

엽형에 따른 콩 품종의 광합성 능력과 잎의 해부형태 비교

김영진*† · 이강세** · 천상욱*** · 오영진* · 김경호* · 최재성* · 이문희*

*호남농업시험장, **군산대학교 자연과학대학, ***동신대학교 생물자원산업화지원센터

Photosynthesis and Leaf Anatomical Morphology on Different Leaf Shape of Soybean

Young Jin Kim*†, Kang Sae Lee**, Sang Uk Chon***, Young Jin Oh*, Kyong Ho Kim*, Jae Seong Choi*, and Moon Hee Lee*

*National Honam Agricultural Experiment Station, RDA, Iksan 570-080, Korea

**Dept. of Biology, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

***Biotech. Indust. Center, Dongshin Univ. Naju 520-811, Korea

ABSTRACT : To find ideal leaf types for soybean breeding program, we examined the relationships among leaf anatomical and morphological characteristics and CO₂ assimilation on the different leaflet shape of soybean (*Glycine max*). In anatomical characters of leaf, palisade and spongy cells were thicker in both small seed cultivars with narrow leaflet and large seed cultivars with wide leaflet than others. CO₂ uptake per plant and leaf thickness were significantly associated with seed yield per plant, showing difference among the soybean cultivars. Although the leaf area was lower for narrow leaflet cultivars, which had a significantly higher photosynthetic rate per plant comparable to the wide leaflet cultivars.

Keywords: soybean, photosynthesis, anatomy, leaf thickness, leaf area, palisade cell, spongy cell

콩잎의 형태는 크게 장엽형과 환엽형으로 나눌 수 있는데, Hicks *et al.*(1969)에 따르면 장엽형 잎을 가진 콩 품종은 엽면적이 약 30% 정도 감소하지만 종자 수량에 있어서는 정상적인 환엽형 잎을 가진 품종들과 비슷한 수준이었다고 보고했다. 이는 장엽형 잎을 가진 품종이 근락상태에서 더 많은 광을 받을 수 있어 광합성 효율이 높으며 단위 엽면적당 엽록소 함량이 많기 때문인데, 잎의 면적이 적고 두꺼운 품종은 잎이 크고 얇은 품종보다 엽록소 함량이 많고 광합성 효율이 좋다고 알려져 있다(Shibles *et al.*, 1987). 또한 장엽형 잎을 가진 콩은 단위 엽면적당 엽육세포 내에 더 많은 수의 엽록체를 가지고 있다고 알려져 있는데(Ford & Shibles, 1988), 단위엽면적당 광합성 효율도 높다고 한다(Sung & Chen, 1989). 콩에 있

어서 CO₂ 이용효율은 엽중, 잎 두께, 엽육세포의 부피 및 엽록소 함량과 정의 상관관계를 가지고 있으며(Sung *et al.*, 1990), 단위엽면적은 수량과 높은 상관관계를 나타내는 경우가 많다고 한다(Fehr *et al.*, 1981). Mian *et al.*(1998)은 단위 엽중이 높은 콩을 선발하면 광합성율이 증가하고 수량을 증가시킬 것이라는 가정하에 콩 엽면적과 엽중에 대한 양적형질유전자좌(QTLs) 분석을 실시하였는데, 콩 엽면적과 단위엽중은 일반적으로 부의 상관관계가 있어서 콩 잎이 넓으면 잎의 두께가 얇아지는 경향을 나타낸다고 하였다. 본 연구는 콩의 입중에 따른 이상초형(ideal type)의 개발을 위해 source 형질의 해부형태학적 특성을 해석하여 광합성효율이 높은 안전 다수성 콩 품종육성의 엽형 모델을 찾고자 기존의 품종들을 대상으로 잎의 형태적, 해부학적 특성 및 CO₂ 이용효율과의 관계를 조사했다.

