

水田之熱平衡及其應用之研究*

顏 俊 士

A Study of the Heat Balance on the Paddy Field and its Application

by C. S. Yen

ABSTRACT

The difference between the evapotranspiration on paddy field which estimated by heat balance method and observed evapotranspiration by gradient method is only 3 %. The equation of heat balance method is $LE_p = S_p / (1 + L_p / LE_p)$, and the equation of gradient method is $E_t = \rho k^2 (u_2 - u_1) (q_1 - q_2) / (\ln z_2 / z_1)^2$.

The correlation coefficient between $LE_p/1$ and E_t are 0.61, and between $LE_p/1$ and the evaporation of 20 cm pan is 0.87. The result of $\Sigma S_p / \Sigma Q_p$ is practically the same as Chang's obtained. As results, the heat balance method is found to be applicable for estimation for radiation energy on paddy field in Taiwan. Though the radiation energy in the first rice paddy field is larger than the second rice paddy field, but the radiation energy per unit period is larger in the second paddy field. The correlation coefficient between S_p and the dry matter yield Y_d is about -0.5 and in the growing stage of the second crop is obtained high negative value of -0.7. The efficiency of utilization of photosynthetical effective radiation are 0.69% in the first crop and 0.5% in the second crop respectively. The efficiency of energy conversion in the second crop also lower than the first crop. This explained the quantity of incoming radiation energy does not play a dominant role in determining of final yields and a part of energy is waste on the respiration. Therefore, the selection of species for high efficiency of energy conversion and decrease the respiration rate in whole stage are important methods for increasing rice yield.

The estimated distribution of radiation energy of the first and second rice paddy field are presented in Fig. 2 to Fig. 5. The estimated efficiency of energy conversion is also presented in Table 6 and Table 7.

* 本研究之完成係得行政院國家科學委員會之補助。

1. 緒 論

農作物在水分，養分供給下，接受來自太陽之輻射，進行其發芽、生長、成熟、等生命循環過程，其保存於植物體內之能量由人類利用者為糧食。現在人類在一年內所消費糧食之能量，約達 $3,264 \times 10^{12}$ Kcal 之巨，但尚有了 3 成到 5 成之人類處於營養不足，另 3 成甚且仍度著慢性饑餓之生活。為了供給全人類充分的糧食，應付逐年增加之人口，農業增產成了當前之重要問題。惟以往發展農業均側重於灌溉，肥料，防除病蟲害或育種方面之研究。至近十幾年來，各種測器漸趨於精密，輻射測儀之開發亦頗有進展。因此太陽輻射在農業方面之研究已獲得顯著之績效。據 Budagovsky^{*1}(1964) 比較檢討輻射收支法 (Radiation budget method,) 梯度法 (Gradient method) 及複合法 (Combination method), 三種蒸發散測定法均得誤差 5-10% 程度精確之蒸發散量。惟在我國，由於缺乏輻射資料，尚鮮研究，農田之蒸發，蒸發散之研究以水分收支法發表研究者有張啓濱^{*2}(1959)，駱安華^{*3}(1962)，及張建勛^{*4,5}(1965) 等諸氏。僅筆者^{*6}(1973) 應用輻射平衡法試行估計臺灣各地之輻射平衡各項分佈及水地溫而得良好之結果。茲擬再應用於估計水田內之蒸發散量，並和傾度法觀測結果相較，檢討其可行性，再估計各地稻作期間之輻射平衡各項之分佈，進而試算各地光合作用有效輻射，在產量上之利用效率，以供今後糧食增產之重要依據。

2. 水田內輻射平衡式

耕地之輻射平衡之一般近似式為

$$S_0 + LE_0 + B_0 = 0 \dots\dots\dots(1)$$

式中之 S_0 ：純輻射量， LE_0 ：潛熱量， L_0 ：顯熱量， B_0 ：貯熱量。

但水田有若干深度之水層介於地面和大氣間之故，稍複雜些，即

$$S_p + LE_p + L_p + CP \int_0^H \frac{2\theta w}{2t} dz + B_0 = 0 \dots(2)$$

(2)式中之 $CP \int_0^H \frac{2\theta w}{2t} dz$ 為水深 H 之水層熱量變化。為簡化假定無移流水分並時間單位採用日平均以上長時間時，(2)式之 $CO \int_0^H \frac{2\theta w}{2t} dz = 0$,

