

台湾泥岩恶地适生植物蒸发散模式之研究

张俊斌, 颜正平, 李庆瑞, 叶耀骏
(中兴大学水土保持学系 台湾台中)

摘要: 盆栽植物蒸发散之量测不仅可作为植物水分需求之依据, 且可配合相关理论推导之蒸发散物理模式, 以量化小区域内温度、湿度等微气候之变化。本研究之目的在探讨二种台湾西南部泥岩地区之适生植物, 其环境日射量、饱和蒸气压差与蒸发散之关系模式, 而植物蒸发散量之量测方式则以重量差值法代表, 并经由物理、数学理论推导与统计回归分析结果, 所建立之蒸发散量(ET)最佳物理推估模式为日射量(R_s)与饱和蒸气压差(VPD)之线性函数。微气候因子之日射量、饱和蒸气压差、土温及土壤水分含量等对二种植物之蒸发散量予以量化, 并利用统计回归模式分析之方法加以讨论与验证。

关键词: 泥岩地区; 物理模式; 蒸发散

中图分类号: S 152. 75

文献标识码: B

文章编号: 1005-3409(2001)04-0136-10

Study on the Evapotranspiration Model for Fitted Plant in Taiwan Mudstone Area

ZHANG-Jun bin, YAN Zheng-ping, LI Qing-rui, YE Yao-jun

(Department of Soil and Water Conservation, Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, China)

Abstract: The measurement of evapotranspiration for the potted plant could take as required water index for the fitted plants and could quantify these changes of microclimate at local region. The evapotranspiration model also could incorporate into the microclimate model to quantify the humidity ratio of the inner air. The purpose of this study is to utilize solar radiation(R_s) and saturated vapor pressure difference (VPD) to get evapotranspiration (ET) physical model. In order to get the best model, physics theorem, mathematics theorem, and statistics tools combined to infer evapotranspiration model. The weight measurement technique was adopted and a measured device was established. According to micrometeorology, solar radiation and vapor pressure margin are function of evapotranspiration. The evapotraspiration was studied as a function of solar radiation and vapor press deficit by physical formula proposed and regression analysis. The experiment results indicated that the evapotranspiration was significant.

Key words: mudstone area; physical model; evapotranspiration

1 前言

植物之蒸发散随不同之种类而有差异, 尤在土壤水分较缺乏之台湾西南部泥岩地区更明显, 而其蒸发散模式与生理反应、物理作用等亦异于其它地区。全株植物的水分散失过程乃指由土壤中大量吸水, 水经由植物的传导输送, 最后以水蒸气散失到大气中。植物对水的整体中吸收中, 低于 5% 的水分是

真正利用植物的生长与生化反应(Hopkins, 1995), 穿过植物体的水因蒸发而散失, 称为蒸散作用。虽然有少量的水蒸气会由枝条的树皮皮孔散失, 但超过 90% 的水分, 主要是经由植物叶片之气孔而蒸发。

一般有关蒸发散量测定之方法有直接与间接推估两种, 盆栽观测法、渗透计观测法、减水深法、水收

* 收稿日期: 2001-08-25

作者简介: 张俊斌, 台湾中兴大学水土保持学系 博士生; 颜正平, 台湾中兴大学水土保持学系 教授; 李庆瑞, 台湾中兴大学水土保持学系 教授; 叶耀骏, 台湾中兴大学水土保持学系 硕士。

支法及水分递减测定法等属直接推估法。一般常用的为间接之推估法,但因间接法其控制参数大都以温度、相对湿度、净辐射、风速与日射量等复杂之气象因子为主,其计算过程不仅繁杂、且不易验证与预测,更较不易执行与植物生理感测结合之控制技术更不易执行。因此,对于植物生长与微气候模式之发展尚未完备,然而植物生理感测项目中除光合作用外,以蒸散作用最为重要。植物蒸散作用大都以叶面为主,将叶体内部水分透过叶气孔,以水蒸气方式带走体内的热源,对环境而言,植物蒸发散作用的重要性为:

(1) 植物蒸散作用代表热量与质量之转换,使内部热量经由叶体水分之蒸发并以潜热形式呈现,微气候模式必需加入蒸发散作用之量测与验证,才具完备(陈,1998)。

(2) 结合蒸发散作用之量化影响因子于环控策略中,可以建立以植物生理为指针之技术,且可提供经济作物之灌溉作业与植栽控制决策(何时供水、需水量多少)等依据(Stangheli,1988)。

(3) 植物蒸发散作用与其叶温有密切关联性,在逆境环境下,蒸散作用受阻,将造成叶温非常态反应。因此利用蒸发散作用研究配合叶温量测,可进行作物逆境之预警量测(Clawson 等,1989)。

(4) 植被之抑制浅层崩塌,除根系所提供之物理作用外,另一重要机制为蒸散作用。且由摩耳-库伦破坏定律可得知,植物之蒸散作用降低孔隙水压力,进而增加土壤剪力强度,是以对坡面上之浅层崩塌而言,植物之蒸发散生理反应以及根系之物理作用对坡面稳定占有极重要之地位(张与林,1995)。

(5) 蒸发散量作用为水文循环重要机制之一,其与土壤水分收支,集水区经营及植物生长均具有密切之关系,若能了解一地区之蒸发机制,时有助于水资源营运(黄与徐,1986)。

(6) 植物的生长、生产力甚至是生存逆境皆与蒸发散作用有关,植物因过度的蒸散作用会造成严重缺水,如无对环境逆境之机制,将会导致生长不良或死亡(Hopkins,1995)。

综观国内外有关植物之蒸发散作用研究,除了大面积之蒸发散估算外,大都以田间之水稻、玉米及高粱等经济作物为主,量测单位为单位时间下单位面积的蒸发水重量,除了作物蒸散作用并考虑地表之蒸发作用,并以此建立灌溉给水量之依据(甘等,1992);颜与杨(1975)则以台湾德基水库集水区为单位,比较其喜水植物之蒸散率并归纳为高中低三类。

关于台湾西南部泥岩恶地蒸发散量之研究,大

都从彭曼式(Penman)蒸发散公式中之微气象资料,以估算其地区之蒸发散量(徐森雄、宋义达,1987;徐森雄等,1991),徐森雄等(1999)亦利用微气象资料推估奥古斯丁草地之蒸发散量,并评估热收支法、空气动力学法与彭曼改良法之蒸发散量推估值,惟无法评估其准确性、预测能力及同一地区不同种植物之差异。

而在单株植物之蒸散作用研究中,林与刘(1997)曾进行10种阔叶树种单叶蒸发散量之量测,并建立此数值与光合成有效日照量、叶温及蒸汽压差等微气候因子之多种函数关系,但亦未讨论其适用性与预测性能。

