[韓作誌(Korean J. Crop Sci.) 39(3) : 237~244(1994)]

벼 자포니카 및 통일형 品種의 光合成의 日中變化와 生理的 特性

許煇* · 柳慶烈* · 梁德祚**

Physiological Characteristics and Diural Changes of Photosynthesis in Japonica and Tongil Type Rice

Hoon Heu* · Kyoung Yul Ryu* and Deak Cho Yang**

ABSTRACT : To elucidate the physiological characteristics of 2 japonica type and 2 tongil type of rice cultivars, photosynthesis, respiration and diurnal changes of photosynthesis rate had been investigated 6 times at each growing stage.

The ratios of photosynthetic part of tongil types were higher than those of japonica types at tillering stage. The highest photosynthetic activity was measured on August 1, before heading in each growing stage, and efficiency of photosynthesis showed its the highest on July 25. Diurnal photosynthetic curve at heading stage reached the peak at 11-12 AM, but after 2 weeks from heading stage, the peak apperred at 1-2 PM. Conversion of respiration into photosynthesis for CO_2 fixation started 30~60 minutes later than the standard sunrise time and reconversion for carborhdrate accmulation began 50~60 minutes earlier than the standard sunset time. Photosynthesis showed positive correlation with chlorophyll content and root activity. Harvest index of tongil type cultivars were significantly higher than those of japonica type cultivars.

Key word : Photosynthesis, Growth analysis, Harvest index, Rice

高等植物中에서 水稻는 C_3 Pathway Plant에 속하는 植物로서 Japonica×Japonica의 교잡형으로만 育種하는 方法에서 벗어나 Inica×Japonica의 원연교잡도 가능하게 되어 品種의 特性이 Japonica형에 비하여 상당한 차이점을 나타내고 있다. 특히 生理的인 제반 특성중에서도 溫度-光合成 曲線은 生産性과 더불어 크게 차이점이 있음을 1991年 1年次 實驗에서 認知할 수가 있었다[5,10,11]. 最近에 育成되는 다수성 품종이라 하더라도 그 수량을 제한하는 많은 要因이 개재 하겠지만 特히 그 중에서도 光合成과 呼吸作用의 比率, 光度-光合成 效率 등은 生長을 촉진하는 가장 큰 要因들로서 일부 1次 實驗에서 밝혀진 바 있으며, 보다 더 이들의 환경요인을 해석할 수 있는 실험으로서 光合成 能力의 日中變化와 光合成의 內因性 특성을 확인할 수 있는 生育段階別 品種間 光合成 및 呼吸 特性을 究明하는 것은 무엇보다도 先決課題라 할 수 있다[1,2,4,6].

본 연구는 1991년도 교육부 기초과학육성비 지원에 의한 것임(BSRI-91-416)

* 충북대학교 농생물학과 (Dept. of Agri. Biology, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea)
** 충북대학교 생물학과 (Dept. of Biology, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea)

〈'94. 4. 25 接受〉

빛 에너지에 의하여 추진되는 CO_2의 동화 즉 光合成 과정은 이미 잘 알려진 사실들이며 광합성의 기능으로서 생체의 기능이 일정한 환경조건으로 될 경우에도 때에 따라서는 24시간을 주기로 하는 질서정연한 변화를 인정할 수 있는 내인성 주기적 특성이 존재하기 마련이다[3,7,16,17]. 다시 말하면 광합성의 주기적 특성은 유전적 특성으로[9]보아 이와 같은 환경조건을 일정하게 갖는 경우라도 어느 식물에서는 광합성 속도의 주기적인 日變化가 존재하며 따라서 광합성과도 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다[8,12~15,18,19].

本 硏究에서는 主作物인 벼에 대하여 光合成과 作物生産의 生理的 特質에 관하여 1次 實驗으로 약간의 결과를 얻었으며 나아가서 光合成의 日變化와 內因性 주기적 특성과의 연관성을 규명하는 同時에 同化産物의 配分에 관하여 硏究함으로써 生産性을 向上시킬 수 있는 生産構造를 빛 에너지 效率面에서 검토함으로써 획기적인 生産力 增大에 기초자료로서 크게 기여할 것으로 사료된다.