$B_0 = 0$, 故(2)式成為

$$\Sigma S_p = \Sigma LE_p + \Sigma L_p \dots\dots\dots(3)$$

(3)式中之各項計算，應用筆者^{*6}(1973) 曾得良好可行性之下式

$$S_p = Q_0 [1 - (1-k)n] (1-a) - SZK^4 (0.39 - 0.058 \sqrt{e}) (1-cn^2) \dots\dots\dots(4)$$

$$LE_p = -S_p / (1 + \frac{L_p}{LE_p}) \dots\dots\dots(5)$$

$$L_p = -S_p / (1 + 2 \frac{\Delta e}{\Delta \theta}) \dots\dots\dots(6)$$

(4)式之 Q_0 ：晴天時之可能到達輻射量 (直達和散播)。自 Budyko 氏之緯度，月別表^{*7} 可查出。

k ：依緯度而異之平均太陽高度，雲量有關之係數。 $25^\circ N = 0.32$, $20^\circ N = 0.33$

n ：雲量。全天有雲時為 1.0。

S ：物體射出率。

δ ：Stefan-Boltzman Constant

K ：氣溫 (絕對溫度)。

e ：水汽張力。

c ：考慮各緯度之平均雲量係數。

$$20^\circ N = 0.59, \quad 25^\circ N = 0.61$$

(6)式中之 Δe ：接近地層 (或水層) 和大氣間之水汽量差數。

$\Delta \theta$ ：地面 (或水面) 和大氣間之溫度差數。

因地溫或水溫資料難得， $\Delta \theta$ 應用內島大沼氏^{*8} (1959) 等之共同研究得

$$\Delta \theta = \frac{a \frac{S}{e} - 2D}{1 + 2\Delta} \dots\dots\dots(7)$$

(7)式中之 a ：ly/min 和 Kly/month 之換算率
 δ ：蒸發氣化熱。

D ：飽和水汽張力差數。

Δ ：飽和水汽張力梯度。

(4)式中之 a ：反照率。水田之反照率因隨水稻之生育，次第莖繁茂而反照率隨之變動。

在臺灣未曾觀測過水稻反照率，應用井上氏等 (1967)^{*9} 之全生育期間之反照率變化動態，即自秧苗期 0.08，插秧直後 0.10 逐漸增加至 0.22 後，再減低為 0.18 等資料。

3. 輻射平衡估計法和梯度法觀測結果之比較

筆者曾於 1969 年在臺北郊外，安坑以 Thornthwaite Holzman 之梯度法觀測第一期作水稻全生育期間之蒸發散量 (未發表)，其結果與上列熱平衡估計結果相比較，檢討如下：

所使用之梯度法公式為

$$E_t = \frac{\rho k^2 (u_2 - u_1) (q_1 - q_2)}{\ln \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^2} \dots\dots\dots (8)$$

式中之 z_2 : 300cm 高度

z_1 : 20-100cm 高度, 隨水稻繁茂層之增

高, 調整。

u_2, u_1 : z_2, z_1 高度之風速。

q_2, q_1 : z_2, z_1 高度之比濕。

E_t : 蒸發散量。

Table 1. Comparison of evapotranspiration estimated by gradient method with heat balance method.

較:

項	月 旬	4 月			5 月			6 月			7 月	總計 mm.
		上	中	下	上	中	下	上	中	下		
梯度法 E_t		36.4	26.3	29.7	45.7	46.4	63.2	36.0	37.4	27.9	38.8	387.8
輻射平衡法		36.8	31.2	36.7	41.6	40.4	43.2	28.9	34.0	35.7	46.5	375.0

二方法所得結果如表 1, 其總蒸發量之差數, 僅 12.8mm 以 1:0.97 之比, 輻射平衡法所得蒸發散量較小些, 但甚接近, 兩法間之相關係數亦呈 0.61, 經 t 值試驗結果, $t=2.15$ 在 10% 危險率內之較高相關。輻射平衡法所得蒸發散量與 LE_p/l 每 20cm 口徑蒸發量 E_{20} 相較, 其變動傾向如 Fig. 1 相似, 唯