因此,对于其它大面积之植物,大多以能量平衡法或空气动力法等之推估公式来估算,较少考虑植物之生理反应物理作用与植物种类之差异性对蒸发散量之影响以及其预测性能。植物蒸发散作用之量测技术中,重量变化量测法系将植物置放于精密天平之上,连续记录其重量变化,由重量对时间之变化以计算蒸发散量;此方式常用于盆栽植物,在已普遍应用于小胡瓜(Yang et al.,1989)、蕃茄(Joliet and Bailey,1992)、玫瑰花(Baille,1994)与菊花(Fynn et al.,1993)等农作物、园艺花卉植物;Kramer(1983)认为重量变化法较为可信,也较合乎实际的野外状况,惟需考虑容器大小及适切量测时间之影响;Aston(1984)则讨论重量变化法之适切量测时间。Van Meurs 等人(1992)则提出量测天平之精密要求,对量测能力为12 kg之天平其误差值应在1 g以下,而范围为60 kg之天平,其误差应小于5 g。

另一种植物蒸发散量测为能量平衡法,乃利用温室内部微气候能量之守恒定律。其原理为温室内部水蒸气之增加量系来自内部之蒸发散,以此换算得知植物社会之蒸发散量;Tantau(1992)对此能量平衡法,已有详细之探讨;Baille 等人(1992)则比较重量法与能量平衡法之差异与其适用性,认为重量法准确性虽较高,但未能代表温室内全部植物之蒸发散量值;而能量平衡法可考虑全部植物之蒸发散量,但易受到传感器之准确度与通风量量测准确性之影响。

Baille(1994)在对于温室作物之需水性量测研究中,发现蒸散量与日射量、饱和蒸汽压具有线性关系,且其回归公式可用以量化作物需水量。Coulon等(1996)则结合蒸散量值与微气候量测值,以微电脑执行灌溉控制。是以蒸发散模式之建立,不仅可应用于植栽需水灌溉作业,亦可探讨未来因温室效应所产生之气候变迁后植物耗水量之影响(林与张,

2000), 以评估不同植物间之差异性与变化率。

综合以上前人研究与各种方法之比较探讨, 本研究採用重量法以量测固定面积之盆栽植物蒸发散量, 以求得较精确之量值。且并经由空气动力学、热传导学等之相关理论推导出—物理意义之回归模式, 并找出蒸发散之主要决定因子, 更进一步由较易量测之气象因子(日射量、温度)模式来代表其蒸发散。

由于西南部泥岩地区植物蒸散作用的重要性, 为结合植物生理感测与植栽技术以提升植物存活率与逆境忍受, 其蒸发散作用之机制有加以研究之必要性。是以, 本篇研究之主要目的为:

(1) 建立植物蒸发散作用之简易量测设备, 进行泥岩地区优势植物的盆栽植物之蒸发散作用量测由小面积之蒸发散准确, 以便更精确推估泥岩现地之蒸发散量。

(2) 目前台湾地区有关植物蒸发散资料并不完整。大都偏重于农作物方面, 且以大面积推估之彭曼式公式为主。较无法比较不同植物、不同逆境下之差异。因此, 期能以自行推估之物理模式来讨论其蒸发散之不同与机制。

(3) 以蒸发散量与日射量微气候量测值, 验证已建立的蒸发散作用模式之合理性与预测性能。

(4) 以试验用之盆栽面积、量测时间间隔之重量减少量来代表盆栽之蒸发散量, 并由单位之转换, 使其合乎数学、物理意义。并能进一步应用于大面积、不同植物环境之蒸发散量之较精确量测与预测。

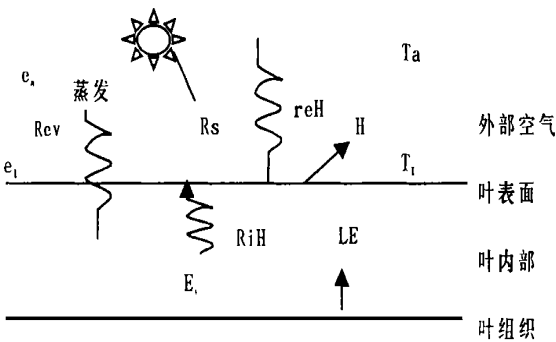


图 1 植物叶面热平衡系统图

2 蒸发散作用之相关理论与推导

对植物叶面其热平衡系统描述如下, 其热平衡系统如图 1 所示:

$$R_n = H + LE + J + M \quad (1)$$

式中: R_n ——叶面所接受之净辐射量($W \cdot m^{-2}$); H ——叶面与周围空气之显热作用($W \cdot m^{-2}$); LE ——叶本体蒸发水分引起的潜热($W \cdot$

m^{-2}); J ——贮存于叶本体之热量变化($W \cdot m^{-2}$); M ——因光合作用所吸收之热量($W \cdot m^{-2}$)。

又依据辐射能量平衡

$$R_n = (1 - P_s) R_s + I_e - \sigma T_l^4 \quad (2)$$

式中: P_s ——叶面反射率; R_s ——短波幅射量($W \cdot m^{-2}$); σ ——波兹曼常数(Boltzmann's constant); T_l ——叶面温度(K); I_e ——外在环境长波幅射量($W \cdot m^{-2}$)。

$$H = \frac{\rho_a \times C_p}{r \times reH} (T_l - T_a) \quad (3)$$

式中: ρ_a ——空气密度($kg \cdot m^{-3}$); C_p ——空气比热($kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$); reH ——叶面热传对流阻力系数($s \cdot m^{-1}$); T_a ——空气温度($^\circ C$); T_l ——叶面温度($^\circ C$)。

$$LE = \frac{\rho_a \times C_p}{r \times rev} (e_l - e_a) \quad (4)$$

式中: r ——热力空气图常数($mbar \cdot ^\circ C^{-1}$); e_l ——叶面空气之蒸气压($mbar$); e_a ——周围空气之蒸气压($mbar$); rev ——水蒸气叶表面质传递之对流阻力系数($s \cdot m^{-1}$)。通常 e_l 值可假设为饱和状态, 且以代表。 M 之数值相对于 H 与 LE 值为极小值, 因此可忽略不计。所以叶面之热平衡系统可描述如下:

$$R_n = H + S_i \quad (5)$$

式中: S_i ——表面热量以传递形式传至内部之热量, 因此转换为蒸发潜热(LE)与本身组织热量之变化(J)。

$$R_n = H + LE + J \quad (6)$$

以热传导原理, 可知 S_i :

$$S_i = \frac{\rho_l \times C_l}{r_i H} (T_i - T_l) \quad (7)$$

式中: ρ_l ——叶体密度($kg \cdot m^{-3}$); C_l ——叶体比热($kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$); $r_i H$ ——叶组织热传导阻力系数($s \cdot m^{-1}$); T_i ——叶体内部温度($^\circ C$)。

