

## 벼 群落의 生育時期別 水 利用 效率에 關한 研究

金鐘郁\* · 李定澤\*\*\* · 姜炳華\*\* · 尹成浩\*\*\*

### Water Use Efficiency in Rice(*Oryza sativa* L.) Plant Canopy

Jung-Wook Kim\*, Jeong-Taek Lee\*\*\*, Byeung-Hoa Kang\*\*, Seong-Ho Yun\*\*\*

#### Abstract

This experiment was carried out to clarify the evapotranspiration and water use efficiency in rice plant canopy. Two rice cultivars, Daechungbyo(japonica type) and Samgangbyo(Tongil) were planted on the field of Suwon Weather Forecast Station in 1989. Evapotranspiration, dry matter production and leaf area of rice plant were measured to investigate the water use efficiency.

There was significant correlation between cumulative evapotranspiration and dry matter production of aboveground. The parameter of linear regression was 4.13. The ratio of cumulative top dry matter production per cumulative evapotranspiration was increased until 5.5~5.9 leaf area index.

The de Wit's "m" value revealed maximum record at heading-flowering stage. At the harvest, the values were ranged from 175.5 to 191.7. The parameter of cumulative solar radiation to dry matter production was 1.011~1.248. The evapotranspiration ratio(g.water/g.DW) of Samgangbyo (278) was higher than that of Daechungbyo (299.9). The efficiency of evapotranspiration(g.DW/g. water) was 1.58 in Daechungbyo and 1.98 in Samgangbyo.

#### 緒 言

물은 가장 흔한 資源이면서도 作物의 收量生産을 制限하는 가장 큰 要因으로 알려져 있다. 最近에는

環境汚染에 따른 水資源의 質的 低下가 地下水까지 擴大되어 가고 있으며, 물 需要者 끼리 競合도 심 各한 問題로 대두되고 있다.

한편, 産業化로 인한 大氣中 溫室가스의 增大로

\* 農漁村開發公社(Rural Development Cooperation, Anyang, Korea)

\*\* 高麗大學校 農科大學(Dept. of Agronomy Korea University, Seoul Korea)

\*\*\* 農業科學技術院(Agricultural Sciences and Technology Institute Suwon, Korea)

氣候溫暖化가 發生하는 조짐이 있고, 이에 따른 물收支의 變化가 일어나 地域적으로 旱魃 問題가 더욱 심각해 질 것으로 보인다. 따라서 作物의 經濟的 物利用을 위한 水分生理와 生態適應의 生理的 機作을 밝히는 일은 더욱 重要하게 되었다.

作物의 물 利用效率는 一般的으로 單位 植物體 生産에 쓰인 물의 양으로 나타내지만<sup>1)</sup> 여러가지 表現方法이 쓰여 왔다. Larcher<sup>2)</sup>에 의하면 Hellriegel (1883)이 Transpiration ratio(1.water/g.DM), Maximove(1923)가 Efficiency of transpiration (g.DM / 1. water), Polster(1950)가 Photosynthesis/Transpiration ratio라는 用語를 使用하였다고 하며, Kramer<sup>1)</sup>에 의하면 Briggs와 Shantz(1938)가 Water requirement(g. water/g.DM)를 使用하였고, 以後로는 Water Use Efficiency(WUE)가 쓰이게 되었다고 한다. Stanhill<sup>3)</sup>은 WUE를 水文學的 水分利用 效率 즉, 可用水分量에 대한 生産에 쓰인 水分量比와 生理學的 物 利用 效率 즉, 收量 혹은 總 乾物生産에 쓰인 물의 양으로 區分하였고, Larcher<sup>2)</sup>는 生産 물 利用 效率(乾物生産量/水分消費量)과 光合成 物 利用 效率(光合成量/蒸散量)로 區分하였으며, Teare et al<sup>4)</sup>는 生産量/面積當 蒸發散量으로, Fisher와 Turner<sup>5)</sup>는 CO<sub>2</sub>吸收量/H<sub>2</sub>O 損失量으로 나타내었다. Tanner and Sinclair에 의하면 de Wit는 收量/蒸散量 = m/蒸發計 蒸發量(乾燥, 高光度 地域)과, 收量/蒸散量 = n(溫暖地域)으로 收량과 蒸散量의 關係를 나타내었고, Arkley는 蒸發計 蒸發量 대신 相對濕度和 飽和水蒸氣壓差로 나타내었는데, 收量/蒸散量 = k /飽和水蒸氣壓差가 가장 適合한 것이라고 하였다.

