

엽형 및 CO₂ 이용효율에 따른 콩 입중별 이상초형 연구

이강세*† · 전병무** · 김영진*** · 국용인**** · 박호기*** · 박문수***

*군산대학교 자연과학대학, **연변대학 장백산 천연자원보호·개발연구원,
호남농업시험장, *전남대학교 생물공학연구소

Ideal Leaf Type on Leaf Shape and CO₂ Use Efficiency of Different Seed Size Cultivar in Soybean

Kang Sae Lee*†, Bing Wu Quan**, Young Jin Kim***, Young In Kuk****, Ho Ki Park*** and Moon Soo Park***

*Dept. of Biology, Kunsan Nat'l Univ., Kunsan 573-701, Korea

**Protection & Develop. Research Inst. of Changbai Mt. Natur. Reso., Yan Bian Univ., Yanji, China

***Nat'l Honam Agri. Exp. Station, RDA, Iksan 570-080, Korea

****Biotechnology Research Institute, Chonnam Nat'l University, Gwangju 500-757, Korea

ABSTRACT : To examine ideal leaf types with higher CO₂ assimilates and different seed sizes, 12 soybean varieties were planted on the pot in a plastic house covered with glass. Leaf function based on stomatal conductance and CO₂ assimilation in soybean is different in seed size and leaflet shape. Mean CO₂ assimilation of a single leaf was 19.66 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and showed higher in small seed cultivars with narrow leaflet than that of small seeds with wide leaflet (18.29 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), but within large seed groups, it was higher in wide leaflets (19.17 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) than narrow leaflet cultivars (17.45 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$). In small seed and narrow leaflet cultivars, stomatal conductance ranged from 0.14 to 0.15 $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, while CO₂ assimilation ranged from 19 to 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. The Photosynthetic rate was closely related to stomatal conductance, transpiration and water use efficiency.

Keywords: soybean, CO₂ assimilation, stomatal conductance, narrow leaflet, wide leaflet

콩 품종은 대체로 종실의 크기에 따라 소립, 중립 및 대립종으로 구분되고 있으며, 장류콩은 주로 중·대립종을, 나물콩은 종실의 100립중이 12g 내외인 소립종을 지칭하고 있다. 또한 콩 잎의 형태는 크게 환형(wide, ovate, normal type)과 장형(narrow, lanceolate type)으로 구분할 수 있으며 이는 단일 유전자에 의해 지배된다고 알려져 있다(Haile *et al.*, 1998). Sink 형질에 영향을 미치는 source 형질의 CO₂ 동화량 및 기공전도도는 콩 종자의 크기나 잎의 형태에 따라 다르며, CO₂ 이용효율은 엽중, 잎 두께, 엽육세포의 부피 및 엽록

소 함량과 정의 상관관계를 가지고 있다(Sung *et al.*, 1990). 콩의 순광합성율은 광량과 Rubisco의 활성이 높을수록 증가되며, 기공전도도 및 엽온과 밀접한 관계가 있고 식물체 내의 수분함량에 의해서도 제한 받는다고 한다(Dornhoff & Shibbes, 1970). 단위엽의 엽면적당 광합성능력은 수량과 상관이 인정되지 않는 경우가 있으나, 개체단위나 군락상태에서의 광합성능력은 일반적으로 수량과의 상관이 인정되고 있다(Sung *et al.*, 1990; Wells *et al.*, 1982).

현재까지 콩 육종 과정에서 용도별(나물콩, 장류콩)로 광합성 능력이 양호한 생태형을 가진 계통을 선발하기 위한 기초 연구가 시도된 바 없기 때문에 나물콩 및 장류콩을 선발하기 위한 잎의 형태적인 기준이 없다. 용도별로 바람직한 콩 품종을 육성하기 위해서는 우선 용도별 목표형질을 선발하면서 단위 엽면적당 광합성 능력이 우수한 계통들을 선발하여 생산성을 향상시킬 수 있는 육종전략을 수립하는 것이 필요하다. 따라서 콩의 입중에 따른 이상초형(ideal type)의 개발을 위해 source 형질의 생리, 생태적 제 특성을 해석하여 광합성효율이 높은 안전 다수성 콩 품종육성의 엽형 모델을 찾고자 기존 품종들의 잎의 형태적 특성 및 CO₂ 이용효율과의 관계를 조사했다.