对蒸发潜热中, 水蒸气之传递径而言

$$LE = \frac{\rho_a \times C_p}{r \times riv} (e_i - e_l) = \frac{\rho_a \times C_p}{r \times rev} (e_l - e_a) \quad (8)$$

式中: e_i ——叶体内部空气之蒸气压($mbar$); r_{iv} ——叶组织质传导阻力系数(sm^{-1}); 因此由(8)式可知

$$LE = \frac{\rho_a \cdot C_p}{r \times (riv + rev)} (e_i - e_a) \quad (9)$$

e_i 值可以假定处于饱和蒸气状态, 在 T_i 之饱和蒸气压力以 $e_i(T_i)$ 表示

$$e_i - e_i(T_i) = \delta [T_i - T_a] \quad (10)$$

为一比例常数, 与温度无关而为一常数。

T_i 与 T_a 之差值分成两阶段

$$T_{i-} - T_a = (T_{i-} - T_l) + (T_l - T_a) \tag{11}$$

由公式(6)、(7)可知

$$T_{i-} - T_l = \frac{r_i H}{\rho_a C_l} [LE + J] \tag{12}$$

另由(3)、(6)式可知

$$T_{l-} - T_a = \frac{reH}{\rho_a C_p} [R_n - LE - J] \tag{13}$$

(12)式与(13)式相结合可知

$$T_{i-} - T_a = \frac{reH}{\rho_a C_p} R_n - \left[\frac{reH}{\rho_a C_p} + \frac{r_i H}{\rho_a C_e} \right] * (LE + J) \tag{14}$$

但 $\frac{reH}{\rho_a C_p}$ 远大于 $\frac{r_i H}{\rho_a C_l}$ 所以(14)式可简化为

$$T_{i-} - T_a = \frac{reH}{\rho_a C_p} (R_n + J - LE) \tag{15}$$

由公式(9)、(10)及(15)式可知

$$LE = \frac{\delta reH (R_n - J) + \rho_a C_p [e(T_{i-}) - e(T_a)]}{r[riv + rev] + \delta reH} \tag{16}$$

对叶表层而言, 空气热传(reH)与质传系数(reV)为相同数值, 公式(16)可再改为: $LE =$

$$\begin{aligned} & \frac{\delta reH (R_n - J)}{(\delta + r)reH + rriv} + \frac{\rho_a C_p [e(T_{i-}) - e(T_a)]}{(\delta + r)reH + rriv} \\ &= \frac{\delta reH (R_n)}{(\delta + r)reH + rriv} + \frac{\rho_a C_p [e(T_{i-}) - e(T_a)]}{(\delta + r)reH + rriv} - \frac{\delta reH J}{(\delta + r)reH + rriv} \end{aligned} \tag{17}$$

将(17)乘上叶面积指数(LAI), 即可修正为植株的蒸发散量

引入水蒸发潜热值(e_r)及土壤水饱和蒸汽压($e \cdot (T_s)$), LE 可转化为蒸发散重量(ET)之变化, $ET = LE / e_r$, 数值 $[(e \cdot (T_{i-}) - e(T_a) + (e \cdot (T_s) - e(T_a)))]$ 为叶与空气及土壤与空气之饱和蒸气压差,

$$ET = aR_n + b \cdot VPD + c \tag{18}$$

在此 a, b, c 为常数, 虽然公式(18)有物理学、数学意义, 但气象因子之感测应以日射量为主, 才能较符合经济效益。为结合蒸发散作用量与原来感测系统, 公式(18)再加以转换: 结合公式(2)与(18),

$$ET = a(1 - P_s)R_s + I_e - \sigma T_e^4 k + b \cdot VPD + c \tag{19}$$

将 I_e, T_e^4 加入常数项 C , ET 之新关系式如下:

$$ET = A \cdot R_s + B \cdot VPD + C \tag{20}$$

在此 A, B, C 为回归参数。

3 材料与方法

3.1 试验地点

将供试之盆栽植物置于野外试验区, 其位于台湾台南县六甲乡乌山头水库上游之红泉坑头小集水

区内, 该区土地属于嘉南农田水利会, 系一紧临乌山头水库区之水源保育区。为一面积约 40 hm^2 之独立小集水区, 地质属上新世的砂岩、泥岩、页岩所组成, 表层土壤为砂页岩质地石质土。区域内植物分布以早期种植之刺竹林为主, 亦有人工种植之木麻黄林、大叶桃花心木造林地与本地入侵等植物, 并设置有防砂坝、淤泥地、土堤、农塘及农路等, 为具典型泥岩地区环境特性之小集水区(张与林, 1999; 张等, 2000)。

3.2 试验用仪器

3.2.1 大气温度与相对湿度计 使用美国制 111 Temperature & 121 Humidity 型, 以精密温度校正仪校正后准确性为 ± 0.3 。相对湿度感测组件为高分子薄膜电阻型组件, 经校正后准确性 $\pm 2\%$ 。此种仪器用以量测盆栽附近大气温、湿度, 并以 T-type 热电偶丝量测上中下层叶面之温、湿度, 而其温、湿度之输出均为 $0 \sim 5V$ 。

3.2.2 日射量计 以 E20 全日射量计, 量测盆栽植物上方之日射量, 其量测最大值可达 $3\,000 \text{ w/m}^2$, 分光波长为 $400 \sim 1\,100 \text{ nm}$, 误差 3% 。

3.2.3 精密天平 蒸发散量数值系以重量变化方式加以计算, 使用之精密天平为台湾宇权公司制之 EW-20k 型两具, 量测范围 $0 \sim 20 \text{ kg}$, 准确性 0.1 g , 量测讯号为 $0 \sim 2V$, 解析性 1 mv 。

3.2.4 地温与土壤含水量 于盆栽容器之根部附近, 埋设 111 Temperature 型地温计与 200SS 型土壤水分计。以量测根部附近之温度与土壤含水量。土壤温度感测组件为 thermister type, 量测范围为 $-40 \sim 55$, 误差为 ± 0.3 。而土壤水分计量测范围为 $0 \sim 2 \text{ bar}$ 。

3.2.5 资料记录器 为台湾玖廷公司开发之 HL20 型数据处理控制器。所有传感器连接至资料记录器加以记录, 内存容量为 512 KB , 12 V 电源输入输出。

3.2.6 盆栽容器 盆栽容器为高 30 cm , 直径 24 cm 之圆柱型塑料容器, 将高度 30 cm 之供试植物小苗移植至容器内, 并取泥岩试验地之土壤为介质。经养治二个月后, 选择未下雨之典型夏季天气, 开始进行一整日蒸发散试验 5 次。

3.3 试验方法

于二台精密天平上放置二盆盆栽植物。容器底部以铝箔纸、棉花及胶带等阻隔介质内水分的蒸发。精密天平之输出端子与资料记录器相连结。环境传感器与资料记录器连结。全日射计则放置于叶冠层顶部旁。资料之取样为每 60 s 扫描一次, 以 20 min

20 次数据之平均值加以记录, 蒸发散量则以 20 min 内之重量差值表示。

3.4 试验植物

此研究所用之植物为台湾西南部泥岩恶地常见之冬青菊与苦蓝盘适生植物。

(1) 苦蓝盘

科别: 马鞭草科(A243)

学名: *Clerodendron inerme*(L.) Gaertn.