材料 및 方法

本 硏究에서 사용한 벼品種은 Indica×Japonica 交雜의 2品種(삼강벼, 칠성벼)과 Indica×Japonica 交雜의 2品種(추청벼, 화진벼)을 1991年 5月 7日에 播種하였고, 이앙은 6月 4日에 직경 20cm의 Plastic Pot(1/3184a)에 2株 2本式 5반복으로 하였다.

本畓의 施肥量은 N-P_2O_5-K_2O를 30-12-15g/m^2의 量으로 질소, 증과석, 염화가리로 하여 이때에 질소는 50% 인산과 가리는 全量 基肥로 하고 질소 50%는 3回分施하였다. 外見上 光合成測定은 CO_2 가스분석계(ADC 225-MK3)로 아크릴 同化箱 入口와 出口의 CO_2 농도차를 측정하는 개방 Chamber를 사용하였는데 7月 18日에서 8月 1日까지는 單葉用同化箱法을 適用하여 上位 3葉을 測定하였고, 8月 12日에서 9月 3日까지는 직경 30cm Acryl Chamber로 전식물체에 대하여 2~3日間 晝夜連續 溫室內에서 CO_2 고정의 日變化를 24時間 측정하여 全體葉面積으로 算出하는 方法을 채택하였고, 이때 光源은 Whole Plant에 대해서는 자연빛으로 하였기 때문에 일몰 이후와 일출 전에는 호흡량의 測定 算出이 가능하였다.

單葉의 경우 光源을 Incandescent lamp, Fluorescent lamp, Metal halide lamp를 組合하여 60KLux로 조절하였다. 葉面積은 Hayashi Denko(AAA-8)로 光合成을 測定한 葉에 대하여 調査하였고 呼吸量은 全過程을 光合成 측정 과정에서 조사한 Sample을 그대로 두고 Dark 상태를 만들어 CO_2의 排出量을 光合成 過程과 마찬가지로 외부 CO_2量과 비교 측정하였다. 葉綠素 含量은 Ethyl alcohol 抽出量(Osbone and McCalla法)[16]을 인용하였으며 根活力은 α-Naphthylamine(Yamata 등)[16]에 依한 酸化力을 調査하였다. 乾物量은 同化部分과 非同化部分을 調査하여 CGR, RGR, NAR, LAI를 算出하였다.

結果 및 考察

1. 苗生育 및 素質

本畓 移秧前의 苗 生育現況을 보면 Table 1.에서와 같이 草長은 품종간의 특성으로서 차이가 있었으나 葉令은 차이가 없이 일정하였으며 乾物重이나 乾物重 比率에서도 品種間에 差異가 없었다.

2. 分蘖期 乾物重의 配分

분얼기에 엽신(同化部位), 엽초 및 줄기(非同化部位)에 대한 乾物重 配分率의 品種間 差異를 Table 2.에서 보면 엽신중은 삼강벼가 가장 많았고 비동화부위인 엽초 및 줄기의 건물중도 많은 편이었으나 엽신중비율(LWR:엽신/엽초+줄기)은

Table 1. Difference of ecological characteristics of rice plant at seedling stage

Varieties	Plant height (cm)	No. of leaves	Dry weight	
			gr	%
Samkangbyeo	16.5	4.5	4.10*	23.0
Chilsungbyeo	17.0	4.5	4.06	23.2
Chuchongbyeo	20.2	4.5	4.61	22.5
Whajinbyeo	19.6	4.5	4.20	22.3

Table 2. Difference of dry matter production of rice plant at tillering stage

Varieties	Leaf Blade (Lb)	Leaf sheath + Stem (Ls)	Total	Root (gr /pot)	Total	Top / Root (%)	LWR (%)	SLA (cm^2 /gr)
Samkangbyeo	10.0*	12.0	22.0	6.9	28.9	76.1	45.5	238.7
Chilsungbyeo	8.5	10.5	19.0	5.6	24.6	77.2	44.7	273.8
Chuchongbyeo	9.5	13.1	22.4	6.5	29.1	77.0	42.0	238.4
Whajinbyeo	9.2	12.0	21.2	8.0	29.2	72.6	43.4	247.7

* gr /pot Data collected at 44 days (18 July) after transplanting

품종간에 차이가 거의 없었다. 뿌리의 發生量은 Japonica인 화진벼가 가장 많았고 칠성벼가 다소 낮았다. 地下部位를 包含한 건물 생장량은 칠성벼가 가장 낮았으나 地下部에 대한 地上部位 비율은 높은 특성을 가지고 있었으며 SLA의 높은 특성을 보였다.

