

콩群落의 短波輻射 吸收特性  
II. 光合成有效輻射吸收와 乾物生産

李亮秀\* · 尹成浩\* · 任正男\* · 朴然圭\*\*

**Characteristics of Shortwave Radiation Absorption  
by Soybean Canopy**

II. Absorption of Photosynthetically Active Radiation and Its  
Relation to Dry Matter Production

Yang Soo Lee\*, Seong Ho Yun\*, Jeong Nam Im\* and Yeon Kyu Park\*\*

**ABSTRACT:** A field experiment was conducted to study both the distribution characteristics of photosynthetically active radiation (PAR) in the soybean canopy and their relationships with dry matter production.

The soybean cultivars "Hwanggeumkong" and "Paldalkong" were sown with the spaces of 60 × 15cm and 30 × 15cm at Suwon on May 20 and on June 20 in 1989.

The ratio of PAR to the total shortwave radiation was estimated by the empirical equation derived from sunshine hours and direct incoming radiation. The functional relationships between the PAR interception and the leaf area index were expressed as a function of Beer's law. The extinction coefficients(k) in the functions ranged from 0.77 to 0.92. The values of k were greater at higher planting density, but they were affected neither by planting dates nor by varieties. The reflection ratio of PAR( $\alpha$ ) was determined by the exponential function as below;  $\alpha = \alpha_p - (\alpha_p - \alpha_0) \exp(-k \cdot LAI)$  where  $\alpha_p$  was the reflectance at the maximum LAI and  $\alpha_0$  was that of the bare soil. The  $\alpha_p$  ranged from 0.025 to 0.035 and  $\alpha_0$  ranged from 0.11 to 0.12, respectively. The reflected PAR ranged from 0.049 to 0.064 and the transmitted PAR ranged from 0.168 to 0.340 until maximum dry weights were observed. The slope from the linear regression of dry matter on absorbed PAR, conversion efficiency, ranged from 1.30 to 2.3g MJ<sup>-1</sup> during the growing season until maximum dry weight was reached.

The total dry matter yield above ground (TDM) increased with the increases in the conversion efficiency. TDM was higher in Hwanggeumkong than Paldalkong and higher in the space of 30 × 15cm than 60 × 15cm, Paldalkong showed higher harvest index than Hwanggeumkong.

太陽에너지는 綠色植物의 光合成 活動의 原動力으로 作用하여 植物體內에서 變換, 同化, 蓄積되어 物質을 生産하게 된다. 따라서 基礎生産量(primary production)은 綠色植物에 의한 太陽에너지의 吸收와 利用의 크기에 의하여 決定된다.

太陽에너지는 感度 높은 測定機器에 의하여 400~3000nm 範圍가 測定되지만 이들 波長帶의 에너지가 植物의 代射에 미치는 影響은 자기 다르다. 그중 400~700nm의 波長帶가 光合成에 有效한 光合

有效輻射(PAR; Photosynthetically Active Radiation)라고 한다. PAR은 季節別 또는 구름의 狀態 等에 따라서 다른데 대체로 全短波輻射의 45~60%의 比率로 變化한다고 알려져 있다.<sup>22)</sup>

作物의 乾物生産은 群落에 의하여 吸收된 輻射量에 比例하므로<sup>2, 18)</sup> 作物의 生長을 群落에 의하여 遮斷 또는 吸收된 輻射의 量이나 그것의 乾物로의 變換效率로 分析評價하는 方法이 여러 研究者에 의하여 試圖되었다.<sup>4, 12, 15, 18, 19, 22)</sup>

\* 농업기술연구소 (Agricultural Sciences Institute, RDA, Suwon 441-744, Korea)

\*\* 충북대학교 농과대학 (College of Agri., Chungbuk Nat'l Univ., Cheongju 360-763, Korea) <'90. 1. 19. 接受>

林<sup>7)</sup>은栽植密度와 作期 等の 栽培條件을 달리하였을 때 벼品種의 에너지利用效率이 달라진다고 하였는데, 草地에서도 이와 비슷한 結果가 報告된 바 있다.<sup>13)</sup>

本 實驗은 叢群落에 의하여 吸收된 PAR에너지의 乾物로의 變換效率이 栽培時期를 달리하였을 때 品種間, 栽植密度間에 어떻게 變化하는가를 알아보고자 實施하였다.

### 材料 및 方法

本 實驗은 農村振興廳 農業技術研究所 綜合園場(京畿道 水原市 所在)에서 1989年 遂行되었다.

八達콩과 黃金콩을 使用하여 60×15 cm, 30×15 cm로 栽植密度를 달리하여 5月 20日과 6月 20日에 各各 播種하였다.