Yoshida<sup>6)</sup>는 벼의 單位 乾物重 生産에 쓰인 蒸散量인 蒸散比가 250~350g/g이라 하였고, sugimoto<sup>7)</sup>는 Malaysia에서 平均 327.2, 日本에서는 309.9이었다고 하였다. 國內에서 調査한 結果는 208<sup>8)</sup>에서 480<sup>9)</sup>의 範圍이었다. Fisher와 Turner<sup>5)</sup>는 單位 水分量의 乾物 生産能力(kg ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>)을 물 利用 效率(WUE)로 보고 C<sub>3</sub>作物은 110~140, C<sub>4</sub>作物은 207이라고 하였다. IRRI<sup>10)</sup>에서는 累積 蒸發散量(ETc)과 乾物生産量(DW)을 DW=40+2.36ETc로 報告한

바 있고, Tanner<sup>11)</sup>는 감자의 蒸散量과 塊莖 乾物重 사이에 直線回歸式을 求하고, 그 기울기를 0.42~0.63으로 報告하였다.

Azam Ali et al<sup>12)</sup>은 땅콩에서 累積 太陽熱 輻射量(SOL)과 乾物生産量(DW)을 Shoot DW=0.39 \* SOL과, Total DW=0.74 \* SOL로 나타내었다. Sugimoto<sup>7)</sup>에 따르면 WUE는 生育期間이 길어질수록 減少한다고 하였으며, Teare et al<sup>4)</sup>은 WUE의 增加는 蒸散量 減少보다 乾物生産量 增加가 바람직하다고 하였고, 蒸發散量은 한 作物에서는 거의 變化가 없지만 乾物重은 栽培方法에 따라서 달라질 수 있다고 하였다. 그러나 Fisher와 Turner<sup>5)</sup>는 植物의 最高 生産力이 生育의 適應面에서 반드시 最大의 生存機會를 賦與하는 것은 아니라고 하였으며, Sinclair et al<sup>13)</sup>는 蒸散量이 減少되면 同時에 乾物生産力도 減少되므로 水分利用 效率를 오히려 떨어지게 한다고 하였다. Stanhill<sup>3)</sup>은 蒸散量을 늘이지 않고 蒸發量만을 줄이는 것이 水分利用 效率를 增進하는 것이라고 하였다. 이러한 觀點에서 本 研究는 벼의 乾物生産量 및 蒸發散量의 時期別 變化와 水分利用 效率과의 關係를 밝히고자 하였다.

## 材料 및 方法

本 實驗은 1989년에 京畿道 水原에 位置한 水原 氣象臺 圃場(126°59'7"E, 37°16'19"N, 39m Alt.)에서 遂行하였다. 통일형 品種인 삼강벼와 자포니카 品種인 대청벼를 供試하였고, 4月 15日 播種하여 5月 25日 移秧하였다. 栽植密度는 30×15cm로 하고, 1株 3苗植하였으며 試驗區의 面積은 品種當 402.9m<sup>2</sup>의 單一區로 하였다. 10a當 施肥量은 삼강벼 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=15-9-11kg, 대청벼 12-9-11kg로 하였다. 窒素成分의 分施比率는 基肥-分蘖肥-穗肥-實肥를 各各 50-20-20-10(%)로 하였고, 칼리 거름의 分施比率는 基肥-穗肥를 70-30(%)로 하였으며, 磷酸成分은 全量 基肥로 施用하였다. 乾物重 調査는 各 品種別로 移秧後 10日 間隔으로 하였고, 葉面積은 Leaf Area Meter (LI-3100, LI-

COR Inc)를 사용하여測定하였다. 收量調査는 收穫時 3.3m<sup>2</sup>씩 4 반복으로 하였고, 10株씩 標本을 抽出하여 收量構成 要素와 乾物重을 調査하였으며, Lysimeter內 植栽分은 個體別로 調査하였다. 正租收糧은 水分含量을 14%로 補正하여 計算하였다.