3. 生育時期別 光合成, 呼吸 및 生理的 特性

分蘖期에서 出穗期에 이르는 기간중의 光合成 및 呼吸 특성을 究明코저 실험한 결과를 보면 Fig. 1.에서와 같다. 7月 18日에서 9月 3日까지 6回에 걸쳐 실험 조사한 결과중에서 전기 3回는 單葉을 대상으로 하였고, 후기 3回는 식물체 전체를 측정하였다. 출수전 전기 3회와 출수후 3회를 나누어 고찰해 보면 7月 18日에는 화진벼에서 同化量이 많았으나 2週日 후인 8月 1日에서는 오히려 가장 낮은 光合成 特性을 나타냈고 이는 특히 화진벼가 比葉面積(SLA)이 다소 많으며 葉綠素 含量이 많은 연약한 상태에서 強光의 照射가 主原因일 것으로 추정되나 금후 검토를 요하는 과제로 본다. 삼강, 칠성, 추청벼에서는 7월 18일에는 동일하였으나 8월 1일에서 삼강벼에서 가장 높은 수치를 보였다는 것은 개화 결실에도 Source로서 유리하게 작용한다는 것을 시사하여 주고 있다.

出穗以後의 光合成 能力은 전술한 바와 같이 식물체 전체를 대상으로 측정하였기 때문에 절대량에 있어서 다소 떨어지는 결과를 나타내었고, 성숙기가 가까워짐에 따라 서서히 低下하는 경향이었으며 品種間 뚜렷한 차이를 볼 수 없었으나 출수기 전후에는 삼강벼가 높았고 9月 3日에는 칠성벼가 다소 높은 편이었다.

한편 呼吸 特性에 있어서는 7月 18日, 25日에서 品種간 差異는 없었으나 8月 1日에서는 차이가 벌어져 삼강벼에서 높고 화진벼에서 낮은 특성을 보였다. 출수기 이후에서는 품종간에 차이가 점차 적어지는 특징을 Fig. 2.에서와 같이 나타내고 있었다. 한편 생육시기별로 光合成 速度에 대한 呼吸比率을 산출해 보면 Fig. 3.에서와 같이 生育初期에

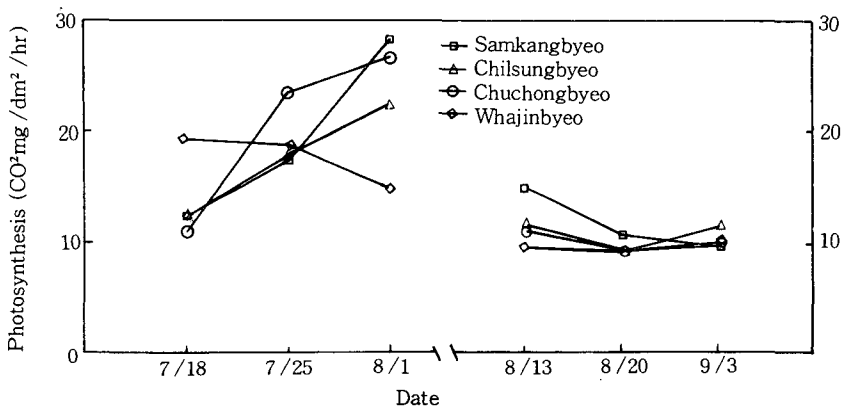

Fig. 1. Difference of photosynthetic activities of rice cultivars at each growing stage.

