

坡地与水平梯田湿润状况的气候学分析

陈 明 荣

(西北大学地理系)

我国在改变山区面貌同自然作斗争中,兴修了许多水平梯田,对于保持水土起了良好的作用。为了估计坡地修成水平梯田后湿润状况的改变,我们对坡地与水平梯田干湿状况的计算方法作如下探讨。

一、坡地与水平梯田蒸发力的差别

分析坡地与水平梯田干湿差别,必须了解其蒸发力的大小,根据现代热量平衡理论,若地面净得的辐射能用来汽化水分,大抵相当于该地的蒸发力。在湿润气候区,蒸发力的大小与地面辐射平衡值相近,一般地,可以认为蒸发力与辐射平衡成正比例。对于下垫面性质相同,受周围地形影响一致的坡地与梯田,其蒸发力的比值也等于地面辐射平衡的比值,即:

$$\frac{E_{\beta\alpha}}{E_{\beta 0}} = \frac{R_{\beta\alpha}}{R_{\beta 0}} \quad (1)$$

此处 $E_{\beta\alpha}$, $R_{\beta\alpha}$ 为坡向 β , 坡度 α 坡地上的蒸发力和辐射平衡, $E_{\beta 0}$, $R_{\beta 0}$ 为坡向 β 的坡地上修成水平梯田后的蒸发力和辐射平衡。

坡地和水平梯田辐射平衡方程可以写成如下的形式:

$$R_{\beta\alpha} = (Q_{\beta\alpha} + q_{\beta\alpha} + S_{\beta\alpha})(1 - \nu) - F_{\beta\alpha} \quad (2)$$

$$R_{\beta 0} = (Q_{\beta 0} + q_{\beta 0} + S_{\beta 0})(1 - \nu') - F_{\beta 0} \quad (3)$$

式中 $Q_{\beta\alpha}$, $Q_{\beta 0}$; $q_{\beta\alpha}$, $q_{\beta 0}$; $S_{\beta\alpha}$, $S_{\beta 0}$; $F_{\beta\alpha}$, $F_{\beta 0}$ 和 ν , ν' 分别表示坡向 β 的坡地上和水平梯田上的直接辐射; 散射辐射; 反射到坡地及梯田上的反射辐射; 有效辐射和反射率。若梯田与坡地地面性质相同, $\nu = \nu'$ 。

由 (1) 式可知,坡地与梯田蒸发力的差别可以用地面辐射平衡的差别表示,于是计算其蒸发力便可归结为计算坡地与梯田辐射平衡各分量的问题。

(一) 坡地辐射平衡各分量的计算方法

坡地直接辐射的计算分两步进行,首先计算坡地的天文辐射,然后用日照百分率计算实际直接辐射。

傅抱璞^[1]曾推求过坡地天文辐射的计算方法,其表示式如下:

$$W_{\beta\alpha} = \frac{I_0 T}{2\pi\rho^2} [u \sin \delta (\omega_2 - \omega_1) + v \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \sin \beta \sin \alpha \cos \delta (\cos \omega_2 - \cos \omega_1)] \quad (4)$$

其中

$$u = \sin \varphi \cos \alpha + \cos \varphi \sin \alpha \cos \beta$$

$$v = \cos \varphi \cos \alpha - \sin \varphi \sin \alpha \cos \beta$$

此处 φ 为地理纬度, δ 为太阳赤纬, T 为一天的时间, I_0 为太阳常数, ρ 为日地距离 (以平均日地距离为单位), $W_{\beta\alpha}$ 为方位 β (以正北为起点, 顺时针为正), 坡度 α 斜坡上天文辐射日总量。 ω_1, ω_2 为坡地始照和终照时角, 可用下式求之:

南坡 ($\beta = 180^\circ$):

$$\omega_s = \arccos [-\operatorname{tg}(\varphi - \alpha) \operatorname{tg} \delta] \quad (5)$$

北坡 ($\beta = 0^\circ$):

$$\omega_N = \arccos [-\operatorname{tg}(\varphi + \alpha) \operatorname{tg} \delta] \quad (6)$$

东坡或西坡 ($\beta = 90^\circ$ 或 270°):

$$\omega_E = \arccos \left[\frac{-uv \operatorname{tg} \delta + \sin \alpha \sqrt{1 - u^2(1 + \operatorname{tg}^2 \delta)}}{1 - u^2} \right] \quad (7)$$

水平面:

$$\omega_0 = \arccos (-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta) \quad (8)$$

夏半年南坡的始照, 终照时角为 $\omega_1 = -\omega_s, \omega_2 = +\omega_s$; 冬半年南坡的可照时间与水平面相同, 即 $\omega_1 = -\omega_0, \omega_2 = +\omega_0$ 。 北坡夏半年当 $\alpha \leq 90^\circ - \varphi + \delta$ 时, $\omega_1 = -\omega_0, \omega_2 = +\omega_0$; 当 $\alpha > 90^\circ - \varphi + \delta$ 时, 其始照, 终照时角有两组: 一组是 $\omega_1 = -\omega_0, \omega_2 = -\omega_N$, 另一组是 $\omega_1 = +\omega_N, \omega_2 = +\omega_0$ 。 北坡冬半年当 $\alpha \leq 90^\circ - \varphi + \delta$ 时, $\omega_1 = -\omega_N, \omega_2 = +\omega_N$; 若 $\alpha > 90^\circ - \varphi + \delta$, 则该坡上冬半年处于荫蔽中, 无太阳直接照射。 东坡无论夏半年或冬半年, 都是 $\omega_1 = -\omega_0, \omega_2 = +\omega_0$ 。

