

콩 품종 교호재배가 광합성능력 및 수량에 미치는 영향

김익제*[†] · 손석용** · 유인모* · 이기열* · 윤태* · 이철희* · 박성규*

*충청북도 농업기술원, **충북대학교 농업생명환경대학

Effects of Alternative Planting of Cultivars on Photosynthetic Ability and Yield in Soybean

Ik Je Kim*[†], Seok Yong Son**, In Mo Ryu*, Ki Yeol Lee*, Tae Yun*, Cheol Hee Lee*, and Seong Kyu Park*

*Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, Cheongwon 363-880, Korea

**College of Agriculture, Chungbuk National University, Cheongju 361-736, Korea

ABSTRACT : The purpose of this study was to determine proper method for alternative row culture of two varieties to increase seed yield in soybean. The test varieties "Hwangkeumkong" and "Taekwangkong" which were planted monoculture of each variety, seeding after mixing same number of seeds of two varieties, 1-row alternation, 2-row alternation, 2-row "Hwangkeumkong" and 1-row "Taekwangkong" and 1-row "Hwangkeumkong" and 2-row "Taekwangkong". Alternative planting of 1-row "Hwangkeumkong" and 1-row "Taekwangkong" resulted the highest canopy height and reduced lodging most effectively. The terminal and the 9th leaves of "Taekwangkong" in alternative variety planting showed the higher photosynthetic ability than pure stand of that. Alternative planting of two varieties in every other row increased yield by 17% in "Hwangkeumkong" and by 8% in "Taekwangkong".

Keywords: soybean, lodging, photosynthetic ability, yield

콩의 수량을 증가시키기 위해서는 다수성 품종의 육성과 재배기술의 개선이 필요하다.

그러나 품종 육성에는 시간이 많이 소요되므로, 생리적 특성을 구명하여 재배방법을 개선하는 것이 당면한 콩의 자급을 향상에 크게 도움이 될 것이다.

콩의 근락구조를 개선하여 광합성효율을 높이는 것도 이를 위한 방법 중에 하나일 것이다. 콩의 근락은 엽이 상층에 밀집되는데 밀식할수록 그 정도가 커져 투광율이 낮아지는 것이 문제이다(Sakamoto & Shaw, 1967; Shaw & Weber, 1967). 대체로 다수성 품종은 근락의 하부까지 광이 투과한다(Nippon Ministry of Agriculture and Fishery, 1988). 따라서 초관 높이가 다른 품종을 교호재배하면 하부로의 투광율이 높아지고, 상부의 광흡수면적의 증대도 기대할 수 있을 것이다. 이와 더

불어 두 품종의 특성이 각각 도복 저항성인 품종과 수량이 많지만 도복이 잘되는 품종을 교호로 재배하면 도복을 경감시키고, 수량을 증대시킬 수도 있을 것이다.

일반적으로 특성이 다른 작물의 교호재배에 관한 보고는 많이 있다. 옥수수과 콩의 교호재배는 단작에 비하여 엽면적지수가 2~8% 높아지고, 토지이용효율이 건물생산량에서 7~12%, 종실수량에서 17~20% 증가된다(Hongfei & Egli, 1993). 그러나 동일 작물의 교호재배에 관한 연구는 별로 없다.

본 연구는 두 품종의 교호재배에 따른 광합성능력의 증진과 도복저항성 품종에 의한 도복경감 그리고 이 두 가지 생육조건을 통한 수량증대를 목표로 수행되었다.

재료 및 방법

본 시험은 충청북도 농업기술원 전작포장에서 시험재료를 도복이 잘되는 황금콩과, 도복에 저항성이고 성숙기가 늦은 태광콩으로(Kim *et al.*, 1992) 하여 수행하였다. 처리는 각 품종의 단일재배, 황금콩과 태광콩을 같은 개체수 비율로 혼작, 황금콩 1열+태광콩 1열, 황금콩 2열+태광콩 2열, 황금콩 2열+태광콩 1열 및 황금콩 1열+태광콩 2열을 교호로 재배하였다.

5월 22일에 휴폭 60 cm × 주간거리 15 cm로 하여 1주당 3~4립을 피종하고, 본엽 1매가 전개되었을 때 1주당 2개체만 남기고 솟아 주었다. 검정시비량은 N-P₂O₅-K₂O=25-158-18 kg/ha로 하였다. 시험구 크기는 36 m²(휴장 6 m에 10열)이었고, 난괴법 3반복으로 배치하였다.

