

联邦德国农业气象研究工作的进展

陆 光 明

(北京农业大学农业气象系)

王 延 颐

(江苏省农业科学院)

五十年代初期联邦德国就已开始了系统的农业气象研究工作。30多年来,他们在农业气象科学的各个方面都取得了明显的进展。现就农田蒸散、农林小气候、物候学、农业气象预报方法及新技术在农业气象研究中的应用等诸方面作一简要介绍。

一、关于农田蒸散的研究

1. 研究方法,当前的流行的方法有以下三大类:

① 气象学方法

A. 能量平衡法:主要应用 Sverdrup-Bowen公式来计算单个小区的实际蒸散。公式如下:

$$LE = \frac{R + G}{1 + r \frac{\Delta T}{\Delta e}} \quad (1)$$

式中 LE 为潜热通量, $r \frac{\Delta T}{\Delta e}$ 为鲍恩比, ΔT 为梯度观测上下两个高度的温差, Δe 为相应两个高度的湿度差(mb), r 为干湿表常数, R 为长短波辐射平衡, G 为土壤热通量。

目前它们已能直接测定。J. V. Hoyn-ingen-Huene(1980) 用一个改进的鲍恩比公式来估算非均匀区域平流,即从主要边缘起的 x_1 与 x_2 两个距离之间以及 z_1 与 z_2 两层之间的水平能量通量的散度(F)。公式如下:

$$LE = -\frac{R+G+F}{1+\beta} \quad (2)$$

而

$$F = \frac{\rho}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} u(z) \left[\left(\beta_{x_2} L \frac{0.623}{P} \right) \cdot (e_{x_2} - e_{x_1}) - C_p (T_{x_2} - T_{x_1}) \right] dz \quad (3)$$

式中 β : 鲍恩比, u : 风速, P : 大气压, ρ : 密度, e : 水汽压, T : 温度, C_p : 定压比热, L : 汽化潜热。

B. 交换法(空气动力学法), 公式如下:

$$E = \frac{35 \rho k^2 (u_2 - u_1) (q_1 - q_2)}{\ln \left(\frac{h_2 - d}{h_1 - d} \right)} (\text{mmh}^{-1}) \quad (4)$$

式中 E : 蒸发量, k : 卡曼常数, u_2, u_1 : 高度 1, 2 的风速, q_1, q_2 : 高度 1, 2 的比湿(克/千克), h_1, h_2 : 在地面以上的高度, d : 零位移。

方程(4)适用于中性层结。在非绝热情况下他们应用 Lettau-H(1949) 或 Pruitt(1973) 方法进行订正。

C. Haude 的公式(1955)

$$\text{ETP} = \alpha (E - e)_{14\text{时}} \quad (5)$$

式中 ETP: 可能蒸发, $(E - e)_{14\text{时}}$: 14 时饱和差(毫巴), α : Haude 因子(根据实际资料确定)。

Pfau (1960) 提出了可计算每小时累积的饱和差的公式:

$$\text{ETP} = \beta \sum_{i=1}^{24} (E - e)_i \quad (6)$$

(5), (6) 两式的缺点是: 在干热日子里数值偏高, 此外, 未考虑辐射和风速的影响。

D. 直接测定法: 他们在校准和改进蒸发计方面作了一些工作。如: 他们设计了一种适用于潮湿地区使用的陶瓷蒸发计(见图 1)。

(2) 土壤物理学方法

除土壤水分平衡法仍广泛被使用外, 尚有以下两种方法:

A. 超重氢(氚)示踪法(HTO 示踪法):

此法是 Zimmermann (1957) 和 Münnich (1977) 建立的。认为该法适合用作估计周或月的蒸散值。

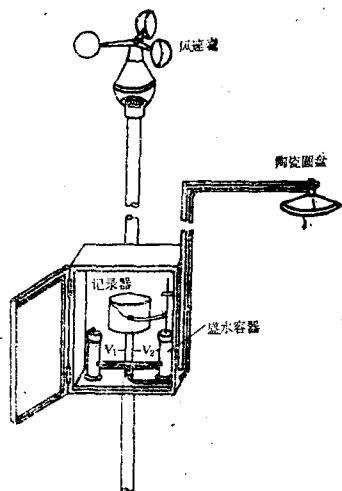


图 1 带有记录器的陶瓷蒸发计(J. V. Hoyning-Huene Nr. 14/82)

B. 渗水测定器(Lysimeter): 中央农业气象研究所两个渗水测定器。深度为 150 cm, 表面积为 3 m², 约 8 吨重, 分辨力为 100 克, 相当于 0.03 mm, 容器底部装有 180 个陶瓷烛形吸收管, 它们同一个吸收调节装置相联系。在容器周围的不同土壤张力下的渗漏和毛管上升可以测定。渗水测定器可以移动, 并能交替地设置于小区里, 例如在作物轮作地里。