재료 및 방법

재료는 엽형에 따른 입중별(Table 1의 100립중 참조) 콩 12 품종(소립 장엽형 품종: 은하콩, 명주나물콩, 풍산나물콩; 소립 환엽형: 익산나물콩, 광안콩, 한남콩; 대립 장엽형: 만리콩, 장엽콩, 새알콩; 대립 환엽형: 무한콩, 삼남콩, 신평달콩2호)을 공시하여 유리온실 내에서 사양토로 채워진 1/3000a의 플라스틱 포트에 6립씩 파종하여, 제 1본엽기에 품종당 생육이 고른 건

†Corresponding author: (Phone) 82-63-469-4582 (E-mail) kslee@kunsan.ac.k

<Received March 29, 2003>

전주 2주씩만 남기고 속아내었다. 시험구배치는 완전임의배치법으로 품종별 5반복하였으며 시비는 N-P₂O₅-K₂O를 4-7-6/10a 수준으로 전량기비하였다. 콩의 광합성에 있어서 제한하는 몇 가지 요인들을 알아보기 위해서 품종별 잎의 형태에 따른 단엽의 CO₂ 동화량을 조사하였다. 잎의 단위별 광합성 능력 및 증산량 등은 V₅시기의 완전 전개된 중위엽을 대상으로 오전 10:00~11:00시경 광도(PPFD)가 광포화 상태를 유지하는 1,500 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상일 때 적외선개스분석기(Infra-red gas analyzer, LCA-4, ADC Ltd., UK.)로 5반복 측정하였다. 개체 단위(포트별)의 측정을 위해서는 투명 아크릴로 만든 동화상을 개방계로 운용하여 대기중의 CO₂ gas가 포함된 공기를 분당 120 ml 속도로 흐르게 한 다음 CO₂ 농도차를 계산하였다. 엽록소 함량은 엽록소계(SPAD, Minolta Co. Ltd.)를 이용하여 잎이 완전 전개된 최상위마디의 잎을 10개씩 측정하였다. CO₂ 동화량은 $A = \Delta C \times U_s$ 의 식에 의해서, 잎 챔버 내로 유입된 대기의 CO₂농도와 소비된 CO₂ 농도차에 잎 표면적으로 흐르는 공기속도를 곱하여 산출하였다. 기공전도도는 Ball *et al.*(1987)의 $g_s = 1/r_s$ 식에 의해 기공저항값에 대한 역수로 계산되었으며, 증산작용은 $E = U_s \times \Delta W$ 의 식에 의해 잎 표면의 유속에 대한 잎 챔버내와 외부와의 수분 농도차로서 나타내었다. 수분이용효율은 $WUE = A/E$ 의 식에 의해서 CO₂ 동화량을 증산작용 값으로 나누어 나타냈다. 전자생성량의 측정은 암 조건 하에 잎을 30분간 방치한 후 Fluorometer(FIM 1500, ADC Ltd. UK.)를 이용하여 Moffatt *et al.*(1990)의 방법에 준하여 PhotosystemII(PSII) 단계에서의 전자생성량의 변화를 의미하

는 $\Delta F_m/F_m$ 수치로서 나타내었다.

결과 및 고찰

단엽의 CO₂ 동화량은 소립품종들에서는 장엽형인 명주나물콩이 20.44 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 가장 높았고, 대립품종들에서는 환엽형인 무한콩이 20.02 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 가장 높았다(Table 1). 엽형에 따른 입중별 평균 단엽의 CO₂ 동화량은 소립품종에서 장엽형 품종들은 19.66 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 환엽형 품종들의 평균 18.29 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 보다 높았으며, 대립품종에서는 환엽형 품종들이 19.17 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이었고 장엽형은 17.45 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 환엽형 품종들이 장엽형 품종보다 높았다. 또한 증산작용 및 수분 이용효율에서도 CO₂ 동화량과 유사한 결과를 보였는데 소립에서는 장엽형 품종들이, 대립에서는 환엽형 품종들이 약간 높은 경향이었다.