(4) 式中令 $\alpha = 0$, 便可用以计算水平梯田天文辐射 $W_{\beta 0}$, 此时水平梯田的始照、终照时角与坡地的稍有差别, 但若梯田宽度不大, 其可照时间与坡地的可照时间相近, 坡地的 ω_1 及 ω_2 可用于梯田。

用天文辐射计算直接辐射或用总辐射分离出直接辐射和散射辐射, 通常采用天空遮蔽度日照百分率或云量配合实验式计算。 本文采用文献 [2] 中的方法计算。

坡地一般没有散射辐射、反射辐射 (四周地面反射到坡地的反射辐射) 和有效辐射资料, 必须借助于平地资料间接计算之。 傅抱璞 [3] 曾就此问题从理论上研究过, 得到如下的表达式:

$$q_{\beta\alpha} = q \cos^2 \frac{\alpha}{2} \quad (9)$$

$$S_{\beta\alpha} = \bar{S} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (10)$$

$$F_{\beta\alpha} = F \cos^2 \frac{\alpha}{2} + (\sigma_1 \sigma T_{\beta\alpha}^4 - \sigma_2 \sigma T^4) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (11)$$

此处 q, F 分别表示开旷平地的散射辐射和有效辐射, \bar{S} 表示斜坡前面和左右地面的平均反射辐射。 $T_{\beta\alpha}$ 为坡地的温度, T 为四周平地的温度, 均以绝对温标表示。 σ_1, σ_2 为坡地和四周地面的相对辐射率, σ 为波尔兹曼常数。 $q_{\beta\alpha}, S_{\beta\alpha}, F_{\beta\alpha}$ 分别为方位 β 、坡度 α 坡地上

的散射辐射,反射(到坡地上)辐射和有效辐射。

用(11)式计算坡地有效辐射一般没有坡地温度观测资料,我们利用邻近台站总辐射与相应的地面温度资料作相关图求之,并将温度计算值与实测值对比求得订正值,以减小误差。从计算结果看来,(11)式右边第二项比第一项小得多,故间接计算地面温度导致(11)式中的误差对坡地有效辐射精度影响很小。

(二) 水平梯田辐射平衡 各分量的计算方法

如图1所示,在坡度为 α 的坡地上修的水平梯田 BC ,其坡度 $\alpha = 0$ 。梯田的受热状况一方面与水平面相似,另一方面还受到原坡地地形的影响。在 BC 上任取一点 O ,则沿

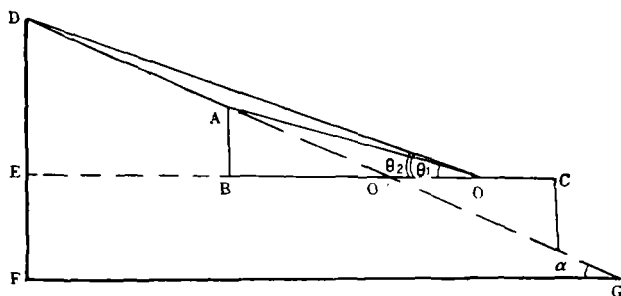


图1 水平梯田剖面示意图

斜坡上看到梯田埂上端 A 的仰角 $\theta_1 \left(= \arctg \frac{AB}{BO} \right)$ 或看到山脊 D 的仰角 $\theta_2 \left(= \arctg \frac{DE}{EO} \right)$

对于 O 点的太阳辐射有一定影响。

当 $\theta_1 > \theta_2$ 时, O 点的仰角取 θ_1 ;当 $\theta_1 < \theta_2$ 时, O 点还受 θ_2 的影响。根据文献[3],令 $\alpha = 0$,对于仰角为 θ 的水平梯田,经过简单换算可得:

$$q_{\beta 0} = q \cos^2 \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

$$S_{\beta 0} = \bar{S} \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (13)$$

$$F_{\beta 0} = F \cos^2 \frac{\theta}{2} + (\sigma_1 \sigma T_{\beta 0}^4 - \sigma_2 \sigma T^4) \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (14)$$

(12)、(13)、(14)式与(9)、(10)、(11)式相似, $q_{\beta 0}$, $S_{\beta 0}$, $F_{\beta 0}$ 表示方位 β 坡地上修的水平梯田的散射辐射、反射辐射(反射到梯田上的辐射)和有效辐射。 $q_{\beta 0}$ 和 $F_{\beta 0}$ 可用水平面上的 q 及 F 进行计算, $S_{\beta 0}$ 的表示式中必须求出梯田埂反射到梯田上的反射辐射。

在田埂上, $\alpha = 90^\circ$,各坡上梯田埂上受到的天文辐射应为:

南坡梯田埂:

$$W_s = \frac{I_0 T}{2\pi \rho^2} [-\cos \varphi \sin \delta (\omega_2 - \omega_1) + \sin \varphi \sin \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1)] \quad (15)$$

北坡梯田埂:

$$W_N = \frac{I_0 T}{2\pi \rho^2} [\cos \varphi \sin \delta (\omega_2 - \omega_1) - \sin \varphi \sin \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1)] \quad (16)$$

