

## 차광조건에서 더덕의 광합성속도에 미치는 주요 요인

이 충 열\*†

\* 밀양대학교 식물자원학과

### Main Factors affecting on Photosynthesis under shading condition of *Codonopsis lanceolata* Trautv.

Chung Yeol Lee\*†

\* Dept. of Plant Resource, Miryang National University, Miryang, Korea

**ABSTRACT** : This study was carried out in order to investigate the main traits related to photosynthesis by multiple regression analysis. The photosynthetic rate showed more significant increase in shaded leaves of plant than in non-shaded leaves of plant after shading treatment for 44 days. Negative correlation was found between net photosynthetic rate and SLA(specific leaf area). However, the values obtained from the linear equation were different and were highly significance. From the above results, net photosynthetic rate of shading treatment is higher than that of control in the same SLA. We also found that there were correlation between stomatal conductance and SPAD as well as net photosynthetic rate and stomatal conductance. By the multiple regression analysis, SPAD value, SLA, stomatal conductance and leaf water potential showed a higher correlation coefficient of  $r=0.848^{**}$ . From the results, out of 4 factors(SPAD value, SLA, stomatal conductance, leaf water potential) stomatal conductance was main factor in the view points of partial regressing.

**Key words** : *Codonopsis lanceolata* Trautv., leaf water potential, multiple regress, photosynthesis, shading treatment, SPAD, specific leaf area, stomatal conductance

## 서 언

더덕은 우리나라의 산간지역에 자생하고 초롱꽃과에 속하는 다년생 덩굴성 식물로, 그 자생지의 환경을 살펴 보면 주로 산지의 반음지나 음지의 일조량이 적은 곳에서 자생하는 양상을 띄고 있다. 일조량이 적은 약광조건에서 생육한 식물개체는 보통 강광에서 생육한 개체에 비하여 형태적, 생리적으로 다른 반응을 보이는데, 형태적 반응으로서는 줄기의 도장과 비엽면적(SLA : Specific leaf area) 및 엽면적의 증가 등을 들 수 있고,

생리적 반응으로는 광포화점의 저하, 잎 수명의 단축 및 잎 질소함량의 증가 등을 들 수 있다. 더덕은 타 작물에 비하여 이들 반응에 대한 연구가 미흡한 바, 고품질 더덕의 증산을 위해서는 광합성 등의 물질생산에 생리생태적 반응의 연구가 절실히 요구되고 있다.

이에 관련된 지금까지의 보고를 살펴보면, 村田(1961)과 Sato(1970)는 약광조건의 수도의 앞에서 광합성속도가 저하한다고 밝힌 바 있고, 이와는 반대로 Shimizu & Tsuno(1958)와 丙田 등(1980)은 약광조건에 의한 광합성속도의 증가를 인정하였다. 보통 약광조건에서 생육한

† Corresponding author (Phone) : C. Y. Lee, 055-350-5364, E-mail : leecy@mnu.ac.kr  
Received 3 November 2002 / Accepted 28 November 2002

식물의 광합성속도는 광포화점의 저하(Barrs, 1968; Bjorkman, 1963; 1966; Lee *et al.*, 1995a) 및 강광하에서의 광합성속도의 감소(Kumura, 1968)등이 잘 알려져 있으나, Shimizu & Tsuno(1958)는 차광처리에 의하여 엽신질소농도의 증가로 광합성속도가 향상된다고 밝힌 바 있고 맥문동(Won & Lee, 2002)에서 차광처리에 의한 광합성속도의 증가를 구명한 바 있다. 이와 같이, 차광에 대한 식물의 광합성반응은 서로 상이한 결과가 보고되고 있는 바, 이에 관한 많은 연구 및 정보의 축적이 요망되고 있다.

본 연구에서는 차광처리를 하여 약광조건에서의 더덕의 광합성에 영향을 주는 주요요인을 구명하고자, 광합성작용을 목적변수로 두고 비엽면적, 엽록소함량, leaf water potential, 기공전도도 등을 설명변수로 하여 중회귀분석을 시도하였다. 이로써 더덕의 광합성에 미치는 주요 요인을 가려내고, 각 설명변수와 광합성작용과의 상호관계를 검토하여 물질생산에 관한 생리생태적 반응의 기초자료로 삼고자 한다.