Hiebsch *et al.*(1976)은 장엽형 잎을 가진 isoline의 단위엽면적당 광합성율이 환엽형보다 높았다고 했으나 Haile *et al.*(1998)은 엽형에 따른 차이를 보이지 않았다고 하였는데, 본 연구에서는 단위엽에서의 광합성효율은 입중이 소립인 나물콩에서는 장엽형 품종이, 입중이 대립인 장류콩에서는 환엽형 품종에서 높은 경향이었다.

Fig. 1은 기공전도도와 CO₂ 동화량과의 관계를 나타낸 결과이다. 기공전도도는 0.12~0.13범위에는 대립이면서 장엽형인 품종이 분포하고 있었으며, CO₂ 동화량은 17~18 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 수준으로 낮았다. 기공전도도 0.14~0.15 범위에서는 소립이면서

Table 1. Photosynthesis parameters of individual leaves, as determined from the measurements of CO₂ exchange.

Cultivar	Leaf shape	100-seed wt. (g)	CO ₂ assimilation		Chlorophyll content (SPAD)	Transpiration		Water use efficiency
			$\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$		$\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$	
Eunhakong	Narrow	11.8	18.86	43	4.41	4.28		
Myeongjunamulkong	Narrow	11.0	20.44	40	4.74	4.31		
Pungsannamulkong	Narrow	10.9	19.69	48	4.81	4.09		
Mean		11.2	19.66	43.7	4.65	4.22		
Malikong	Narrow	17.8	17.29	46	4.46	3.88		
Jangyobkong	Narrow	19.3	17.23	45	4.09	4.21		
Saealkong	Narrow	19.7	17.83	41	4.18	4.27		
Mean		18.9	17.45	44.0	4.24	4.12		
Iksannamulkong	Wide	12.1	18.19	40	4.69	3.88		
Kwangankong	Wide	12.0	18.08	44	4.42	4.09		
Hannamkong	Wide	11.5	18.62	43	4.71	3.95		
Mean		11.9	18.29	42.3	4.60	3.97		
Muhankong	Wide	19.8	20.02	46	4.66	4.30		
Samnamkong	Wide	19.3	18.56	43	4.59	4.14		
Sinpaldalkong #2	Wide	21.4	18.95	44	4.46	4.25		
Mean		20.2	19.17	44.3	4.57	4.30		
LSD (0.05)		2.3	1.32	NS [†]	0.30	0.21		

[†]NS means not significant at the 5% level.

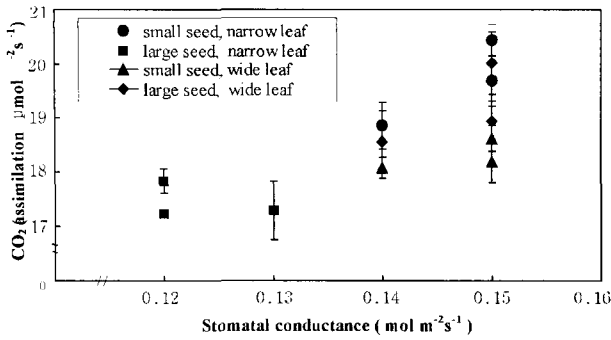


Fig. 1. Relationship between CO₂ assimilation and stomatal conductance as a function of H₂O diffusion on a leaf of soybean cultivars.

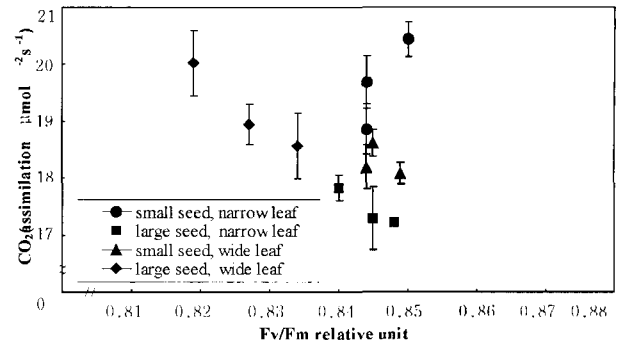


Fig. 2. Relationship between CO₂ assimilation and quantum yield of electron transport in PSII on a leaf of soybean cultivars.

