组成部分<sup>[5]</sup>。关于植物蒸散量的研究已有 200 多年的历史, 主要有水文学法、微气象学方法、红外遥感法、植物生理学法、SPAC 模拟方法、气候学计算法和潜水蒸发法等<sup>[6]</sup>。

沈言俐等(1999)研究了防护林带的排水及耗水作用<sup>[7]</sup>。于渲等(1999)研究了河套灌区新疆杨农田防护林耗水特性<sup>[8]</sup>。刘绍民和李银芳建立了箭杆杨林地蒸散量的估算模型<sup>[9]</sup>。本文以水面蒸发量表示能量因素对蒸散发的影响, 建立阿拉尔灌区白杨农田防护林蒸散量估算模型, 以期为准确计算该灌区生态需水量, 合理利用水资源提供科学依据。

### 1 试验材料与方法

试验于 2003 年 4 月 1 日至 2007 年 7 月 5 日在阿克苏水平衡试验站进行。阿克苏水平衡试验站位于塔里木河 3 大源流——阿克苏河、叶尔羌河、和田

收稿日期: 2009-06-07

修回日期: 2010-04-21

资助项目: 国家自然科学基金“通过计算潜水蒸发间接估算天然植被生态需水量的机理研究”(40771043); 中国科学院西部之光人才培养计划联合学者项目“棉花膜下滴灌的节水机理及其特殊生态环境效应”(LHXZ200801); 中国科学院西部之光人才培养计划西部博士专项“塔里木河上游河岸林对洪水干扰的适应”(XBBS200807)和中国科学院知识创新工程重要方向项目“绿洲生态系统稳定性关键技术研究与示范”(KZCX2-XB2-03-02)

作者简介: 胡顺军(1968—), 男(汉族), 陕西省勉县人, 副研究员, 主要从事干旱区生态水文、节水灌溉等方面的研究。E-mail: xjshunjun@yahoo.com.cn。

河交汇处附近的冲积平原。所在区域是塔里木盆地荒漠背景条件下分布的新型绿洲, 属暖温带内陆型气候。地理坐标为东经  $80^{\circ}51'$ , 北纬  $40^{\circ}37'$ , 海拔高程 1 028 m。多年平均降水量 45.7 mm, 水面蒸发量 2 270.5 mm (直径 20 cm 蒸发皿观测值), 年日照时数 2 950 h, 无霜期 207 d。土壤类型主要为粉沙壤土。白杨防护林宽 4 m, 株行距  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ , 白杨树于 2000 年 3 月栽植。试验时在白杨农田防护林地内垂直林带埋设了 2 根 3.5 m 深的中子管, 每 5~10 d 采用中子仪测定一次林地内的土壤水分, 测定深度为 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290 cm。在林带中心打了一眼地下水观测井, 监测土壤水分的同时测定地下水埋深。水面蒸发资料取自阿克苏水平衡试验站。

表 1 2003—2007 年白杨防护林地土壤水分垂直分布统计分析

深度/ cm	最大值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )	最小值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )	极差/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )	平均值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )	方差	标准差/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )	自由度	变异系数
10	0.46	0.13	0.33	0.28	0.85	0.07	190	0.24
30	0.51	0.28	0.23	0.33	0.28	0.04	190	0.12
50	0.53	0.28	0.25	0.34	0.22	0.03	190	0.10
70	0.58	0.32	0.26	0.38	0.30	0.04	190	0.11
100	0.49	0.38	0.11	0.43	0.05	0.02	190	0.04
150	0.50	0.41	0.09	0.45	0.04	0.02	190	0.03
200	0.53	0.41	0.12	0.46	0.06	0.02	190	0.04
250	0.50	0.39	0.11	0.44	0.05	0.02	190	0.04

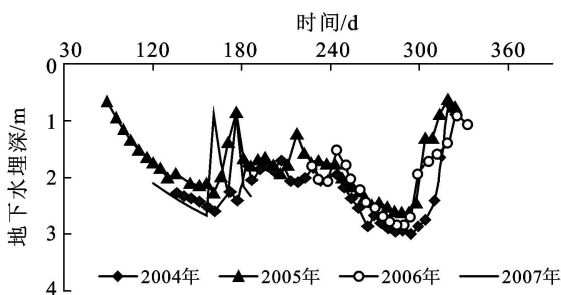


图 1 阿拉尔灌区白杨防护林地地下水埋深变化曲线

## 2.2 白杨防护林地地下水动态

图 1 表示阿拉尔灌区白杨防护林地地下水埋深的变化过程, 地下水动态属侧渗—灌溉入渗—蒸发型。防护林地下水的收入项主要有农田侧渗和自身的灌溉入渗, 支出项主要是防护林的蒸散发。因此, 防护林地地下水水位动态基本与灌区农田地下水水位动态一致, 只是在获得自身的灌溉入渗后, 地下水水位的峰值和波动有一些变化。该区主要种植棉花, 每年 10 月中下旬冬灌后, 地下水水位开始上升, 到 11 月中下旬达到最高, 然后随着潜水蒸发消耗而下降, 直到 3 月下旬春灌前达到一年地下水位的第一个谷值, 春