英名: Sea-side *Clerodendron*

俗名: 苦林盘、白花苦林盘。

习性: 耐盐性、耐碱性、耐旱性、耐湿、耐淹埋及抗风性很强的蔓茎状常绿灌木。

茎叶: 枝梢韧软, 卧伏地上或攀原其它植物上升。叶十字对生, 椭圆形、狭卵形、卵形等, 全缘长 4~8 cm, 宽 2~4 cm, 叶厚或呈肉质, 叶柄约 1 cm。叶片具有特殊苦涩气味。

花果: 花顶生或腋生, 短聚伞花序, 多每 3 花丛着, 花萼截断状, 仅微浅裂, 冠筒白色, 长 3 cm, 裂片 5, 有红晕; 花丝细长突出花冠, 茎紫色。核果倒卵形, 径 1.5 cm, 花萼宿存。

分布: 日本(九州)、琉球、印度及太平洋诸岛、大陆广东、福建及台湾海岸及沿海地区、兰屿、绿岛及澎湖群岛。

用途: 海岸防风、定砂、河沟护岸及诱鸟、诱蝶, 泥岩地区淤泥地植栽树种。

繁殖: 种子繁殖、扦插。

(2) 冬青菊

科别: 菊科(A320)

学名: *Pluchea indica*(L.) Less.

英名: India *Pluchea*

俗名: 栳樨、鲫鱼胆、蜡苞留地菊、臭屎茄苳、阔苞菊。

习性: 台湾海岸湿地常见之多年生灌木。

茎叶: 茎高可达 180 cm, 叶厚纸质, 叶形与冬青之锯齿状叶相似, 长 2~3 cm。

花果: 四季皆能开花, 头状花序卵形, 由中央的两性管状花和周围的雌性舌状花所组成, 径 0.8~1.0 cm。瘦果扁平四角柱形, 有淡黄色冠毛。根、干煎服可治风湿或解热。

分布: 印度、大陆广东、台湾海岸湿地。

用途: 海岸防风、定砂、耐盐、耐旱及耐淹埋、为泥岩地区淤泥地植栽树种; 根、干煎服可治风湿骨痛或腰痛、发汗解热

繁殖: 种子繁殖、扦插。

3.5 资料分析

HL20 型资料记录器记录之资料有供试植物盆栽重量、日射量、大气温度、相对湿度、叶片温度、土壤温度与土壤含水量等。蒸散量之资料整理方式系以 20 min 前后重量差代表其蒸发散量, 并以 20 min 内之 20 笔日射量, 大气温度、相对湿度、叶温、土温及土壤含水量量测资料加以平均, 做为此 20 min 内之微气候资料。由高夫-哥拉契公式(Goff-Gratch Formula) 之温度来估算饱和蒸汽压且由温度与相对湿度值可计算此空气状况下之蒸汽压。蒸发散量(ET) 值, 日射量(Rs) 与饱和蒸汽压差(VPD) 之资料则以公式(20) 进行回归分析, 以评估此模式之适称性、合理性与预测能力等。

4 物理推估模式之验证

将各感测组件所量得之实测资料与蒸发散推估模式计算值加以比较, 并利用统计方法, 以了解该模式之合理性(定性标准) 与预测准确性(定量标准)。

4.1 资料分析方法

4.1.1 统计分析软件 资料之整理分析系利用美国明尼苏达大学开发之“MULTREG”4.91 版统计软件, 用以执行常态分布、重合性检定、因变量与自变量之间是否为线性等前置作业, 残差图绘制等功能。

4.1.2 模式之评估 冬青菊与苦蓝盘叶片各物理特性资料之间, 其关系模式之评估统计量如下:

(1) 定量标准。以回归决定系数(R^2)、标准差(S)、与预测残差平方和(PRESS) 来比较不同模式之适称性与预测能力等。其中

$$PRESS = \sum (y_i - \hat{y}_{i-i})^2 = \sum (e_{i-i})^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{1 - \mathbf{x}_i(\mathbf{x}_i\mathbf{x}_i)^T \mathbf{X}_i^{-1} \mathbf{X}_i} \quad (21)$$

(2) 定性标准。以模式残差对预测值的标准化残差分布图, 来评估回归模式是否有均匀分布之残差值, 并且用以判别模式合乎回归分析之基本假设(常态分布、非重合性与变异数为定值等)。以代表该模式预测值是否合乎相关物理论与数学意义。

4.2 资料群比较

为了解冬青菊、苦蓝盘之蒸发散模式是否上下午而有显著差异, 以统计技术之 F 检定判别差异显著性, 其检定方法如下:

(1) 以研究所得之适称模式对上下午之各组资料进行回归分析得到各模式之残差平方和 SSRi 与自由度 dfi。

(2) 二种植物之资料加以合并, 以相同模式进

行回归, 得到综合模式之残差平方和 SSR_c 与自由度 df_c 。

(3) F 值计算如下:

$$F = \frac{(SSR_c - (SSR_1 + SSR_2)) / (df_c - (df_1 + df_2))}{(SSR_1 + SSR_2) / (df_1 + df_2)} \quad (22)$$

(4) 查 F 表, 并取 95% 可信赖度, 而其两个自由度 (V_1, V_2) 分别为

$$V_1 = df_c - df_1 - df_2 \quad (23)$$

$$V_2 = df_1 + df_2 \quad (24)$$

(5) F 检定

- (a) 计算 F 值 $> F$ 检定值 ($V_1, V_2, 95\%$), 表示上下午之蒸散量模式有显著差异。
- (b) 计算 F 值 $< F$ 检定值 ($V_1, V_2, 95\%$), 表示上下午之蒸散量模式无显著差异。