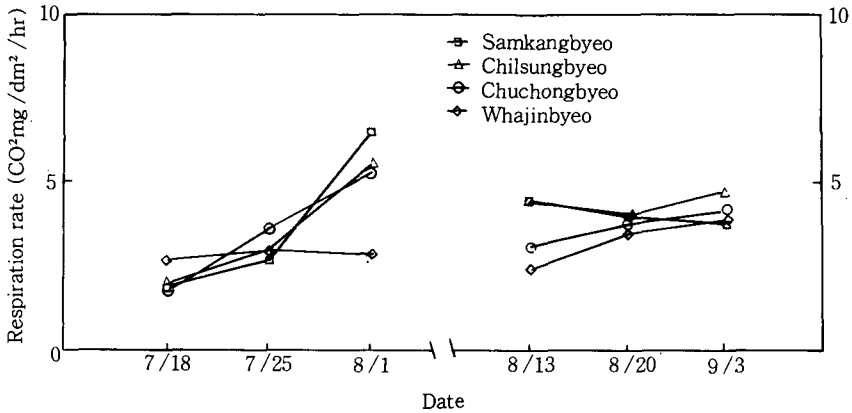

Fig. 2. Difference of respiration rate of rice cultivars at each growing stage.

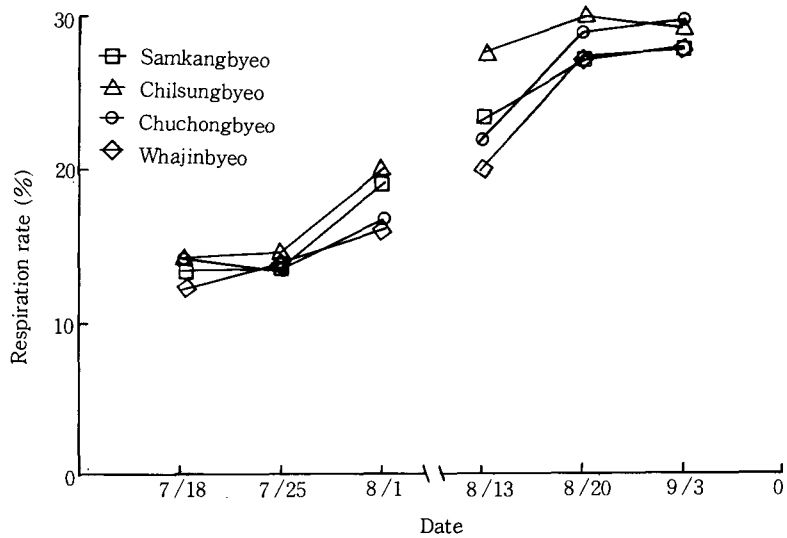

Fig. 3. Ratio of photosynthesis and respiration of rice cultivars at each growing stage(R /P+R × 100).

는 품종간 차이가 거의 없으나 출수기 전후가 되면서 차이가 커지는 경향으로 8월 13일에서는 통일형인 삼강벼와 칠성벼가 추청벼와 화진벼에 비하여 높았으나 成熟期가 가까워짐에 따라 그 차이가 적어지는 傾向을 보였다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 본 실험에서 生育時期別 광합성은 품종간 차이는 있으나 출수직전인 8월 1일경이 높은 경향이고 呼吸率은 출수후인 8月 20日경이 높은 경향 이었다.

또한 生育段階別로 同化器官인 葉身中의 엽록소 함량을 측정한 결과 Table 3에서와 같이 삼강벼에서는 8월 1일을 peak로 하여 서서히 저하하는 경향이었고 칠성벼에서는 7월 25일에서 8월 20일까지 높게 유지되나 이후 급격히 떨어지는 경향을 보였다.

品種間에 생육단계별로 다소 기복은 있으나 화진벼가 다소 높고 성숙단계에서 삼강벼가 높았다. 지상부의 생육을 律速하는 生理的 根活力은 Table 4에서와 같이 생육단계별로 검토하여 보면 삼강벼와 칠성벼는 8월 1일까지 높았고 생육이 진전됨에

따라 점차 낮아지는 경향을 보였고 추청벼는 7월 25일까지 높았으나 이후는 낮았고, 화진벼에서는 8월 1일에서 높았으며 이후 저하하는 경향을 나타냈다. 品種間 차이를 보면 통일형인 삼강과 칠성 벼가 일반형인 추청벼나 화진벼에 비하여 출수기 이전까지는 높았으나 출수기 이후에는 차이가 거의 없었다.