서 장엽형인 품종들이 19~21 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 수준으로 매우 높은 CO₂ 동화량을 나타냈으며, 대립이면서 환엽형인 품종들도 CO₂ 동화량이 18.5~19.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 수준으로 높은 경향이였다. 작물의 기공반응은 작물군락에 입사되는 광도, 잎 수분포텐셜 및 공기중의 수증기 농도차 등의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있는데(Sung *et al.*, 1990), 기공전도도의 증가는 수분 및 CO₂ 확산, 그리고 기공 개도의 증가와 관련이 있기 때문에(Ball *et al.*, 1987) 기공전도도가 높은 품종들은 CO₂의 흡수능력이 높아져서 광합성률이 높은 것으로 생각된다.

Table 2는 광합성 기구의 PSII 단계에서의 전자생성량을 나타낸 것으로 단위엽의 광에 대한 상대적인 효율을 나타낸 결과이다. 광합성에 유리한 적색파장의 광(680 nm)을 조사했을 때 전자가 처음 용기되는 전자생성량(F₀)과 용기 최대점의 전자생성량(F_m) 및 광화학반응의 최대전자생성량(F_v/F_m)을 보여주고 있는데, 대립 환엽형 품종의 경우 여기된 전자의 용기

시작점(F₀) 값이 평균 561.3으로 가장 높은 반면 용기최대점은 3.245로 가장 낮고 전자생성량(F_v/F_m) 역시 0.827로 가장 낮아 광합성에 대한 생리적 활성이 다른 품종들에 비해 낮은 것을 알 수 있다. 반면 소립 환엽형 품종에서는 이와 반대로 용기최대점이 3.381 이상으로 가장 높았으며 전자생성량(F_v/F_m) 역시 0.844 이상으로서 가장 높은 수치를 나타내어 상대적으로 작은 잎을 가진 소립 환엽형 품종들의 광합성 잠재력은 크다고 볼 수 있다. 입종별로 살펴보면 소립 품종에서는 전자생성량의 차이가 없었으나, 대립에서는 장엽형이 0.844로서 환엽형 품종의 0.827 보다 높았다.

Fig. 2는 광합성 PSII단계에서의 CO₂ 동화량과 전자생성량을 나타낸 결과이다. 대체로 대립품종들의 전자생성량이 소립 품종들보다 적었는데 대립품종에서는 환엽형 잎을 가진 품종들의 전자생성량이 0.82~0.83으로 장엽형 잎을 가진 품종들(0.84~0.85)보다 전자생성량은 적은 반면, CO₂ 동화량은 18~20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 높았다.

Table 2. Analysis of variance for fluorescence parameters.

Cultivar	F ₀	F _m	F _v /F _m
Eunhakong	525	3.381	0.844
Myeongjunamulkong	538	3.605	0.850
Pungsannamulkong	556	3.582	0.844
Mean	539.7	3.523	0.846
Malikong	523	3.379	0.845
Jangyeobkong	527	3.472	0.848
Saealkong	557	3.490	0.840
Mean	535.7	3.447	0.844
Iksannamulkong	556	3.566	0.844
Kwangankong	508	3.366	0.849
Hannamkong	493	3.188	0.845
Mean	519.0	3.373	0.846
Muhankong	574	3.179	0.819
Samnamkong	560	3.375	0.834
Sinpaldalkong #2	550	3.182	0.827
Mean	561.3	3.245	0.827