1株當 2本으로 立毛시켰으며 平均出現日은 5月 20日 播種區는 5月 25日, 6月 20日 播種區는 6月 25日이었다.

施肥量은 窒素, 磷酸, 加里를 각각 4-7-6 kg/10 a 으로 하여 全量基肥로 全面施用하였다. 4反復區에서 週 1回 3株(6本)씩 標本을 選定하여, 葉面積指數는 LI-3100 Area meter 로 測定하여 구하였으며, 乾物重은 80℃ 乾燥機에 3日間 乾燥시킨 후 稱量 測定하였다.

群落上面의 入射日射量과 光合成有效輻射量은 試驗園場에 隣接한 氣象觀測露場의 日射計(農試-電試型)와 光合成有效輻射計(S-SRG)로 觀測(1988年 5月 27日부터 9月 30日까지 測定)한 값이며, PAR 推定에 使用된 日照率은 水原 測候所에서 測定한 Jordan 日照計의 값을 使用하였다.

群落에서의 PAR反射率과 透過率은 LI-COR社의 LINE QUANTUM(LQA 0507)을 使用하여 每生育調査日 南中時에 4反復區에서 測定한 平均값으로 計算하였다.

### 結果 및 考察

그림 1은 日別로 實測한 PAR量과 全短波輻射量 및 日照率에 의하여 推定된 값들을 1:1線에서 比較한 것이다. 全短波輻射中 直達 散亂輻射의 比率 및 PAR의 比率計算은 McCree<sup>10)</sup>, 内嶋 等<sup>22)</sup>의 關係式이 調査地域間의 差異에도 불구하고 計算結果들은 거의 一致한다고 알려져 있다.<sup>14)</sup> 本 實驗에서

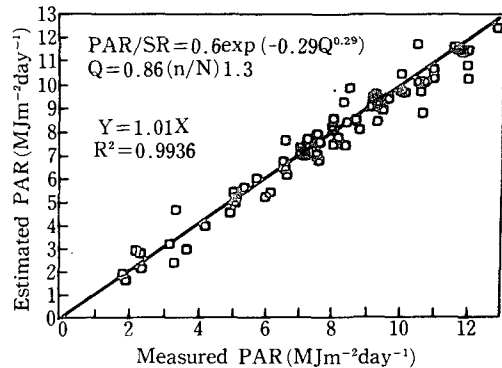


Fig. 1. Estimated photosynthetically active radiation compared with measured PAR.

- PAR: Photosynthetically active radiation
- SR: Shortwave radiation
- Q: Ratio of direct shortwave radiation
- n/N: Percent sunshine hour

는 内嶋 等の 式을 適用하여 推定한 값들을 實測値와 比較한 結果 그림 1에서와 같이 1:1線에 거의 一致하였다.

作物群落에 入射된 光合成有效輻射量( $I_0$ )이 地面에 到達하는 量( $I$ )은 葉面積指數에 의하여 다음과 같은 Beer의 法則에 의하여 決定된다.<sup>1,3,6)</sup>

$$I = I_0 e^{-k \cdot LAI} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $k$ 는 PAR에 대한 減衰係數로써 벼에서는 0.42~0.44<sup>12)</sup>, 콩에서는 0.54<sup>8)</sup> 등이 報告된 바 있다.

本 實驗에서는 그림 2에서와 같이 0.77~0.91 範圍이었으며, 密植하면  $k$ 값도 높아졌지만, 品種 또는 播種期에 따른 差異는 크지 않았다.

Monteith<sup>18)</sup>와 Asrar<sup>19)</sup>도 栽植密度가 높아지면  $k$ 값이 增加한다고 報告하였으며, Jarvis와 Leurena<sup>10)</sup>, Byrne 等<sup>3)</sup>은 Pinus radiata의  $k$ 값을 0.52로 固定시켜 群落의 時期別 吸光率을 計算하였는가 하면, Constable<sup>4)</sup>은 棉花의  $k$ 값을 0.87±0.03으로 하여 LN( $I/I_0$ )와 LAI의 關係를 直線關係로 表示한 바 있다. 光減衰係數는 葉面積, 葉角, 葉의 配列樣式과 透過率 等に 의하여 決定되는 것으로, 콩에서는 生育後期の 꼬투리의 生長이나 葉의 透過率 變化 等に 의한  $k$ 값의 變化가 豫想되는데 Asrar<sup>19)</sup>는  $k$ 값의 生育後期에 綠色葉의 黃變에 의한 時期別 變化를 報告한 바 있다.