### 재료 및 방법

본 시험은 밀양대학교 부속농장 전작포장에 실시하였으며, 공시재료는 충남대학교에서 분양받은 1년생 더덕을 이용하였다. 재배방법은 포장을 균등하게 경운 작업을 한 후, 시험포를 8m<sup>2</sup>로 분할구 배치하여 재식거리 70cm×40cm로 주당 1본씩 4월 30일에 정식하였고, 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=22-15-12Kg을 전량 기비로 사용하였다. 지상부가 출현한 이후에 개체간에 서로 겹치지 않고 광의 경합이 일어나지 않도록 이랑의 양쪽 끝에 2m이상의 지주를 세우고 양쪽 지주를 줄로 연결하여 더덕유인망을 지주줄에 매어 더덕의 생육이 상향되도록 유지하였다. 토양수분 조절은 수시로 관수하여 최대용수량 60~70%가 되도록 유지하였으며 그 밖의 비배관리는 표준재배법에 따라 실시하였다.

차광처리는 정상적으로 생육한 개체를 선발하여 개화시(8월 5일)이후부터 차광처리를 실시하였는데, 차광처리방법은 하우스형 파이프를 이용하여 가로 6m, 세로 2.3m, 높이 2.5m의 소형하우스를 제작하고 시판되고 있는 흑색 PE차광망을 하우스에 덮어 차광율이 56%가 되도록 조절한 후, 이 하우스를 더덕의 시험포로 옮겨 성숙기까지 차광상태에서 생육시켰다. 차광처리 후 14일, 30일, 44일에 대조구와 차광구 각각 광합성속도, 증산작용 및 기공전도도를 측정하였고 이들의 측정이 종료되면 엽록소함량(SPAD), 수분퍼텐셜, 비엽면적(SLA) 등을 조사하였다. 조사대상 잎은 정상적으로 생육한 개

체 중에서 대조구는 하위에서부터 6엽, 9엽, 12엽, 15엽, 18엽을, 차광구는 6엽, 9엽, 12엽, 15엽, 18엽, 22엽을 차광처리일수에 따라 3반복으로 동일한 잎을 추적, 측정하였다.

광합성속도, 증산작용 및 기공전도도는 LI-6400 휴대용 광합성측정장치를 이용하여 개방형 동화상자(6cm<sup>2</sup>)에 잎의 중앙부를 넣어 측정하였고 광도는 LI 6400-02 LED의 인공광선을 이용하여 1500μmol/m<sup>2</sup>/s의 광을 인위적으로 조사하면서 이산화탄소를 350ppm으로 고정하여 측정하였다. 엽록소함량은 미놀타 SPAD 502를 이용하여 동일한 잎의 SPAD를 측정하였고 광합성속도 및 기공전도도, 엽록소함량 등의 측정이 완전히 종료한 후, 잎을 절단하여 Leaf water potential을 Press Chamber (LI-600)를 이용하여 Kobata & Takami(1984)의 방법으로 측정하였다. 수분퍼텐셜을 측정한 잎을 이용하여 엽면적과 건물중을 조사하여 비엽면적을 산출하였고 이들 측정항목(비엽면적, 기공전도도, 엽록소 함량 및 수분퍼텐셜)과 광합성속도와의 관계를 중회귀분석을 시도하여 표준편회귀계수로 나타내었다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 엽위별 광합성속도의 변화

우선 차광처리 전에 엽위별로 광합성속도를 측정후, 차광처리를 하여 처리일수가 경과함에 따라 동일한 잎의 광합성속도 변화를 추적·측정하였던 바, 그림 1에서 보는 바와 같다.