4. 光合成의 日中 變化

光合成의 日中 變化 과정을 보기 위하여 출수기(1991. 8.12~14) 3일간을 주야로 연속 측정한 결과를 보면 Fig. 4에서와 같다. 品種別로 보면 주간에는 칠성벼와 삼강벼가 光合成量이 많았고 추청벼, 화진벼 順이었다. 1日中에도 가장 peak를 이룬 시각은 품종간에 차이없이 오전 11~12時 사이였으며 CO_2의 고정이 시작되는 시각은 표준 일출시각(05時 44分)보다 30分정도 늦은 오전 6時 15分이었고 光合成 作用이 呼吸作用으로 轉換되는 시각은 일몰시간(19時 26分)보다 1時間 정도 빠른 18時 20分頃이었으며 Japonica형인 화진벼가 호흡량이 가장 낮은 편이고 다른 품종간에는 대차 없는 경향을 보여주었다.

한편, 出穗後 3週日에 해당하는 1991. 9.2~3일까지 연속 측정한 결과 光合成의 日中 變化曲線을 보면 Fig. 5.에서와 같다. 光合成量이 가장 많은 품

Table 3. Variation of chlorophyll content on growing stages of rice plant

Varieties	Date of investigate					
	7/18	7/25	8/1	8/13	8/20	9/5
Samgangbyeo	2.448*	3.380	4.289	3.510	3.002	2.969
Chilsungbyeo	2.574	3.505	3.303	2.844	2.800	2.162
Chuchongbyeo	2.506	4.102	3.930	3.508	2.910	2.443
Whajinbyeo	3.077	4.539	4.110	4.412	2.805	2.733

* :mg/g. F.W.

Table 4. Variation of root activities on growing stages of rice plant

Varieties	Date of investigate					
	7/18	7/25	8/1	8/13	8/20	9/5
Samgangbyeo	25.8*	31.3	30.6	14.4	15.0	13.8
Chilsungbyeo	31.3	42.5	31.9	12.5	15.0	13.8
Chuchongbyeo	40.0	28.8	32.9	18.1	15.0	18.8
Whajinbyeo	41.3	23.8	25.0	10.0	12.6	13.1