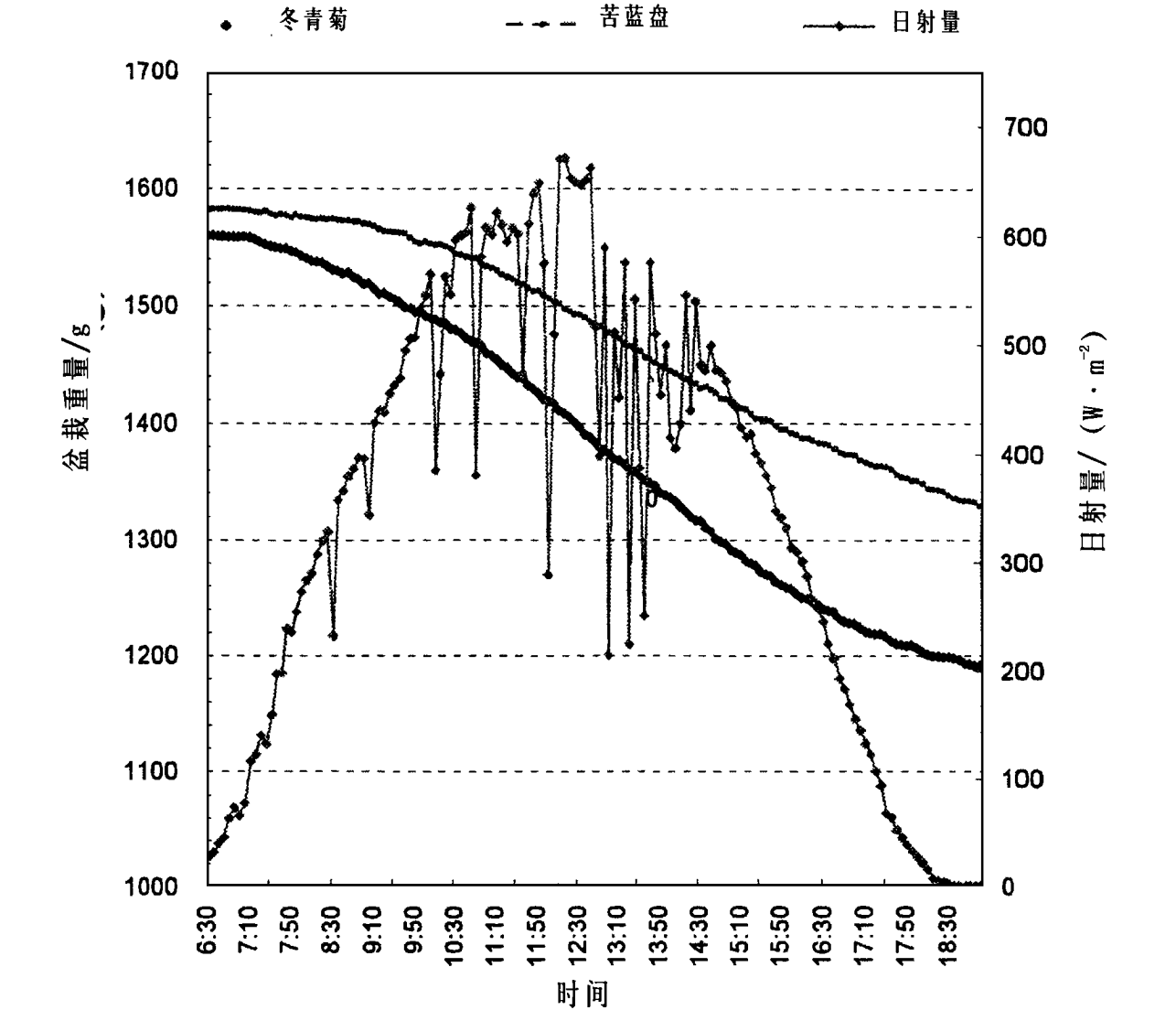


图 2 典型夏季日之盆栽植物微气候、重量变化之量测

5 结果与讨论

5.1 蒸发散量之量测

冬青菊与苦蓝盘植物与之典型夏季日一日蒸发散量测定结果及微气候之变化如图 2、图 3 所示。大气之日射量于昼间自早晨 6 时起逐渐增加, 至于 12 时至 14 时间之下降速率最大, 昼间温度(大气、气温)与相对湿度之分布现象恰好相反。由图可知冬青菊盆栽之重量自 15 600 g 起在 12 小时之内降低至

15 192 g。而苦蓝盘则由 15 830 g 降低至 15 576 g 在此阶段内之重量变化与微气候量测都由资料记录器加以记录。于夜间不再有阳光辐射作用时, 盆栽之重量变化不大。综合一日之蒸发散量量测可知, 冬青菊盆栽植物上午之蒸发散量为 368. 5 g, 下午为 227. 6 g, 占一日之 61. 76%, 苦蓝盘一日之蒸发散量为 253. 9 g, 上午占全日之 30. 21%。