(1960) 及岩切 (1960) 所得之 20cm 蒸發皿蒸發量較大於輻射平衡法所估計者等結論呈相似傾向。再求輻射平衡法所得蒸發散量與純輻射量間之關係為

$$LE_p/l = 0.83 \frac{S_p}{l}$$

與升上氏等^{*11} 所得自純輻射量估計蒸發散量式

$$E_t = 0.82 \frac{S}{l}$$

數值甚接近。再以 $\sum S_p / \sum (1-\alpha) Q = 0.6703$ 論之, 雖較之 Stanhill^{*12} (1966) 之灌溉過之玉米田 0.62 為大, 但與 Chang^{*13} (1961) 在夏威夷甘蔗田所得 0.67 相同。

如上述輻射平衡法所估計水田蒸發散量不僅與梯度法所得數值有高度之相關, 更與 20cm 口徑蒸發計蒸發量之變化有緊密的關聯看之, 輻射平衡法之估計水田內能量分佈之可行性甚高, 因此再推進估計本省各地栽培期間之輻射量各項分佈狀況。

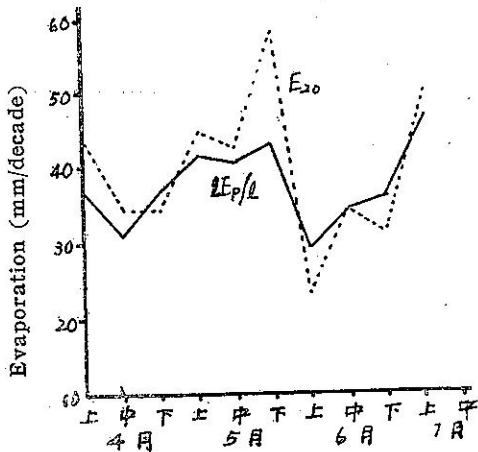


Fig. 1. Evapotranspiration estimated by heat balance method and evaporation measured by 20cm. pan.

LE_p/l 較小些, 兩者間之相關係數為 0.87, 相關頗高, t 值亦達 5.0, 誤差之發生危險率僅 1% 以下。可說相關甚緊密。

上述比較, 與佐藤^{*10} (1960), 羽生, 小野氏

4. 臺灣各地之水稻期間之輻射能量分佈

(1) 栽培期間之決定。

水稻栽培及生育之進展, 由年年受各種環境因子之影響, 有若干之變動。但自歷年所得之觀察結果, 略有一定之週期, 故本篇所應用本省農業試驗場及各地改良場發表之豐歉試驗報告^{*14}, 其歷年平均栽培及生育期日如表 2 以較有歷史且尚在栽培之品種, 即臺中 65 號 (臺中以北及高雄區), 及嘉南 8 號 (臺南及東部) 為對象品種。

Table 2: The normal date of rice cultivation and growing stage in Taiwan.

地區	時期	第一期				第二期			
		播種	插秧	抽穗	收穫	播種	插秧	抽穗	收穫
臺北	北	1/19	3/10	6/17	7/21	7/19	8/1	10/18	11/27
宜蘭	蘭	1/28	2/27	5/25	6/29	7/23	7/31	10/5	11/10
新竹	竹	2/1	3/21	6/9	7/10	7/8	7/23	9/30	11/5
臺中	中	1/25	2/25	5/24	7/1	7/8	7/26	9/28	11/7
臺南	南	1/12	2/23	5/23	6/25	6/15	7/14	9/24	10/26
高雄	雄	12/10	1/10	4/11	5/11	6/15	7/5	9/13	10/14
臺東	東	1/21	2/20	5/15	6/15	7/18	8/2	10/5	11/11
花蓮	蓮	2/4	3/5	6/4	7/7	7/14	7/23	9/30	11/8

(2) 稻作期間之輻射能量分佈。

以上述熱平衡法，應用各地測候所氣象資料*15，估計本省主要稻作地區（分為8地區）之第一期，第二期作別輻射平衡各項之分佈，請參照 Fig. 2, 3, 4 及 5。Fig. 2 為水田吸收之短波長輻射 Q_p 值 [$Q_p = (1-a)Q$] 之分佈圖。即第一期，第二期作均以嘉南之水田吸收輻射量為最多。最少者為第一期作臺東