공시품종의 V₅ 시기의 광합성 관련형질들을 살펴보면 Table 3에서와 같다. 주당엽수는 대체적으로 나물콩 품종이 장류콩 품종보다 많았는데 나물콩의 경우 장엽형 품종이 63개로 환엽형(55개)보다 많았다. 주당엽면적은 장엽형 대립품종(5,395 cm²)을 제외하고는 5,940~5,981 cm²로서 큰 차이를 보이지 않았다. 단위엽면적당 CO₂ 흡수량은 나물콩에서는 장엽형 품종이 44.1 ppm으로 환엽형(41.7 ppm)보다 약간 높았고 장류콩에서는 환엽형이 43.3 ppm으로서 장엽형(39.2 ppm)보다 높았다. 주당 CO₂ 흡수량은 주당엽면적이 7,258 cm²로서 가장 컸던 새알콩의 경우 5.9 ppm으로 낮은 반면, 주당엽면적이 4,370 cm²로서 가장 적었던 장엽콩은 70.4 ppm으로 약간 높았다. 또한 소립인 나물콩에서는 장엽형 품종이 68.5 ppm으로 환엽형(46.5 ppm)보다 크게 높았으며 대립인 장류콩에서는 환엽형이 70.1 ppm으로서 장엽형(63.1 ppm)보다 약간 높았다. 주당 수량에 있어서 최고수량은 환엽형인 대립품종들(26.1 g)에서였으며, 다음으로 높은 수량은 장엽형인 소립품종들(23.9 g)에서 나타났다. Sung *et al.*(1990)은 영양생장기에 단위엽면적당 평균광합성능력은 주당 엽면적과는 부의 유의상관을 보

Table 3. Photosynthesis parameters and yield potential of soybean cultivars.

Cultivar	No. of leaf/plant	Leaf area/plant cm ²	CO ₂ uptake/SLA [‡] ppm	CO ₂ uptake/plant ppm	Yield /plant [‡] g
Eunhakong	75a [§]	5,475c	42.3b	62.5c	20.1b
Myeongjunamulkong	56b	6,003c	45.9a	80.4a	21.2b
Pungsannamulkong	57b	6,446b	44.2a	62.5c	30.5a
Mean	63	5,975	44.1	68.5c	23.9
Malikong	50b	4,556d	38.9d	64.1c	24.5b
Jangyeobkong	33c	4,370d	38.6d	70.4b	16.3c
Saealkong	57b	7,258a	40.0c	55.9d	21.9b
Mean	47	5,395	39.2	63.1	20.9
Iksannamulkong	54b	5,248c	40.8c	41.7e	19.5b
Kwangankong	55b	5,964c	41.5bc	50.3d	14.7c
Hannamkong	56b	6,608b	42.8b	47.6e	13.0c
Mean	55	5,940	41.7	46.5	15.7
Muhankong	50b	6,608b	44.9a	52.0d	27.2ab
Samnamkong	47bc	6,700b	42.6b	82.6a	24.3b
Sinpaldalkong #2	37c	4,644d	42.4b	70.5b	26.8ab
Mean	45	5,981	43.3	70.1	26.1

[‡]Specific leaf area (SLA)

[§]Seed yield per plant (g/plant)

[§]Within a column, means not followed by the same letter are significantly different at the 5% level by DMRT.

였다고 하였다. 따라서 단위엽의 크기가 적은 소엽의 품종은 엽 외부 CO₂ 확산저항성이 낮고 CO₂를 흡수 대사 할 수 있는 엽육세포의 표면적 비율이 크며(Sasahara, 1984), 포장군락 상태에서 수광태세면에서 유리하기 때문에 다수성 품종육성은 단위엽의 크기가 비교적 적으면서 주당엽면적을 확보할 수 있는 초형이 유리할 것으로 판단된다.

적 요

콩의 입종에 따른 이상초형(ideal type)의 개발을 위해 광합성효율이 높은 안전 다수성 콩 품종육성의 엽형 모델을 찾고자 엽형 및 입종에 따른 잎기능에 관련된 몇 가지 주요특성 및 CO₂ 이용효율과의 관계를 조사했는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 대두 단위엽의 CO₂ 동화량은 소립품종에서 장엽형 잎을 가진 품종이 19.66 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 환엽형 잎을 가진 품종(18.29 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)보다 높은 경향이였으며, 대립품종에서는 환엽형 잎을 가진 품종이 19.17 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 장엽형품종(17.45 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)보다 높았다.