재료 및 방법

재료는 엽형에 따른 입중별 콩 12품종(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 1분엽기에 품종당 생육이 고른 건전주 2주씩만 남기고 솟아내었다. 시험구배치는 완전임의배치법으로 품종별 5반 복하였으며 시비는 N-P₂O₅-K₂O를 4-7-6 kg/10a 수준으로 전량기비하였다. 잎의 단위별 광합성능은 V₅시기에 완전 전개된 중위엽을 대상으로 적외선개스분석기(Infra-red gas analyzer, LCA-4, ADC Ltd., UK.)로 오전 10:00~11:00 사이에 광도(PPFD)가 광포화상태를 유지하는 1,500 μmolm⁻²s⁻¹ 이상일 때 5반복 측정하였다. 잎의 해부학적 특성을 조사하기 위하여 각 공시재료의 동일 생육과정중의 동일부위(주경절 12마디) 잎

†Corresponding author. (Phone) +82-63-840-2237 (E-mail) kbs@yjikim@rda.go.kr <Received March 29, 2003>

을 5주에서 각각 1개씩 채취하여 Digital Microtome Cryostat (Cryocut 1,800, Leica Co. Germany)을 사용하여 -25°C 냉동 상태에서 잎 단면을 10µm 두께로 자른 다음 광학현미경하에서 엽육조직은 100배로, 유관속은 200배로 관찰하였다. 잎 두께는 엽맥을 제외한 부분을 측정하였으며, 해부학적특성조사는 엽육조직의 위, 아래층 책상세포의 두께 및 해면세포층의 두께를 측정하였고 중늑의 유관속 세로직경을 측정하였다.

결과 및 고찰

Hiebsch *et al.*(1976)과 Sung & Chen(1989)은 장엽형 잎을 가진 isoline의 단위엽면적당 광합성율이 환엽형보다 높았다고 했으며 Haile *et al.*(1998)은 엽형에 따른 차이를 보이지 않았다고 하였는데, 본 연구에서는 단위엽에서의 광합성효율은 입증이 소립인 나물콩에서는 장엽형 품종이, 입증이 대립인 장류콩에서는 환엽형 품종에서 높은 경향임을 알 수 있었다(Table 1).

엽신의 두께는 대립, 환엽형 품종들이 227.7 µm로서 가장 두꺼웠고 소립에서는 장엽형품종(199 µm)들이 환엽형보다 두꺼웠다. 단위엽의 엽면적은 대립 환엽형 품종들이 평균 133 cm²로서 가장 넓었으며 다음으로는 대립 장엽형 품종들이 116 cm²였고, 소립 품종들은 풍산나물콩(113 cm²)과 한남콩(118 cm²)을 제외하고는 대체로 엽면적이 적은 소엽을 지니고 있었는데(Table 1), Haile *et al.*(1998)의 Clark 품종에 대한

isoline 들의 비교에서도 환엽형 line들이 장엽형 잎을 가진 개체들보다 엽면적이 크다고 하였다. Shibles *et al.*(1987)은 잎이 소엽이면서 두꺼운 품종들이 얇고 큰 잎을 가진 품종들보다 더 많은 엽록체를 가지고 있어서 엽면적당 광합성효율이 좋다고 하였으며, Wells *et al.*(1982)은 잎의 형태적 변이로 인해 균라광합성이 서로 달라져서 수량도 차이를 보였다고 하였다. 잎의 해부학적 특성으로는 엽육조직내의 책상세포의 상부 및 하부층의 두께는 엽신의 두께와 유사한 경향을 보였으나 품종간에 큰 차이는 보이지 않았고, 잎 중늑 유관속의 두께에서는 대립 장엽형 품종들이 두껍고 소립 환엽형 품종들이 얇은 경향이였다.