* :r/hr/g

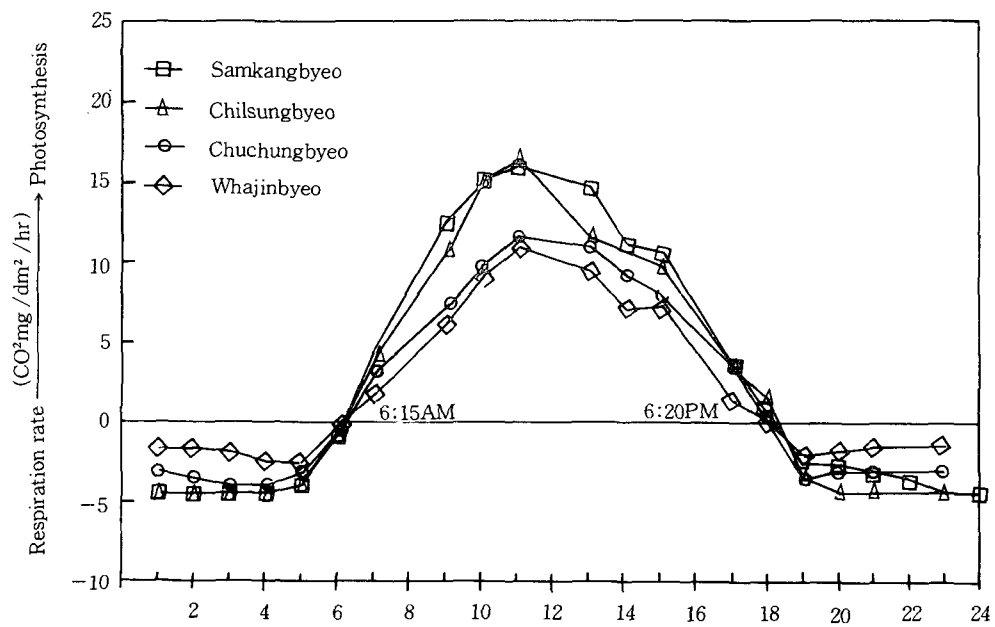

Fig. 4. Changes of photosynthesis and respiration during the day at heading stage.

종은 칠성벼이었고 삼강, 추청, 화진벼 순위로 볼 수 있으나, 품종간에는 다소의 기복도 볼 수 있었다. 日中 peak를 이룬 시각은 오후 1~2時 사이었으며 출수기에 비하여 2時間정도 peak가 늦어지고, 또한 同化量이 급격히 低下하는 양상을 볼 수가 있었다. 이때 CO_2의 고정이 시작되는 시각은 표준일출시각(06時 1分)보다 1時間 15分정도 늦은 오전 7時 15分頃 이었고, 주간에 呼吸作用으로 轉換되는 시각은 일몰시각(18時 58分)보다 45~50분 빠른 17時 45分경이었다.

이상 출수기와 출수 3주일후인 2時期의 1日中 光合成 變化曲線을 비교하여 보면 출수기에는 비교적 日中 變化曲線이 오전과 오후시각에 正規曲線을 이루는데 反하여 성숙기에 이르면서 同化量도 적고 정점에서 급강히하는 양상을 보이고 있음은 본 실험에 사용한 모든 품종간에 같은 경향이었다.

5. 生育時期別 乾物生産 特性

광합성이 왕성한 출수기경(7.25~8.1)의 건물생산량을 조사한 결과 Table 5에서와 같이 개체군생장량(Crop Growth Rate)은 칠성벼에서 가장 높고 추청벼와 화진벼에서 떨어지는 현상을 보였고 상대 생장률(Relative Growth Rate)도 같은 경향으로 칠성 삼강벼가 높고 추청 화진벼에서 낮은 결과를 보였으며, 삼강벼에는 광합성량과 호흡량도 많은 편이었다. 순동화율(Net Assimilation Ra- te)도 칠성 삼강벼에서 높았고 화진 추청벼에서 낮았으며 특히 통일형벼가 일반형 벼에 비하여 건물생산 면에서 유리한 특성을 보여 주었고 이들은 동화부위인 엽면적 지수가 높고 광합성도 높은 결과를 볼 수가 있으나 건물생산량과 광합성 및 호흡특성은 밀접한 관계를 가지고 있으면서 생육환경에 따른 영향도 있으므로 반드시 일치하지 않는점은 금후 계속 검토 보완하여야 할 것으로 보인다.

Table 5. Changes of CGR, RGR, NAR and LAI of rice in each growing stages

Varieties	One week (7/25-8/1)			
	CGR	RGR	NAR	LAI
Samgangbyeo	65.00	0.051	11.070	6.23
Chilsungbyeo	76.86	0.065	12.801	7.15
Chuchongbyeo	49.02	0.042	9.270	5.82
Whajinbyeo	50.00	0.046	9.570	6.06