③ 模拟模式法

Braden(1982)提出了一个生物气象学模式, 该模式可大致判断覆盖层的蒸散和光合作用(见图2)。也有用遥感来测定表面温度。

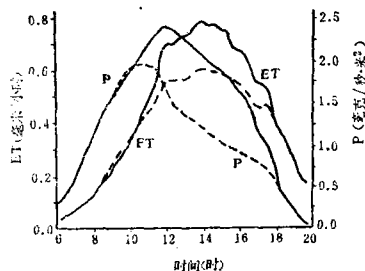


图 2 在水分供应良好(—)和不好(---)的情况下的蒸腾(ET)和光合作用(P)的模式 (Braden, H., 1982)

并计算覆盖层的能量通量和蒸散。F. J. Löpmeir(1983)提出了一个计算实际蒸发的农业气象模式(AMBAV)。AMBAV模式是联邦德国用来计算不同作物地上的土壤湿度、可能蒸散与实际蒸散的,它是以Penman-Monteith方程作为基础的(公式略),并有所发展。他对辐射的参数化及植物蒸腾的简化作了改进,还重新确定了气孔的阻抗(bulk-stomata resistance)。图3是根据渗水测定器导出的两种谷类作物阻抗的时间变化。同Haudl或直接的Penman公式相比较,该法最大优点是表现出一个有扩大能力的系统,且任何时候都能适应最新的研究状况。它能为气象水文鉴定建立长时间序列。

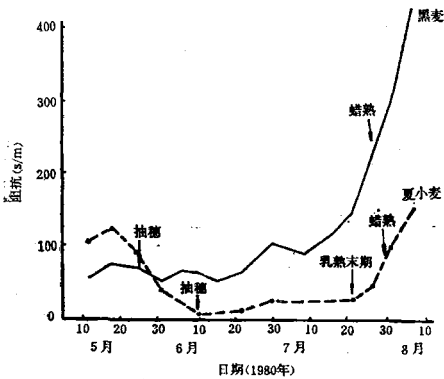


图3 根据渗水测定器导出的两种谷类作物阻抗的时间变化(J. V. Hoyningen-Huene, Nr. 14/82)

Beese等(1977)提出确定蒸发的土壤物理学模式,其基本分量是未饱和土壤-水分通量微分方程,大多数情况下此方程是用有限差分法取得数值解。除了土壤的水力学函数外,标准的气象测定及叶面积指数或植物覆盖面积等数据都是必须的。模式的主要物理技巧在于根系及其作用方式的表示。

2. 研究目标

① 研究作物水分供应和产量形成之间的关系

如Renger和Strebel(1981)研究了产量形成时期的蒸散效应,并得到了实际蒸散和饱和差对植物生长量比率之间关系。又气孔状态对分析蒸散和产量形成十分重要。图4

说明气孔阻抗同光合有效辐射(PAR)、土壤湿度(以%表示的植物有效水分, N. F. K)、叶温和风速的关系。

② 能量估算

目前已在中欧地区进行了蒸发时能量平流数量效应的对比研究。结果指出用作蒸发的平流能量取决于气孔的活动。又据测定,在中欧灌溉地中蒸发皿达到8mm/日,其中仅5—6mm是由净辐射供应的(V. Hoyningen-Huene, 1980)。Jürger Frhr等(1980)指出作为能量平流对在干旱环境中的灌溉面积起着不能低估的作用。

③ 从气候学水文学目标出发

Henning和Liebscher已作出了联邦德

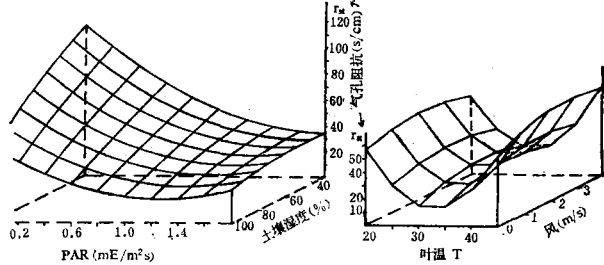


图4 气孔阻抗同光合有效辐射(PAR)、土壤湿度(%)、叶温和风速的关系。土壤湿度=100% N. F. K*

$$F. K^* = \frac{\text{相对湿度} = 15\%}{\text{PAR} = 1.0 \text{ mE/m}^2/\text{s}} \text{ (J. V. Hoyningen-Huene, 1980)}$$

国境内的区域蒸发和辐射图。Baumgartner(1984)在“阿尔卑斯山地区水分平衡”一文中,指出了比较重要的山脉和水分平衡的关系,并绘制了新的径流量和蒸发量水文图。中央农业气象研究所自1975年以来应用新型的仪器进行了不同作物降水截留量的研究。图5为计算截留损失的模式(V. Hoyningen-Huene, 1982)。研究认为:在生长期截留损失达8%和20%之间。对此不能低估。