잎 형태 변이는 광합성의 차이를 초래하여 수량에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데(Well *et al.*, 1982), 엽육조직의 관찰결과 책상조직 및 해면세포의 배열에 있어서 소립품종에서는 장엽형 품종이, 대립품종에서는 환엽형 품종이 세포간극이 좁고 치밀하게 배열되어 있었고, 책상세포의 폭이 넓은 경향이였다(Fig. 1). 단위엽면적당 엽육세포의 표면적은 광합성과 상관관계를 가지고 있으며 잎 두께의 차이는 상부 책상조직의 층과 가장 밀접한 관계를 가지고 있는데(Dornhoff & Shibles, 1976), Mian *et al.*(1998)은 콩잎이 넓으면 잎의 두께가 얇아지는 경향을 보인다고 하였다. Lugg & Sinclair (1980)는 잎의 두께가 책상조직과 해면조직의 크기와 밀접한 관계가 있다고 보고했다. 엽육세포내의 엽록소 함량은 장엽형 품종의 잎이 환엽형 품종보다 더 많았으며(Fig. 1), 엽록소 함

Table 1. Leaf morphological and anatomical characters based on individual leaves among cultivars.

Cultivar	CO ₂ assimilation	CU [†]	Leaf thickness	Leaf area	TPU [‡]	TPL	TVT
	µmolm ⁻² s ⁻¹	ppm	µm	cm ²	µm	µm	µm
Eunhakong	18.86	62.5	188	73	59	53	168
Myeongjunamulkong	20.44	80.4	183	107	58	51	167
Pungsannamulkong	19.69	62.5	226	113	62	53	174
Mean	19.66	68.5	199.0	97.7	59.7	52.3	169.7
Malikong	17.29	64.1	219	91	63	58	209
Jangyeobkong	17.23	70.4	211	132	61	48	184
Saealkong	17.83	55.9	203	127	50	57	179
Mean	17.45	63.1	211.0	116.7	58.0	54.3	190.7
Iksannamulkong	18.19	41.7	182	97	59	52	149
Kwangankong	18.08	50.3	211	108	62	54	170
Hannamkong	18.62	47.6	174	118	51	41	152
Mean	18.29	46.5	189.0	107.66	57.3	49.0157.0	
Muhankong	20.02	52.0	233	132	65	59	191
Samnamkong	18.56	82.6	226	143	59	52	188
Sinpaldalkong 2	18.95	70.5	224	125	60	50	177
Mean	19.17	70.1	227.7	133.3	61.3	53.7	185.3
LSD (0.05) [§]	1.32	4.2	9.6	6.8	3.9	3.3	24.7

[†]CUP: CO₂ uptake per plant, [‡]TPU: thickness of palisade parenchyma (upper layer); TPL: thickness of palisade parenchyma (lower layer); TVT: thickness of vascular bundle tissue. [§]LSD values for comparing two means within a column.