## 2 结果与分析

### 2.1 白杨防护林主要根系层深度的判断

采用土壤剖面各深度土壤含水率的最大值、最小值、极差、平均值、方差、标准差和变异系数来表征各深度土壤含水率随时间的变化特性(表 1)。由表 1 可以看出, 0—70 cm 层土壤含水率的极差大于  $0.23\text{ m}^3/\text{m}^3$ , 标准差大于  $0.03\text{ m}^3/\text{m}^3$ , 变异系数大于 0.10, 属中等变异性<sup>[10]</sup>。防护林地土壤水分增加主要是由于灌溉补水造成的, 土壤水分减少主要是由于裸间土壤蒸发和植物根系吸水、植物蒸腾的缘故。因此, 根据各深度土壤含水率随时间的变化可以初步判断白杨防护林主要根系层分布深度小于 1 m, 而且主要分布在 70 cm 以内。

灌后地下水水位上升到第一个峰值; 之后, 随着气温的升高, 棉花、防护林及荒漠植被耗水的增加, 到 6 月中旬棉花灌第一水前地下水水位一直下降。在棉花需水高峰期, 灌水后地下水水位上升; 之后, 随着潜水蒸发消耗又下降, 呈锯齿状, 但整体呈下降态势。最后一次灌水后, 地下水水位一直下降到冬灌前的全年最低值。

### 2.3 蒸散量计算

平衡土体下界面选在地下水水位变幅带以下一定深度, 把饱和—非饱和土体作为一个整体, 选择“纯粹由于蒸散作用而引起地下水水位下降”时段的土壤水分资料, 根据水量平衡原理计算该时段的蒸散量。

忽略侧向径流的影响, 根据水量平衡原理得:

$$E_T = S_{Wt} - S_{W(t+1)} \quad (1)$$

式中:  $E_T$ ——蒸散量 (mm);  $S_{Wt}$ ,  $S_{W(t+1)}$ —— $t$ ,  $t+1$  时刻 0—300 cm 饱和—非饱和土体储水量 (mm)。

### 2.4 估算白杨农田防护林蒸散量的数学模型

植物蒸散量主要受能量、土壤和植物特性及生长性状三大因素的影响<sup>[11-17]</sup>。能量因素, 即大气蒸发力, 表征大气蒸发力的指标可以用自由水面蒸发量, 也可以用参考作物蒸发蒸腾量<sup>[10, 16-17]</sup>。土壤因素主

要是指根系层土壤水分含量变化对蒸散过程的影响。在有植物生长的条件下,土壤水分含量变化对蒸散过程的影响可以通过 2 个临界湿度分为 3 个阶段。第 1 阶段:土壤充分供水,无论土壤蒸发,还是植物散发,均达到蒸(散)发能力。这一阶段的临界土壤含水率(第一临界湿度)由于植被的存在将小于田间持水率。第 2 阶段:土壤含水率从第一临界湿度降低到第二临界湿度(小于毛管断裂含水率而大于凋萎系数),由于供水越来越不充分,蒸散发将随着土壤含水率的减少而减小。第 3 阶段:当土壤含水率降低到小于第二临界湿度以后,蒸散发几乎等于常数<sup>[18-19]</sup>。这种划分是相对的,其实很难精确划分。植物蒸散量可表示为<sup>[13]</sup>:

$$E_T = \frac{E_T}{E_{Tm}} \cdot \frac{E_{Tm}}{E_o} \cdot E_o \quad (2)$$

式中:  $E_T$ ——植物实际蒸散量(mm/d);  $E_{Tm}$ ——充分供水条件下植物蒸散量(mm/d);  $E_o$ ——直径 20 cm 小型蒸发皿观测的水面蒸发量,表示天气条件对植物蒸散的影响;  $E_T/E_{Tm}$  表示土壤因素对植物蒸散量的影响,可表示为根系层土壤含水率  $W$  的函数,即  $E_T/E_{Tm} = f(W)$ ;  $E_{Tm}/E_o$ ——植物因素对蒸散量的影响,亦称为植物系数  $K_c$ ,当考虑植物某一生育阶段时,  $K_c$  可视为常数。故

$$E_T = f(W) \cdot K_c \cdot E_o \quad (3)$$

$$\frac{E_T}{E_o} = K_c \cdot f(W) \quad (4)$$

综合前面的分析,确定计算土体深度取 1 m。点绘 4—10 月纯粹由蒸散发而引起地下水位下降时期农田白杨防护林蒸散量  $E_T$ , 水面蒸发量  $E_o$  和 0~1 m 土体平均含水率  $W_{100}$  的关系如图 2 所示。