东(西)坡梯田埂:

$$W_E = \frac{I_0 T}{2\pi\rho^2} [\cos\delta(1 - \cos\omega_0)] \quad (17)$$

各坡向梯田埂的始照和终照时角用(8)式及下式计算:

南坡梯田埂:

$$\omega_S = \arccos(\operatorname{ctg}\varphi \operatorname{tg}\delta) \quad (18)$$

夏半年南坡梯田埂的始照、终照时角为: 当 $\varphi \geq \delta$ 时, $\omega_1 = -\omega_S$, $\omega_2 = +\omega_S$, 当 $\varphi < \delta$ 时, 梯田埂上照不到阳光, 处于荫蔽中。冬半年的可照时间与水平面相同。

北坡梯田埂:

$$\omega_N = \arccos(\operatorname{ctg}\varphi \operatorname{tg}\delta) \quad (19)$$

夏半年当 $\varphi < \delta$ 时, $\omega_1 = -\omega_0$, $\omega_2 = +\omega_0$; 当 $\varphi \geq \delta$ 时, $\omega_1 = -\omega_0$, $\omega_2 = -\omega_N$ 及 $\omega_1 = +\omega_N$, $\omega_2 = +\omega_0$ 。

东坡梯田埂: $\omega_1 = -\omega_0$, $\omega_2 = 0^\circ$ 。

梯田埂上的直接辐射和散射辐射与坡地的计算方法相似, 可用天文辐射, 水平面上的散射辐射及日照、云量计算之, 于是梯田埂反射到梯田上的辐射便可根据 θ 角的大小计算。

二、坡地与水平梯田干湿状况差别的计算

坡地与水平梯田干湿变化的差别如何? 可以从接纳降水量和蒸发力的不同来考虑。地形复杂的地方, 周围地形对日射是有影响的, 而风的来向使背风坡地和向风坡地上的降水不一样, 这就造成了坡地和水平梯田的蒸发力和降水量的差异。本文主要探讨坡地修成水平梯田后干湿状况的变化趋势, 所以把其他条件视为相同, 没有考虑周围地形对日射及风对降水的影响。

(一) 坡地与水平梯田接纳的降水量

坡地接纳的降水量随坡向、坡度同雨滴的来向而变化。设雨滴降落的方位为 β_r (相当于风向), 与铅直方向的偏角为 ϕ , 则在坡向为 β 、坡度为 α 的斜坡上降水量的表示式^[4]为:

$$\gamma_{\beta\alpha} = \gamma_0 [\cos\alpha + \sin\alpha \operatorname{tg}\phi \cos(\beta - \beta_r)] \quad (20)$$

式中 γ_0 为水平面上的降水量。

如果雨滴受风向影响偏离铅直方向的角度对长期平均而言其机率相等, 或者假定雨滴铅直降落, 则单位面积上坡地与水平梯田降水量就可下式表示, 而与坡向无关:

$$\gamma_\alpha = \gamma_0 \cos\alpha \quad (21)$$

此处 γ_α 为坡度 α 斜坡上的降水量。坡地修成水平梯田后因面积减小, 同样的大气降水, 梯田单位面积上所得到的降水量比坡地多。

降水除一部份贮存在土壤中外, 还有一部分降水以地表径流或地下径流而流失掉, 成为无效降水。在比较坡地与梯田接纳的降水量时, 最好将此种现象考虑进去。但由于降水强度、历时以及地表粗糙度、土壤性质等多种因素影响, 计算无效降水部分数学处理十分困难, 本文暂不考虑。下面是假定降水后不产生径流 (或虽有径流, 但坡地与梯田植物

根栖层内土壤含水量均已饱和, 多余的降水对坡地与梯田土壤含水量不起作用而流走) 情况下而得的结果。

(二) 坡地与水平梯田干湿差别的判据

欲了解一地的干湿状况, 必须同时考虑降水与蒸发力。干燥度是蒸发力与降水量的比值, 概括了水分的收支, 可用以比较坡地与水平梯田干湿状况的差别。干燥度越小 (或其倒数湿润度越大), 表示湿润状况越好。

设 $D_{\beta\alpha} \left(= \frac{E_{\beta\alpha}}{\gamma_{\alpha}} \right)$ 为坡地干燥度, $D_{\beta 0} \left(= \frac{E_{\beta 0}}{\gamma_0} \right)$ 为水平梯田干燥度, 若梯田比坡地湿润, 必须满足 $D_{\beta 0} < D_{\beta\alpha}$, 即

$$\frac{E_{\beta 0}}{\gamma_0} < \frac{E_{\beta\alpha}}{\gamma_{\alpha}}$$

或

$$\frac{R_{\beta 0}}{\gamma_0} < \frac{R_{\beta\alpha}}{\gamma_{\alpha}} \quad (22)$$

因为 $\gamma_{\alpha} = \gamma_0 \cos \alpha$, 当 $R_{\beta 0} < R_{\beta\alpha}$ 时, 则在任何情况下均满足不等式:

$$D_{\beta 0} < D_{\beta\alpha}$$

当梯田蒸发力小于坡地蒸发力时, 坡地修成水平梯田后, 湿润状况恒比坡地大。

若 $R_{\beta 0} > R_{\beta\alpha}$, 则从 (21) 及 (22) 式中可得出只有当:

$$\frac{R_{\beta\alpha}}{R_{\beta 0}} > \cos \alpha \quad (23)$$

时才有

$$D_{\beta 0} < D_{\beta\alpha}$$

也就是说, 当梯田蒸发力大于坡地蒸发力时, 如果修建梯田后比原来的坡地湿润, 必须以梯田蒸发力不超过坡地蒸发力的 $1/\cos \alpha$ 倍为条件, 否则, 坡地修成梯田后其湿润度不如坡地大。由于坡度的余弦随坡度的增大而减小, 在坡度较大的斜坡上兴修水平梯田, 其干燥度比坡度较小的斜坡上的梯田干燥度小些。