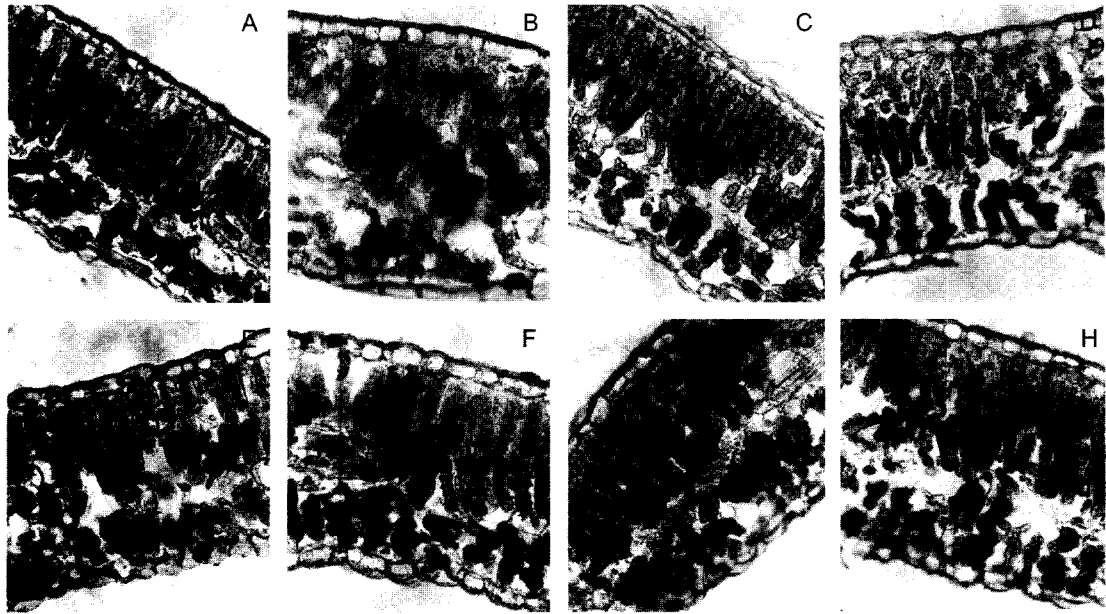


Fig. 1. Cross-section of soybean leaves at node 12 after full expansion ($\times 100$). Narrow leaflet : A-Myeongjunamulkong, B-Pungsannamulkong, C-Jangyeobkong, D-Saekalkong; Wide-leaflet: E-Hannamkong, F-Kwangankong, G-Samnamkong, H-Muhankong.

량은 광합성과 밀접한 관계에 있다고 하였다(Ford & Shibles, 1988; Sung & Chen, 1989).

Yun & Taylor(1988)는 광도를 달리 처리하여 콩잎의 두께를 변화시킨 후 광합성과의 관계를 검토한 결과, 엽육세포의 표면적과 체적은 잎의 두께 및 그에 따른 광합성 능력의 예측에 적절한 변수로 간주된다고 하였다. 본 연구에서도 나물콩의 경우 잎의 두께가 두꺼운 장엽형 품종들이 환엽형보다 엽육세포가 크고, 특히 책상조직의 배열이 치밀하게 배열되어 있음을 관찰할 수 있었으며(Fig. 1), 광합성능에 있어서도 높은 결과를 보여주고 있었다. 일반적으로 광합성 기구의 최소단위인 엽육세포의 단위체적이 단위 엽면적보다 광합성능을 높이는데 더 크게 좌우하고, 엽육세포층의 증가는 일차적으로 생육시기별 잎 두께의 변화에 영향을 끼쳐서 광합성을 증대시키는 것으로 알려져 있다(Lugg & Sinclair, 1980). Yun *et al.*(1991)은 콩잎의 광합성 능력과 잎의 내부형태 변이와의 관

련성을 검토하기 위해 엽육세포의 체적 및 표면적을 측정하여 광합성 추정모형을 만들었는데, 환엽형잎의 엽면적이 장엽형보다 컸지만 근락전체가 받아들이는 수광태세에서는 장엽형잎을 가진 개체가 양호하였고(Haile *et al.*, 1998) 곤충 등의 가해로 인하여 잎이 탈락되었을 때의 수량에 있어서도 장엽형개체가 양호하다고 하였다. 잎의 형태적 변이에 관여하는 유전자는 단일유전자가 관여하는 것으로 알려져 있기 때문에(Wells *et al.*, 1982) 육종상 매우 쉽게 원하는 유형의 잎 모양을 만들어 갈 수 있다.

잎 중늑의 유관속을 관찰한 결과 만리콩의 유관속 두께가 209 μm 로서 가장 두꺼웠으며 익산나물콩이 149 μm 으로 가장 작은 유관속을 지니고 있었다(Fig. 2). 유관속 내부 세포의 치밀도는 삼남콩과 무한콩에서 높았으며 이들의 수분이용효율 역시 높은 경향이였다.

단위엽면적당 CO_2 흡수량(CA), 주당 CO_2 흡수량(CUP), 잎

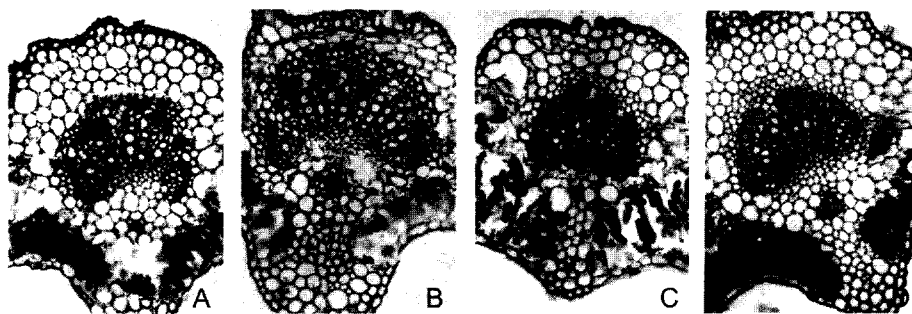


Fig. 2. Cross-section of midrib in soybean leaves at node 12 after full expansion ($\times 200$). Narrow-leaflet : A-Myeongjunamulkong, B-Malikong; Wide-leaflet : C-Iksannamulkong, D-Samnamkong.