葉蒸散量의 調査는 Tomar and O'Toolw<sup>14)</sup>의 理論을 適用하여 stainless steel로 小型 Lysimeter를 製作 測定하였다. 蒸發散量 測定用(ET-Type)은 60×30×50cm 크기로 全體 논의 植栽間隔에 맞추어 4株의 苗를 植栽하였다. 蒸發量 測定法(E-Type)은 30×15×20cm 크기로 벼 포기 사이에 位置하도록 하였고, Lysimeter內 土壤의 安定을 위하여 移秧 16日 前에 ET-Type은 品種當 2個를 E-Type은 品種當 1個씩 埋設하였다. 두 가지형 모두 Manometer(Reservoir)는 內徑 50mm의 유리관으로 製作하여 ET-Type은 눈금 하나가 0.0106mm를 E-Type은 0.0425 mm를 읽을 수 있도록 하였다. Manometer안의 Bubble Tube는 外徑 8mm, 內徑 6mm의 유리관으로 製作하였으며, Manometer 上下端의 Stopper는 Silicon Rubber를 使用하였고, Lysimeter와 Manometer 사이는 LPG用 Stop-cock와 호오스를 使用하여 連結하였다. Manometer는 鋼鐵 支柱와 앵글을 使用하여 固定하였고, 太陽에너지의 影響을 최소로 줄이고자 直徑 20cm의 플라스틱관을 使用하여 해가림을 하였다. 蒸發散量의 計算을 다음에 표기된 Tomar and O'Toole<sup>14)</sup>의 計算式에 따랐다.

$$ET = \frac{(\pi r_1^2 - \pi r_2^2)}{A} \times \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

ET : 蒸發散量(mm<sup>d-1</sup>)

r<sub>1</sub> : Manometer의 內徑

r<sub>2</sub> : Bubble Tube의 長徑

A : Lysimeter의 內面積

Δh : Manometer內 수주 높이 의 變化

Δt : 時間變化

蒸散量은 蒸發散量-蒸發量으로 計算하였고, 減水深을 플라스틱 支柱에 눈금을 그어 每日 簡易測定하였다. 測候所의 蒸發計 蒸發量 測定時間과 맞추어

每日 午前 9時에 Lysimeter를 觀測하였다.

### 結果 및 考察

累積 蒸發散量(ETC)과 地上部 乾物重(DWT) 增加量의 關係를 그림 1에 나타내었다. 두 品種 모두 累積 蒸發散量과 地上部 乾物重 增加量 사이에는 高度의 相關關係가 있었으며, 直線回歸式의 기울기는 대청벼의 3.78g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>보다 삼강벼가 4.42g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>로 다소 높아서 삼강벼가 대청벼보다 蒸發散 效率이 높았고, 두 品種의 平均값은 4.13 gm<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>이었다. 이 값은 IRR<sup>9)</sup>의 DW=40+2.36×ETc와 李 등<sup>15)</sup>의 收量(g/hill)=16.45+2.93 ET(mm d<sup>-1</sup>)보다 높았다. 此外에 Hanks et al<sup>16)</sup>은 수수에서 Yield=208 ETc-1640, Azam Ali et al<sup>16)</sup>은 땅콩에서 收量과 蒸散量의 直線回歸式을 기울기 3.0mg DW g<sup>-1</sup>water, Teare et al<sup>4)</sup>은 수수 1.75g DW kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, 콩 0.61g DW kg<sup>-1</sup>H<sub>2</sub>O로 報告한 바 있다.

De Wit는 乾燥 强光 地域에서 作物의 收量과 蒸散量의 關係를 다음 式으로 나타낸 바 있다.<sup>17,18,19)</sup>

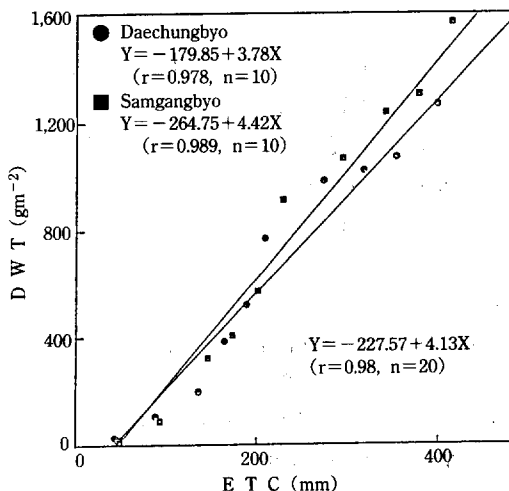


Fig. 1. Relationship between cumulative evapotranspiration (ETC) and total dry weight of top growth (DWT) of two rice varieties.