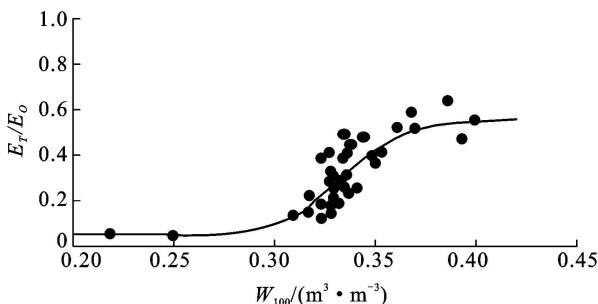


图 2 4—10 月农田白杨防护林地  $E_T/E_o$  与 0~1 m 土体平均含水率  $W_{100}$  关系

经拟合得:

$$E_T = \left\{ \frac{0.4876}{1 + \exp\left[-\frac{(W_{100} - 0.3325)}{0.0146}\right]} + 0.05 \right\} E_o \quad (5)$$

$$(F = 16.612 \gg F_{0.01(3, 32)} = 4.46)$$

式中:  $W_{100}$ ——0~1 m 土体平均容积含水率 ( $m^3/m^3$ );  $e$ ——自然对数的底。

### 2.5 模型精度检验

在此利用式(1)的计算结果对式(5)的计算结果进行验证。根据水面蒸发和土壤水分资料,利用式(5)计算的蒸散量为  $E_{T\text{计算}}$ ; 根据土壤水分资料,利用水量平衡式(1)计算的实际蒸散量为  $E_{T\text{实测}}$ 。

农田白杨防护林蒸散强度的计算值与实测值的比较情况见图 3。建立二者的回归方程得:

$$E_{T\text{计算}} = 0.9928 E_{T\text{实测}}$$

$$(r = 0.85 \gg r_{0.01} = 0.40, n = 38) \quad (6)$$

式中:  $E_{T\text{实测}}$ ——农田白杨防护林蒸散强度的实测值(mm/d);  $E_{T\text{计算}}$ ——农田白杨防护林蒸散强度的计算值(mm/d)。

公式(5), (6)都达到极显著水平,而且从图 3 中可看出,农田白杨防护林蒸散强度的计算值与实测值密切相关,大部分点都聚集在 1:1 直线附近,表明模型的精度良好。

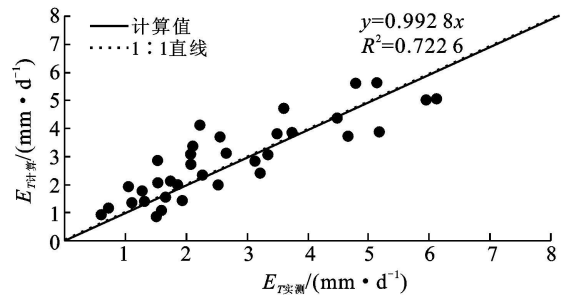


图 3 农田白杨防护林蒸散强度的计算值与实测值的比较

## 3 结论

(1) 农田白杨防护林蒸散量与水面蒸发量的比与根系层土壤含水率的关系服从 Logistic 曲线。运用数理统计方法建立的阿拉尔灌区农田白杨防护林蒸散量计算模型仅需常规气象与土壤湿度资料,便于在缺乏实测资料的地区使用。

(2) 通过对农田白杨防护林蒸散量的计算值与实测值的比较,计算值与实测值密切相关,模型的精度较好。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 朱廷曜, 关德新, 周广胜, 等. 农田防护林生态工程学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 57-306.  
 [2] 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.  
 [3] 范志平, 曾德慧, 朱教君, 等. 农田防护林生态作用特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 130-133, 140.