综上所述,我们可以看到,关于蒸散问题,他们已从基础研究正开始走向实用。在

* 指占田间持水量的100%。

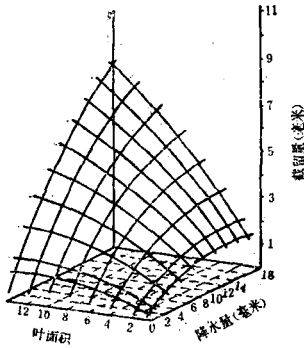


图5 截留量同降水和叶面积指数的关系(J. V. Hoyningen-Huene, 1982)

方法上他们认为用土壤物理或能量估算方法来估计实际蒸散是最成功的。并认为由于测量和技术的进步,在计算局地 and 区域蒸发时应用物理方法(如Penman-Monteith-Rijema组合方法)也显出其优越性。还认为应重视生理效应(气孔调节)的研究,即把生物学和物理学参数结合起来进行研究。

二、关于物候学的研究

1. 物候学的发展在德国有着悠久的历史

早在18世纪德国就已开始了物候观测。1936年在柏林的帝国气象局正式建立了“物候学工作机构”。分布在“帝国境内”的义务观测员约有8000—10000人。目前在联邦德国气象局的农业气象处设立了“物候学及农业气候学科”,主管全联邦德国的植物物候学的观测与资料收集整理分析工作。

2. 有比较严密的物候观测网,观测网类型有以下三种:

① 物候半年报告网

每半年向联邦德国气象局报告一次。目前拥有2500个观测员。自1968年以来观测大纲包括36种野生植物,18种农作物以及13种果树共212个发育期。物候观测员所得报酬微薄,多属义务性质,尽管如此,他们对物候观测仍怀有极大兴趣。目前已对具有25年和40年工龄的观测员授予气象局纪念章或

联邦功勋奖章,以资嘉奖。

② 物候迅速报告网

这类网的目的主要是为当前的农业气象咨询服务。观测重点是栽培作物,共62个发育期。根据咨询要求,它可有一定的灵活性。而物候半年报告网的观测大纲必须长时期保持稳定,以保证资料的均匀性。现约有360个观测员(他们同时也是上述的物候半年报告网的观测员)。每当所规定的发育期出现之后,他们就立即以年日数(从1月1日连续算起)记录在有关的发育期卡片上,并寄联邦德国气象局。气象局对卡片资料进行处理,制成物候图表,供咨询使用。

③ 国际物候园网(IPG)

1953年由Schnelle等发起建立了一个国际物候园网。联邦德国气象局承担了网的管理和数据加工的任务。1973年以来由Baumgartner担任IPG主席。目前在欧洲已有66个IPG网点,其中22个在联邦德国。观测树种为14个。这些来自各国的观测结果构成了大范围森林气象学研究的基础。

3. 气象局系统已经建立了一套资料搜集、初步加工及计算分析方法

① 物候资料的搜集

过去由于计算机容量小,在212个发育期中仅收集了111个发育期的数据。近两年才开始收集其余发育期的数据。收集和贮存的内容包括:植物及发育期的名称、观测地点及所在州县、地理坐标、海拔高度、自然空间和高斯(Gauss)—克吕格尔(Krüger)—坐标等。

② 读数误差订正

主要是指阅读误差或数字替代误差。这可通过检验程序来识别。在订正之后再将观测数据储存到物候的未加工的资料存储器上。

③ 观测误差的订正

指观测序列中的缺测或误差。应用检验程序弄清某种误差是否频繁或系统地出现,再考虑是否加以订正。要注意极端地点附近

的观测,由于缺乏代表性,正确的记录常被看作是错误的。

④ 计算与分析,主要项目如下:

(A) 物候表:把各站不同作物一年的物候观测结果以表格形式表示。资料主要取自物候半年报告网的数据。目前联邦德国把观测的植物分为野生植物(A),农作物(B)和果树(C),A、B、C三类共39种植物,106个发育期。从1967年起,西德有300个站的全年物候观测资料以物候表形式公布在联邦德国气象年报上。

(B) 物候图:它能反映环境因子的综合影响。主要形式有:

(i) 各年的物候期图:主要以比例尺1:3.5百万绘制等物候线图(具有相同的物候始期的线)

(ii) 多年物候平均图:主要使用计算机进行绘制、打印。目前已出版不同植物的18个物候期平均图。

(iii) 物候期之间的时间间隔图:目前联邦德国已出版不同作物的9种时间间隔平均值图。

(C) 物候历: E. Freitag (1983) 制作了Wellerode地区的物候历,在此物候历中包含了103个发育期的平均和极端(即最早与最晚)出现日期以及两个极端发育期出现日期之间的时间间隔。

4. 注意物候观测结果的应用

① 咨询与鉴定:物候迅速报告网的数据在短时间内就能通过电视向外发布。巴伐利亚州广播电台播送物候历,并把当前的和平均的物候资料进行比较。有些部门需要一些专门的物候资料,如保险事业,法律鉴定,或进行动物习性生态的研究。