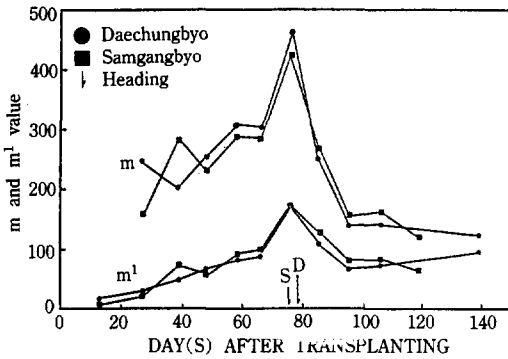


Fig. 2. Relationship between de Wit's "m" value and day(s) after transplanting of two rice varieties.

$$Y/T = m/T_{max}$$

(Y=Total dry matter mass per area(kg ha<sup>-1</sup>) ;

T=Total transpiration per area during growth to harvest(mm) ; T<sub>max</sub>=Mean daily free water evaporation(mm) ; m=Constant ; m<sup>1</sup>=ET-T)

單位 蒸散量當 乾物 生産力을 氣象要素의 影響을 고려하여 數值化 한 m값은, 같은 作物에서는 地域 간에 큰 差異를 보이지 않는다고 하였다. 그림 2는 위 式의 T<sub>max</sub>를 日平均 蒸發計 蒸發量(E<sub>p</sub>)으로 바꾸어 生育時機別로 m(m=Y T<sub>max</sub>/T)값과 m<sup>1</sup>(m<sup>1</sup>=Y T<sub>max</sub>/ET)의 變化를 나타낸 것이다. m 값의 전체적인 傾向은 두 品種 모두 生育初期부터 차츰 增加하여, 出穗 開花期 以後(移秧後 77日)에 最高值(대청벼 : 462, 삼강벼 : 424)를 記錄한 다음, 그 직후부터 移秧後 96日까지 급격히 下降하고, 登熟期에는 完만한 減少를 보여서 出穗期 前後의 蒸發散이 乾物生産에 크게 기여함을 示唆하였다. 品種別로 收穫期의 값을 보면, m은 대청벼가 175.5, 삼강벼가 191.7이고, m<sup>1</sup>는 대청벼가 100, 삼강벼가 107.9로 양쪽 모두 삼강벼가 높아서 單位 蒸散量 및 蒸發散量當 乾物生産力이 높았다.

Tanner and Sinclair<sup>19)</sup>가 여러 文獻의 成績을 基礎로 計算한 m값은 옥수수 215-314, 수수 141, 밀 124, 감자 217, 대두 128이고, Hanks<sup>16)</sup>가 引用한

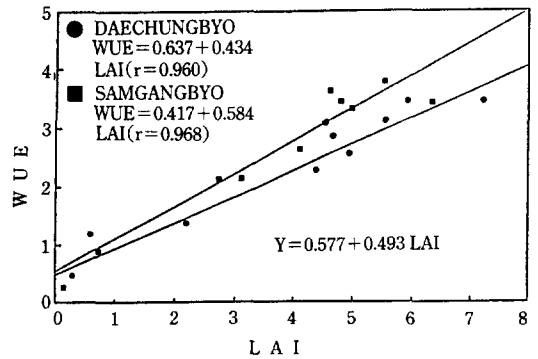


Fig. 3. Relationship between leaf area index (LAI) and water use efficiency (WUE) of two rice varieties.

Shantz and Piemeise의 값은 귀리 90, 보리 106, 밀 112, 옥수수 151, 기장 198, 수수 200으로 本 實驗에서 計算된 값은 Hanks의 기장(198)과 비슷하였다.

그림 3은 葉面積 指數(LAI)의 變化에 따른 累積 蒸發散量當 乾物生産力(WUE)의 變化를 나타낸 것이다. 두 品種 모두 LAI가 增加할 수록 單位 蒸發散量에 의한 地上部 乾物重의 生産이 增加하였는데, 대청벼는 LAI 5.9, 삼강벼는 LAI 5.5 以上부터 增加가 完만해졌으므로 蒸發散量의 地上部 乾物重生産에 대한 寄與度로 볼 때는 適正 葉面積 指數로 볼 수 있다. 두 品種의 直線回歸式은 다음과 같았다.

$$\text{대청벼 WUE} = 0.637 + 0.434 \text{ LAI} \quad (r=0.960)$$

$$\text{삼강벼 WUE} = 0.417 + 0.584 \text{ LAI} \quad (r=0.968)$$

위의 式에서 삼강벼의 기울기가 대청벼보다 커서 葉面積 增加에 따른 蒸發散 效率이 대청벼를 능가하였다. 全體 觀測值의 直線回歸式은 WUE=0.577+0.493 LAI이었다.