Table 2. Correlation coefficients among some characters at V₅ stage in soybean cultivars.

Characters	CO ₂ assimilation (CA)	CU [†]	Leaf thickness (LT)	Leaf area (LA)	Chlorophyll content (CC)	TPU [‡]	Yield
CA		0.538*	0.621**	-0.557*	0.512	0.655**	0.531*
CUP			0.466	-0.106	0.435	0.513	0.624**
LT				-0.511	0.659**	0.642**	0.597**
LA					-0.216	-0.358	0.336
CC						0.529*	0.321
TPU							0.542*
Yield							

*, ** : Significance at 5 and 1% level, respectively.

[†]CUP: CO₂ uptake per plant, [‡]TPU: thickness of palisade parenchyma (upper layer).

의 두께(LT) 및 책상세포의 두께(TPU)는 종실수량과 정의 상관관이 인정되었으며 단위엽의 엽면적과는 부의 상관을 보였다 (Table 2). 단위엽의 크기가 작은 소엽의 품종은 엽육세포의 표면적 비율이 크며(Sasahara, 1984), 포장군락상태에서 수광태세면에서 유리하기 때문에 다수성 품종육성은 단위엽의 크기가 비교적 적으면서 주당엽면적을 확보할 수 있는 초형이 유리할 것으로 판단된다.

이 같은 결과를 토대로 콩 입중에 따른 품종의 육종전략을 세울 때, 엽형은 포장조건에서 직접적인 선발지표 내지는 교배조합 수립시 광합성 관련인자 집적을 위한 기술로서 이용될 수 있을 것이다.

적 요

콩의 입중에 따른 다수성 콩 품종육성의 엽형 모델을 찾고자 기존의 품종들을 대상으로 잎의 형태 및 해부학적 특성과의 관계를 조사했는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 엽신의 두께는 소립형 품종보다는 대립형 품종이 두꺼웠으며, 단위엽의 엽면적에서도 대립형 품종들이 큰 경향이였다.
2. 엽육조직의 관찰결과 소립 장엽형 품종과 대립 환엽형품종의 책상세포 및 해면세포가 두껍고 치밀하게 배열되어 있었다.
3. 단위엽면적당 CO₂ 흡수량, 주당 CO₂ 흡수량, 엽신 및 책상세포의 두께는 종실수량과 정의 상관관이 인정되었으며, 단위엽의 엽면적과는 부의 상관을 보였다.
4. 따라서 품종간의 특성은 잎 기능의 차이로서 인정할 수 있었으며 특히 CO₂ 동화량 및 엽육조직의 두께와 엽육세포의 치밀함 등은 품종간 특성차이를 나타내는데 크게 기여하였다.

인용문헌

Dornhoff, G. M. and R. M. Shibles. 1976. Leaf morphology and anatomy in relation to CO₂-exchange rate of soybean leaves. *Crop Sci.* 16 : 377-381.
 Fehr, W. R., B. K. Lawrence, and T. A. Thompson. 1981. Critical

stages of development for defoliation of soybean. *Crop Sci.* 21 : 257-261.
 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. *Agron. J.* 90(3) : 353-362.
 Hicks, D. R., J. W. Pendleton, R. L. Bernard, and T. J. Johnston. 1969. Response of soybean plant types to planting patterns. *Agron. J.* 16 : 290-293.
 Hiebisch, 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.
 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. Amer. Soc. of Agron., Madison, WI, pp. 535-588.
 Sung, F. J. M. and J. J. Chen. 1989. Changes in photosynthesis and other chloroplast traits in lanceolate leaflet isoline 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. E. 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.