三、实例分析

现以洛南 ($34^{\circ}05'N$, $110^{\circ}07'E$)、柞水 ($33^{\circ}40'N$, $109^{\circ}27'E$)、凤县 ($33^{\circ}57'N$, $106^{\circ}36'E$) 为例, 将计算结果略加讨论。资料年份取至 1970 年, 记录年数为 14—18 年。平地太阳总辐射用西安日射资料配合经验公式计算¹⁾, 并用文献 [2] 中的经验公式计算直接辐射, 而散射辐射用总辐射与直接辐射之差求得。在计算坡地与水平梯田辐射时, 假定梯田的挖土方与填土方相等, 取 0 点在梯田宽的中央 0' (图 1)。

(一) 辐射状况

因为辐射与蒸发力关系密切, 我们先看一下坡地与水平梯田的辐射状况。

1) 洛南、柞水、凤县无日射观测资料, 故用其邻近的西安日射资料与日照配合如下的经验公式, 以计算洛南等地的总辐射。

$$(Q + q) = (Q + q)_0(0.252 + 0.748 S)$$

式中 $(Q + q)$ 为实际总辐射, $(Q + q)_0$ 为可能总辐射, S 为日照百分率。

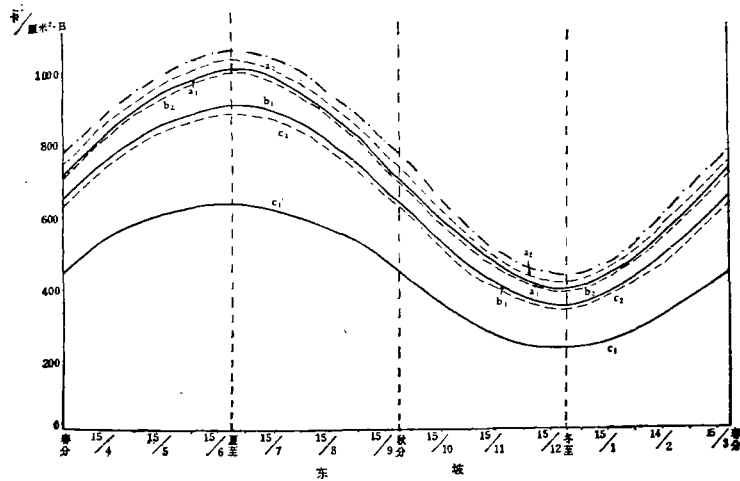
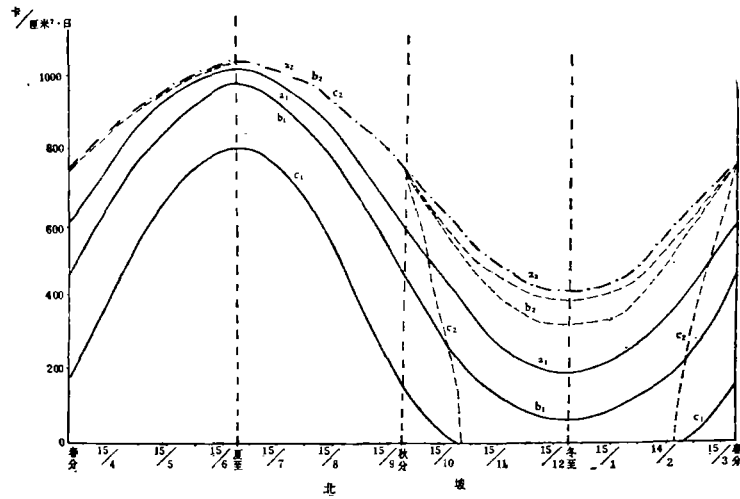
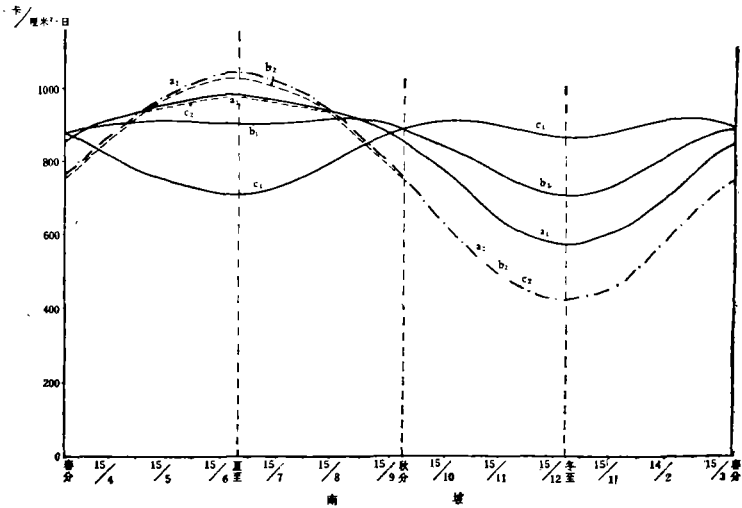