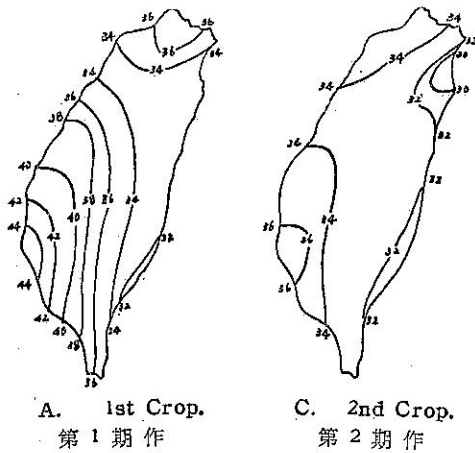


Fig. 2. Distribution of absorbed radiation Q_p (kly/period)

地區，但第二期作為宜蘭地區。Fig. 3為純輻射量 S_p 之分佈圖，兩期作仍以嘉南地區為最多。臺北地區之第一期作次之，最少者為與 Q_p 分佈相同之宜蘭及臺東二地區。Fig. 4 為蒸發潛熱 LE_p 之分佈，雖二期作均以嘉南地為最多，以及宜蘭地區為最小，但臺北地區第一期作間 28.0kly 次於嘉南地區。Fig. 5 為顯熱量 L_p 之分佈，就是大氣和水田間進行長波輻射交換所消費之能量，其分佈與前述 Q_p , S_p 及 LE_p 分佈稍異。第一期作以嘉南，高屏地區及宜蘭地區所

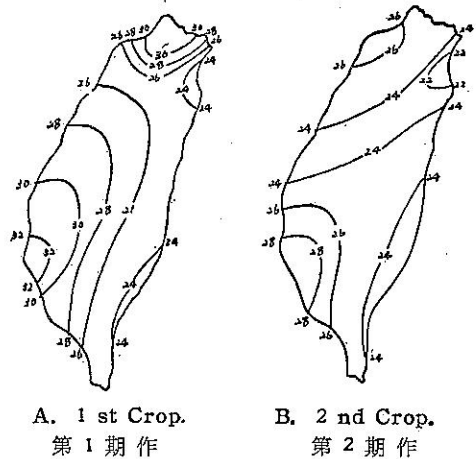


Fig. 3. Distribution of net radiation S_p (kly/period)

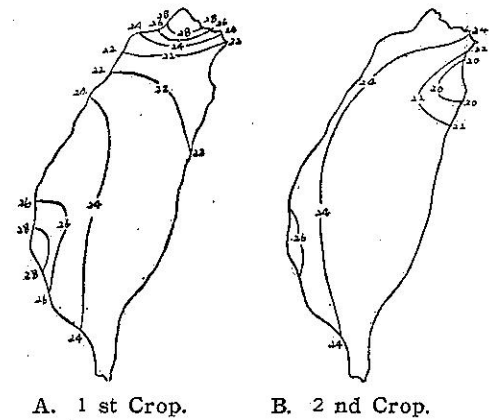


Fig. 4. Distribution of latent heat LE_p (kly/period)

消費交換之能量為大，第二期作即以高屏地區為最大，嘉南及宜蘭地區次之，最少消費能量均是臺東地區。

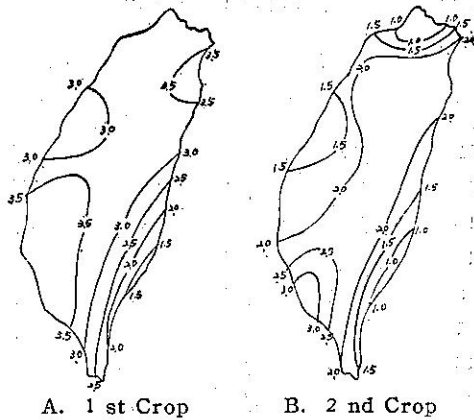


Fig. 5. Distribution of Sensible Heat L_p (kly/period)

兩期作間之比較，其 8 地區平均之輻射平衡各項如表 3。

Table 3. Comparison of heat balance item within 1st and 2nd rice crop. (kly/period)

期別	日數	Q_p	S_p	LE_p	L_p
第 1 期作	121	36,6915	27,3885	24,6503	3,1078
第 2 期作	106	33,4821	25,0630	23,2521	1,8190
2期/1期比	0.876	0.913	0.915	0.943	0.585

