

计算活动面温度的一种简便方法*

翁笃鸣 钱林清** 沈觉成

高家表 陈万隆 金龙

一、前言

在气候和农业气象工作中,通常都以百叶箱气温表示生物环境的温度条件。但这只是一种非常粗略的近似。因为生物界(首先是农作物)在太阳辐射和生物体本身辐射的交换下,经受着远非百叶箱气温所能反映的温度变化。只有活动面温度才能真正代表作物的温度状况。因此,要观测和积累活动面温度资料,以解决有关气候问题。

在小气候工作中,有两种确定活动面温度的方法,一种是直接测定法;另一种是计算法。

现就计算方法问题作一简要回顾。1956年M.И.布德柯^[1]根据地表热平衡方程得到计算活动面温度的公式:

$$\theta_w = \theta + \frac{B_0 - LE - A}{\rho C_p D + 4s\sigma\theta^3} \quad (1)$$

这里 B_0 为按空气温度计算有效辐射基础上所得的辐射平衡; LE 为蒸发耗热量; A 为土中热交换; ρ 为空气密度; C_p 为空气定压比热; D 为布德柯所提的外扩散系数; s 为灰体系数; σ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数; θ_w 为活动面温度; θ 为气温。在有辐射平衡和梯度观测的基础上,除 D 外(1)式中各项都可通过观测得到。 D 值无法直接测定,还需通过间接途径求得。可通过在邻近的裸地上进行热平衡观测得到,即有

$$D = \frac{B' - A'}{\rho C_p (\theta_w' - \theta) \left[1 + \frac{L(q_1' - q_2')}{c_p(\theta_1' - \theta_2')} \right]} \quad (2)$$

式中带“,”号者均为代表邻近裸地上的各种观测值,式中 $(q_1' - q_2')$ 、 $(\theta_1' - \theta_2')$ 表示0.5米和1.5米的比湿差和温度差。因为作者认为外扩散系数在有限范围内是比较稳定的,所以可用裸地上的观测值,代替各种活动面(如植被)上的情况。

该法被认为是比较好的一种方法,有许多实测结果证实这一点。但是,该法的使用

* 参加观测的还有张造和、张承义、陈佩君、林爱和、孙青宁等。

** 山西省气象科学研究所

和推广却受到资料条件的限制,因为一般气象台站并不进行热平衡观测,因而也就无法进行活动面温度的计算。

二、计算活动面温度的

一种简便方法

1978年夏季,我们采用一种较简的方法进行了短期的测定活动面温度的尝试工作。可以假定²,对于相邻两个地段,其各自辐射平衡方程分别为

$$B_1 = Q_1 - R_1 - F_1 \quad (\text{对地段1}) \quad (3)$$

$$B_2 = Q_2 - R_2 - F_2 \quad (\text{对地段2}) \quad (4)$$

这里Q为总辐射;R为活动面反射辐射;F为活动面有效辐射,下标(1,2)代表地段编号。于是,两地段的辐射平衡差异为

$$B_1 - B_2 = (Q_1 - Q_2) - (R_1 - R_2) - (F_1 - F_2) \quad (5)$$

由于两地段紧密相邻,可不考虑总辐射和大气逆辐射的差异,并认为

$$F_1 - F_2 = s_1 \sigma \theta_{w1}^4 - s_2 \sigma \theta_{w2}^4$$

因而,(5)式可简化为

$$B_1 - B_2 = -[(R_1 - R_2) + (s_1 \sigma \theta_{w1}^4 - s_2 \sigma \theta_{w2}^4)] \quad (6)$$

由此可得到

$$\sigma \theta_{w2}^4 = \frac{1}{s_2} \{ [R_1 - R_2] + (B_1 - B_2) + s_1 \sigma \theta_{w1}^4 \} \quad (7)$$

如果我们以地段1(裸地)作为对照点, θ_{w1} 是可以测定的。如能同时在此两地段进行辐射平衡和反辐射观测,那么地段2的活动面温度可按(7)算出。由于在一段日射观测书籍中附有专门表格^[3],可以从 $\sigma \theta_{w2}^4$ 直接反查出 θ_{w2} 。

此种方法只要求在对照点(裸地)和测点进行同步的辐射平衡和反射辐射观测,以及对对照点活动面温度观测即可。从理论上说,方法本身是严密的,从观测项目来说也比较单纯。所以要比布德柯法简便得多,而且无需作热平衡观测,更不必作有关外扩散系数D的某些假设。因此,会对提高观测精确度有帮助。

这种方法还可用来估计人工小气候措施的辐射效应。如为了测定土面增温剂或灌溉的农田小气候效应,只要测定对照地和作用地的反射辐射和活动面温度(地温),就可按(6)式进行计算。考虑到目前在我国辐射平衡观测尚不普遍,通过反射辐射和地温观测作出农田辐射平衡变化的估计,是有实际意义的。

