大豆の子実生産に関する研究

第8報 F_2 において光合成能力を異にした
 F_3 系統の光合成能力の比較*

小 島 睦 男**・川 嶋 良 一***

(**農林省農業技術研究所・***青森県農業試験場)

大豆品種の単位葉面積当り光合成能力の向上を育種によつて実現するためには、光合成能力の遺伝的特性を明らかにするとともに、簡便な選抜方法の確立がのぞまれる。著者らは前報⁵⁾において、大豆の光合成率にはヘテロシスが認められず、低い光合成能力が不完全優性であり、かつ、量的遺伝をすることを明らかにした。最近、他の作物でも光合成能力の遺伝について調査されつつあり^{2,7)}、大豆では高い光合成能力をもつ品種の探索が積極的に行なわれるようになってきた^{1,3)}。しかし、高い光合成能力をもつ母本から、はたして高い光合成能力をもつものが出現するかどうかは、著者らが間接的に明らかにしただけ⁴⁾、直接実験的に明らかにした報告は見当らない。本報では、 F_2 で光合成能力を異にした F_3 系統の光合成能力を調査し、光合成能力の遺伝的特性を明らかにするとともに、いくつかの形質について光合成率との関係を検討した。実験は1969年に行なつたものである。なお、この報告では光合成の遺伝的な能力を光合成能力、その発現を光合成率とよぶことにする。

実験材料および方法

満州×Harosoy、農林1号×Harosoyの F_2 個体群から、光合成能力の高い個体と低い個体を選んで F_3 系統とした。選抜個体数は満州×Harosoyでは100個体中光合成能力が上位および下位にあるものそれぞれ6個体(略号MH-1~6, ML-1~6)、農林1号×Harosoyでは93個体中上位にあるもの7個体(略号NH-1~7)、下位にあるもの6個体(NL-1~6)である。これらはそれぞれ F_2 での高光合成個体、低光合成個体とよぶことにする。

栽培には容積8lの素焼鉢に化成肥料(3—10—10)40g、苦土石灰15gを施用し、1鉢1本立にした。光合成能力の測定には、各品種・系統ともに12個体を供試した。満州×Harosoyは4月25日、農林1号×

Harosoyは6月9日に播種した。測定葉位は前者が主茎第4, 5葉、後者は第3, 6葉である。

光合成能力は供試葉が最大の光合成率を示すとみられる葉令時に、室内の光合成測定装置を用いて飽和光、葉温26~29°Cで測定した時のみかけの光合成率をもつて表わすことにした。測定は各葉位について4日間にわたつて行ない、両親、 F_3 各系統の材料の測定順序は毎日ランダムにした。

光—光合成曲線の測定には、満州×Harosoyでは8月7日に播種したMH-1, MH-2, MH-5, ML-2, ML-4, ML-6の各系統および両親品種についてそれぞれ4個体を供試し、主茎第3, 4葉を測定した。農林1号×Harosoyでは6月9日に播種したNH-1, NH-2, NH-5, NH-6, NH-7, NL-2, NL-3, NL-6および両親品種について、3個体ずつ(HN-6は2個体)供試し、主茎第11~12葉を測定した。測定時の葉令は光合成能力の場合と同様であるが、有限型のNH-6だけは、最上位葉が第8~9葉であるために他区より葉令がすすんでいた。光の強さは白紙で6段階にかえ、照度は東芝5号照度計で測つた。測定中のCO₂濃度は320~340ppm、葉温は照度により変化し、37klx: 29°C, 20klx: 27°C, 10klx: 25°C, 0klx: 23°Cであつた。

Table 1. Correlation coefficients of F_3 lines
(mean value of respective lines)
to F_2 single plants for two crosses.

Cross	P	N	T	M
Manshū×Harosoy	0.45	0.72**	0.55	0.71*
Norin-1×Harosoy	0.66*	0.47	0.59*	0.79**

P=net photosynthesis at 300ppm CO₂,
saturated light intensity.

N=total N content per unit leaf area.

T=leaf thickness.

M=fresh leaf weight per unit leaf area.

* 昭和45年6月25日受理

第149回講演会において発表。

Table 2. Net photosynthesis (P), total N content per unit leaf area (N), fresh leaf weight per unit leaf area (M), leaf thickness (T), and number of growing days (D) for F₃ progeny and their parents varieties.