(2) 优化农业产业结构, 果业快速发展, 2007 年全县水果总产  $1.54 \times 10^5$  t, 水果产值占农业总产值的 54.5%。农林牧土地利用结构趋于合理, 增加了群众的经济收入和农业投入的能力。根据王东沟试区旱作产量潜势和水肥效应试验示范结果, 长武县通过采取增加化肥投入, 优化施肥, 引入良种组合, 优选播种期种植密度, 提高农业机械化程度, 在耕地面积减少的情况下, 保证了粮食总产量有所增加, 依靠粮食种植业和果业, 农民收入出现明显增长, 实现脱贫致富。

(3) 在综合效益方面, 使群众有更多的季节性富余劳动力, 增加劳务输出收入, 农村剩余劳动力转移程度得到了提高, 2007 年, 全县劳务输出人员占到了剩余劳动力的 86%, 创造经济收入约 1.73 亿元, 其收入占农民家庭总收入的 40% 以上。

应严格落实计划生育政策, 控制农村人口增长速度, 提高农业从业人员的科学文化素质, 采取最严格的耕地保护措施, 提高土地利用效率。应充分发挥已有农业节水技术作用, 提高有限的水资源利用率和抗旱灾能力。要克服片面追求生态农业的经济效益, 忽视其生态及综合效益, 促进三者的协调发展。进一步提

高农业科技水平, 不断优化种植业结构布局, 提高农业附加值, 进一步提高水肥资源利用效率, 促使区域社会经济持续发展。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 黄明斌, 董翠云, 李玉山. 黄土高原水土流失区粮食现状与增产潜力研究[ J ]. 自然资源学报, 2001, 4(10): 34-40.
- [ 2 ] 李玉山, 苏陕民. 长武王东沟小流域高效生态经济系统建立技术综合研究[ C ] // 李玉山, 苏陕民. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究. 西安: 科学技术文献出版社, 1991: 1-28.
- [ 3 ] 郝明德. 黄土高原沟壑区农业生态经济系统研究[ C ] // 郝明德, 梁银丽. 长武农业生态系统结构、功能及调控原理与技术. 北京: 气象出版社, 1998: 3-14.
- [ 4 ] 王继军, 郑科, 郑世清, 等. 中尺度生态农业建设效益评价指标体系研究[ J ]. 水土保持研究, 2000, 7(9): 243-247.
- [ 5 ] 曾建权. 层次分析法在确定企业家评价指标权重中的应用[ J ]. 南京理工大学学报, 2004, 28(1): 99-104.
- [ 6 ] 长武县统计局. 长武县统计年鉴 1980—2008 [ Z ]. 长武: 长武县统计局, 1981—2009.
- [ 7 ] 长武县志编辑委员会. 长武县志 [ Z ]. 西安: 陕西人民出版社, 2000: 87-144.

(上接第 160 页)

- [ 4 ] 黄聿刚, 丛振涛, 雷志栋, 等. 新疆麦盖提绿洲水资源利用与耗水分析: 绿洲耗散水文模型的应用[ J ]. 水利学报, 2005, 36(9): 1062-1066.
- [ 5 ] 贾宝全, 慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算[ J ]. 生态学报, 2000, 20(2): 243-250.
- [ 6 ] 司建华, 冯起, 张小由. 植物蒸散耗水量测定方法研究进展[ J ]. 水科学进展, 2005, 16(3): 451-459.
- [ 7 ] 沈言俐, 杨诗秀, 段新杰, 等. 防护林带的排水及耗水作用初步分析[ J ]. 灌溉排水, 1999, 18(2): 38-40.
- [ 8 ] 于渲, 吉腾飞, 魏蒙淳, 等. 河套灌区新疆杨农田防护林耗水特性的研究[ J ]. 内蒙古水利, 2004(4): 5-6.
- [ 9 ] 刘绍民, 李银芳. 箭杆杨林地蒸散的研究[ J ]. 干旱区研究, 1996, 13(2): 74-76.
- [ 10 ] 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.
- [ 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 ] 康绍忠, 蔡焕杰. 农业水管理学[ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 101-120.
- [ 13 ] 赵聚宝, 李克煌. 干旱与农业[ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 146-212.
- [ 14 ] 刘绍民, 刘志辉. 新疆玛纳斯河流域玉米田蒸散量的估算研究[ J ]. 灌溉排水, 1998, 17(1): 14-17.
- [ 15 ] 刘绍民, 刘志辉. 作物农田蒸散计算模型的研究[ J ]. 生态学杂志, 1998, 17(4): 66-69.
- [ 16 ] 洪嘉琏, 谢贤群. 土壤水分不同调控条件下冬小麦蒸散量与产量关系[ M ] // 刘昌明, 于沪宁. 土壤—植物—大气系统水分运动试验研究. 北京: 气象出版社, 1997: 145-151.
- [ 17 ] 洪嘉琏. 灌溉农田蒸散量与计算[ M ] // 许越先. 节水农业研究. 北京: 科学出版社, 1992: 117-125.
- [ 18 ] 芮孝芳. 水文学原理[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 126-130.
- [ 19 ] 赵人俊. 流域水文模拟[ M ]. 北京: 水利电力出版社, 1984: 71-73.