② 农业气候学:主要是绘制联邦德国的农业气候图(AKA),AKA的第一部分是基础图表。为使这些图表适应多方面的应用,生长年按植物划分。他们还绘制物候实况的空间分布图等。AKA的主要部分是农业气候的不同实况图(如栽培的气候界限,植物和

施肥措施,以及进行灌溉的临界时刻,冻害和干旱的危险)。他们还将绘制作物的气候适应性图(Klimaeignungskarte)。

③ 气候研究:根据气候和植物发育期之间的关系,人们引用物候资料来说明区域气候状况。甚至可通过物候资料进行下列研究:如(A)坡地位置与辐射状况的关系;(B)山谷位置与冷气流引起的冻害;(C)土壤气候的偏差引起的产量差。目前他们正依据变化的生长韵律来研究近几个世纪以来的气候变化。

④ 物候预报:目前只有果树开花期预报收到了效果,其方法仍以计算热量和积温为基础的。植物开花期预报也是花粉飘流情报服务的重要组成部分。青草生长的开始可作为春季作物地施肥的最佳日期。作物其它发育期的预报是确定田间农业措施的重要依据(如植保方面)。今后的任务就是建立适合的物候期预报模式。

目前他们正对气象局已有的物候资料扩大计算。并认为物候学是介于生物学和气候学之间的边缘学科,需要不同部门的科学家进行协作研究。他们主张不同国家物候学研究方法应该一致,有利于扩大各国科学家之间的情报交换。

三、农林小气候研究

联邦德国小气候研究历史悠久,1927年 R. Geiger 的“近地层气候”系统地说明了各类小气候的形成规律及研究方法。目前小气候研究有两个显著特点。一是强调应用。如农田小气候方面有作物冠层 CO_2 收支与物质形成,不同施肥方法的土壤 CO_2 释放,冠层气候参数对光合、蒸腾及生产率的影响等。二是强调长序列、多重重复的连续测定。如中央农业气象研究所的农田小气候记录连续贮存长达5—10年,为小气候的应用及小气候规律研究打下基础。下面简要介绍一下联邦德国农林小气候研究的几个方面。

1. 作物冠层的 CO_2 交换及物质形成

柏林技术大学的 G. Krzysch 教授在 1967—1971 年连续进行 7 年的甜菜冠层 CO_2 交换研究, 他将气象要素— CO_2 交换—物质形成—光合效率结合起来, 具有一定的典型性。他在 5 个高度(5、20、50、100、200 cm), 用两台红外吸收记录仪 (URAS) 测定 CO_2 交换, 并用微型处理机连接。为了测定土壤呼吸, 在 4 个测点(每点 500 cm^2), 从钟形罩内连续抽气用红外仪进行 CO_2 分析。同时进行田间微气象观测。所有项目每隔 15 分钟记录一次、贮存并打印一次。计算 CO_2 通量 (S)(毫克 $\text{CO}_2/\text{厘米}^2 \cdot \text{天}$) 的公式如下:

$$S = 0.36 \frac{K^2}{\left(\ln \frac{h_2 - d}{h_1 - d}\right)^2} (u_2 - u_1)(\varphi_1 - \varphi_2) \rho / \left(1 + \frac{g(h_2 - h_1)^2(T_1 - T_2) \left(\frac{1000}{P}\right)^{0.2857}}{(273.2 + \bar{T})(h_1 - h_2)(u_2 - u_1)^2}\right) \quad (7)$$

式中 S : CO_2 通量, φ : CO_2 浓度 [PPM], K : 卡曼常数 [≈ 0.4], u : 风速 (m/s), ρ : CO_2 密度 [g L^{-1}], h : 几何高度 [m], d : 零位移 [m], g : 重力加速度 [m/s^2], T : 温度 [$^{\circ}\text{C}$], P : 气压 [mb], 1, 2: 不同测定高度。

2. 小气候及生物物理过程对植物生长的影响

中央农业气象研究所利用生物物理实验室及风洞测定各种参数, 得出一系列的数学模型与结果。

① 冠层气候参数对光合作用的影响

图 6 说明不同类型植物的光—净光合关系; 图 7 为不同作物的温度— P_{akt}/P_{opi} 关系 (P_{opi} 为最大光合生产, P_{akt} 为实际光合生产)。

② 冠层叶环境对小气候条件的影响

$$R_z = R_0 e^{-b \sum LAI(Z)} \quad (8)$$

(8) 式表示对光条件的影响。 R_z , R_0 分别为冠层内 Z 高度、冠层顶部光强, $\sum LAI(Z)$ 为从冠层顶至 Z 高度累积叶面积, b 为消光系数。(9), (10) 式表示蒸腾的计算模型:

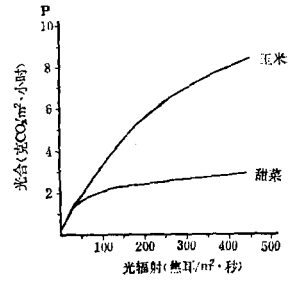


图 6 玉米甜菜的光—净光合关系图
(J. V. Hoyningen-Huene 和 H. Braden, 3/4'82)