차광처리 후 14일(8월 19일)과 30일(9월 4일)에서는 처리전에 비하여 모든 엽위에서 광합성속도의 뚜렷한 차

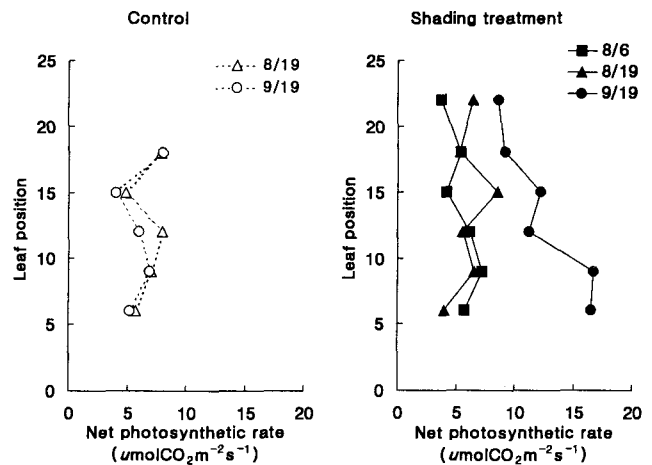


Fig. 1. Changes in net photosynthetic rate of successive leaf according to shading treatment.

이가 나타나지 않았으나, 처리 44일(9월 19일)에서는 모든 엽위에서 광합성속도의 뚜렷한 증가를 보였는데 상위엽에 비하여 하위엽에서 증가 정도가 현저하였다. 이에 비해 대조구에서는 8월19일과 9월19일 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 이와 같이 차광처리에 의하여 광합성속도가 향상되는 것은 벼(Sato, 1970; Tsuno & Yamaguchi, 1989), 콩(Lee *et al.*, 1995), 맥문동(Won & Lee, 2002) 등과 같은 작물에서도 동일하게 나타났으며 이는 CO<sub>2</sub>의 고정반응의 활성이 억제 또는 저하가 일어나는 생육 중·후기에 광포화점 이상의 광이 지속되면 잎의 엽록소 파괴가 진행된다는 보고(powles *et al.*, 1978)와 차광에 의해 Rubisco함량의 감소를 적게 하여 광합성속도가 향상되는 것으로 보고한 Hidema *et al.*(1991)의 견해와 상통한다.

2. 광합성속도, SLA, 기공전도도, SPAD의 상관 관계

차광조건에서의 광합성속도와 SLA, 기공전도도 및 엽록소 함량(SPAD로 표시)의 상관관계를 검토한 결과는 그림 2~4에서 보는 바와 같다.

그림 2는 차광에서의 광합성속도와 비엽면적과의 관계를 나타낸 것으로, 양자간에는 고도의 부의 유의성이 인정되어 SLA가 작아짐에 따라 광합성속도는 증가하는 경향이었는데, 차광처리구와 대조구 모두에서 각각 1차회귀직선식으로 나타났다. 동일한 SLA에서는 대조구에 비하여 차광구에서 광합성속도가 증가하는 경향을 보였다. 이와 같이 차광조건에서 SLA가 증가하는 즉, 식물의 잎이 얇아진다는 보문은 수도(Tsuno & Yamaguchi,

1989) 및 콩(Lee *et al.*, 1995b), 사료작물(Chatterson, 1972; 三浦, 1983) 등에서 찾아 볼 수 있으며 광합성속도와 부의 상관관계가 인정된다고 Beuerlein *et al.*, (1971)와 Dornhoff *et al.*, (1970)은 콩의 연구에서 밝힌 바 있고 Kuboda & Ueda(1977)는 Timothy에서  $y = -0.099x + 62.7$ (y: 광합성, x: SLA)라는 1차 직선회귀식으로 인정된다고 보고하고 있다.