엽의 광합성 능력은 Potable photosynthesis system(LI-6400)으로 측정하였다. 측정 시기는 정엽은 8월 12일~14일과 8월 27일~29일에, 제 9분엽은 7월 27일~29일, 8월 12일~14일 및 8월 27일~29일이었다. 측정 광도는 정엽은 1,000 μmol m⁻² s⁻¹, 제 9분엽은 300 μmol m⁻² s⁻¹로 하였다. 기타 조사는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준(1995)에 의하여 실시하였다.

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-219-2610 (E-mail) : kimij@cbares.net

<Received July 12, 2005>

결과 및 고찰

초관 높이의 경시적 변화 및 도복

초관 높이는 6월 30일에 단일재배에서 황금콩이 70 cm로 태광콩 59 cm에 비하여 11 cm 높았다. 교호재배에서 황금콩은 황금콩 1열+태광콩 2열에서, 그리고 태광콩에서도 황금콩 1열+태광콩 2열에서 초관 높이가 가장 높았다(Table 1).

7월 30일에 초관높이는 단일재배에서 황금콩이 76 cm로 태광콩 80 cm에 비하여 4 cm 낮았다. 황금콩은 혼작에서 가장 낮았고, 태광콩에서도 같은 경향이었다.

8월 30일에도 단일재배에서 황금콩이 84 cm로 태광콩 94 cm에 비하여 10 cm 낮아서 7월 30일의 차이보다 더 컸다. 혼작에서 두 품종의 초관높이가 가장 낮았다.

시기에 따른 평균간 비교에서 6월 30일에 황금콩 70 cm와 태광콩 61 cm에 비하여 7월 30일에는 황금콩 76 cm, 태광콩 81 cm로 각각 6 cm, 20 cm 높아졌다. 8월 30일에도 황금콩 81 cm, 태광콩 93 cm로 각각 5 cm, 12 cm 높아졌다.

이상의 결과로 보아 7월 30일 이후에 혼작에서 도복에 의하여 초관의 높이가 낮았고, 8월 30일에는 혼작에서 두 품종의 초관 높이 차이는 20 cm로 가장 컸으나, 황금콩의 도복이 심했기 때문에 광흡수 증대에는 효과적이지 않았을 것이라고 생각되었다. 7월 30일 이후에는 황금콩이 태광콩에 비하여 초관의 높이가 낮아서 광흡수가 불리했을 것이라고 판단되었다. 도복지수 1 이하인 황금콩 1열+태광콩 1열과 황금콩 1열+태광콩 2열의 초관의 높이 차이는 각각 8 cm, 9cm로 단일재배의 10 cm 차이에 비하여 1~2 cm 적었는데 태광콩의 높은 초관의 영향으로 황금콩의 초관이 높아진 결과라고 판단되어 경합에 의하여 경장이 길어진다는 보고(Hinson & Hanson, 1962)와 유사하였다.

도복은 단일재배에서 황금콩이 태광콩에 비하여 도복지수가 높았다. 혼작에서 도복발생이 가장 많았고, 황금콩 1열+태광

콩 1열과 황금콩 1열+태광콩 2열에서 황금콩 열의 도복지수가 태광콩 단일재배와 같이 1이었다.

이상의 결과로 보아 태광콩 열의 지지작용으로 황금콩 1열+태광콩 1열과 황금콩 1열+태광콩 2열에서 황금콩 열의 도복 경감 효과가 있었던 것으로 판단되었다.

광합성능력의 경시적 변화

정엽의 광합성능력은 8월 12일~14일에 단일재배에서는 황금콩이 $25.4 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 태광콩의 $21.7 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 비하여 $3.7 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 높았다. 교호재배에서 황금콩은 황금콩 1열+태광콩 2열이 $22.2 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 가장 낮았고, 태광콩에서는 황금콩 2열+태광콩 1열이 $21.8 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 가장 높았다(Table 2).

8월 27일~29일에 단일재배의 광합성능력은 황금콩이 $18.8 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 태광콩이 $20.1 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 비하여 $1.3 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 낮았다. 혼작에서 황금콩은 $15.4 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 태광콩에서는 $19.8 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 가장 낮았다.

시기에 따른 평균간 비교에서 황금콩은 8월 12일~14일에 $23.4 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 8월 27일~29일에 $17.3 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 26% 감소하였다. 태광콩은 8월 12일~14일에 $21.6 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 8월 27일~29일에 $20.0 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 7% 감소하였다.