그림 4는 累積 太陽에너지 輻射量(SOLC)에 따른 地上部 乾物重(DW)의 增加를 나타낸 것이다. 대청벼는 DW=-0.111+1.011 SOLC(r=0.978)이고, 삼강벼는 DW=-0.142+1.248 SOLC(r=0.969)이었다. Azam Ali et al<sup>11)</sup>는 땅콩의 地上部 乾物生産力을

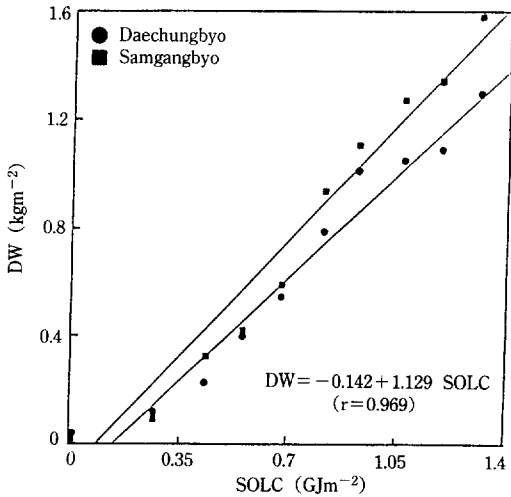


Fig. 4. Relationship between cumulative solar radiation (SOLC) and top dry weight (DW) of two rice varieties.

0.39 SOLC, 總 乾物生産量을 0.74 SOLC로 報告한 바 있다.

表 1은 收穫量과 蒸發散量에 대한 各種 係數를 計算한 것이다. 單位 乾物重生産에 所要된 蒸散量인 Transpiration(g water g<sup>-1</sup> DW)는 대청벼 171.0, 삼강벼 156.5로 삼강벼의 水分利用 效率이 높았으나 測定值가 Yoshida가 基準值로 調査 報告한 250~350 g/g 보다 낮았고, 그밖에 國內 調査值 207.8<sup>8)</sup>~480<sup>9)</sup> 보다도 낮았다. 同一 概念의 Evapotranspiration ratio는 대청벼가 299.9, 삼강벼가 278.9으로 역시 이미 報告된 313.7~412보다 낮았다<sup>20,21)</sup>. 乾物重 대신 正租收量으로 計算하면 대청벼는 1g의 正租生産에 634.1g의 蒸發散量을 그리고 361.5g의 蒸散量이 所要되었고, 삼강벼는 504.1g의 蒸發散量을 그리

고 283.8g의 蒸散量이 使用되었다. 單位 蒸散量의 乾物生産力을 나타내는 Efficiency of transpiration (g DW g<sup>-1</sup> water)은 대청벼가 5.85이고 삼강벼가 6.39이었다. Fisher and Turner<sup>5)</sup>가 여러 文獻에서 調査한 초지 5.2, 밀 5.1, 옥수수 4.2 보다 높았는데, 蒸散量은 거의 類似하나 單位 面積當 乾物生産量이 本 實驗 結果에서는 높게 나타나 Teare et al<sup>4)</sup>이 水分 節約보다는 乾物 生産 增加에 따라서 水分利用 效率을 높이는 것이 바람직하다고 한 結論과 一致 하였다. 蒸發散量으로는 대청벼가 3.33, 삼강벼가 3.60이었다. 正租收量 基準으로 보면 대청벼는 1kg의 蒸散으로 2.77g의 正租를 生産하였으며 삼강벼는 3.52g을 生産하여 삼강벼의 水分利用 效率이 높았다. 이미 報告된 蒸發散比보다 낮은 結果는 生産技術 向上으로 生産量은 과거보다 높아지고, 蒸發散量은 다른 報告보다 낮았는데 그 原因이 있겠지만 試驗 마다 蒸發散量 方法의 差異도 무시할 수 없을 것으로 보였다.

要 約

1989年 水原 氣象臺 圃場에서 대청벼와 삼강벼를 供試하여 蒸發散量 및 벼 乾物生産量을 測定하고 蒸發散量의 生育時期別 變化와 水分利用 效率과의 關係를 檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 果積 蒸發散量과 地上部 乾物重生産量은 高度의 相關이 있었으며 直線回歸式의 기울기는 4.13이었다.
2. 果積 蒸發散量에 대한 地上部 乾物重 比率는 葉面積指數가 5.5~5.9에 到達할 때까지 增加하였다.
3. De wit의 m값은 出穗 開花期에 最高值를 보여

Table 1. Relationships among evapotranspiration(ET), transpiration(T) and yields of two rice varieties.