2. 기공전도도가 0.12~0.13범위에서는 주로 대립, 장엽형 품종이 분포하고 있었으며 CO₂ 동화량은 17~18 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 정도로 낮았고, 0.14~0.15범위에서는 소립, 장엽형 품종들이 분포하였는데 CO₂ 동화량은 19~20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 높았다.

3. CO₂ 동화량에 영향을 미치는 전자생성량은 대립, 환엽형

잎을 가진 품종들이 0.82~0.83으로 가장 적었으나 CO₂ 동화량은 18~20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 높았다.

4. 주당 CO₂ 흡수량은 나물콩에서는 장엽형 품종이 68.5 ppm으로 환엽형(46.5 ppm)보다 크게 높았으며 장류콩에서는 환엽형이 70.1 ppm으로서 장엽형(63.1 ppm) 보다 약간 높았다.

인용문헌

- Ball, J. T., I. E. Woodrow and J. A. Berry. 1987. Progress in photosynthesis research Vol. IV pp. 221-224.
- Dornhoff, G. M. and R. M. Shibles. 1970. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. *Crop Sci.* 10 : 42-451.
- Ford, D. M. and R. Shibles. 1988. Photosynthesis and other traits in relation to chloroplast number during soybean leaf senescence. *Plant Physiol.* 86 : 108-111.
- Haile, F. J., L. G. Higley, J. E. Specht and S. M. Spomer. 1998. Soybean leaf morphology and defoliation tolerance. *Agronomy J.* 90(3) : 353-362.
- Hiesch, C. K., E. T. Kanemasu and C. D. Nickell. 1976. Effects of soybean leaflet type on net carbon dioxide exchange, water use, and water use efficiency. *Can. J. Plant Sci.* 56 : 455-458.
- Lugg, D. G. and T. R. Sinclair. 1980. Seasonal changes in morphology and anatomy of field-grown soybean leaves. *Crop Sci.* 20 : 191-196.
- Mian, M. A. R., R. Wells, T. E. Carter Jr., D. A. Ashley, and H. R. Boerma. 1998. RFLP tagging of QTLs conditioning specific leaf weight and leaf size in soybean. *Theo. and Appl. Gen.* 96 : 354-

- 360.
- Moffatt, J. M., R. G. Sears and G. M. Paulsen. 1990. Wheat high temperature tolerance during reproductive growth. I. Evaluation by chlorophyll fluorescence. *Crop Sci.* 30 : 881-885.
- Sasahara, T. 1984. Varietal variations in leaf anatomy as related to photosynthesis in soybean. *Jap. J. Breed.* 34 : 295-303.
- Shibles, R. J. Secor and D. M. Ford. 1987. Carbon assimilation and metabolism. In JR Wilcox, ed, Soybeans: Improvement production and uses. American Soc. of Agronomy, Madison, WI, pp. 535-588.
- Sung, F. J. M. and J. J. Chen. 1989. Changes in photosynthesis and other chloroplast traits in lanceolate leaflet isolate of soybean. *Plant Physiol.* 90 : 773-777.
- Sung, D. K., D. C. Shin, Y. Son and Y. C. Kim. 1990. Photosynthesis and some characteristics in different stages of soybean cultivars (G. max.). The Research Reports of the RDA Upland and Indus. *Crops, Korea* 32(1) : 32-37.
- Wells, R., L. L. Schulze, D. A. Ashley, H. R. Boerma and R. H. Brown. 1982. Cultivar differences in canopy apparent photosynthesis and their relationship to seed yield in soybeans. *Crop Sci.* 22 : 886-890.
- Yun, J. I. and S. Elwynn Taylor. 1988. Leaf photosynthesis as influenced by mesophyll cell volume and surface area in chamber-grown soybean (Glycine max) leaves. *Kor. J. of Crop Sci.* 33(4) : 353-359.
- Yun, J. I., M. J. Lauer and S. E. Taylor. 1991. Role of mesophyll morphology in determination of leaf photosynthesis in field grown soybean. *Kor. J. Crop Sci.* 36(6) : 560-567.