이상의 결과에서 조사 시기가 늦어짐에 따라 광합성능력은 감소하여 군락의 최고 광합성능력은 생식생장초기에 도달하며, 생식생장후기로 감에 따라 감소한다는 보고(Sakamoto & Shaw, 1967)와 유사하였다. 또한 두 품종의 광합성능력의 감소정도가 차이가 있어서 생식생장기에 광합성능력은 콩의 품종에 따라 틀리다는 보고(Ashley & Boerma, 1989; Egli *et al.*, 1984; Hesketh *et al.*, 1981; Hicks *et al.*, 1969; Jeffers & Shibles, 1969; Larson *et al.*, 1981; Schulze, 1978)와 유사하였다. 8월 27일~29일에 두 품종의 혼작에서 광합성능력의

Table 1. Temporal change of plant canopy height and lodging as affected by alternative planting of two varieties.

Treatment	Canopy height						Lodging (0~9)	
	30 June ¹		30 July		30 August		H	T
	H	T	H	T	H	T		
	cm							
Hwangkeumkong(H)	70	-	76	-	84	-	3	-
H 1+T 1 blending	71	62	65	75	61	81	5	3
H 1+T 1 rows	70	60	79	84	88	96	1	1
H 2+T 2 rows	69	62	78	83	87	94	3	1
H 2+T 1 rows	70	60	79	82	86	95	3	1
H 1+T 2 rows	72	63	77	84	85	96	1	1
Taekwangkong(T)	-	59	-	80	-	94	-	1
Mean	70	61	76	81	81	93	-	-

¹ Measuring date

Table 2. Temporal change of photosynthetic ability of terminal leaf as affected by alternative planting of two varieties.

Treatment	Measuring date			
	12~14 August		27~29 August	
	H	T	H	T
	----- $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ -----			
Hwangkeumkong(H)	25.4	-	18.8	-
H 1+T 1 blending	22.4	21.4	15.4	19.8
H 1+T 1 rows	23.5	21.6	17.6	20.0
H 2+T 2 rows	23.5	21.7	17.5	19.9
H 2+T 1 rows	23.6	21.8	17.6	20.0
H 1+T 2 rows	22.2	21.6	16.8	20.1
Taekwangkong(T)	-	21.7	-	20.1
Mean	23.4	21.6	17.3	20.0

CO₂ concentration : 390 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, Light intensity : 1,000 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$

저하는 도복이 심했기 때문으로 판단되었다.

제 9본엽의 광합성 능력은 7월 27일~29일에 단일재배에서는 황금콩이 7.5 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 태광콩의 7.0 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 비하여 0.5 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 높았다. 황금콩은 혼작에서 8.1 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 가장 높았고, 태광콩에서는 7.1~7.2 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 모든 처리에서 비슷하였다(Table 3).

8월 12일~14일에 단일재배에서는 황금콩이 6.0 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 태광콩의 6.7 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 비하여 0.7 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 낮았다. 교호재배에서 황금콩은 6.0~6.1 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 비슷하였고, 태광콩은 교호재배가 6.8 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 혼작 6.5 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 비하여 0.3 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 높았다.

8월 27일~29일에 단일재배의 광합성능력은 황금콩이 3.5 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 태광콩 4.7 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 비하여 1.2 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 낮았고, 교호재배가 5.0 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 단일재배 및 혼작에 비하여 0.3 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 높았다.

이상의 결과로 보아 7월 27일~29일 조사에서 혼작의 광합성능력이 높았던 것은 도복으로 인하여 제 9본엽의 광합수가 유리하도록 노출되었기 때문으로 판단되었다. 모든 조사시기에서 교호재배의 태광콩 열은 황금콩 열에 비하여 초관이 높아 단일재배와 혼작에 비하여 수광에 유리하였다고 판단되었다.

수 량

개체당 주경 상반부의 종실중은 단일재배에서 황금콩은 2.59 g으로 태광콩 2.55 g에 비하여 0.04 g 무거웠다(Table 4). 황금콩은 혼작에서 가장 가벼웠고, 교호재배가 단일재배에 비하여 0.20~0.89 g 무거웠다. 태광콩도 혼작에서 가장 가벼웠고, 교호재배가 단일재배에 비하여 0.56~1.34 g 무거웠다. m^2 당 주경 상반부의 종실중은 황금콩 1열+태광콩 1열이 가장 무거

Table 3. Temporal changes of photosynthetic ability of the 9th leaf as affected by alternative planting of two varieties.