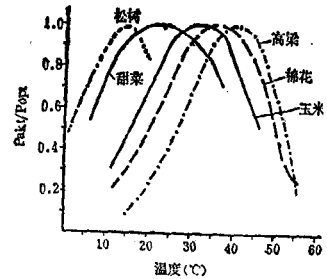


图 7 不同作物叶片温度与 P_{akt}/P_{opi} 关系
(J. V. Hoyningen-Huene 和 H. Braden, 3/4'82)

$$T_B = (R_B + C_4 T_L / r_B + C_5 / (r_{st} + r_B) (e_L - \beta_1)) / (C_4 / r_B + \beta_2 C_5 / (r_{st} + r_B)) \quad (9)$$

$$E_B = C_5 \frac{e_L - \beta_1 - \beta_2 T_B}{(r_{st} + r_B) L} \quad (10)$$

T_B , E_B : 分别为叶片的温度及蒸腾; R_B : 叶片辐射平衡, T_L : 空气温度, e_L : 空气水汽压, C_4 : 空气比热 ($= e C_p$), $C_5 = 0.6231 e P^{-1} = 19 \times 10^3 \text{ Ws m}^{-3} \text{ mb}^{-1}$, L : 混合长。 r_B , r_{st} : 叶片及气孔阻抗, β_1 , β_2 : 作为叶温的函数而描述饱和水汽压的。

3. 森林的辐射平衡

哥廷根大学 O. Ehrhardt 等选择 5 种不同的物候日子, 在 2 米及 43 米处对树高 31 米、树龄约 110 年的灌木林进行辐射收支、光合有效辐射收支及长短波辐射截取量测定。得到了始叶期、满叶期、叶变色期及冬季无云条件下在大气、树冠、树干、土壤的分配剖面图。这里仅给出满叶期(5 月 31 日)及冬季(2 月 23 日)两张图(图 8, 图 9)。

4. 树木振动及阵风参数

当阵风的振动频率与树冠的振动频率一

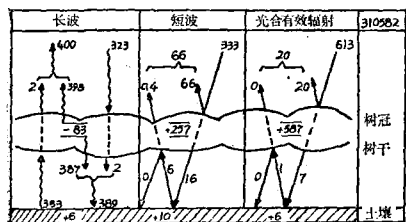


图 8 24 小时平均, Wm^{-2} 及 $\mu Em^{-2}s^{-1}$
(V. Eimern, 1983)

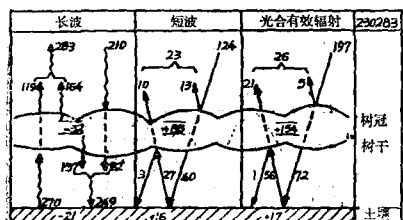


图 9 24 小时平均, Wm^{-2} 及 $\mu Em^{-2}s^{-1}$
(V. Eimern, 1983)

致时能造成较大的破坏作用。慕尼黑大学在树木振动及阵风参数方面做了一些工作(1976—1981年)。风湍流测定系用观测塔在三个高度(树顶以上1米、树冠中间及树冠下方)安装风向风速感应器。树干振动加速值用 HOTTINGER BALDWIN 仪进行测定。振动频率从 0 Hz 到 100 Hz; 加速度从 $1 m/s^2$ 到 $200 m/s^2$ 。1981 年 Mayer 提出按风矢量图解元素分出的平均阵风系数 $\overline{GT}_i$ ($i = u_1, u_2$ 及 u_3):

$$\overline{GT}_i = (i_{\max}(t')/|\bar{v}|), i = u_1, u_2, u_3 \quad (10)$$

$i_{\max}(t')$ 为在时间间隔 t' 内每个风矢量元素的最大值。 $|\bar{v}|$ 为平均风矢量 $\bar{v}$ 的绝对值。又风矢量元素的标准差 σ_{u1}, σ_{u2} 及 σ_{u3} 与平均风速 $\bar{u}_i$ 及粗糙度 (Z_0) 及零位移 (d) 有关。

5. 森林小气候观测系统

哥廷根生物气候研究所在 1982—1983 年为研究“山毛榉林中冠层气候及热量收支”, 在林中建立了 43 米的高塔(树冠高度 31 米)。观测项目如下:

① 风: 分别于 47、39、35、33、18、13、7 及 2 米高度测定风速值, 每 10 分钟给出平均值。只在 47 米高度安装风向器。

② 空气温、湿度: 干球感应部分为 Pt-

100, 湿球为氯化锂。测定高度 43、35、25、19、13、7、2、0.5 米, 在 2 米处并安装毛发湿度表作对照。

③ 土温: 感应部分为 Pt-100, 外包硅树脂, 测试深度为 0、2、5、10、20、50 cm。考虑到土壤差异在 6.5×6.5 米² 范围内于同一深度接 4 个探头。