식물의 건물생산은 주로 잎의 기공을 통해서 일어나는 광합성작용에 의해서 이루어지며, 광합성속도의 조절기

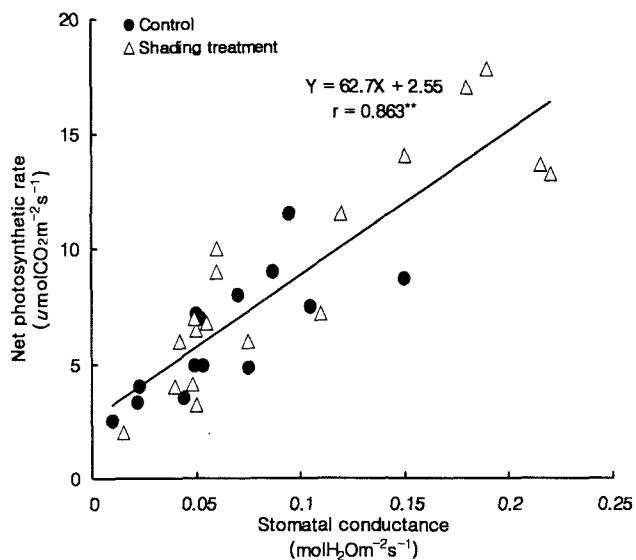


Fig. 3. Relationship between stomatal conductance and net photosynthetic rate according to shading treatment.

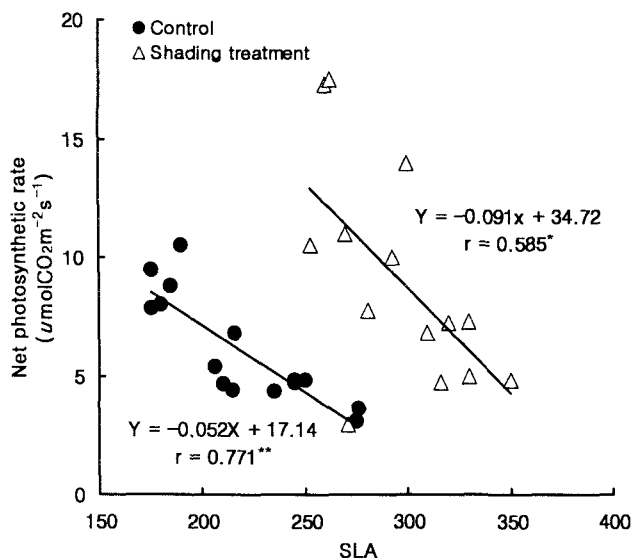


Fig. 2. Relationship between SLA and net photosynthetic rate according to shading treatment.

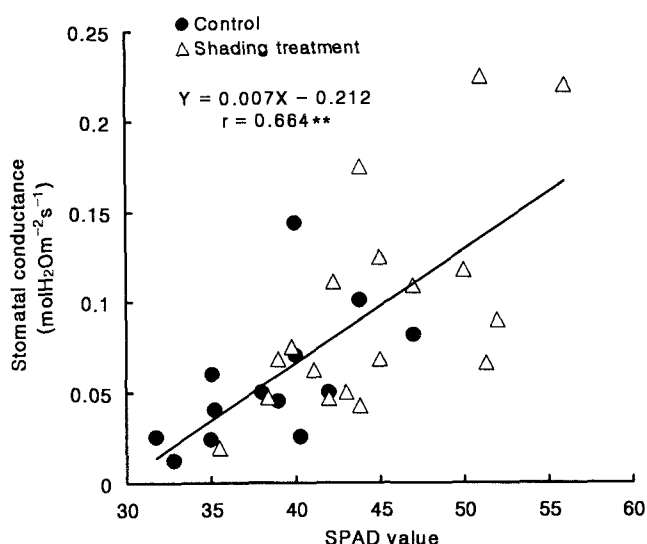


Fig. 4. Relationship between stomatal conductance and SPAD value according to shading treatment.

구로서는 기공전도도가 크게 관여하고 있는 바, 더덕에 있어서 광합성속도와 기공전도도와의 관계를 검토한 결과는 그림 3에서 보는 바와 같다. 광합성속도와 기공전도도 양자간의 관계가 1차직선회귀식  $Y=62.7X+2.55$ 로 나타났으며 상관계수  $r=0.863^{**}$ 로 고도의 유의성이 인정되어 기공전도도가 증가하면 광합성속도도 증가하는 경향을 나타내었던 바, 더덕에서도 기공전도도가 광합성속도에 크게 관여하고 있음을 알 수 있었으며 벼 (Hirasawa *et al.*, 1988)와 콩(Sagawa, 1997)에서도 동일한 결과가 보고 된 바 있다.