(1) Manshū×Harosoy

F ₃ line ¹⁾ or parents	4 th leaves		5 th leaves		$\bar{P}^{2)}$	$\bar{N}$	$\bar{M}$	$\bar{T}$	D	F ₂ plant ³⁾	
	P	CV%	P	CV%						P	N
MH-1	26.8	24.0	24.0	12.6	25.4 a ⁵⁾	17.9	18.0	0.20	119	28.6	16.5
MH-2	24.4	29.2	23.8	18.9	24.1 ab	17.2	1.80	0.19	116	25.0	18.1
MH-5	23.0	20.1	24.7	16.7	23.8 ab	16.0	1.71	0.18	124	29.8	16.0
ML-4	22.9	30.5	19.3	20.8	21.1 ab	15.0	1.65	0.17	154	15.0	12.0
ML-2	23.1	32.0	18.8	26.5	21.0 ab	16.9	1.74	0.18	130	18.7	13.6
MH-3	21.0	18.2	20.1	26.0	20.6 ab	16.0	1.70	0.18	119	30.0	14.6
MH-6	21.5	23.3	19.8	26.1	20.6 ab	16.8	1.75	0.19	115	30.9	15.5
ML-5	21.4	16.3	19.7	23.6	20.6 ab	15.8	1.63	0.17	136	17.4	12.1
MH-4	19.6	19.8	20.5	19.6	20.1 ab	16.1	1.78	0.19	117	27.0	13.3
ML-1	21.1	12.4	17.7	17.6	19.4 b	15.3	1.58	0.17	142	20.4	12.1
ML-3	20.8	30.5	16.5	16.6	18.7 b	15.4	1.67	0.17	114	20.5	15.5
ML-6	21.5	33.0	15.8	15.9	18.6 b	14.5	1.60	0.17	135	18.8	12.1
Manshū	19.7	18.2	21.7	24.3	20.7 ab	15.6	1.62	0.16	131	26.3	14.7
Harosoy	26.7	17.5	24.1	14.7	25.4 a	18.6	1.75	0.19	115	27.4	17.3
Sign.	*		**		**	**	**	**			

(2) Norin-1×Harosoy

F ₃ line ¹⁾ or parents	3 rd leaves		6 th leavee		$\bar{P}$	$\bar{N}$	$\bar{M}$	$\bar{T}$	D	F ₂ plant ⁴⁾	
	P	CV%	P	CV%						P	N
NH-4	22.8	19.4	27.5	5.4	25.2 a	14.9	1.55	0.17	107	31.7	22.1
NL-1	23.6	15.0	26.8	13.9	25.2 a	13.7	1.48	0.16	108	22.2	13.3
NH-7	21.7	14.8	27.7	12.2	24.7 a	15.0	1.59	0.18	101	30.8	17.7
NH-2	21.9	10.4	27.0	11.8	24.5 a	14.7	1.51	0.16	108	29.9	16.0
NH-5	21.9	14.2	26.5	16.2	24.2 a	14.6	1.57	0.17	104	30.4	16.3
NH-6	18.3	14.0	28.3	15.9	23.3 a	15.0	1.61	0.17	97	31.9	16.9
NL-2	20.1	22.1	24.6	13.8	22.4 b	13.5	1.47	0.15	112	22.3	12.5
NH-1	18.5	14.3	26.2	8.4	22.4 b	14.0	1.52	0.17	109	29.0	16.7
NH-3	18.0	11.6	26.5	10.2	22.3 b	15.6	1.43	0.15	107	28.5	15.1
NL-4	20.0	22.8	23.6	13.8	21.8 b	14.2	1.47	0.16	112	21.9	14.5
NL-5	20.2	7.5	21.4	13.5	20.8 b	13.4	1.48	0.15	100	20.0	17.7
NL-6	19.0	18.4	21.8	17.1	20.4 b	12.3	1.40	0.15	110	21.7	12.9
NL-3	18.6	13.1	21.6	13.1	20.1 b	12.3	1.42	0.15	104	22.1	15.2
Norin-1	19.0	14.1	19.8	7.1	19.4 b	11.7	1.43	0.15	107	23.2	12.8
Harosoy	22.5	13.4	30.6	7.0	26.6 a	15.8	1.53	0.17	101	29.3	17.9
Sign.	**		**		**	**	**	**			

¹⁾ Photosynthetic ability of F₂ single plants : High group=MH-1 to 6, NH-1 to 7. Low group=ML-1 to 6, NL-1 to 6.

²⁾ Mean value of leaves : $P = \text{mgCO}_2\text{dm}^{-2}\text{hr}^{-1}$. $N = \text{mgNdm}^{-2}$. $M = \text{gFwdm}^{-2}$. $T = \text{mm}$.