④ 辐射: A. 43 米高安有总辐射、反射辐射仪, 光合有效辐射仪 (PAR), 辐射平衡仪, 散射辐射仪及日照计。B. 离铁塔南面 10 米远接一个 2 米高的移动式的辐射测定铝架, 架长 12 米, 仪器安在该架子上, 每 10 分钟可三次来回活动, 仪器为两台辐射强度计(辐射、反射)、两台光合有效辐射仪及一台辐射平衡仪。C. 31、25、19 米高度安有光合有效辐射仪。19 米处还进行光合有效辐射反射测定。D. 表面温度: 用红外温度计测定树皮、土表、冠层上部表面的辐射温度(瞬间或每 5 秒平均值), 测试范围 -25 — $+75^\circ C$, 精度 $\pm 0.5^\circ C$, 视角 3° 。E. 测定叶面潮湿时间, 在 31 米处及土表分别设置了叶面潮湿感应器, 它是用 5×3.5 cm² 的板面, 上敷有金属线, 呈锯齿形, 齿距为 1.5 mm 的金属线, 当有水分时电路接通。F. 雨量: 于 31 米处安装雨量计。

所有数字资料的取得及数据初步处理(每年约 400 万个数据)用计算机进行。

四、新技术在农业气象中的应用

1. 卫星遥感 HCMM 系统

1978—1980 年欧洲七国利用美国 NASA 的 HCMM 的红外遥感资料(白天为 0.5 — $11 \mu m$ 及 10.5 — $12.5 \mu m$ 两个波段; 晚上为 10.5 — $12.5 \mu m$ 波段), 并配合地面及航空测定在农业气象方面进行了下列研究:

① 土壤水分分布及变化; ② 作物冠层、土壤及不同地貌的温度的分布及变化; ③ 作物受害(包括病虫害、气象灾害)分布、变化及预测; ④ 地面热岛及冷源的活动; ⑤ 监测雪地及冰层, 预测水分径流; ⑥ 与气象卫星

(Meteosat)结合进行大面积灾害(如水旱灾及火灾)的监测。例如他们已应用飞机热红外扫描研究了林区的防风增温作用。还使用卫星热红外对地面温度进行了测定(图10)。当前的问题是 HCMM 的象元分辨率较粗(0.6 km×0.6 km),若采用 TM (Thematic mapping)分辨率可提高(0.1 km×0.1 km),但因轨道问题,不能取得最高最低温度资料。他们认为今后要注意与 HCMM 卫星相同轨道的、分辨率高于 0.1 km×0.1 km 具有热红外探头的地球资源卫星的国际合作。

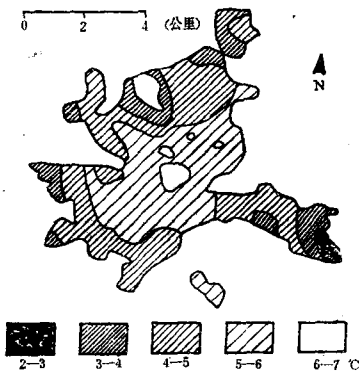


图 10 从 HCMM 热影像的象元分布获得 Freiburg 的地面温度(1979.5.30,2:13 GMT, 欧洲共同体联合研究中心)

2. 热红外仪测量叶面温度

用热红外仪可不接触叶面远距离测出叶面温度。因此它不会破坏冠层能量平衡。热红外仪的实际精度达0.2°C,可测出叶表面温度。

五、农业气象预报方法的研究

1. 春播时期的土温预报

瓦茵斯代坊站提出了下列预报模式:假定土温日变化为正弦函数,则:

$$T_z = \bar{T}_z + A_z \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (11)$$

T_z : z 深度处的温度, A_z : z 深度处日振幅, $\omega = 7.27 \times 10^{-5}$ (对一天周期来说), φ = 相对于土壤表面的位相位移。t: 时间。

而温度振幅随 z 有下列关系:

$$A_z = A_0 \cdot e^{-z/(2a/\omega)^{1/2}} \quad (12)$$

A_0 : 土表温度日振幅。土温导温率 a 由下式决定

$$\alpha = \frac{\omega}{2} \left(\frac{z}{\ln \frac{A_i}{A_0}} \right)^2 \quad (13)$$

$\frac{A_i}{A_0}$: 根据土壤种类和土壤湿度的经验关系来确定, ω 是地球自转角速度。

2. 物候预报

Günther Horneg(1965)在“格森海姆 26 年的花期预报”一文中认为用积温法预报开花期首先要选择最合适的温度累积的初始点,以用 20 cm 土壤最后解冻的日子作为初始时刻可得到最好的结果。而积温是用的某一界限温度(这里是 6°C)以上的每小时温度累积。果树花期预报所使用的小时温度累积平均增长曲线(由 26 年平均)表现出一个明显的连续(图 11)。这就可能用一个三次方程去逼近它,即

$$y = ax + bx^2 + cx^3 \quad (14)$$

式中 x 为按年累计天数, y 为度·小时总和。实际应用时可分两种情况,即 0—60 天用系数 $a = 6.07, b = -0.01, c = 0.000667$, 而从 70—135 天用系数 $a = 0.72, b = -0.17, c = 0.00418$ 。他们认为当前的困难不是在于确定正确的温度总和而是在于长中期温度预报