本 實驗에서는 調査期間을 出現後부터 最大乾物重 到達時期까지로 限定하였기 때문에 LN( $I/I_0$ )와 葉

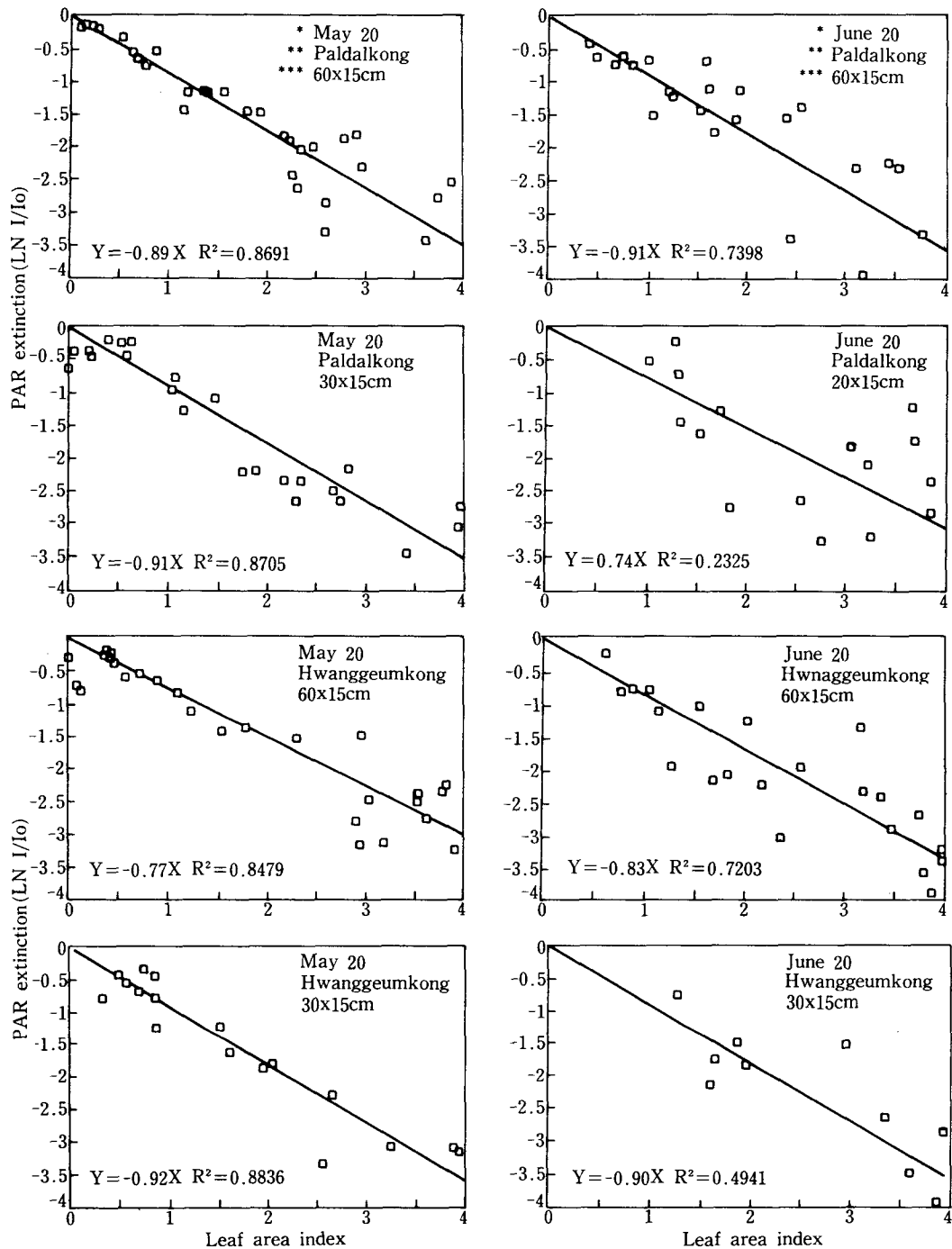


Fig. 2. Relationship between leaf area index and PAR extinction (LN I/Io) in soybean community. (\*Planting date, \*\*Variety, \*\*\* Planting density)

面積指數間에는 直線의 關係가 成立하여 높은 結定係數값을 얻을 수 있었던 것으로 생각된다. 그러나 6月 20日 播種의 密植區에서는 決定係數값이 낮아

透光率의 推定值에 대한 信賴度가 5月 20日 播種보다 낮은 것으로 나타났다.