³⁾ Mean value of the 4th and the 7th leaves.

⁴⁾ Mean value of the 3rd and the 6th leaves.

⁵⁾ Means sharing the same letter are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

実験結果

1. F₃ 系統の光合成能力

調査日をブロックとみなして、両親品種を含めて光合成率の分散分析を行なった。両組合せとも品種・系統間、葉位間、ブロック間に有意差 (1%) があり、品種・系統内では、両組合せとも両親相互間、F₃ 系統間に有意差 (1%) が認められた。

F₂ 個体と F₃ 系統 (系統内平均値) 間の光合成率の相関係数を満州×Harosoy の F₂ では第4, 7葉の平均光合成率, F₃ では第4, 5葉の平均光合成率を、農林1号×Harosoy の F₂, F₃ では共に第3, 6葉の平均光合成率を用いて計算した。その結果は第1表のように前者の組合せで0.45 後者の組合せで0.66であった。

つぎに、F₃ 系統の系統内平均値を光合成率の大きさの順に並べて第2表に示した。なお、光合成率は測定日間に有意差あがるので、測定値をそのまま使用せず、毎日の全供試個体の平均光合成率を基準にして補正した値で表示した。満州×Harosoy では系統の多くが両親の中間以下に分布したが、農林1号×Harosoy では両親の中間より高い系統および低い系統がほぼ半数ずつに分布した。

葉位を平均した光合成率について両親および系統間の比較をDuncanのRange Testによつて検定した。満州×Harosoy では最も能力の高かつたHarosoyに対して有意差の認められたものはML-1, ML-3, ML-6であり、逆に、最下位のML-6に対して有意差のあつたものはHarosoy, MH-1であつた。したがつて、HarosoyとMH-1は高光合成群、ML-1, ML-3, ML-6は低光合成群、検定の際両者にまたがつたMH-2, MH-5, ML-2, ML-4, MH-3, MH-6, ML-5, MH-4、満州は中光合成群に区分できる。農林1号×Harosoyでも、最も能力の高いHarosoyに対して有意差の認められなかつたNH-4, NL-1, NH-7, NH-2, NH-5, NH-6が高光合成群に、最も光合成能力の低い農林1号と有意差のなかつたNL-2, NH-1, NH-2, NL-4, NL-5, NL-6, NL-3を低光合成群に区分できた。この組合せでは中光合成群に入るものはなかつた。

このような区分にもとづいてF₂ 個体の光合成能力とF₃ 系統の光合成能力の関係をみると、第3表のように、満州×Harosoyの高光合成系統 (MH-1) は高光合成のF₂ 個体に由来し、低光合成群3系統はすべて低光合成のF₂ 個体に由来していた。同様に、農林1号×

Table 3. Frequency of occurrence of high photosynthesis lines for two crosses.

P of F ₂	P of F ₃ (Man. × Har.)			P of F ₃ (Nor. × Har.)	
	High	Medium	Low	High	Low
High	1	5	0	5	2
Low	0	3	3	1	5

F₃ lines were classified according to the Duncan's multiple range test (5% level).

HarosoyにおいてもF₃の高光合成群6系統中5系統は高光合成のF₂個体からのものであり、低光合成群7系統中5系統は低光合成のF₂個体に由来していた。

Fig. 1. Light-photosynthesis curves of F₃ lines.

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

Table 4. Relation of P to N, T, and M for F₃ lines.

(1) Manshū×Harosoy

P	N		T		M	
	Much	Less	Thick	Thin	Heavy	Light
High	MH1, (Har.)		MH 1, (Har.)		MH 1, (Har.)	
Medium	MH2, 6, ML 2,	MH 3, 4, 5, ML4, 5, (Man.)	MH 2, 3, 4, 5, MH 6, ML 2,	ML 4, 5, (Man)	MH 2, 3, 4, 5, MH 6, ML 2	ML 4, 5, (Man.)
Low		ML 1, 3, 6,		ML 1, 3, 6,		ML1, 3, 6,

(2) Norin-1×Harosoy

P	N			T			M		
	Much	Medium	Less	Thick	Medium	Thin	Heavy	Medium	Light
High	NH 2, 4, 5,	NL 1		NH4, 5,	NL 1	NH 2	NH 4, 5,	NH 2	
	NH 6, 7			NH 6, 7			NH 6, 7	NL 1	
	(Har.)			(Har.)				(Har.)	
Low	NH 1	NL 2, 4, 5,	NH 1	NH 1		NH3, NL2		NH 1	NH 3, NL 2
			NL 3, 6,			NL 3, 4, 5, 6		NL 5	NL3, 4, 6
			(Nor.)			(Nor.)			(Nor.)