自總栽培期間觀之，水田吸收短波輻射，純輻射量，蒸發潛熱及顯熱量第一期作均較第二期作為多。純輻射 S_p 和吸收輻射 Q_p 之比，第一期 0.747，第二期 0.49，相差甚微，且與井上氏等⁹之實測比值 0.751 相接近。自各項數值觀之，均以第一期稻作間之能量為多，但自其栽培期間之長短，第一期作 121 天，第二期 106 作天之比率換算結果，呈相反現象。以第二期作之平均所得能量較多（除顯熱量仍以第一期作為大）。其栽培期間調整為相同時，各項輻射量如表 4。

Table 4. The heat balance item within equal period of 1st and 2nd rice crop. kly/period

期別	Q_p	S_p	LE_p	L_p
第 1 期作	32,1418	23,9923	21,2448	2,7224
第 2 期作	33,4821	25,0630	23,2521	1,8190

就其平均乾物生產量（參照表 5），觀之，

Table 5. Average dry matter yield of rice (ton/ha)

期作	乾物 稻碎米等	稻 米	草 比	總乾物重	稻谷/ 總乾物
第 1 期作	5,094	5,094		10,188	50%
第 2 期作	3,362	3,824		7,186	47%

以第一期作之乾物生產量為多。

水田吸收輻射內，其 67% 為純輻射而純輻射之 82% 亦消耗於蒸發散作用，故求各地乾物生產量和純輻射量之關聯結果如下：

$$\text{第 1 期作 } r_1 = -0.5126 \quad t_1 = 1.46$$

$$\text{第 2 期作 } r_2 = -0.4914 \quad t_2 = 1.39$$

即總生育期間之純輻射和乾物生產量間有微弱之負相關且不太顯著。輻射影響在栽培期間各生育階段中，生長階段遠較成照階段為甚。如以插秧至抽穗之間為生長期，其乾物產量和純輻射間之相關程度為：

$$\text{第 1 期作 } r_1' = -0.5268 \quad t_1' = 1.51$$

$$\text{第 2 期作 } r_2' = -0.7063 \quad t_2' = 2.44$$

兩期作之生長期間之總純輻射量和乾物產量仍有負相關存在，但第 2 期作之生長期之總純輻射量和乾物產量間有 5% 顯著誤差之負相關。本省各地所接受之輻射量均超過飽和以上，且可能因輻射量過多造成日夜間溫度過高，旺盛蒸散呼吸作用消耗已形成之光合物質為其因。關於輻射強度對於光合作用有飽和點之存在，先進學者已自各種農作物研究中獲得證明，從事水稻方面研究者有松島，山口及岡部諸氏(1955)結果輻射飽和點為 3900 t.c (約 0.51-0.57 ly/min)。本省第 1 期和第 2 期作之產量，如表 5，以第 2 期作為少，約為第 1 期作產量之 70%，而換算同一期間之輻射如表 4，均以第 2 期作為多，亦可明白顯示因輻射量之過多而減產。成熟期之純輻射量和乾物產量間之相關係數，第 1 期作仍為負相關，在 0.4 以下，但第 2 期作即呈微小 0.07 之正相關，兩期作之相關均不明顯。

5. 光合輻射效率

太陽輻射能量內，經植物吸收進行光合作用者，僅限於 0.38μ 至 0.72μ 波長之輻射。稱為光合有效輻射 (Effective photosynthesis of radiation) 據 Moldan et al (1963)，光合有效輻射為

$$(1-a)(Q+q)eff = (1-a)(Q+q) \left[0.43 \frac{Q}{(Q+q)} + 0.57 \frac{q}{(Q+q)} \right] \dots\dots\dots (9)$$

式中之 $Q/Q+q$: 直達輻射和到達輻射之比,
 $q/Q+q$: 散播輻射和到達輻射之比,
 直達輻射, 散播輻射和到達輻射之比率, 據 Berliand 氏 (1960) 整理 IGY 之輻射觀測資料, 得其緯度別比率, 該資料內以緯度 20 至 30 度為直達短波輻射所佔比率約 70% 為最高, 散播輻射比為 30%, 應用其比率及到達吸收輻射 $(1-a)(Q+q)$ 等於本篇之 Q_p , 故(9)式可簡化為

$$Q_{eff} = 0.472 Q_p \dots\dots\dots (10)$$

(10)式中之係數 0.472 和 Yocum et al (1964)*16 以 Specter 觀測所得 47% 頗接近。

假設稻田之土壤養分, 水分不缺乏且大氣中之 CO_2 含量亦充分時, 乾物產量和光合有效輻射 Q_{eff} 間成立下列關係式

$$\frac{Y_D}{(1-r)} H_c = K Q_{eff} E_f \dots\dots\dots (11)$$

式中之 r : 呼吸消耗率, Respiration rate
 H_c : 化合熱, Heat of combination
 K : 光合有效係數 Photosynthetically effecton coefficient
 E_f : Efficiency of energy conversion