기공전도도와 엽록소함량과의 관계를 검토하여 본 바, 그림 4에서 보는 바와 같다. 엽록소 함량과 SPAD값과는 밀접한 관계에 놓여 있으며,  $Y=0.16X+1.3$  ( $Y$ : Chlorophyll a+b,  $X$ : SPAD)라는 1차직선회귀로 나타낼 수 있고, 고도의 정의 상관관계가 인정된다고 보고(和田, 1990)된 바, 본 실험에서는 엽록소 함량을 SPAD값으로 나타내었다. 기공전도도와 SPAD 양자간에는  $r=0.664^{**}$ 로 고도의 유의성이 인정되어 SPAD값이 증가하면 기공전도도도 증가하는 경향이였으며 대조구 보다는 차광처리구의 분포가 높은 위치에 있어 차광처리에 의한 SPAD값의 증가가 기공전도도를 증가시키는 한 요인이므로 따라서 광합성속도도 증가되는 것으로 사료되며 Ishihara *et al.*, (1978)과 津野(1971)도 잎의 질소농도가 기공개폐에 직접 영향을 미치기 때문에 질소농도의 증가는 광합성속도를 증가시킨다고 보고한 바 있다.

### 3. 광합성속도에 관한 중회귀분석

비엽면적, 기공전도도, 엽록소 함량 및 수분퍼텐셜 등이 모두 광합성속도와 밀접한 관계가 있는 바, 이들 중에서 더덕의 광합성속도에 가장 크게 영향을 미치는 요인을 구명하기 위해 중회귀분석을 시도한 결과는 표 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Multiple regression analysis about the photosynthetic rate

Item	Independent Variable				Coefficient of regression	n
	SPAD	SLA	Sc	Wp		
P	0.033	-0.092	0.828	-0.008	0.848**	35
	0.031	-0.090	0.830		0.848**	35
	0.468	-0.245			0.598**	35
	0.019		0.856		0.844**	35
			-0.019	0.856	0.844**	35
C	0.552**	0.405**	0.863**	0.104		

P = Partial regression, C = Correlation regression  
Sc = Stomatal conductance, Wp = Water potential

Beuerlein *et al.*, (1971)와 Dornhoff *et al.*, (1970)에 의하면 비엽면적과 광합성속도와 밀접한 관계가 있다고 보고한 바, 이 요인을 광합성속도의 설명변수로 하였다. 또한, Ishihara *et al.*, (1972)에 의하면 차광에 의하여 수도의 엽신수분퍼텐셜(Wp)이 증가하는 것으로 보고되어 있는 바, 본 연구에서도 이 요인을 조사하여 더덕의 광합성속도에 대한 설명변수로 사용하였다. 광합성속도에 영향을 미치는 무기성분으로서 엽신의 질소 외에도 인과 칼륨 등이 알려져 있지만, Ishihara *et al.*, (1979)은 광합성속도에 미치는 엽내 무기 3요소 함유율의 영향은 질소가 가장 현저하고 질소 함유율이 높은 잎의 경우는 광합성속도도 높다고 보고한 바, 본 연구에서도 잎의 질소 함유율과 밀접한 관계가 있는 SPAD값으로 조사하여 광합성속도의 설명변수로 하였다. 그리고, 기공전도도와 광합성속도와 밀접한 관계가 있다고 보고하고 있어 (Hirasawa *et al.*, 1988; Lee *et al.*, 1994; Sagawa, 1997) 기공전도도도 설명변수로 채택하였다.

광합성속도를 종속변수(Dependent Variable, D)로 두고 상기의 4요인(SPAD, 수분퍼텐셜, SLA, 기공전도도)을 설명변수로 하여 중회귀분석을 하였는데 광합성속도에 관여하는 요인들의 정도를 알 수 있도록 표준편회귀변수로 나타내었다. 그 결과, 중상관관계가  $r=0.848^{**}$ 로 고도의 유의성이 인정되었는데, 이들 요인에 대한 표준편회귀계수를 살펴보면, 4요인 중 기공전도도가 가장 컸으며 SLA, SPAD, 수분퍼텐셜 순으로 나타났고, 수분퍼텐셜을 제외한 3요인에 대해서도 동일한 결과로 나타났다. 또한, SPAD와 SLA의 2요인에 대한 중회귀분석에 있어서는 중상관계수가  $r=0.598^{**}$ 로 고도의 유의성이 인정되었는데 SLAD의 표준편회귀계수가 SLA보다 높은 경향이어서 SLA보다 SPAD가 광합성속도에 더욱 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 콩 연구에서도 동일한 결과가 보고(Lee *et al.*, 1995b)된 바 있다.