CGR:gr /m² /day, RGR:g /g /m²,
NAR:g /m² /day, LAI:m² /m²

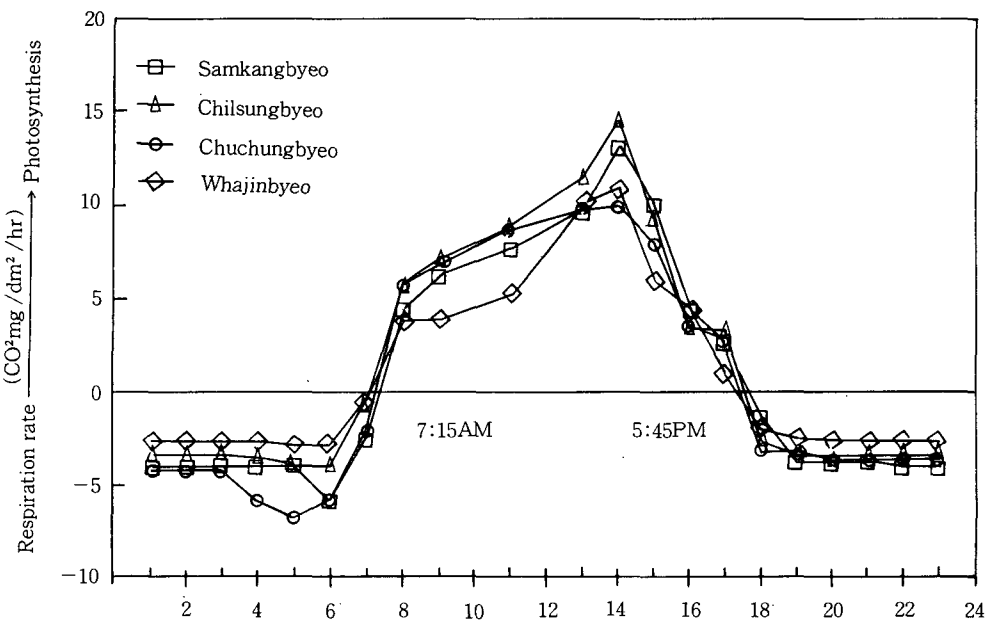

Fig. 5. Changes of photosynthesis and respiration during the day after 3 weeks at heading date.

Table 6. Ecological characteristics of tested rice varieties at maturing stage

Varieties	Clum length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicles /hill	LWR	No. of spikelets /panicle	HI*	Length of leaf blade(cm)			Length of internode(cm)		
							Flag	L_2	L_3	N_1	N_2	N_3
Samkangbyeo	74.7	19.2	15.5	30.2	110	45.6	20.9	26.7	30.1	27.9	11.7	7.7
Chilsungbyeo	71.5	18.2	11.6	29.7	119	51.9	18.0	24.5	29.6	25.3	11.9	7.7
Chuchungbyeo	81.5	19.9	16.6	27.8	90	37.5	29.6	33.5	35.7	29.1	17.0	8.1
Whajinbyeo	77.5	18.0	15.7	27.3	98	35.4	31.2	36.2	38.9	28.6	14.7	8.2

* :Harvesting Index

6. 出穗期의 品種間生態的 特性

출수기 품종들에 대한 주요 생태적 특성을 조사해 보면 Table 6.에서와 같다. 수장은 품종간에 대차가 없으나 칠성벼에서 수수가 4~5개 적었으나, 1수당 영화수는 수수가 적은데 反하여 가장 많았고 추청이나 화진에서 적은 경향을 보였다. 엽위별 엽신장은 통일형과 Japonica형에서 다같이 지엽<2엽<3엽의 순위 였으며 추청과 화진벼가 엽신장이 긴 특성을 보였다.

절간상은 상위1절>2절>3절의 順位로 품종 모두 같은 경향으로 정상적인 생육상을 입증하여 주고 있으며 엽신중 비율이 통일형에서 높고 특히 수확지수(HI)가 Japonica형에 비하여 통일형에서 현저히 높은 특성을 보이고 있는 것은 허[11] 등의 결과와도 일치하는 경향을 보였다.