(11)式中導進(10)式關係, 變形後可得

$$E_f = Y_D H_c / (1-r) 0.472 K Q_p \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{或 } Y_D = (1-r) 0.472 K Q_p / H_c \times E_f \dots\dots\dots (13)$$

(12)式自乾物生產量其到達吸收輻射量可估計能量利用效率而自(13)式可估計乾物產量。

以(12)式估計能量利用效率時, 呼吸消耗率 (大部分作物在 20-30 % 間) 假定為 $r=20\%$, 光合有效係數 $K=0.5$, 碳水化合物之化合熱 $H_c=3.73 \times 10^6$ kcal/ton 時, 臺灣之各地水稻產量之光合有效輻射效率如下表 6。

Table 6. Efficiency of photosynthesical radiation on rice culture period in Taiwan.

期別	項 光合有效輻射 $\times 10^8$ kcal/ha	產量 ton/ha		利用效率 E_f	
		總乾物	稻 谷	總乾物	稻 谷
第 1 期作	17.3184	10.188	5.094	1.37%	0.67%
第 2 期作	15.8036	7.186	3.362	1.06%	0.50%

臺灣之稻作產量, 如上表所示, 第 2 期作之光合

有效輻射利用效率低於第 1 期作。各地之利用效率均普遍呈相同現象。各地之光合有效輻射效率如表 7。各地之輻射利用效率, 第 1 期以臺東區 0.87% 為最高, 宜蘭區 0.77 次之, 第 2 期作以臺中區 0.7 % 為最高, 臺東區次之。最低利用輻射效率為臺北區, 兩期作均最低為 0.56 及 0.34% 兩期作間之利用效率差異以臺中區為最小, 僅 0.02 % 據 Nichipovovich*17 之研究, 理論上, 光合有效輻射之利用效率可提高至 5-6 %, 但現階段之利用效率, 大部分作物之平均值為 0.5~1.0% 因此尚有研究改良之必要。

Table 7. The effective photosynthesis of radiation and efficiency of energy conversion on rice yield in main area of Taiwan.

地 區	期作 項	第 1 期 作			第 2 期 作		
		光合有效 輻射 10^8 kcal/ha	利用效率 E_f	總乾物 稻 穀	光合有效 輻射 10^8 kcal/ha	利用效率 E_f	總乾物 稻 穀
			%	%		%	%
臺 北		17.6291	1.21	0.56	16.9677	0.76	0.34
新 竹		15.5680	1.53	0.67	16.4892	0.92	0.41
臺 中		18.0178	1.40	0.72	15.2247	1.32	0.70
臺 南		20.8518	1.05	0.64	17.3195	0.85	0.47
高 雄		19.9649	1.27	0.66	16.7401	1.02	0.46
臺 東		15.0880	1.78	0.87	14.6224	1.50	0.67
花 蓮		15.8645	1.33	0.69	15.4684	1.05	0.52
宜 蘭		15.1903	1.64	0.77	13.5961	1.21	0.54

6. 結 論

以輻射平衡法估計水稻田內蒸發散量 LE_p/l 和梯度法實測所得 E_f 間之相差僅 3 %, 在全生育期間之旬別變動相關為 $r=0.61$ 尤其和 20cm 蒸發量間之相關為 $r=0.87$ 等而論, 輻射平衡法之估計, 在臺灣之可行性頗高。在估計各地稻作期間之水田內吸收輻射 Q_p , 純輻射 S_p 及蒸發潛熱間 LE_p , 第 2 期稻作田均少於第 1 期作, 但換算同一期間長短時反以第 2 期作為多。但乾物產量, 稻穀產量仍以第 2 期為少, 純輻射 S_p 和產量間有微弱相關關係 (總生育期間為負 0.5 左右) 生長期間第 2 期作為負 (0.7), 光合有效輻射利用率亦以第 2 期為低等諸現象估計, 足證光合作用係受飽和輻射之限制, 以及高溫所造成之呼吸旺盛消耗能量之影響。因此在水稻增產上, 選擇輻射利用效率較高之品種, 減低呼吸消耗率等栽培法, 仍為稻作增產改進之重要方向。