下面我们引进试验观测结果来讨论这种方法的适用性。

三、方法的检验结果

为了验证公式(14)的正确性,在1978年6月9日至29日期间,我们利用晴天条件(总云量在2以下,日面状况0²)先后断续地在三种不同活动面上进行试验观测。试验采

用对比法。对照地为黄色砂壤土，试验地为人工设置的灌溉地、煤屑地、石灰地。对照地和试验地的面积都是 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ ，并且两者互相紧邻。试验期间，进行了辐射平衡、反射辐射和地面温度的对比观测。辐射平衡表和反射辐射表均系国外产品，性能比较稳定，地面温度观测使用两支水银温度表，并取其平均。对比观测在极短时间（不过超 5 分钟）内完成，可以认为是同步的。试验期间共完成 50 次对比观测。试验地的温度按公式（7）计算，计算时，取 S_1 为 0.95， S_2 对不同下垫面取不同的数值，煤屑地为 0.97、灌溉地为 0.95、石灰地为 0.92。图 1 即为地温实测值与计算值的比较。由图可见，两者的总趋势是比较一致的，平均误差为 1.97°C ，只有少数次观测误差超过 5°C 以上。这对活动面温度观测是不算大的。据国外文献⁴介绍，利用辐射温度表观测误差平均也在 2°C 左右。

采用绘制各要素日变化曲线方法，可消除观测本身某些随机误差和时间误差，对提高计算活动面平均温度的精确性有帮助。对观测资料比较多的黄土（对照地）—煤屑地对比试验进行此种处理，可得到两地段各自的辐射平衡、反射辐射和地表面温

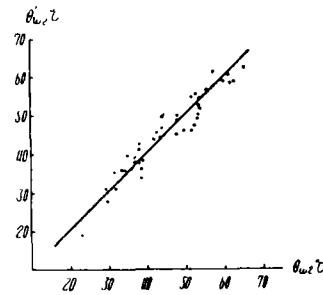


图 1 三种地面温度的计算值(θ)与实测值(θ')的比较 1978 年 6 月 10 日—29 日

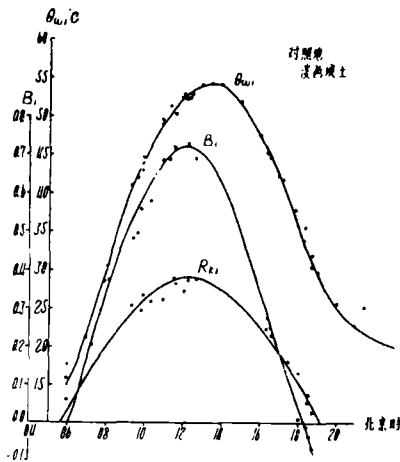


图 2 晴天对照点(裸地)辐射平衡、反射辐射和地面温度平均日变曲线 交城 广兴大队 1978 年 6 月 9 日—16 日

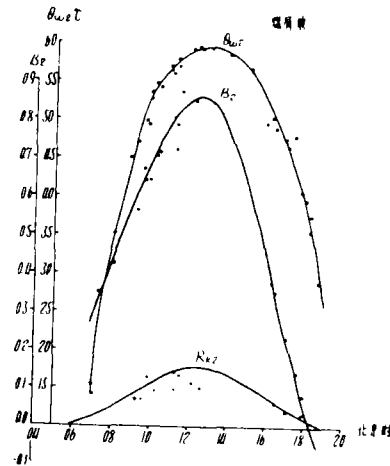


图 3 晴天煤屑地上辐射平衡、反射辐射和地面温度平均日变曲线 交城 广兴大队 1978 年 6 月 9 日—16 日

度的平均日变曲线（图 2、3）。然后由图 2、3 上分别读取两地段各时刻的辐射平衡、反射辐射以及地面温度数值，再按（7）式依次算出逐时的 θ_{w2} 值。并同图 3 上读取的实测煤屑地面温度加以比较，结果是相当满意的（表 1），平均误差仅 1.1°C ，完全能符合实际工作的要求。

表1 晴天时煤屑地上实测平均地面温度与计算值的比较(℃)

时 刻	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
实 测 $\theta_{w'2}$	15.7	32.5	45.2	52.6	56.5	58.5	59.4	58.5	56.5	52.5	46.7	38.8	29.6
计 算 θ_{w2}	14.3	31.5	45.2	53.2	57.0	59.2	58.3	57.3	54.6	51.8	47.6	39.9	26.3
误 差	1.4	1.0	0.0	-0.6	-0.5	-0.7	1.1	1.2	1.9	0.7	-0.9	-1.1	3.3

此外,上述试验资料,还可用来作计算两地段(人工措施)辐射效应精确性的检验。检验可按(6)式进行。根据该式,作用地的辐射平衡应等于

$$B_2 = B_1 + (R_1 - R_2) + (s_1 \sigma \theta_{w1}^4 - s_2 \sigma \theta_{w2}^4) \quad (8)$$

由于 B_1 、 R_1 、 R_2 、 θ_{w1} 、 θ_{w2} 都已测出,所以,作用地的辐射平衡 B_2 可算出,并把计算结果与实测值 B_2' 进行比较(图4)。该图表明,计算值与实测值相当一致,图上点子比较密集地散布在相关线两侧。平均误差为0.031