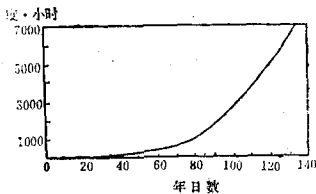


图 11 格森海姆大于 6°C 的每小时温度总和平均增长曲线。26 年平均(1935—1942 及 1949—1964 (G. Horneg, 3/4, 1965))

的错误。波恩站于 1981—1983 年同其他机构协作进行了花粉飘流预报的研究。

3. 病虫害预报

① 马铃薯疫霉病(Phytophthora) 否定预报

联邦德国气象局根据 91 个站的资料(从

5—7月)制作疫霉病——否定预报供各州植保部门使用。这对于马铃薯疫霉病的防治仍具有一定的现实意义。关于寄生生物侵入程度可通过下式表示:

$$L = \int_{t_A}^{t_E} f(P) dt \quad (15)$$

式中 P 是一个 n 维向量, 即假定在不同的阶段孢子的发育, 例如, 在寄主上孢子形成、传播、萌发、菌丝生长等都取决于 n 个气象参数(温、湿、降水)。实际使用时要计算每周的 $f(P)$, 并确定当前的 $L(t)$ 的累积值。当入侵达 0.1% 即相当于 150×10^{-2} Logit 单位, 则必须进行防治措施, 在这之前进行防治是没有必要的。当入侵大于 1% (270×10^{-2} Logit 单位)再进行防治就无意义了。

② 小麦叶虱(Laus)侵入过程的预报

谷物叶虱在德国是冬小麦最频繁最有害且影响面积最大的寄生生物。中央农业气象研究所提出了单位面积叶虱的增加和死亡(离去)以及自然天敌的增加和减少的估算方法。由天气所决定的死亡率:

$$M_w = N(e^{-a_1 w_1} + \dots + e^{-a_n w_n}) \quad (16)$$

侵袭数目:

$$A = PK(1 - \exp(-CN^2 P^{1-b})) \quad (17)$$

式中: N : 叶虱虫口数, $a_1 \dots a_n$: 常数, $w_1 \dots w_n$: 天气要素, P : 天敌的口数, K : 最大侵袭数目, b, c 取决于天气的参数。

目前模式仍较粗糙, 未来在对历史或实际资料富有成果的检验之后, 此模式很容易转为一个预报模式。

4. 动物病害预报

动物病害使联邦德国每年损失 100 百万马克。研究动物病害预报的目的是要尽可能及时地预报有效的防治措施开始时刻。1978 年 Gibson 提出了一个关于描述害虫数目的生物气象学模拟模式, 在相同的边界条件下, 如害虫的初始数、卵的生产等。虫口密度的时间变化根据发育时间、发育率以及存活条件就可得到。由于温度 T 对各个阶段的发育时间 $i=1, 2, \dots, n$ 通常起着决定性的作

用, 可以假定:

$$\frac{1}{D_i(T)} \frac{dD_i(T)}{dT} = a_i \quad (18)$$

求积分后得

$$D_i(T) = DO_i e^{a_i T} \quad (19)$$

D_i : 发育持续时间, DO_i 和 a_i 是常数, 可以从实验室或田间试验得到。对第 j 天的发育状况 E (自阶段 $i=1, 2, \dots$ 直至有传染能力的阶段 n) 可通过下式取得:

$$\frac{a_i^1}{D_i(T_1)} + \frac{a_i^2}{D_i(T_2)} + \dots + \frac{a_i^j}{D_i(T_j)} = E_i^j \quad (20)$$

当 $E \geq 1$ 时表示发育结束。存活率 VR 可由下式求得:

$$VR_i = e^{-st_i(x_1, x_2, \dots, x_m) \cdot t} \quad (21)$$

式中 st 为受气象因素 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 所制约的死亡率函数, t 为时间。中央农业气象研究所在牧场牛的胃-肠-蠕虫瘟疫病害预报中应用了上述模式。

5. 产量预报

目前在联邦德国所见的产量预报模式主要还是建立在统计学基础上的。1968 年以来 Hanus 在联邦德国应用 13 个站的气象参数, 包括最高温度、最低温度的月平均, 月平均温度、风速、相对湿度以及日照时数和降水月总量等进行平均产量预报。其统计模式为:

$$y = f(T, x) = \sum_{i=1}^n f_i(T, x_i) \quad (22)$$

式中 y : 产量, T : 时间, x : 空气因子, i : 为第 i 个月份。

模式试用结果表明, 一半是有成果的, 到 1975 年最大估计误差 2.8 吨/公顷, 相当于实际产量的 6%。但 1976 年(极端干旱年)误差估计 $\approx 15\%$, 在这年土壤湿度成为产量限制因子。