7. 摘 要

首先以輻射能量平衡法之估計式所得 LE_p/l 和以傾度法實測所得 E_t 相比較結果，其相差僅 3%。

LE_p 估計式為 $LE_p = S_p / (1 + \frac{L_p}{LE_p})$ ， E_t 為

$$E_t = \frac{PK^2(u_2 - u_1)(q_1 - q_2)}{(\ln \frac{z_2}{z_1})^2}$$
 旬別變動間之相關 $r =$

0.61，和 20cm 蒸發量間之相關亦達 $r = 0.87$ ，且 $\Sigma S_p / \Sigma Q_p = 0.67$ 與 Chang 氏所得結果相同，因此以輻射能量平衡法估計水稻田內之輻射能量之可行性頗高。以此類推，估計各地之稻作生育期間之輻射量，得知第 2 期作間之輻射能量雖少於第 1 期作，但單位期間之輻射能量反而多。 S_p 和乾物產量間，兩期作均有 $r = -0.5$ 左右之相關，尤其第 2 期作之生長期間之相關達 -0.7 。以 $E_r = Y_p H_c / (1-r) K Q_e r r$ 式計算光合有效輻射能量之利用效率，仍以第 2 期作為低。綜合以上所述，可推測為光合作用上有飽和輻射強度之限制及呼吸率之大小亦影響產量。因此求取稻作之增產，選擇利用效率高之品種，減低栽培期間之呼吸率仍不失為一可行途徑。估計所得輻射能量各項（稻作期間），之分佈見 Fig. 2, 3, 4 及 5。估計光合有效輻射之利用率請參考 Table 6 和 7。

參 考 文 獻

1. 內島日譯 Budagovsky (1964); 耕地之蒸發散。畑地農業研究會。p126-153.
2. 張啓濱 (1959); 利用氣象資料決定作物需水量之方法。臺灣水利 Vol 7. No. 3. (氣象與水文專輯 p298-309)
3. 駱安華 (1962); 水稻灌溉水量之研究。臺灣水利 Vol 10. No. 3. (灌溉專輯 p178-190)
4. 張建勛 (1965); 作物需水量與蒸散量關係之研究。

農工學報 Vol 11. No. 3.

5. 建勛 (1968); 作物需水量與蒸散量相關之研究。國科會年報 (56-57年度)。p39.
6. 顏俊士 (1973); 臺灣各地農業氣象環境條件之研究。氣象學報 Vol 19. No. 1. p34-41.
7. 內島日譯 Budyko M. I. (1959); 地表面熱收支。河川水溫調查會。p24-25.
8. 三原、內島、中村、大沼 (1959); 溫水池の熱收支及水溫上昇研究。農技研報告 A7. p1-44.
9. 蒸發散研究 Group (1967); 水田の放射状態について。農業氣象 Vol 22. No. 3. p97-102.
10. 佐藤正一 (1960); 本邦暖地の稻作氣候と水田微氣候並に微氣候調節に關する研究。九州農試彙報 Vol 6. No. 4. p259-364.
11. 蒸發散研究 Group (1967); 水田の蒸發散。農業氣象 Vol 22. No. 4. p149-154.
12. Stanhill G, Hostede G. J. & Kalma J. D. (1966); Radiation balance of natural and agricultural Vegetation. Q. J. R. M. S. 92. p128-140.
13. Chang J. H. (1961); Microclimate of Sugar Cane Hawaiian Planters' Record 56. p195-223.
14. 農試所各區農改場 (1972); 61年度水稻豐歉因素測定試驗報告。
15. 中央氣象局 (1974); 氣象報告彙編 (第 3 篇)。
16. Yocum, C. S. et al (1964); Solar radiation balance and photosynthetic efficiency, Agronomy Journal 56. p249-253.
17. Nichiporovich A. A. (1967) (日譯); 生産因子としての植物の光合成活動の研究に關する問題。農業技術會議調查資料 49 (海外篇)。p9-48.
18. Chang J. H. (1968); Climate and Agriculture. p57-69.