이상의 결과를 종합 고찰하여 보면, 차광조건에서 생육한 잎의 광합성특성은 강광 조건에서는 광합성속도가 감소하고 약광 조건에서 증가하는 음엽적 특성을 나타낸다는 보고(Beuerlein *et al.*, 1971; Sato 1970)가 많은데, 본 시험에서는 생육 중·후기의 차광에 의하여 광합성속도가 향상되었으며 이는 SLA의 증대에 따른 광합성의 기여보다도 엽록소함량의 향상에 의한 광합성속도의 증가가 더욱 크게 기여하는 것으로 나타났다.

## 적 요

차광처리의 약광상태에서 더덕의 광합성속도에 영향을 미치는 주요 요인을 구명하여 물질생산에 관한 생리생태

적 반응을 위한 기초 자료로 삼고자 본 실험을 수행하였던 바, 몇 가지 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 차광처리한 더덕의 엽위별 광합성속도는 처리 후 44일째에 뚜렷이 증가하였으며, 그 증가 정도는 상위엽보다 하위엽에서 현저하였다.

2. 광합성속도와 비엽면적은 부(負)의 1차회귀직선 상태를 보여 차광하에서 잎이 얇아지는 경향이었으며 광합성속도와 기공전도도, 기공전도도와 SPAD는 모두 정(正)의 상관관계가 인정되었다.

3. 광합성속도를 종속변수로 하고, 비엽면적(SLA), SPAD, 기공전도도, 수분퍼텐셜을 독립변수로 하여 중회귀분석을 한 결과, 4요인에 대해서는 중상관계수가  $r=0.848^{**}$ 로 나타났으며 기공전도도의 표준편회귀계수가 가장 높아 광합성속도에 가장 영향이 컸으며 그 다음으로 SLA, SPAD 및 수분퍼텐셜의 순이었다.