그림 3은 生育進展에 따른 葉面積指數의 變化와

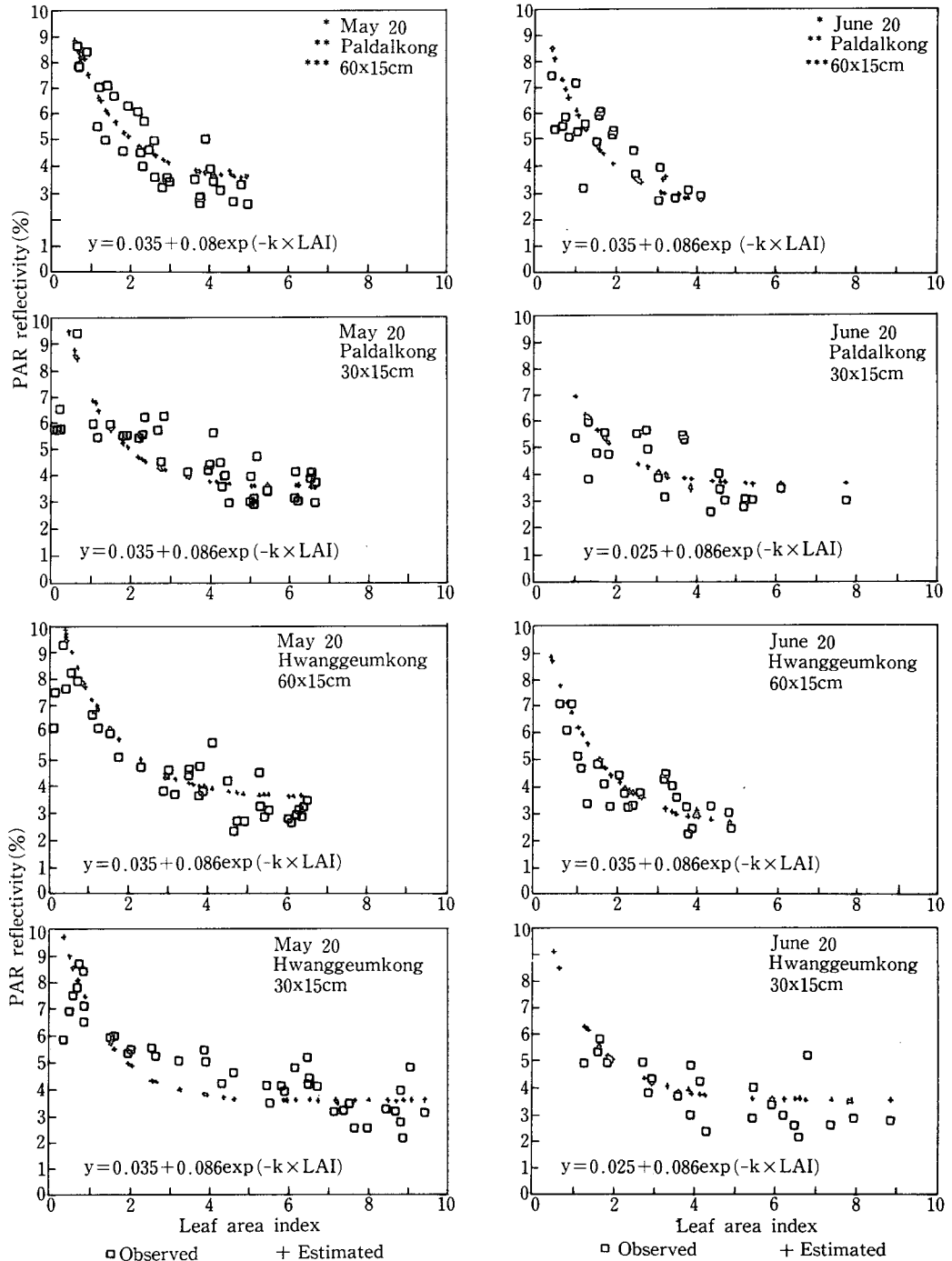


Fig. 3. Relationship between leaf area index and PAR reflectivity in soybean field.

PAR反射率과의 關係를 나타낸 것이다. 全短波輻射에서는 水面이나 裸地面의 反射率이 綠色葉의 反射率에 比하여 적기 때문에 耕地에서 잎이 茂盛하여

짐에 따라 群落의 反射率은 커지는 傾向이지만,<sup>12)</sup> PAR部分에서는 그 反射率이 綠色葉의 繁茂에 따라 PAR의 群落利用이 增大되므로 다음 式과 같이 指