Variety	ET (A)	T (B)	Yield(g m <sup>-2</sup> )			ET ratio (A/E * 1000)	T ratio (B/E * 1000)	A/C * 1000	C/A	HI(%)
			Grain(C)	Straw(D)	Total(E)					
Daechungbyo	472.4	369.3	745.0	830.1	1575.1	299.9	171.0	634.1	1.58	47.3
Samgangbyo	456.1	256.8	904.8	735.9	1640.7	278.0	156.5	504.1	1.98	55.1

蒸發效率이 가장 높았고 收穫期에는 175.5~191.7의 範圍이었다.

4. 單位 累積 日射量에 따른 乾物 生産能力은 1.011~1.248g GJ<sup>-1</sup>이었다.

5. 單位 乾物重 生産에 消費된 蒸發散量은 대청벼 299.9g, 삼강벼 278.0g으로 삼강벼의 水分利用 效率이 대청벼보다 높았다.

6. 單位 蒸發散量의 正租生産能力은 대청벼가 1.58g, 삼강벼가 1.98g이었다.

#### 參考文獻

1. Kramer, P.J.(1983). Water relations of plants. Academic Press. **293** : 333-334, 405-412.
2. Larcher, W. (1980). Physiological plant ecology. trans. by M.A. Biederman-Thorson. 2'nd eds. Springer-Verlag.: 230-233.
3. Stanhill, G. (1987). Water use efficiency. Adv. Agron. **39** : 53-85.
4. Teare, I.D., E.T. Kanemasu, W.L. Powers, and H.S. Jacobs. (1973). Water use efficiency and its relation to crop canopy area, stomatal regulation, and root distribution. Agron. J. **65** : 207-211.
5. Fisher, R.A., and N.C. Turner. (1978). Plant productivity in the arid and semiarid zones. Ann. Rev. Plant Physiol. **29** : 277-317.
6. Uchijimaz. (1981). Fundamentals of rice crop science. IRRI.: 94-109.
7. Sugimoto, K. (1976). Relationship between evapotranspiration and dry matter production in Indica rice. In symposium on and water management in rice field. TARC. Japan.: 81-99.
8. 金哲基. (1969). 벼 用水量 計劃上의 葉面 蒸發量 및 株間 水面 蒸發量에 관한 基礎的인 研究. 韓國農工學會誌. **11**(2) : 27-36.
9. 閔丙燮. (1969). 벼 生育期間中의 논에서의 水分消費에 관한 研究. 韓國農工學會誌. **11**(2) : 1-13, **11**(3) : 1-10, **11**(4) : 1-8.
10. IRRI. (1966). IRRI Annual Report.: 224-227.
11. Tanner, C.B. (1981). Transpiration efficiency of potato. Agron. J. **73** : 59-64.
12. Azam-Ali, A.N., L.P. simmonds, R.C. Nageswara Rao, and J.H. Williams. (1989). Population, growth and water use of ground nut maintained on stored water. III. Dry matter, water use and light interception. Expl. Agric. **25** : 77-86.
13. Sinclair, T.R., G.E. Bingham, E.R. Lemon, and L.H. Allen (1975). Water use efficiency of field-grown maize during moisture stress. Plant Physiol. **56** : 245-249.
14. Tomar, V.S., and J.C.O'Took. (1980). Design and testing of a microlysimeter for wetland rice. Agron. J. **72** : 689-693.
15. 李基春, 崔珍奎, 李賢雨. (1985). 水稻의 蒸發散量과의 關係에 대한 研究. 全北大學校 農大論文集 第16輯 : 125-136.
16. Hanks,R.J.,H.R.Garden,V.P.Rasmussen.(1969). Plant growth evapotranspiration relations for several crops in the central great plains. Agron. J. **61** : 30-34.
17. Hanks, R.J., and V.P. Rasmussen. (1983). Predicting crop production as related to stress. Adv. Agron. **35** : 193-215.
18. Penman, H.L., D.E. Angus, and C.H.H. Van Bavel. (1967). Microclimatic factors affecting evaporation and transpiration. In Irrigation of agricultural lands. R.H. Hagan et al.(eds). ASA. No. **11** : 483-505.
19. Tanner, C.B. and T.R.Sinclair. (1983). Efficient water use in crop production. Research or re-search? In limitations to efficient water use in crop production H.M. Taylor et al. (eds) ASA. CSSA. SSSA.: 1-27.
20. Yoshida, S. (1981). Fundamentals of rice crop science, IRRI.: 94-109.