夜间相对湿度自 70RH 逐渐增加至 88RH 时, 供试盆栽重量会有增加现象, 增加量为 25. 3 g, 此种夜间蒸散作用之机制目前尚未有完备解释与探讨。

Fynn 等(1993) 在菊花之研究中, 则发现菊花植物在 夜间反而有吸水性作用, 促使重量增加。

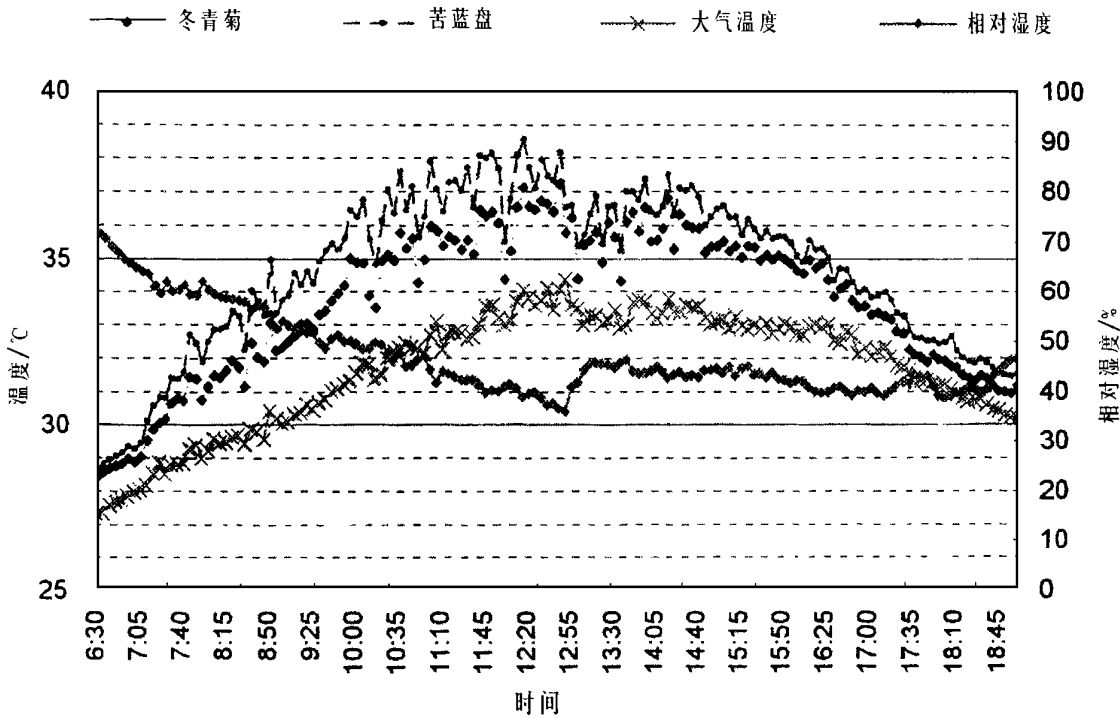


图 3 典型夏季日之盆栽植物微气候变化之量测

5. 2 蒸发散模式

以 $ET = A \cdot R_s + B \cdot VPD + C$ 模式验证此研究量测所得资料, 并经由此模式以 F 检定 ($p = 0.05$) 来检定, 结果说明台湾西南部泥岩试验地之恶劣环境的微气候已反应于此模式之日射量 (R_s)、饱和蒸汽压差 (VPD) 上, 与位置无关。

玫瑰花之研究结果恰好相反。蒸散量之模式经比较结果, 上下午之蒸散量有显著差异, 其 F 计算值为 45.67。以 F 检定 ($p = 0.05$) 及利用回归分析之偏回归势力图, 可知 ET 与 R_s , ET 与 VPD 有直线关系, 若细分为上下午对 ET 之影响模式, 如下所示:

(1) 上午之蒸发散

¹ 日射量 (R_s) 之影响

$$ET = 0.336 + 0.02R_s$$

$$R^2 = 0.87 \quad S = 1.8 \quad PRESS = 64.288 \quad (25)$$

④饱和蒸汽压差 (VPD) 之影响

$$ET = -1.28 + 0.149VPD$$

$$R^2 = 0.85 \quad S = 1.88 \quad PRESS = 71.44 \quad (26)$$

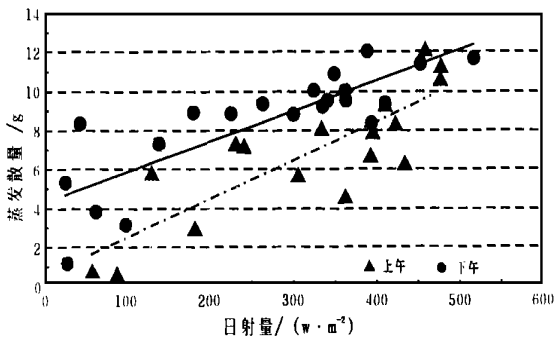


图 4 冬青菊之日射与蒸发散关系图

5. 2. 1 冬青菊植物之蒸发散 冬青菊蒸发散量与日射量之关系分布如图 4, 日射量之影响因日照时间而有显著不同。上午(6 时至 12 时) 日射量由小而大时, 蒸发散量也增大。下午(12 时至 19 时) 日射量渐小, 蒸发散量也随之降低。在相同日射量下, 上午的蒸发散量(140.98 g, 38.24%) 小于下午的蒸发散量(227.6 g, 61.76%), 此结果与 Baile (1994) 对玫

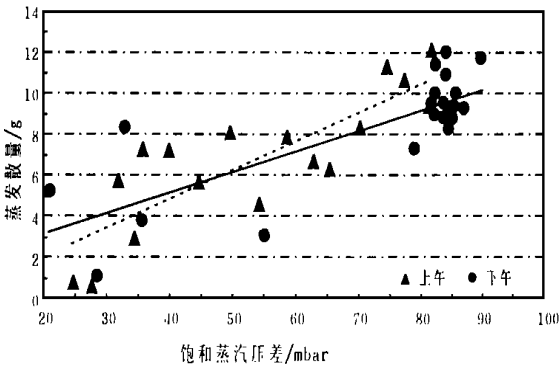


图 5 冬青菊之蒸发散量与饱和蒸汽压差之分布图

(2) 下午之蒸发散

1 日射量(R_s) 之影响

$ET = 4.19 + 0.0162R_s$

$R^2 = 0.83 \quad S = 1.61 \quad PRESS = 66.66 \quad (27)$

④饱和蒸汽压差(VPD) 之影响

$ET = 0.95 + 0.099VPD$

$R^2 = 0.67 \quad S = 2.33 \quad PRESS = 123.01 \quad (28)$

冬青菊之饱和蒸汽压差对蒸发散之影响如图 5 所示,早上与下午时间之 VPD 对 ET 之影响有显著差异,在较大 VPD ($> 80\text{m bar}$) 环境下,早上之 ET 大于下午。

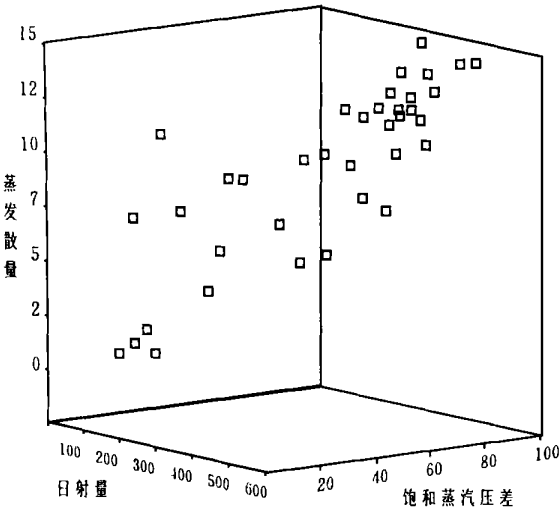


图 6 冬青菊之蒸发散量与日射量
饱和蒸汽压差的三向立体图

综合日射量(R_s)、饱和蒸汽压差(VPD) 与蒸发散量(ET),并利用回归分析之偏回归势力图,可知 ET 与 R_s 、 VPD 呈线性关系。由于公式(20) 代表日射量与饱和蒸汽压差之综合影响,结合蒸发散量(ET),日射量(R_s)与饱和蒸汽压差(VPD)之资料,其回归物理模式如下:

(A) 上午

$ET = -0.038 + 0.0135R_s + 0.531VPD$

$R^2 = 0.87 \quad S = 1.62 \quad PRESS = 68.381 \quad (29)$

(B) 下午

$ET = 3.87 + 0.0156R_s + 0.00648VPD$

$R^2 = 0.83 \quad S = 1.71 \quad PRESS = 84.89 \quad (30)$

以三向立体(图6) 以评估日射量与饱和蒸汽压差值对蒸散量之影响。应用(25) ~ (28) 式之统计量可知上下午之蒸散量主要影响为日射量,饱和蒸汽压之影响作用则较小。饱和蒸汽压与日射量对冬青菊之蒸散量均有显著影响,且比较(25)、(26) 式可知蒸发散之预测能力与适称性,以上午之模式较佳。而造成(29)、(30) 式中之回归决定系数(R^2) 较低之原

因,为 20 min 之蒸发散变化量测时间可能较短,植物之蒸发散作用尚未完全表现出来,此点与 Aston (1984) 之看法一致。因此,此重量变化法来代表蒸发散量,其适切之量测时间为影响精确度之重要因子。

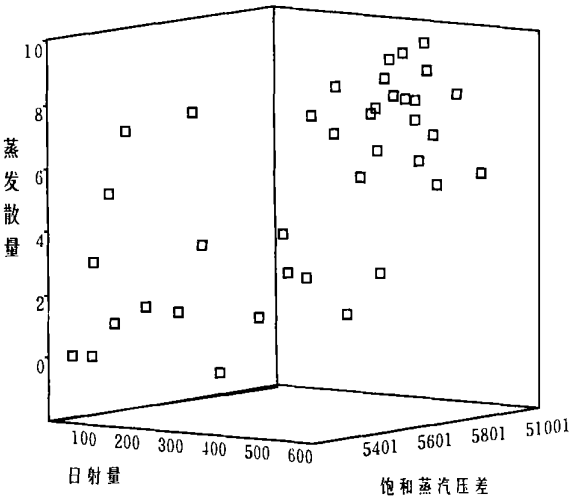


图 7 苦蓝盘之蒸发散量与日射量
饱和蒸汽压差的三向立体图

5.2.2 苦蓝盘植物之蒸发散 盆栽之蒸发散量与日射量、饱和蒸汽压差之关系经检定结果亦为线性关系。对蒸散量之影响因子而言,并以 $ET = A \cdot R_s + B \cdot VPD + C$ 模式对上下午之蒸发散量比较(F 检定, $p = 0.05$),发现对蒸发散模式无显著差异。以所有之资料进行回归分析,结果如下:

$ET = -0.917 - 0.00105R_s + 0.0924VPD$

$S = 2.3 \quad PRESS = 177.88 \quad (31)$

$t = 5.68(VPD), -0.37(R_s)$

苦蓝盘蒸散量对其他两因子之三向图如图 7 所示。由图 7 中之切平面分布及公式(31) 之 t 值可验证影响苦蓝盘蒸发散量之主要因子为饱和蒸汽压差。

综合苦蓝盘之一日蒸发散量,发现下午之蒸发散量 (177.2 g, 60.79%) 较大于上午之蒸发散量 (76.70 g, 34.21%),约为上午蒸发散量之 1.8 倍。

5.3 蒸散量量测之应用

此研究中所用之测定装置,其重量量测准确性可适用于盆栽之蒸散作用量测。蒸散量量测值与日射量、饱和蒸汽压差之关系式也为之建立,此研究所得对二种植物之应用讨论如下:

(1) 由二种盆栽植物之量测得知,冬青菊之蒸散量于上下午有显著差异。下午之蒸发散量较大,因此初期植栽之灌溉作业应在上午时前进行,使植株根部有足够水分,可适应下午之蒸发散需求。

(2) 苦蓝盘之下午蒸散量减少。在苦蓝盘叶温之

量测中,植株本体因蒸散作用有降低体温之功能。蒸散作用减少时体增加。因此此两作物在下午时段之环境调节更为重要,以减少植株热应力。

(3) 冬青菊蒸发散量在上午之主要决定因子为日射量,下午之蒸发散量同时受到日射量与饱和蒸汽压差两者影响,苦蓝盘之蒸散量影响因子也有相同结果。

(4) 影响蒸发散之机制,经由相关理论之推导及统计回归分析可知其主要决定因子为日射量(R_s)及饱和蒸汽压差(VPD),对于土壤根部之含水量,冠层上方之风速及地温等之影响量较小,此结果与 Hopkins(1995)认为湿度、风速及土壤含水量等对蒸发散作用之影响,以综合反映于其饱和蒸汽压上的看法一致。

6 结论与建议

台湾西南部泥岩恶地,由于其特殊之劣化地质,土壤条件与地区微气候形态,素有台湾坡地之癌称谓。使得该地区之土壤水资源匮乏,热量蓄积造成日夜温差大。因此,当地适生植物蒸发散之影响机制,对于缺乏之泥岩地区就显的相当重要,本文藉由能量平衡与空气动力学等相关理论之推导,并配合现在现代统计回归分析,之验证与预测。推导出-具有物理意义之蒸发散推估模式,并探讨其与微气象之关系,所得结论与建议如下:

(1) 由蒸发散物理模式之推导及量测资料之偏回归势力图可知,蒸发散(ET)与日射(R_s)、饱和蒸汽压差(VPD)呈直线线性。且经现地蒸发散测定结果及统计检定得知。冬青菊上下午之蒸发散模式不

同,而苦蓝盘上下午则无显著差异。

冬青菊上午 $ET = -0.038 + 0.05314R_s + 0.035VPD$

冬青菊下午: $ET = 3.87 + 0.0156R_s + 0.0648 \cdot VPD$

苦蓝盘为: $ET = -0.917 - 0.00105R_s + 0.0924VPD$

其中 ET 为 452.16 cm^2 (容器面积), 20 min 内之蒸发散量(g), R_s 为 20 min 内之平均值(w/m^2), VPD 为 20 min 内之平均饱和蒸汽压差(mbar)。因此,此模式经由单位元转换及植物冠层叶面积指数(LAI),可应用于大面积冬青菊、苦蓝盘蒸发散之推估。

(2) 由典型夏季日一日盆栽之蒸发散量得知,冬青菊下午之蒸发散量占总量 68%,而苦蓝盘上午之蒸发散量则占总量之 40%。综合比较得知,冬青菊之一日蒸发散量(368.5 g)较大苦蓝盘(253.9g)。

(3) 影响蒸发散之机制,经由相关理论之推导及统计回归分析可知其主要决定因子为日射量(R_s)及饱和蒸汽压差(VPD),对于土壤根部之含水量,冠层上方之风速及地温等之影响量较小。

(4) 此研究结果着重于二种盆栽植物之蒸散量量测与模式验证。有考虑植物冠层叶面积指数(LAI)影响,但对于其影响机制、冠层层次及叶片角度等因子尚须详细之探讨。未来可加入此因子之作用,如此应可藉由盆栽单位时间面积之蒸发散量及适切量测时间选取,更精确地推估某一地区不同植被下之蒸发散值。