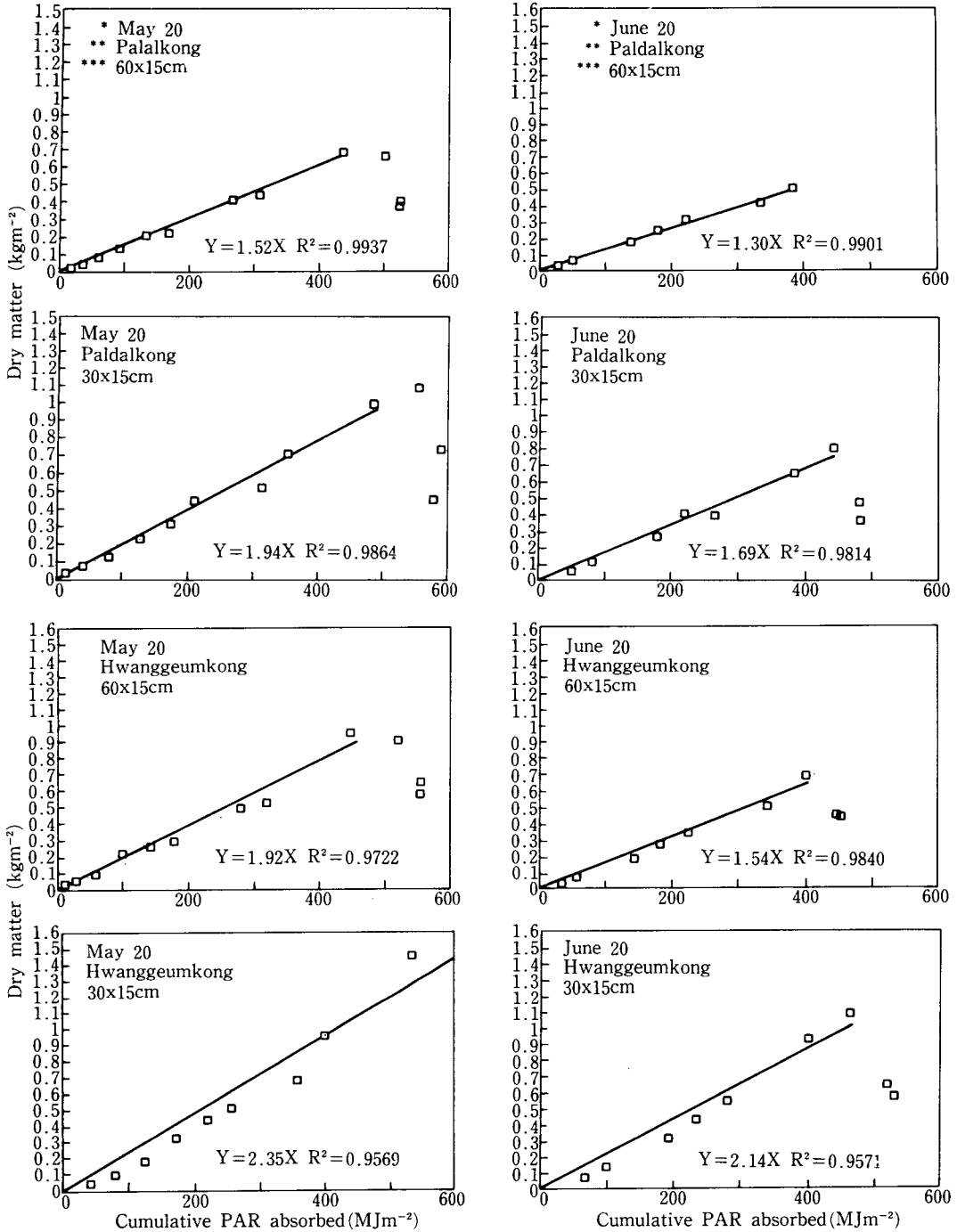


Fig. 4. Relationship between the absorbed PAR in soybean community and the total crop dry weight at different times of the growth from emergence to occurrence of maximum dry matter weight.

數函數에 近似하여 減少하는 傾向을 나타내는 것으로 알려져 있다.<sup>11,12</sup>

$$\alpha = \alpha_p - (\alpha_p - \alpha_o) \exp(-k \cdot LAI) \dots (2)$$

여기서  $\alpha$ 는 群落의 PAR 反射率,  $\alpha_p$ 는 植生の 被度가 100%에 가까울 때의 反射率,  $\alpha_o$ 는 裸地의 反射率,  $k$ 는 PAR 減衰係數이다. 本 實驗에서는

裸地の 反射率이 0.11~0.12, 群落이 가장 茂盛하였을 때의 反射率이 0.025~0.035 範圍로 品種이나 栽植密度間에 差異가 크지 않았다.

(1)과 (2)式으로 透光率과 反射率을 推定하여 出現後부터 最大乾物重에 이르기까지 各 生育時期別로 群落에 吸收된 PAR累積値와 乾物重과의 關係를 나타낸 것이 그림 4이다.

吸收 PAR ( $S_p$ )과 乾物生産量( $W_t$ ) 간에는 生育後期를 除外하고는 다음과 같은 直線關係가 成立한다는 것이 알려져 있다.<sup>9)</sup>

$$W_t = C_p \cdot S_p \dots\dots\dots (3)$$

여기서  $C_p$ 는 PAR의 乾物로의 變換效率이다.