Treatment	Measuring date					
	27~29 July		12~14 August		27~29 August	
	H	T	H	T	H	T
	----- $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ -----					
Hwangkeumkong(H)	7.5	-	6.0	-	3.5	-
H 1+T 1 blending	8.1	7.1	6.1	6.5	3.5	4.7
H 1+T 1 rows	7.9	7.2	6.0	6.8	3.6	5.0
H 2+T 2 rows	7.9	7.2	6.0	6.8	3.6	5.0
H 2+T 1 rows	7.9	7.2	6.1	6.8	3.6	5.0
H 1+T 2 rows	7.8	7.1	6.1	6.8	3.5	5.0
Taekwangkong(T)	-	7.0	-	6.7	-	4.7
Mean	7.9	7.1	6.1	6.7	3.6	4.9

CO₂ concentration : 390 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, Light intensity : 1,000 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$

웠고, 혼작에서 가장 가벼웠다.

개체당 주경 하반부의 종실중은 단일재배에서 황금콩은 1.03 g으로 태광콩 1.04 g에 비하여 0.01 g 가벼웠다. 교호재배에서 황금콩은 황금콩 1열+태광콩 1열이 가장 무거웠고, 태광콩은 단일재배에 비하여 0.21~0.59 g 가벼웠다. m^2 당 주경 상반부의 종실중은 태광콩 단일재배가 가장 무거웠고, 혼작에서 가장 가벼웠다.

개체당 분지의 종실중은 단일재배에서 황금콩은 5.93 g으로 태광콩 6.77 g에 비하여 0.84 g 가벼웠다. 황금콩은 혼작에서 가장 무거웠고, 교호재배는 단일재배에 비하여 0.77~1.11 g 가벼웠다. 태광콩은 황금콩 2열+태광콩 1열이 가장 무거웠다. m^2 당 분지의 종실중은 혼작에서 가장 무거웠고, 황금콩 단일재배가 가장 가벼웠다.

개체의 종실중은 단일재배에서 황금콩은 9.54 g으로 태광콩 10.37 g에 비하여 0.83 g 가벼웠다. 교호재배에서 황금콩은 단일재배에 비하여 0.12~0.82 g 가벼웠다. 태광콩은 혼작에서 가장 가벼웠고, 교호재배가 단일재배에 비하여 1.44~2.92 g 무거웠다. 10 a 당 수량은 황금콩 1열+태광콩 1열이 248 kg으로 가장 많았다.

부위별 종실중의 비율은 주경 상반부에서는 혼작이 12.8%로 가장 낮았고, 교호재배가 29.0~33.8%로 단일재배 24.4~26.9%에 비하여 높았다. 주경 하반부에서는 혼작이 7.2%로 가장 낮았고, 교호재배가 단일재배에 비하여 낮았다. 분지에서는 혼작이 80.8%로 가장 높았다.

이상의 결과로 보아 교호재배에서 황금콩 열의 종실중 감소는 R1~R7 사이에 30% 차광이 분지의 종실중을 28% 감소시킨다는 보고(Board *et al.*, 1995)와 유사하였다. 또한 R1~R7 사이에 63% 차광으로 수량이 44% 감소한다고 한 보고(Egli, 1988)와도 유사한 결과였다. 황금콩 1열+태광콩 1열이 태광콩

Table 4. Seed weight on the three parts of soybean plant as affected by alternative planting of two varieties.

Treatment	Seed weight on upper half part of main stem				Seed weight on lower half part of main stem				Seed weight on branches				Seed weight		Yield
	g per plant		g per m ²		g per plant		g per m ²		g per plant		g per m ²		g per plant		kg/10a
	H	T	Total	Ratio	H	T	Total	Ratio	H	T	Total	Ratio	H	T	Total
Hwangkeumkong(H)	2.59	-	57.0 c ¹	26.9	1.03	-	22.8 a	11.0	5.93	-	131.7 d	62.2	9.54	-	212 bc
H 1+T 1 blending	1.41	0.96	26.4 d	12.8	0.89	0.45	14.9 b	7.2	6.86	8.12	166.2 a	80.8	9.15	9.38	206 c
H 1+T 1 rows	3.26	3.66	76.8 a	31.0	0.96	0.75	19.1 ab	7.7	5.04	8.57	151.1 b	61.0	9.26	13.07	248 a
H 2+T 2 rows	3.02	3.11	68.0 b	29.8	0.90	0.80	18.9 ab	8.3	4.82	7.89	142.0 c	62.3	8.73	11.81	228 abc
H 2+T 1 rows	3.48	3.89	80.3 a	33.8	0.77	0.80	17.3 b	7.3	5.16	8.60	140.0 c	58.8	9.42	13.29	238 a
H 1+T 2 rows	2.79	3.30	69.6 b	29.0	0.87	0.83	18.8 ab	7.8	5.07	7.71	151.7 b	63.2	8.72	11.85	240 a
Taekwangkong(T)	-	2.55	56.1 c	24.4	-	1.04	23.0 a	10.0	-	6.77	150.4 b	65.3	-	10.37	230 ab
Mean	2.76	2.91	62.0	27.0	0.90	0.78	19.2	8.4	5.48	7.94	147.6	64.5	9.14	11.63	229