图2 北纬 34° 坡地与水平梯田天文辐射日总量的年变化
(—·—·— 开垦水平梯田, ——— 水平梯田, —— 坡地, a_1, a_2 : 坡度 15° ,
 b_1, b_2 : 坡度 25° , c_1, c_2 : 坡度 45°)

表 1 洛南坡地与水平梯田的辐射平衡 (千卡/厘米²·月)

| 月份 | | 1月 | | | | | | 4月 | | | | | | 7月 | | | | | | 10月 | | | | | | |
|-------|------|-----|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 坡地 | | | 水平梯田 | | | 坡地 | | | 水平梯田 | | | 坡地 | | | 水平梯田 | | | 坡地 | | | 水平梯田 | | | |
| 坡向及坡度 | 土地类型 | 辐射值 | Q* | F* | R* | Q | F | R | Q | F | R | Q | F | R | Q | F | R | Q | F | R | Q | F | R | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 南 | 15° | | 7.74 | 3.83 | 1.59 | 6.39 | 3.77 | 0.70 | 10.34 | 2.83 | 5.44 | 10.11 | 2.83 | 5.26 | 12.72 | 8.01 | 7.42 | 12.82 | 3.01 | 7.50 | 8.42 | 3.16 | 3.58 | 7.59 | 3.16 | 2.91 |
| | 25° | | 8.60 | 3.70 | 2.22 | 6.37 | 3.66 | 0.76 | 10.22 | 2.74 | 5.44 | 9.85 | 2.74 | 5.16 | 12.22 | 2.91 | 7.11 | 12.57 | 2.92 | 7.39 | 8.67 | 3.07 | 3.87 | 7.50 | 3.06 | 2.94 |
| | 45° | | 9.51 | 3.46 | 3.20 | 6.27 | 3.28 | 1.11 | 9.37 | 2.43 | 5.07 | 9.39 | 2.41 | 5.10 | 10.68 | 2.46 | 6.30 | 11.87 | 2.54 | 7.19 | 8.65 | 2.78 | 4.15 | 7.14 | 2.67 | 3.04 |
| 北 | 15° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 25° | | 4.63 | 3.77 | -0.53 | 6.15 | 3.76 | 0.55 | 9.64 | 2.83 | 4.89 | 10.02 | 2.83 | 5.16 | 12.70 | 3.01 | 7.40 | 12.60 | 3.01 | 7.35 | 6.72 | 3.15 | 2.22 | 7.79 | 3.16 | 3.07 |
| | 45° | | 3.62 | 3.61 | -1.08 | 5.71 | 3.64 | 0.36 | 9.07 | 2.73 | 4.51 | 9.81 | 2.74 | 5.11 | 12.31 | 2.91 | 7.18 | 12.39 | 2.92 | 7.24 | 5.90 | 3.02 | 1.29 | 7.46 | 3.05 | 2.92 |
| 东 | 15° | | 2.94 | 3.08 | -1.02 | 2.76 | 3.10 | -1.17 | 7.54 | 2.38 | 3.65 | 9.33 | 2.41 | 5.05 | 10.74 | 2.47 | 6.34 | 11.83 | 2.53 | 7.17 | 4.26 | 2.73 | 0.68 | 6.29 | 2.61 | 2.41 |
| | 25° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45° | | 6.21 | 3.76 | 0.59 | 6.33 | 3.76 | 0.67 | 9.93 | 2.83 | 5.11 | 10.01 | 2.83 | 5.17 | 12.58 | 3.01 | 7.31 | 12.69 | 3.01 | 7.40 | 7.47 | 3.16 | 2.82 | 7.54 | 3.16 | 2.87 |
| | 15° | | 5.87 | 3.65 | 0.46 | 6.13 | 3.64 | 0.65 | 9.49 | 2.73 | 4.86 | 9.67 | 2.74 | 4.98 | 11.86 | 2.91 | 6.82 | 12.36 | 2.92 | 7.22 | 7.07 | 3.04 | 2.62 | 7.35 | 3.05 | 2.83 |
| | 25° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45° | | 4.83 | 3.17 | 0.21 | 5.64 | 3.24 | 0.71 | 7.93 | 2.38 | 3.96 | 8.74 | 2.41 | 4.59 | 9.84 | 2.37 | 5.70 | 11.18 | 2.54 | 6.63 | 5.92 | 2.63 | 2.12 | 6.52 | 2.67 | 2.54 |

*Q: 总辐射 F: 有效辐射 R: 辐射平衡

图 2 是用上述公式计算的北纬 34 度坡地与梯田天文辐射日总量年变化曲线。从图上可以看出,南坡坡地太阳辐射与开旷水平地面太阳辐射年变化差别较大,夏半年受到的太阳辐射比水平面少;且在坡度较大时随太阳赤纬增加而减少,冬半年受热比水平面多,坡度愈大,受到的太阳辐射愈多。南坡修成水平梯田后,除夏季太阳辐射稍比水平面少以外,其他季节都与开旷水平地面相同。北坡坡地夏半年太阳辐射随太阳赤纬增加而增加,随坡度增大而减少,冬半年则随太阳赤纬增加而减小,随坡度增大而迅速减少,当坡度较大时,冬季无太阳光照射。北坡的水平梯田太阳辐射年变化与坡地相似,但北坡地受到的太阳辐射多。东坡坡地和水平梯田太阳辐射年变化与开旷水平地面的年变化相似,当坡度较小时,与水平地面太阳辐射的差别不大。东坡修成水平梯田后,受的太阳辐射比坡地