Each of the characters was classified according to the Duncan's multiple range test (5% level).

したがって、高能力系統の出現率は組合せで多少異なるとはいえ、F₂ で光合成能力の高い個体からは高い光合成能力をもつ系統が出現しやすいことは明らかである。

2. 光の強さと光合成率との関係の改善

満洲×Harosoy : F₃ 系統間の光合成率は飽和光下でのみ有意差が認められたが、高光合成系統では飽和光度が上昇する傾向がみとめられた（第1図）。

農林1号×Harosoy : 飽和光下で光合成率の高い系統は弱光下での光合成率の立ち上り勾配がやや大きい傾向があり、飽和光度も高い（第1図）。分散分析では 10klx 以上で有意差がみとめられた。

3. F₃ 系統の光合成能力と他形質との関係

単位葉面積当り全N含量（面積N）、単位葉面積当り葉の生体重（面積生体重）、葉の厚さはいずれも品種・系統間に有意差が認められた（第2表）。3形質の世代間相関係数は面積Nが光合成率と大差なく、面積生体重と葉の厚さは比較的高い値がみられた（第1表）。光合成率と同じようにこれらの形質を高、中、低群に区分し、光合成能力との関係を示したのが第4表である。F₂ で認めた⁹⁾と同じように、形質値の大きい群には光合成能力の高い系統およびやや低い系統が属し、形質値の小さな群には光合成能力の高い系統は少ない。なお、光合成能力は生育日数それ自体とは関連がなく、伸育型とも一定の関係はなかった。

考 察

高光合成能力品種の育成にさいして、高い能力を示した F₂ 個体から次代においてはたして高い光合成能力をもつ個体が出現するか、また、大豆の光合成特性の一つである強光下の光利用効率の低さは改善されるかどうか、を検討した。本実験の結果によれば、F₂ 個体と F₃ 系統の光合成率の相関係数は1組合せでのみ有意であつた。Wilson⁷⁾はペレニアルライグラスで狭義の遺伝力0.70を報告しているが、同時に求めた相関係数は0.71(1%)であつた。これにくらべれば、本実験での相関はかなり小さかつた。しかしながら、系統ごとに個々に検討してみると、両組合せとも F₂ で高い光合成能力の個体からは高い光合成能力をもつ系統が出現しやすく、光合成能力についての選抜の有効性が確かめられた。しかも、これら高能力をもつ系統は、光合成率の絶対値も Harosoy と大差なかった。

本報の結果によれば、高い光合成能力を示す大豆の葉は、一般的には葉が厚く、面積Nの多い葉ということになる。N量の多いことは光合成に関与する生理的諸活性の高いことを示すとともに、一面においてクロロフィル量の多いことをも表わしている。角田⁸⁾が生産態勢の面から多肥多収性品種の葉は、直立して短く、狭くて厚い濃緑色の特性を備えることを指摘しているが、光合成能力を高める方向が群落構造上要請される

葉の一般的特性と一致していることは興味深い。

しかし、NL-1 系統にみられるように、面積N、葉の厚さ、面積生体重が中程度であつても光合成能力の高い系統が存在することは、高い光合成能力と上記3形質との間の相関を破ることができることを示すものである。このことは、栽培する地域や条件あるいは育種の段階などによつては葉がやや薄くとも高い光合成能力を備えた品種が要望されるさいには、そのような葉の出現頻度は少ないにしても、それにこたえることができることを意味している。

選抜を容易にする方法の一つとして、光合成率と関連が深くて取扱いやすい形質の利用が考えられる。本報でとりあげた形質の中では面積Nの相関が比較的高く最も有効性が期待できる。しかし、単一形質だけでなく、他の形質も同時に考慮する必要がある。ただし、NL-1 系統のような葉形質をもつものは、この方法では見落される。

両組合せとも光合成能力の向上は、光飽和点の上昇すなわち強光下における光利用効率の改善をもたらした。個体群の物質生産にとつて、弱光下の光合成能力のもつ意義も重要であるが、この点については農林1号×Harosoy では飽和光下の能力の改善をはかるならば、ことさらに弱光下の能力に留意しなくとも、弱光下の能力が改善された。これは Harosoyが弱光、飽和光のどちらにおいても農林1号より高いという特性によるものである。したがつて、このような母本を使用した場合には、飽和光下での光合成率を指標にしても、強光下での光利用効率の改善ばかりでなく、弱光下での光利用効率の改善にも役立つものと考えられる。