摘 要

우리나라에서 育成 普及하고 있는 代表品種으로 Japonica×Japonica 交雜인 一般型 品種 2品種(추청벼, 화진벼)과 Indica×Japonica 교잡인 통일형 품종 2품종(삼강벼, 칠성벼)을 공시하여 생육시기별로 6회에 걸쳐 광합성 및 호흡 특성과 아울러 光合成의 日中變化와 이와 관련한 특성등을 究明코자 실험한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 분얼기 同化部位의 配分(엽신중비율)이 일반형 품종에 비하여 통일형품종에서 높은 特性을 보였다.
2. 생육시기별 光合成 能力은 出穗期 이전인 8月 1日에서 가장 높았고 호흡에 대한 광합성 효율(Respiration/Photosynthesis)은 7月 25日에서 가장 높았으며 삼강벼와 추청에서 특이하였다.
3. 1日中의 光合成 曲線은 출수기에는 午前 11~12時(1991.8.12~14)에 peak를 보이는 正規曲線을 나타냈으며 출수 2주일 후(9.2~3)에는 동화량의 peak가 13~14時에 있었으며 통일형품종이 일반형 품종에 비하여 높았다.
4. 光合成과 呼吸作用의 日中 轉換時刻은 전품종 공히 標準 일출시각보다 30~60分 늦은 시간에 CO_2 固定이 시작되고 오후에는 표준일몰 시각보다 50~60分 빠른 시점에서 光合成에서 呼吸作用으로 轉換되는 양상을 보여 주었다.
5. 光合成과 葉綠素含量 및 根의 生理的 活力과는 대체로 正의 相關이 인정되나 葉의 暗呼吸은 일정한 傾向이 없었다.
6. 통일형인 칠성벼와 삼강벼는 Japonica형인 추청벼나 화진벼에 비하여 수확지수가 현저히 높았다.

參 考 文 獻

1. Blackman, G.E. and Wilson, G.L. 1950. Physiological and Ecological studies in the analysis of plant environment. IV. The constancy for different species of a logarithmic relationship between net assimilation and light intensity and ecological significance. Ann. Bot. U.S. 14:63-94
2. Cooper, J.P.(ed) 1975. Photosynthesis and Productivity in different environments. Cambridge University Press. U.K. 715pp
3. Comb, J. 1980. Renowable source of energy(carbohydrate). Outlook on Agriculture 10:235
4. Crop Sciency Soci. of Japan. 1985. Poten-

tial productivity and Yield Constraints of Rice in East Asia. Pro. of Int. Crop Sci. Symposium Fukuoka Japan

5. 趙東三, 村田吉男. 1986. 水稻의 光合成과 乾物生産에 關한 硏究. 崔鉉玉博士 回甲論文集 :97-115
6. Combs, J. and Hall, D.O. 1989. Techniques in bioproductivity and photosynthesis. Pergamon Press(U.K.)
7. Hatch, M.D. and Slack, C.R. 1970. Photosynthetic CO_2 fixation pathways Ann. Rev. Plant Physiol. 21:141
8. Hatch, M.D., Osmand, C.B., and Slatyer, R.O. eds. 1971. Photosynthesis and Photorespiration. Wiley interscience. N.Y. London
9. Her, M.H. and S.H. Bae. 1972. Selection for lines of rice tolerent to low temperature in Korea. Rice breeding. IRRI:533-534
10. 허훈. 1978. 水稻 Indica×Japonica 遠緣交雜品種의 生理 生態的 特性에 關한 硏究 -特히 溫度 反應을 中心으로-. 農試硏究 20(作物) :1-47
11. 허훈, 양덕조, 류경열. 1992. 水稻 Japonica 및 통일형 품종의 光合成, 物質生産 特性 韓作誌 37(1):45-53
12. 金浩烈, 宋承達. 1975. 水稻品種의 物質生産과 生長解析에 關한 硏究. 韓作誌 20:74-86
13. 金寅煥. 1976. 韓國의 綠色革命. 農村振興聽
14. 李主烈. 1976. 水稻 生育後期 光合成 能力과 營養環境이 乾物生産과 收量構成要素에 미치는 影響. 韓作誌 21(2):187-202
15. 李殷雄외. 1983. 韓國農業發達史. 韓國農業技·術史 發刊委員會
16. 村田吉男, 宮地重遠, 加藤榮. 1981. 光合成 硏究法. 共立出版.(東京)
17. Murata, Y. 1961. Studies on the photosynthesis of rice plants and its culture significance. Bull. Nat. Inst. Agr. Japan Sci., Series D.1-170
18. Takata, T. 1969. Studies on the photosynhesis and production of dry matter in community of rice plants. Japan J. of Bot. 17:403-437
19. 戶苅義次 監修. 1985. 作物の 光合成と 物質生産. 養賢堂(東京)