参考文献:

- [1] 甘俊二,陈清田,陈耀耀. 台湾地区作物需水量推估模式之合适性研究[J]. 农工学报, 1996, 42(2): 8~19.
- [2] 林信辉,刘坤树. 福山试验林十种阔叶树种之光合成率、蒸散率及叶片导度与气象因子之关系[J]. “中华林业季刊”, 1997, 30(3): 269~278.
- [3] 林信辉,张俊斌. 气候变迁对泥岩地区主要造林树种耗水量之影响[J]. “中华水土保持学报”, 2000, 31(3): 171~181.
- [4] 徐森雄,宋义达. 从微气象资料估算蒸发散量[J]. “中华水土保持学报”, 1987, 18(2): 83~89.
- [5] 徐森雄,黄国祯,王少峰. 从微气象资料推测盘固草牧草地之蒸发散量[J]. “中华农学会报”, 1991, 154: 82~93.
- [6] 徐森雄,陈蕙蕙,沈立文,等. 从微气象资料推估奥古斯丁草地之蒸发散量[J]. “中华农业气象”, 1999, 6(2): 105~112.
- [7] 张俊斌,林信辉. 中横崩塌地优势植物根力特性之研究[J]. “中华水土保持学报”, 1995, 26(4): 235~244.
- [8] 张俊斌,林信辉. 台湾西南泥岩刺竹林更新与泥砂控制工法[J]. 水土保持研究, 1999, 6(3): 88~99.
- [9] 张俊斌,陈意昌,林信辉. 红外线温度计在泥岩地区叶温量测上之应用[J]. “中华水土保持学报”, 2000, 31(4): 317~325.
- [10] 陈加忠. 温室内蒸发冷却之微气候梯度模式[J]. 农林学报, 1998, 47(4): 93~113.
- [11] 颜正平,杨居成. 德基水库集水区喜水植物蒸散率测定[J]. “中华水土保持学报”, 1975, 6(2): 47~59.
- [12] Aston, A. R. Evaporation from eucalypts growing in a weighting lysimeter: a test of the combination equation[J]. Agriculture and Forest Meteorology 1984, 31: 241~249.
- [13] Baille, A. Water status monitoring in greenhouse crop[J]. ACTA Hort. 1992, 304: 15~27.

[14] Baille, M. , J. C. Laury and A. Baille. Some comparative results on evapotranspiration of greenhouse ornamental corps, using lyimeter, greenhouse H₂O balance and LVDT sensors[J]. ACTA Hort. 1992, 304: 209 ~ 218.

[15] Baille, A. Irrigation managerment strategy of greenhouse crops in mediterranean countries[J]. ACTA Hort. 1994, 361: 105 ~ 114.

[16] Clawson, L. L. , R. D. Jackson, and P.J. Pinter, Jr. Evaluating plant water stress with canopy temperature differences[J]. Agronomy J. 1989, 81: 853 ~ 863.

[17] Coulon, G.O. G. Chasseriaux, L. M. Riviere and C. Ducommum. Computer control for container crop irrigation[Z]. In "Evapotranspiration and irrigation scheduling Proc. Int. Con. "ASAE. St. Joseph, MI. 1996, 323 ~ 328.

[18] Fynn, F.P. , A. Al-shooshan, T.H. Short and R.W. Mc Mahon. Evapotranspiration measurement and modeling for a potted Chrysanthemum crop[J]. Transactions of the ASAE 1993, 36: 1907 ~ 1913.

[19] Hopkins, W. G. Introduction to plant physiology[M]. New York: J. Wiley, 1995. 41 ~ 63.

[20] Jolliet, O. And B. J. Bailey. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouse: measurements and models comparison[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1992, 58: 43 ~ 63.

[21] Kramer, P. J. Water Relation of Plants[M]. New York: Academic Press, 1983, 57 ~ 83, 146 ~ 186, 331 ~ 336.

[22] Tantau, H. J. Estimation of the relative opening of the leaf stomata using energy balance[J]. ACTA Hort. 1992, 304: 167 ~ 172.

[23] Van Meurs, W. Th. M. and C. Stanghlini. Use of an off-the-shelf electronic balance for monitoring crop transpiration in greenhouses[J]. ACTA Hort. 1992, 304: 219 ~ 226.

[24] Yang, X., T. H. Short, R. D. Fox and W. L. Bauerle. The microclimate and transpiration of a greenhouse cucumber crop[J]. Transactions of the ASAE 1989, 32(6): 2143 ~ 2150.

(上接第 135 页)

3. 6 开展水保监测工作, 掌握水土流失动态, 为生态环境建设提供决策依据

生态环境是一个庞大的生态系统, 它不仅是人类索取生存物质的场所, 也是为人类提供经济建设原料的宝库。要维护人类- 资源- 环境的和谐统一, 有必要采用 RS, GIS, GPS 技术监测预报, 进行水土流失消长动态普查和定位定时观测, 以便及时准确地为政府控制水土流失决策提供科学依据。建立各类数据库, 充分利用网络, 建立水保网络系统, 加快水保系统信息传递。

3. 7 引进科学的管理方法, 提高群众可持续管理资源的积极性

环境与发展已成为全球关注的焦点, 而农户参与流域管理, 不仅能够提高水土资源的利用率, 而且

能进一步促进和加强小流域的综合治理, 同时也可避免边治理边破坏的现象。

联合国计划开发署在中国、印度、印度尼西亚等 8 国实施的参与式流域管理项目的成功经验表明, 通过参与管理, 农民参加各种实用技术和管理方法的培训、咨询, 农民之间、农民与专家之间的参观考察交流, 可以掌握一系列的管理技术, 资源管理能力也大大提高, 农民自身素质和经济收入大为改善。农民在参与规划、实施、监测、评估的过程中, 不仅促进了生产, 还可以在消除贫困、消灭资源退化的同时, 大大加强水土保持意识, 促进流域社会、经济、生态的综合协调发展, 为小流域可持续发展奠定了良好的基础, 使水管理- 小流域治理- 生态环境改善步入良性循环^[4]。

参考文献:

[1] 王向东. 土地利用的变化对流域产流产沙及环境的影响和人工神经网络技术在流域产流产沙中的应用[D]. [博士论文], 北京: 中国水利水电科学研究院.

[2] 李铁松, 张桥英. 嘉陵江的起源及流域自然环境研究[J]. 四川师范学院学报(自然科学报), 1999, (2): 105 ~ 108.

[3] 王礼先. 长江中上游水土保持及环境保护[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.

[4] 刘孝盈, 吴德一, 佟玉玲. 参与式流域管理项目工作回顾, 以人为本参与式流域管理[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 21 ~ 28.