PAR의 乾物로의 變換效率은 벼에서는 栽培年度나 栽培時期의 差異에 關係없이 거의 一定( $C_p = 2.88 \text{ g MJ}^{-1}$ )하다고 報告<sup>9)</sup>된 바 있으나, 耕地의 에너지利用效率은 播種의 時期와 密度, 灌水, 養分補給量, 氣象條件 등에 左右되기 때문에<sup>20)</sup>, 밭작물에서의 PAR의 乾物로의 變換效率은 栽培時期나 栽植密度 등에 따라서 差異가 있을 것이 豫想되었다. 本 實驗에서의  $C_p$ 는 1.30~2.30  $\text{g MJ}^{-1}$ 로 黃金콩이 八達콩보다, 30×15cm區가 60×15cm 區보다, 5月 20日 播種區가 6月 20日 播種區보다  $C_p$ 가 높은 傾向이었다. 그러나 八達콩을 6月 20日에 60×15cm로 播種하였을 경우에는  $C_p$ 가 가장 낮게 나타났다.

그림 5는 最大乾物重 到達時期까지의 PAR의 乾

No.	Variety	Sowing date	Planting density
1	Hwanggeunkong	20 May	30×15cm
2	Hwanggeunkong	20 June	30×15 "
3	Paldalkong	20 May	30×15 "
4	Hwanggeunkong	20 May	60×15 "
5	Paldalkong	20 June	30×15 "
6	Hwanggeunkong	20 June	60×15 "
7	Paldalkong	20 May	60×15 "
8	Paldalkong	20 June	60×15 "

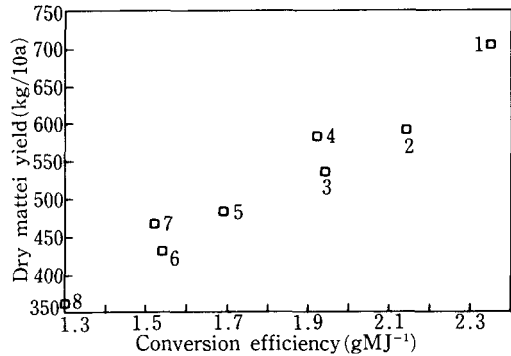


Fig. 5. Relationship between conversion efficiency and air dried total dry matter production above ground until occurrence date of maximum dry matter of soybean field.

物로의 變換效率과 最終收穫한 地上部 全重(風乾重)과의 關係를 나타낸 것으로 乾物變換效率이 높을수록 地上部 全體乾物重은 增加하는 傾向이었으며, 密植, 早播에서는 黃金콩이 八達콩보다 全重과 PAR의 乾物變換效率이 높게 나타났다.

表 1은 팔달콩에서의 出現日부터 乾物重이 最高

Table 1. Distribution of PAR and conversion efficiencies under different planting dates and planting density conditions from emergence to occurrence of maximum dry matter weight in field soybean Paldalkong.

	May 20		June 20	
	60×15cm	30×15cm	60×15cm	30×15cm
PAR (MJm <sup>-2</sup> )				
(1) Incident	728	804	590	590
(2) Reflected	47	46	30	31
(3) Transmitted	244	201	176	118
(4) Absorbed	437	557	384	441
(2)/(1)	0.06	0.06	0.05	0.05
(3)/(1)	0.34	0.25	0.30	0.20
(4)/(1)	0.60	0.69	0.65	0.75
(5) Maximum dry matter weight (g.m <sup>-2</sup> )	682	1082	492	787
Date of maximum D.M. occurred	Aug. 28	Sept. 11	Sept. 18	Sept. 18
Conversion efficiency (g MJ <sup>-1</sup> )				
(5)/(4)	1.56	1.94	1.28	1.78
Average	1.52	1.94	1.30	1.69

**Table 2.** Distribution of PAR and conversion efficiencies under different planting date and planting density conditions from emergence to occurrence of maximum dry matter weight in field soybean Hwanggeumkong.