表 2 坡地与水平梯田干湿状况

| 地点 | 月 份 | | 1 月 | | 4 月 | | 7 月 | | 10 月 | |
|-----|-------|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | 干燥度的比值 | | 干燥度的比值 | | 干燥度的比值 | | 干燥度的比值 | |
| | 坡向及坡度 | | $E_{\beta\alpha}/E_{\beta 0}$ | $D_{\beta\alpha}/D_{\beta 0}$ | $E_{\beta\alpha}/E_{\beta 0}$ | $D_{\beta\alpha}/D_{\beta 0}$ | $E_{\beta\alpha}/E_{\beta 0}$ | $D_{\beta\alpha}/D_{\beta 0}$ | $E_{\beta\alpha}/E_{\beta 0}$ | $D_{\beta\alpha}/D_{\beta 0}$ |
| 洛 南 | 南 坡 | 15° | 2.270 | 2.349 | 1.035 | 1.071 | 0.989 | 1.024 | 1.230 | 1.273 |
| | | 25° | 2.921 | 3.235 | 1.055 | 1.165 | 0.962 | 1.062 | 1.316 | 1.453 |
| | | 45° | 2.883 | 4.097 | 0.995 | 1.408 | 0.876 | 1.240 | 1.365 | 1.921 |
| | 北 坡 | 15° | — | — | 0.947 | 0.980 | 1.011 | 1.046 | 0.724 | 0.749 |
| | | 25° | — | — | 0.883 | 0.975 | 0.992 | 1.095 | 0.442 | 0.488 |
| | | 45° | — | — | 0.723 | 1.023 | 0.884 | 1.251 | 0.282 | 0.398 |
| | 东 坡 | 15° | 0.881 | 0.912 | 0.989 | 1.023 | 0.988 | 1.023 | 0.982 | 1.016 |
| | | 25° | 0.708 | 0.782 | 0.976 | 1.381 | 0.945 | 1.043 | 0.926 | 1.022 |
| | | 45° | 0.297 | 0.420 | 0.863 | 1.211 | 0.860 | 1.217 | 0.835 | 1.182 |
| 柞 水 | 南 坡 | 15° | 2.626 | 2.718 | 1.029 | 1.065 | 0.986 | 1.021 | 1.228 | 1.271 |
| | | 25° | 3.250 | 3.588 | 1.051 | 1.160 | 0.958 | 1.058 | 1.295 | 1.430 |
| | | 45° | 3.143 | 4.447 | 0.999 | 1.414 | 0.863 | 1.221 | 1.347 | 1.906 |
| | 北 坡 | 15° | — | — | 0.952 | 0.985 | 1.010 | 1.045 | 0.750 | 0.776 |
| | | 25° | — | — | 0.878 | 0.969 | 0.987 | 1.090 | 0.592 | 0.654 |
| | | 45° | — | — | 0.730 | 1.033 | 0.843 | 1.193 | 0.256 | 0.362 |
| | 东 坡 | 15° | 0.847 | 0.877 | 0.990 | 1.025 | 0.989 | 1.024 | 1.000 | 1.035 |
| | | 25° | 0.684 | 0.755 | 0.944 | 1.042 | 0.942 | 1.060 | 0.932 | 1.029 |
| | | 45° | 0.250 | 0.354 | 0.860 | 1.217 | 0.794 | 1.124 | 0.818 | 1.157 |
| 凤 县 | 南 坡 | 15° | 2.838 | 2.937 | 1.036 | 1.072 | 0.990 | 1.025 | 1.184 | 1.225 |
| | | 25° | 3.426 | 3.782 | 1.045 | 1.154 | 0.959 | 1.059 | 1.250 | 1.380 |
| | | 45° | 3.203 | 4.532 | 0.966 | 1.409 | 0.875 | 1.238 | 1.303 | 1.844 |
| | 北 坡 | 15° | — | — | 0.945 | 0.978 | 1.012 | 1.047 | 0.776 | 0.803 |
| | | 25° | — | — | 0.885 | 0.977 | 0.991 | 1.094 | 0.660 | 0.729 |
| | | 45° | — | — | 0.728 | 1.030 | 0.896 | 1.268 | 0.519 | 0.734 |
| | 东 坡 | 15° | 0.879 | 0.909 | 0.986 | 1.021 | 0.991 | 1.026 | 0.984 | 1.018 |
| | | 25° | 0.774 | 0.854 | 0.965 | 1.065 | 0.943 | 1.041 | 0.946 | 1.044 |
| | | 45° | — | — | 0.887 | 1.255 | 0.840 | 1.189 | 0.861 | 1.218 |

稍多,当坡度较大时,其差别较大。

实际辐射如表 1 所示。由于有效辐射随坡度的变化不大,所以辐射平衡的分布与总辐射相似。

南坡坡地与梯田夏季辐射平衡随坡度增大而减小,且坡度相同的坡地上辐射平衡小于水平梯田。冬季相反。春季和秋季的情况与冬季相似。北坡 7 月当坡度较小时(例如 $\alpha = 15^\circ$),坡地与梯田的辐射平衡无差别,当坡度较大时(例如 $\alpha = 45^\circ$),坡地辐射平衡比梯田小 0.8 千卡/厘米²·月。1 月北坡处于不利受热方位,修成水平梯田后,受热状况有所改善,辐射平衡可增加 1 千卡/厘米²·月左右。春秋季节北坡坡地与梯田辐射平衡均随坡度增加而减少,但梯田辐射平衡大于坡地,且坡度愈大,这种差别也愈大。东坡修的水平梯田,各月的辐射平衡都有不同程度的增加,但坡度不大时,其差别很小。