## LITERATURE CITED

- Barrs, HD(1968)Effect of cyclic variations in gas exchange under constant environmental conditions on the ratio of transpiration to net photosynthesis. *Physiol. Plant.* 21 : 918-929.
- Beuerrlein JE, Pendleton JW(1971) Photosynthetic rate and light saturation curves of individual soybean leaves under field conditions. *Crop Sci.* 11 : 217-219.
- Bj rkman O, Holmgren P(1963) Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitats. *Physiol. Plant.* 16 : 889-914.
- Bj rkman O, Holmgren P(1966) Photosynthetic adaptation to light intensity in plants native to shaded and exposed habitats. *Physiol. Plant.* 19 : 854-889.
- Boyer JS(1970) Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potential in corn and soybean. *Plant Physiol.* 46 : 236-239.
- Chatterson NJ, Lee DR, Hageman RH(1972) Diurnal change in specific leaf weight of *Medicago sativa* L. and *Zea mays* L. *Crop Sci.* 12 : 576-578.
- Dornhoff GM, Shibles RM.(1970) Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. *Crop Sci.* 10 : 42-45.
- Hidema J, Makino A, Mae T, Ojima K(1991) Photosynthetic characteristics of rice leaves aged under different irradiances from full expansion through senescence *Plant Physiol.* 97 : 1287-1293.
- Hirasawa T, Iida Y, Ishihara K(1988) Effect of leaf water potential and air humidity on photosynthetic rate and diffusive conductance in rice plants. *Japan J. Crop Sci.* 57(1) : 112-118.
- Ishihara K, Ishida Y, Ogura T(1972) The relationship between environmental factors and behaviour of stomata in the rice plant. 4. The relation between stomatal aperture and photosynthetic rate. *Japan J. Crop Sci.* 42(1) : 93-101.
- Ishihara K, Ebara H, Hirasawa T, Ogura T(1978) The relationship between environmental factors and behaviour of stomata in the rice plant. 7. The relation between nitrogen content in leaf blades and stomatal aperture. *Japan J. Crop Sci.* 47(4) : 664-673.
- Ishihara K, Iida O, Hirasawa T, Ogura T(1979) Relation between nitrogen content in leaf blades and photosynthetic rate of rice plants with reference to stomatal aperture and conductance. *Japan J. Crop Sci.* 48(4) : 543-550.
- Kobata T, Takami S (1984) Estimation of the leaf water potential in rice by the pressure chamber technique. *Japan J. Crop Sci.* 53(3) : 290-298.
- Kubota F, Ueda S(1977) Relationship between photosynthesis rate of leaves and specific leaf area(SLA) in timothy plants (*Phleum pratense* L.). *Janpan J. Grassl. Sci.* 23 : 101-107.
- Kumura A(1968) Studies on dry matter production of soybean plant. *Japan J. Crop Sci.* 37 : 583-588.
- Lee CY, Tsuno Y, Nakano J, Yamaguchi T(1994) Ecophysiological studies on the drought resistance of soybean 1. changes in photosynthesis, transpiration and root respiration with soil moisture deficit. *Japan J. Crop Sci.* 63(2) : 215-222.
- Lee CY, Tsuno Y, Nakano J, Yamaguchi T(1995a) Ecophysiological responses to weak light condition in soybean. 1. Effects of shading treatment at different growth stage on characteristics of plant and photosynthesis. *Japan J. Rep. Chugoku Br. Crop Sci.* 36 : 41-49.
- Lee CY, Tsuno Y, Nakano J, Yamaguchi T(1995b) Ecophysiological responses to weak light condition in soybean. 2. Multiple regression analysis on the changes of photosynthetic rate affected by shading treatment. *Japan J. Rep. Chugoku Br. Crop Sci.* 36 : 51-57.
- Powles SB, Osmond B(1978) Inhibition of the capacity and efficiency of photosynthesis in bean illuminated in a CO<sub>2</sub> free atmosphere at low oxygen a possible role for photorespiration. *Aust. J. Plant Physiol.* 5 : 616-629.
- Sagawa S(1997) The effects of reflected light on the photosynthetic rate of middle and lower leaves and seed yield in soybean plants. *Japan J. Crop Sci.* 66(4) : 571-577.
- Sato K(1970) Effects of environmental conditions of long and short duration on subsequent leaf CO<sub>2</sub> assimilation rates of rice plant under a definite standard condition. *Japan J. Crop Sci.* 39 : 370-375.
- Shimizu T, Tsuno Y(1958) Studies on yield forecast in main crops. 4. on the relation between the light intensity and the dry matter production of rice plant. *Japan J. Crop Sci.* 27 : 168-170.
- Tsuno Y, Yamaguchi T(1989) Adaptive regulation of photosynthesis in rice plant to weak light condition and the contribution of root activity to regulation mechanism. *Japan J. Crop Sci.* 58(1) : 74-83.
- Won JW, Lee CY(2002) Characteristics of photosynthesis and dry matter production of *Liriope platyphylla* WANG et TANG. *Korea J. Medicinal Crop Sci.* 10(2) 82-87.

## 이 총 열

- 三浦邦夫, 石井龍二(1983) 콘ニャクの物質生産に関する研究. 第6報 生育光環境が光合成・蒸散速度・乾物生産特性および體形におよぼす影響. 日作紀 52(別2) : 225-226.
- 村田吉男(1961) 水稻の光合成とその栽培學的意義に関する研究. 農技研報. D9 : 1-10.
- 津野幸人 (1971) 葉の無機養分含量と光合成. 作物の光合成と物質生産. 養賢堂. 東京. 82-85.
- 和田義春, 渡 和之, 三浦邦夫(1990) イネ葉身の老化におよぼす光條件の影響. 日作紀 59 (別2) : 65-66.
- 内田直次, 和田義春, 村田吉男(1980) 作物の葉における光合成機能の發達と衰退に関する 研究. 第3報 イネ葉の衰退過程におよぼす光・温度の影響. 日作紀 49(別1) : 127-128.