¹ Means in a column not followed by the same letter are significantly different at $p \leq 0.05$ based on Duncan's multiple range test

의 광합성능력 향상에 의해 황금콩 단일재배에 비하여 17%, 태광콩 단일재배에 비하여 8% 증수되어 가장 효과적인 품종 교호재배 방법이었다.

적 요

초관높이와 도복저항성 차이가 있는 콩 두 품종의 교호재배가 광합성능력과 수량에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같았다.

1. 초관의 높이는 황금콩 1열+태광콩 1열에서 가장 높았으며, 도복은 황금콩 1열+태광콩 1열 및 황금콩 1열+태광콩 2열에서 경감 효과가 가장 컸다.

2. 교호재배에서 정엽 및 제 9본엽의 광합성능력은 태광콩 열이 단일재배에 비하여 높았으며, 황금콩 정엽의 광합성능력은 낮았다.

3. 수량은 황금콩 1열+태광콩 1열이 황금콩 단일재배에 비하여 17%, 태광콩 단일재배에 비하여는 8% 증수되었다.

인용문헌

Ashley, D. A. and H. R. Boerma. 1989. Canopy photosynthesis and its association with seed yield in advanced generations of a soybean cross. *Crop Sci.* 29 : 1042-1045.
 Board, J. E., A. T. Wier, and D. J. Boethel. 1995. Source strength influence on soybean yield formation during early and late reproduction development. *Crop Sci.* 35 : 1104-1110.
 Egli, D. B., J. H. Orf, and T. W. Pfeiffer. 1984. Genotypic variation for duration of seed-fill in soybean. *Crop Sci.* 24 : 587-592.

Egli, D. B. 1988. Alterations in plant growth and dry matter distribution in soybean. *Agron. J.* 80 : 86-90.
 Hesketh, J. D., W. L. Ogren, M. E. Hageman, and D. B. Peters. 1981. Correlations among leaf CO₂ exchange rates, areas and enzyme activities among soybean cultivars. *Photosynth. Res.* 2 : 21-30.
 Hicks, D. R., J. W. Pendleton, R. L. Bernard, and T. J. Jonston. 1969. Response of soybean plant type to planting patterns. *Agron. J.* 61 : 290-293.
 Hinson, K. and W. D. Hanson. 1962. Competition studies in soybeans. *Crop Sci.* 2 : 117-123.
 Hongfei, J. and D. B. Egli. 1993. Shading induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. *Agron. J.* 85 : 221-225.
 Jeffers, D. L. and R. M. Shibles. 1969. Some effects of leaf area, solar radiation, air temperature and variety on net photosynthesis in field grown soybeans. *Crop Sci.* 9 : 762-764.
 Kim, S. D., J. Ishizuka, Y. H. Lee, Y. H. Hwang, Y. H. Moon, H. S. Kim, E. H. Park, Y. G. Seong, Y. H. Kim, and W. H. Kim. 1992. Resistant to disease, good in seed quality, high yielding and widely adapted new soybean variety "Taekwangkong". *Res. Rept., RDA(U&I)* 34(2) : 11-15.
 Larson, E. M., J. D. Hesketh, J. T. Woolley, and D. B. Peters. 1981. Seasonal variation in apparent photosynthesis among plant stands of different soybean cultivars. *Photosynth. Res.* 2 : 3-20.
 Nippon Ministry of Agriculture and Fishery. 1988. Achievement of 30 years in soybean breeding. Naganoken Agricultural Experiment Station, MOAF. 54-427.
 Sakamoto, C. M. and R. H. Shaw. 1967. Apparent photosynthesis in field soybean communities. *Agron. J.* 59 : 73-75.
 Schulze, L. L. 1978. Canopy apparent photosynthesis of determinate soybean cultivars. Ph.D. diss. Univ. of Georgia, Athens (Diss. Abstr. 39-309).
 Shaw, R. H. and C. R. Weber. 1967. Effect of canopy arrangements on light interception and yield of soybeans. *Agron. J.* 59 : 7-9.