(二) 湿润状况

上述坡地与水平梯田辐射平衡的差别可反映蒸发力的大小,但湿润状况的优劣不仅取决于蒸发力,还与地面接纳的降水量有关,应该同时考虑降水与蒸发的差别。表 2 上列举的是洛南、柞水、凤县坡地与梯田蒸发力的比值和干燥度的比值,计算时忽略了地表径流,假设降水全部为土壤吸收。这样便可用(22)式判别坡地与水平梯田的干湿状况。从表 2 上可以看出,南坡上修的梯田,各季的湿润状况都有不同程度的改善, $D_{\beta a}$ 与 $D_{\beta 0}$ 的比值 1 月达 2.3—4.5,春秋季节多在 1.2—1.9 之间。坡度愈大,该比值也愈大,梯田更为湿润。夏季当坡度较小时,梯田与坡地的湿润状况相近。北坡夏季的湿润状况比梯田稍差(即坡地的干燥度比梯田稍大),其它季节坡地比梯田湿润, $D_{\beta a}/D_{\beta 0}$ 小于 1.0。10 月 45° 北坡上 $D_{\beta a}/D_{\beta 0}$ 甚至只有 0.4—0.7,且随坡度增加而减小。东坡冬季水平梯田比坡地干燥,其它季节当坡度较小时,其湿润状况无大差别,当坡度较大时, $D_{\beta a}/D_{\beta 0}$ 之值为 1.2 左右,梯田比坡地湿润。由此可见,坡地修成水平梯田后湿润状况的改变是随坡向,坡度和

表 3 水平梯田与坡地土壤湿度(%)的比较(永寿县白咀村)

| 日 期 | 坡 向 | | 南 坡 | | | | 北 坡 | | | | 东 坡 | | | |
|-----------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|-----|--|
| | | | 梯 田 | | 坡 地 | | 梯 田 | | 坡 地 | | 梯 田 | | 坡 地 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10厘米 | 0—30厘米 | 10厘米 | 0—30厘米 | 10厘米 | 0—30厘米 | 10厘米 | 0—30厘米 | 10厘米 | 0—30厘米 | 10厘米 | 0—30厘米 | | |
| A: 5月7日 | 13.8 | 14.8 | 13.9 | 14.1 | 14.9 | 15.3 | 15.1 | 15.3 | 16.5 | 15.0 | 12.0 | 13.8 | | |
| B: 5月10日* | 14.2 | 16.0 | 13.1 | 16.3 | 16.0 | 16.1 | 16.3 | 16.3 | 17.2 | 16.0 | 14.2 | 16.2 | | |
| C: 5月16日 | 12.9 | 14.2 | 12.4 | 13.3 | 13.9 | 15.0 | 15.3 | 14.8 | 14.0 | 15.6 | 13.7 | 14.5 | | |
| A—B | -0.4 | -1.2 | 0.8 | -2.2 | -1.1 | -0.8 | -1.2 | -1.0 | -0.7 | -1.0 | -2.2 | -2.6 | | |
| B—C | 1.3 | 1.8 | 0.7 | 3.0 | 2.1 | 1.1 | 1.0 | 1.5 | 3.2 | 0.4 | 0.5 | 1.3 | | |

* 5 月 9 日下午降小雨未产生地表径流。

季节而不同的。南坡上的梯田一般比坡地湿润,且坡度越大,梯田越湿润。北坡上的梯田除夏季外都不如坡地湿润。东坡上修的梯田冬季的干燥度比坡地大,其他季节比坡地湿

润些。

(三) 实测状况

1976年5月,作者在陕西省永寿县常宁公社白咀村进行了短期的梯田与坡地土壤湿度变化的对比观测。观测地段的情况如下:南坡(南偏东 20°)坡度为 20° ,北坡(北偏东 27°)坡度为 15° ,东坡(东偏北 5°)坡度为 18° ,三种坡上地表裸露,除北坡清晨和傍晚有一小时左右被遮荫外,其他坡上无障碍物遮荫。玉米梯田中作了一些辅助观测。

降雨以后,坡地和梯田蒸发的快慢并不完全相同,南坡和东坡上的梯田比坡地蒸发慢些,北坡却有梯田土壤湿度比坡地小的现象(表3)。

四、结 论

1. 坡地修成水平梯田后,其辐射状况有明显的改变。根据公式(1)~(19)计算实例,在处于副热带纬度的地区,水文梯田的天文辐射一般都比坡地多,但在南坡夏半年的春秋分附近和冬半年,梯田天文辐射反而比坡地少,尤其是冬半年,坡度愈大,坡地上受到的天文辐射比水平面愈多。北坡上的水平梯田受热比坡地多,全年天文辐射无论坡地或梯田均随坡度增加而减少,冬半年减少更甚。东坡当坡度较小时,梯田与坡地天文辐射差别不大,当坡度较大时,梯田比坡地受热较为多。南坡上修的水平梯田除夏季天文辐射比开旷水平地面少以外,其它季节与开旷水平面相近。与坡度大小关系很小。