卡/厘米²·分,相对误差为6.1%。应当指出,这种误差是比较小的,在通常情况下辐射平衡的观测精度(对苏式仪器),一般要求在10%以内,现在能达到6.1%的计算误差,自然是令人满意的。更进一步如采用图2、3上的逐时平均资料,那么计算误差就更小了(表2)。在日间13个时次的对比中,计算误差都在0.030卡/厘米²·分以下,平均仅0.013卡/厘米²·分。这些数据连同图4的对比结果,可充分证明在相邻两地段中,应用(6)式来估算它们之间的辐射差异,并把它扩充到用来估算人工措施的农田小气候效应(指裸地)确实是可行的。

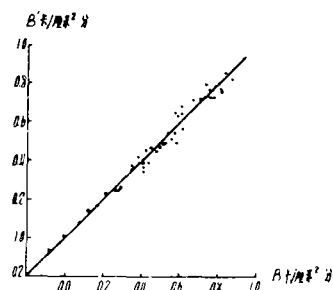


图4 三种地面辐射平衡计算值(B)与实测值(B')的比较 1978年6月10日—29日

表2 晴天煤屑地实测平均辐射平衡与计算值的比较

时 刻	7	8	9	10	11	12	13
实 测 B_2'	0.270	0.430	0.566	0.687	0.782	0.841	0.857
计 算 B_2	0.249	0.429	0.566	0.694	0.790	0.849	0.833
误 差 ΔB	0.021	0.001	0.000	-0.007	-0.008	-0.008	0.024
时 刻	14	15	16	17	18	19	
实 测 B_2'	0.777	0.645	0.455	0.245	0.061	-0.070	
计 算 B_2	0.763	0.623	0.445	0.252	0.072	-0.098	
误 差 ΔB	0.014	0.022	0.010	-0.007	-0.011	-0.028	

四、水稻田和棉田活动面温度的推算

上述试验证明了应用(7)式推算活动面温度的可能性。在此基础上我们还作了计

算水稻田和棉田活动面温度的尝试。先绘制了晴天时水稻田和棉田的辐射平衡和反射辐射日变曲线（图略）。然后，从图上读取逐时的辐射平衡和反射辐射，再以裸地为对照按（7）式分别对两种农田算出逐时的活动面温度。图5为水稻田活动面温度、气温与裸地地面温度日变化曲线的比较。

棉田活动面温度的计算结果在图6上反映出来。为了比较还配上同期棉田地面温度的日变化曲线。

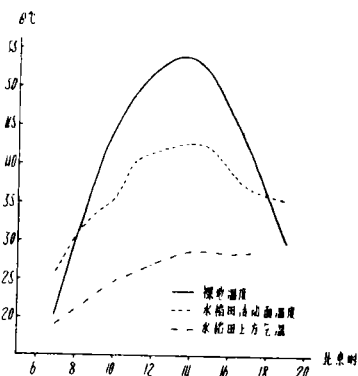


图5 晴天水稻田活动面温度与裸地温度及稻田上150cm高处气温的比较 交城广兴大队 1978年6月11日—16日平均

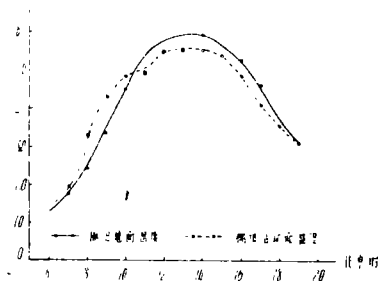


图6 晴天棉田地面温度与计算的活动面温度日变化比较 1978年6月

从上述两图可清楚地看出农田活动面温度与农田上方气温以及地面温度的显著差异。

五、小 结

以上就是根据辐射平衡和反射辐射对比观测，间接计算农田活动面温度的初次尝试。从所得的结果看，有关农田活动面温度的定性概念是符合实际情况的。同时，从定量角度也能看出，农田活动面温度状况与通常观测的空气温度状况、或各种农田的地面温度状况是大有区别的。气温资料只是一般地表征当地的空气温度状况，远非农作物生长环境的实际情况，两者之间相差还是相当显著的。我们所作计算结果，水稻田的活动面温度在日间可比气温高出15°C左右。在国外的材料中也反映此种类似的情形。

本文所提出的活动面温度的计算方法，从理论上说是正确的，检验结果也比较可行，应当说，比之已有的计算方法（如布德柯法）要简便、实用。这个方法不仅用来计算活动面温度，反过来也可根据两地段（裸地或作物苗期农田）活动面温度和反射辐射观测，倒算辐射平衡的差异。这在今天用来估算人工措施的小气候效应是有用的。

参 考 文 献

- [1] М.И.Бубыко, Тепловой баланс земной поверхности, Гидрометиздат. Л.1956年.
- [2] 南京气象学院气候教研组, 小气候上册, 1976年.
- [3] Ю.Д.Янишевский, Актинометрические приборы и методы наблюдений, Гидрометиздат., Л. 1957年.
- [4] З.А.Мищенко, О температуре деятельной поверхности в микроклиматических исследованиях, Трубы ГГО, вып.180, 1965, 58—76