	May 20		June 20	
	60x15cm	30x15cm	60x15cm	30x15cm
PAR (MJm <sup>-2</sup> )				
(1) Incident	728	804	590	590
(2) Reflected	46	42	29	29
(3) Transmitted	233	156	161	98
(4) Absorbed	449	606	400	463
(2) / (1)	0.06	0.05	0.05	0.05
(3) / (1)	0.32	0.19	0.27	0.17
(4) / (1)	0.62	0.75	0.68	0.78
(5) Maximum dry matter weight (g.m <sup>-2</sup> )	956	1454	665	1069
Date maximum D.M. occurred	Aug. 28	Sept. 11	Sept. 18	Sept. 18
Conversion efficiency (g MJ <sup>-1</sup> )	(5) / (4)			
Average	2.13	2.40	1.66	2.31
	1.92	2.35	1.54	2.14

에 달한 時期까지의 群落에 分布된 PAR量과 PAR의 乾物로의 變換效率을 나타낸 것이다. 群落入射에 대한 地面까지의 透過된 總比率는 20~30% 範圍이었고, 5월 20일 播種區가 6월 20일 播種區보다 透光率이 높았다. 總反射率은 5월 20일 播種區가 6월 20일 播種區보다 높았지만 栽植密度間에는 差異가 없었다. 最高乾物重에 到達되는 時期는 5월 20일 播種區에서는 疎植區가 빨랐고, 6월 20일 播種區에서는 栽植密度間에 差異가 없었다. 黃金

콩에서는 表 2에서와 같이 八達콩과 類似한 傾向을 나타냈으며, 두 品種間에는 黃金콩이 八達콩보다 透光率, 吸收率, 最高乾物重, 乾物變換效率이 높았다.

表 3은 各處理別 收量과 收穫指數이다. 全體風乾重은 品種과 栽植密度 差異에 의한 有意性이 있어 黃金콩이 八達콩보다, 30×15cm區가 60×15cm區보다 全體風乾重이 높은 것으로 認定되었으나, 收穫指數는 黃金콩보다는 八達콩이 높은 것으로 나타났다. C<sub>p</sub>가 높으면 單位面積當 總乾物重이 增加되

**Table 3.** Dry matter, seed yield and harvest index under different planting dates, varieties and planting density conditions.

Planting date	Variety	Planting density (cm)	Yield (kg/10a)		Harvest index
			*T.M.	Seed	
May 20	Hwanggeumkong	60 x 15	581	258	0.444
		30 x 15	702	292	0.422
	Paldalkong	60 x 15	467	224	0.480
		30 x 15	534	242	0.448
June 20	Hwanggeumkong	60 x 15	431	177	0.417
		30 x 15	591	217	0.376
	Paldalkong	60 x 15	361	163	0.449
		30 x 15	484	227	0.464
LSD(5%)					
P1-P2			NS	NS	NS
V1-V2			114	NS	0.0136
D1-D2			117	NS	NS

Mainplot (P1 : May 20, P2 : June 20)

Subplot (V1 : Hwanggeumkong, V2 : Paldalkong)

Ssubplot (D1 : 60 x 15cm, D2 : 30 x 15cm)

\* T.M means air dried total matter above ground.

는 傾向이었으나, 品種에 따라 倒伏抵抗性이 다르므로 密植에 대한 黃金콩의 變換效率 增加는 生育中期 또는 後期에 倒伏되지 않아야 한다는 前提條件下에서만 收量增大의 實現이 可能할 것이다.

八達콩은 密植에 대한 倒伏抵抗性이 강한 品種이고 密植할수록 PAR의 乾物로의 變換效率은 增加하는 傾向이므로 黃金콩 水準인  $2.35 \text{ g MJ}^{-1}$  以上으로 乾物變換效率을 높이기 위하여는  $30 \times 15 \text{ cm}$  以上으로 密植栽培하는 것이 有利하다고 判斷되었다.

## 摘 要

콩群落에서의 PAR의 乾物로의 變換效率을 究明코자 播種時期(5月 20日, 6月 20日), 品種(黃金콩, 八達콩), 栽植密度( $60 \times 15 \text{ cm}$ ,  $30 \times 15 \text{ cm}$ )를 달리하여 試驗을 實施하였던 바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 콩生育期間中 光合成有效輻射의 全短波輻射에 대한 比率는 日照率과 直達輻射率과의 關係에 따라 計算된 光合成有效輻射率과 거의 一致하였다.

2. 光合成有效輻射의 콩群落에서의 減衰係數(k)는  $0.77 \sim 0.91$  範圍이었으며, 栽植密度가 높으면 k 값도 높았는데, 品種 및 栽培時期에 의한 差異는 적었다.

3. 最高葉面積에서의 反射率( $\alpha_p$ )은  $0.025 \sim 0.035$ , 裸地の 反射率( $\alpha_o$ )은  $0.11 \sim 0.12$ 이었으며 콩群落에서의 反射率( $\alpha$ )을  $\alpha = \alpha_p - (\alpha_p - \alpha_o) \exp(-k \cdot LAI)$ 의 指數函數로 推定할 수 있었다.

4. 群落吸收 光合成有效輻射의 乾物로의 變換效率은  $1.30 \sim 2.30 \text{ g MJ}^{-1}$ 로 乾物로의 變換效率이 높을수록 最終乾物生産量도 높았다.