实际辐射因受云况、日照、湿度等因素影响,有明显的地域性。由于有效辐射随坡度的变化不大,总辐射与辐射平衡分布规律相似。南坡坡地与梯田夏季辐射平衡随坡度增大而减小,且坡地辐射平衡小于水平梯田,冬季辐射平衡变化与夏季相反,且其差别比夏季大。北坡夏季坡地与梯田的辐射平衡当坡度较小时无大差别,当坡度较大时梯田辐射平衡比坡地大(45° 上的梯田可多得1千卡/厘米²·月左右)。冬季北坡修成梯田后,受热状况有所改善。东坡上梯田的辐射平衡各月都比坡地多,但坡度不大时却相差无几。坡地与梯田辐射平衡的差别,基本上能反映蒸发力的变化规律。

2. 南坡除夏季外,水平梯田蒸发力大于坡地,这就是说,当降水量足以使梯田和坡地土壤根栖层含水量饱和时,前者比后者湿润。北坡和东坡坡地蒸发力与梯田蒸发力的比值都小于1,但差别不大,一般不到10%,只有当坡度较大时才相差15~20%。南坡上梯田蒸发力除夏季较坡地大以外,其他季节都比坡地蒸发力小,特别是冬季, $E_{\beta a}/E_{\beta 0}$ 之值达2.2~2.8。

干湿状况取决于蒸发力与降水量的大小,南坡上 $D_{\beta a}/D_{\beta 0}$ 之值1月达2.3~4.5,春秋季节多在1.2~2.9之间,梯田比坡地湿润得多,且坡度越大,梯田湿润度也越大,夏季当坡度较小时,南坡梯田与坡地湿润状况相近。北坡夏季湿润状况比坡地稍好($D_{\beta a}/D_{\beta 0} > 1$),春秋季节却不如坡地, $D_{\beta a}$ 与 $D_{\beta 0}$ 的比值在0.4~0.9之间,且坡度愈大,此比值愈小。东坡冬季梯田比坡地干燥,其它季节,当坡度较小时无大差别,当坡度较大时, $D_{\beta a}/D_{\beta 0}$ 为1.2左右,梯田比坡地湿润。

参 考 文 献

- [1] 傅抱璞: The Influence of the slope on the sunniness, *Scientia Sinica*, 8(7), 1959.
[2] 翁笃鸣: 试论总辐射的气候学计算方法, 气象学报, 34(3), 1964.
[3] 傅抱璞: 起伏地形中辐射平衡各分量的计算, 气象学报, 34(1), 1964.
[4] 傅抱璞: 起伏地形中的小气候特点, 地理学报, 29(3), 1963.

CLIMATOLOGICAL ANALYSIS OF THE MOISTURE CONDITION
ON THE SLOPE LAND AND LEVEL TERRACES

Chen Mingrong

(Department of Geography, Northwestern University)

Abstract

In this paper, by applying the theory of radiation balance, a method of estimating the moisture condition on the slope land and level terraces is obtained. The main conclusions are as follows:

1. If the width of level terrace is so wide, the amount of solar radiation, effective radiation, reflection and net radiation on the slope and level terrace can be calculated by equations (1)—(21) in the main text. Let potential evaporation be in direct proportion to net radiation, the evaporative power of slope and level terrace is determined entirely by net radiation. Suppose the direction of falling raindrops are vertical (i. e. the influence of wind is neglected) and rainfall is fully absorbed by the soil, then use equations (22) and (23), the difference of moisture condition between the slope land and level terraces may be measured by the aridity index.

$$\text{If } D_{\beta 0} < D_{\beta \alpha},$$

$$\text{then } R_{\beta \alpha} / R_{\beta 0} > \cos \alpha.$$

Where $D_{\beta \alpha}$ or $R_{\beta \alpha}$ is the aridity index or the net radiation on the slope of direction β and inclination α . $D_{\beta 0}$ or $R_{\beta 0}$ is the aridity index or the net radiation on level terraces. This equation shows that if $R_{\beta \alpha} > R_{\beta 0}$ or $R_{\beta \alpha} < R_{\beta 0}$ but $R_{\beta \alpha} / R_{\beta 0} > \cos \alpha$ then the moisture index on the level terraces is larger than the slope land.

2. As an example, the moisture condition on the upland of Laonan, Zhashui and Fengxian counties of the Tsingling Mountains, central Shensi, is calculated. The results of computations, show that in subtropical zone of mountain areas where the slope land is built into level terraces, the potential evaporation on the northern and eastern slope is less than that on the level terraces, and it is particularly evident in the winter half year. But when the slope inclination is small in summer season their potential evaporation is nearly equal. The condition on southern slope in summer is similar, but it is contrary in other seasons (the potential evaporation on the slope is 2—3 times larger than that on the level terraces).

3. The moisture index of the level terraces on southern slope is generally larger than the slope land, and it improves as the slope inclination increases. The same condition is true on the eastern slope except in winter. However, in the winter half

year, the moisture index on the northern side of the slope land is larger than that on terraced fields. On the contrary, in summer the latter is slightly larger than the former.

Because $\cos\alpha$ decreases as the inclination increases the moisture index of level terraces on the steeper slope improves largely. But, in practice, the level terrace is built generally on moderate inclination, and the difference of the moisture content is slight.