摘 要

大豆の光合成能力の遺伝的改善に関する知見を得るため満州×Harosoy, 農林1号×Harosoyの組合せを用いて光合成能力のF₂とF₃世代間の関係を調査した。

1. 両組合せとも、飽和光下のみかけの光合成率には、F₃系統間に有意な差異があつた。

2. F₂個体とF₃系統(系統内平均値)の相関係数は、満州×Harosoy, 農林1号×Harosoyについて、葉の厚さ(0.55, 0.59)、面積生体重(0.71, 0.79)で

はやや高い値がえられたが、光合成能力(0.45, 0.66)および面積N(0.72, 0.47)では必ずしも高くなかつた。

3. しかし、系統ごとに個々に検討してみると、光合成能力の高いF₃系統はF₂で光合成能力の高い個体から多く出現し、逆に、F₃の低光合成系統の大部分は、F₂の低光合成個体に由来しており、光合成能力についての選抜の可能性が認められた。

4. 光合成能力の高い系統は飽和光度が高くなつて、強光下での光利用効率が改善されるばかりでなく、組合せによつては弱光下での光利用効率の改善もみられた。

5. 光合成能力の高い系統の大部分は面積N、葉の厚さ、面積生体重が大きい傾向があつた。

引用文献

1. CANNELL, R.Q., W.A. BRUN and D.N. MOSS 1969. A search for high net photosynthetic rate among soybean genotypes. *Crop Sci.* 9: 840—841.
2. IZHAR, S. and D.H. WALLACE 1967. Studies of the physiological basis for yield differences. 3. Genetic variation in photosynthetic efficiency of *Phaseolus vulgaris* L. *Crop Sci.* 7: 457—460.
3. MENZ, K.M., D.N. MOSS, R.Q. CANNELL and W.A. BRUN 1969. Screening for photosynthetic efficiency. *Crop Sci.* 9: 692—694.
4. 小島睦男・川嶋良一・坂本真一 1968. 大豆の子実生産に関する研究. 第6報 育成品種の光合成能力と両親の光合成能力との関係. *日作紀* 37: 676—679.
5. 小島睦男・川嶋良一・御子柴公人 1969. 同上 第7報 F₁およびF₂世代における光合成能力. *日作紀* 38: 693—699.
6. 角田重三郎 1964. 作物品種の多収性の研究—生育解析の立場より—. 日本学術振興会.
7. WILSON, D. and J.P. COOPER 1969. Diallel analysis of photosynthetic rate and related leaf characters among contrasting genotypes of *Lolium perenne*. *Heredity* 24: 633—649.

Studies on the Seed Production of Soybean

VIII. The ability of photosynthesis of F_3 lines having different photosynthesis in their F_2 generations

Mutsuo OJIMA*, and Ryoichi KAWASHIMA**

(*National Institute of Agricultural Sciences, Kitamoto,
Saitama, **Aomori Agricultural Experiment
Station, Kuroishi, Aomori.)

Summary

In order to bring about improvements in the photosynthetic ability per unit leaf area of soybean varieties by means of breeding techniques, it is desirable to clarify the genetic characteristics of photosynthetic ability of soybeans and to establish the simplified method for soybean selection. So, we tested the differences in the photosynthesis among F_3 lines by using “Manshū × Harosoy” and “Norin-1 × Harosoy” as samples. The results are summarized as follows :

1. A significant difference was found statistically in the net photosynthetic rate at saturated light intensity among F_3 lines in either case of the two crosses.

2. Correlation coefficients of F_3 progeny (mean value of respective lines) to F_2 single plants for two crosses were high for leaf thickness and fresh leaf weight per unit leaf area, but low for net photosynthesis and total N content per unit leaf area.

3. But, the majority of F_3 lines higher in photosynthetic ability were obtained from F_2 plants with higher photosynthetic ability, and vice versa, F_3 lines lower photosynthesis were mostly derived from F_2 plants with lower photosynthetic ability. Thus the effect of the selection on the increase in photosynthetic ability was proved.

4. In the case of lines higher in photosynthesis, a saturated light intensity being higher, it was recognized that under the condition of high light intensity, the efficiency of light energy utilization can be increased.

5. Most of F_3 lines higher in photosynthetic ability showed a tendency to become higher in the total N content per unit area, in leaf thickness and in the fresh leaf weight per area. This fact can be taken up as a means of the soybean selection techniques.