5. 出現後 最高乾物重 到達時期까지의 全體反射率은  $4.9 \sim 6.4\%$ , 透光率은  $16.8 \sim 34.0\%$ 이었다.

6. 全體風乾重은 黃金콩이 八達콩보다  $30 \times 15 \text{ cm}$ 區가  $60 \times 15 \text{ cm}$ 區보다 무거웠으며, 收穫指數는 八達콩이 黃金콩보다 높았다.

## 引 用 文 獻

1. Asrar, G., L.E. Hipps and E.T. Kanemasu, 1984. Assessing solar energy and water use efficiencies in winter wheat: A case study, *Agric. For. Meteorol.* 31 : 47-58.

2. Biscoe, P.V., and Gallagher, J.N., 1977. Weather, dry matter production and yield. In: J.J. Landsberg and C.V. Cuitting (Editors), *Environmental Effects on Crop Physiology*. Academic Press. London, pp 75-100.

3. Byrne, G.F., J.J. Landsberg and M.L. Benson 1986. The relationship of above-ground dry matter accumulation by *Pinus radiata* to intercepted solar radiation and soil water status. *Agricultural and Forest Meteorology*. 37 : 63-73.

4. Constable, G.A., 1986. Growth and light receipt by mainstem cotton leaves in relation to plant density in the field. *Agric. & Forest Meteorology* 37 : 279-292.

5. Fasheun A., M.I. Ibe. 1986. Photosynthetic efficiency of *Amaranthus hybridus* grown in the field. *Agric. For. Meteorol.*, 36 : 335-341.

6. Kanemasu, E.T., and G.F. Arkin. 1974. Radiant energy and light environment of crops. *Agric. Meteorol.*, 14 : 211-225.

7. 林健一, 1976. 水稻品種의 日射 에너지 利用效率에 關する 研究. *農業技術研究所報告 A* (23) : 1-65.

8. 廣田 修·武田友四郎·村田裕治·木場明倫. 1978. 數種作物의 太陽光 利用率에 關する 研究. 第2報 水稻並びに大豆 個體群における 短波放射と 光合成有效放射의 利用率及び 轉換率. *日作紀* 47(1) : 133-140.

9. 堀江武·櫻谷哲夫. 1985. イネ의 生産의 氣象的 評價·豫測法에 關する 研究. (1) 個體群의 吸收日射量と 乾物生産의 關係. *農業氣象* 40(4) : 331-342.

10. Jarvis, P.G. and Leversz, J.W., 1983. Productivity of temperate deciduous and evergreen forest. In: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (Eds). *Physiological plant ecology, IV Ecosystem processes Mineral Cycling, Productivity and Man's Influence*, Springer-Verlag, Berlin p 432.



11. 蒸發散研究グループ. 1967: 水田の放射状態について. 農業氣象, 22: 97-102.
12. 岸田恭允. 1973: 耕地の光エネルギー利用に関する農業氣象學的研究(1). 九州農試報告. 17: 1-79.
13. 楠谷彰人・杉山修一・後藤寛治, 1983. オーチャードガラスの生産性に関する研究. IV. 日射エネルギー利用効率の品種間差異と乾物生産. 日草誌 29(1): 22-27.
14. Lee Yang-Soo and Yeong-Sang Jung. 1988. Utilization of the photosynthetically active radiation in corn plant. The Research Reports of the Rural Development Administration, 30(1): p 31-35.
15. Mackinnon, J.C., Gartley, C.H., and Wilker, K.I., 1978. Energy efficiency of forage maize production in an Atlantic Canadian environment. J. Appl. Ecol., 15: 503-514.
16. McCree, K.J. 1966. A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation. Agric. Meteorol., 3: 353-366.
17. Monsi, M., and Saeki, T., 1953: Uber den Lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine Bedeutung fur die Stoffproduktion. Jap. J. Bot., 15: 22-52.
18. Monteith, J.L., 1977: Climate and the efficiency of crop production in Britain. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B., 281: 277-294.
19. Monteith, J.L., 1981. Does light limit crop production? In: C.B. Johnson(Editor), Physiological Processes Limiting Plant Productivity. Butterworths, London, pp 23: 38.
20. 農林水産技術會議事務局研究開發課, 1982. ソ連における太陽放射と作物生産に関する最近の研究動向. エネルギー 関連文獻翻譯シリーズ 7. p 84-86.
21. Scott, R.K., English, S.D., Wood, D.W., and Unsworth, M.H., 1973. The yield of sugar beet in relation to weather and length of growing season. J. Agric. Sci., (Cambridge), 81: 339-347.
22. 内嶋善兵衛, 櫻谷哲夫. 奥山富子, 1981, 關東地方の日射氣候, 農技研報. A27: 91-145.