柏林技术大学 Hünicken 按月 (1—8 月每月一个方程) 建立方程, 形式如下:

$$\text{产量} = f(\text{天气因子}) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots (x \text{ 为气象因子}) \quad (23)$$

Hünicken 认为非线性方程不能改进预报的精确度。他还应用了二阶回归模式。因按月份不能完全反映综合和连续作用,故将各月资料累积接收到回归中去,则按计算的产量构成了第二级的回归参数(见示意图12)。结果指出,从所选的三种作物中进一步改进了夏大麦的产量预报精确度,在3—5月预报误差仅 ± 1.8 吨/公顷(相当于5%)。总的看来,回归方法的缺点之一就是超出研究资料范围的外推,可能受到限制,而且结果还可能受到参数之间内部相关的影响。

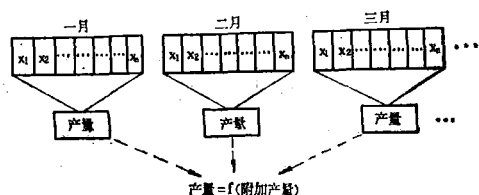


图 12 二级回归计算框图

主要参考文献

- [1] J. V. Hoyningen-Huene, 农作物地中的降水截留量, Nachdruck aus Schriftenreihe des DVWK, Nr. 57, 1983.
- [2] J. V. Hoyningen-Huene, 联邦德国的蒸散研究, Beiträge zur Agrarmeteorologie, Nr. 14/82.
- [3] F. J. Löpmeier, 计算实际蒸发的农业气象模式 (AMBAV), Beiträge zur Agrarmeteorologie, Nr. 7/83.
- [4] G. Krzysch, 天气因子对农作物的生长发育和产量形成影响的研究, TU Berlin 1984, Nr. 1 V/44.
- [5] Jürger Frhr, 灌溉地作物蒸散的微气象学研究, 1982.
- [6] W. Kohn 和 G. Krzysch, 半干旱地区的夏大麦在不同水分供应下的水分消耗和产量形成, 1984 (将发表)。
- [7] A. Baumgartner, 阿尔卑斯山地区的水分平衡, BROJ 10 BEOGRAD, 1984.
- [8] Michael Staudinger, 1983 年夏季在两个高山地区

- 实际的和可能蒸发之间的关系, Annalen der Meteorologie (Neue Folge), Nr. 20, 1983.
- [9] 物候学——联邦德国气象局的一个工作分支, 取自: Mitteilungen Deutscher Meteorol. Ges. H. 3/1983.
- [10] H. Schiff, 在布朗斯维格格的物候学观测, Beiträge zur Agrarmeteorologie, 1983.
- [11] F. Witterslein, 物候观测规范, DWD, 1978.
- [12] F. Witterslein, 物候学工作的意义和任务, DWD, 1978.
- [13] F. Schnelle, 国际物候园网的目标, 1982.
- [14] J. D. Hild, 动植物物候学的新的应用范围, Deutsche Meteorologen-Tagung, 1983.
- [15] F. Schnelle, 欧洲物候学文献, 1977.
- [16] Hermann Gossman, 卫星—热图, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung.
- [17] J. V. Hoyningen-Huene, 农业气象研究中应用红外温度计的方法, Landbauforschung Völkenröde 23. Jahrgang (1973), Heft 1.
- [18] G. Krzysch, 甜菜地 CO_2 平衡和物质形成, 第一部分: Acker-und pflanzenbau 136 55—84(1972). 第二部分: Acker-und Pflanzenbau 109 133—143.
- [19] J. V. Eimern, 山毛榉林在五个所选择的日子里的辐射平衡, Wetter und Leben, Jahrgang 35, 1983, 230—234.
- [20] J. V. Hoyningen, 微气象学和生物物理学过程对植物生产的作用, Promet 3/4' 82.
- [21] H. Langholz, 1983 年的研究报告——土温预报模式, 1984.
- [22] H. Schiff 和 Schrödter, 关于马铃薯根腐病适时防治的否定预报准确率的研究, Kali-Briefe (Büthof) 17(3), 163—172.
- [23] G. Horney, 格森海姆 26 年的果树开花期预报, Meteorologische Rundschau, 1965, Heft 2.
- [24] C. Hünicken, 天气过程和农作物产量之间的关系以及提前作产量预报的可能性, 1978, Berlin.
- [25] H. Hanus, 依据天气因子提前预报产量的一个方法 (1969 b), Acker-und Pflanzenbau 129, 101—111.
- [26] 冬小麦地害虫入侵过程的模拟和预报的生物气象学模式, Annalen der Meteorologie (Neue Folge), Nr. 20, 1983.
- [27] F. J. Lömper, 受天气条件制约的动物病害的农业气象预报方法和难点, Annalen der Meteorologie (Neue Folge), Nr. 20, 1983.