パラグァイ農業総合試験場
平成７，８，９年度
適正技術開発研究報告書 vol. 1

課題名

不耕起栽培における大豆の生育適量解明による持続的高位生産安定技術の開発

平成７年度
栽培条件による品種生態反応

平成８年度
播種期の相異による品種生態反応

平成９年度
大豆の高位安定多収確保のための生育適量値の解明

平成１０年８月

パラグァイ農業総合試験場

平成８年度適正技術開発研究報告書

CETAPAR　畑作部門
職　員　関　節朗
専門家　宮川 敏男

課題名　不耕起栽培における大豆の生育適量解明による持続的高位生産安定技術の開発
（初年度）栽培条件による品種生態反応の解明

はじめに

パラグアイの日系農家を主体とする不耕起栽培は、土壌のエロージョン防止に有効な大豆、小麦の安定生産技術として全畑作農家の注目を浴びている。今後はヘクタール当たり3.5トン以上の高収量を安定維持し、環境保全型持続的農業の基幹技術として発展させ波及することが強く求められている。

このためには、栽培条件で多様な大豆の生育パターンを創り出し、乾物生産の視点から収量構成要素の成立過程を解析して高位安定多収を得るための生育諸形質の適量を把握し、3カ年の試験結果をもとに、理想生育型に近づけるための適正技術を組み立て、広く適応可能な大豆不耕起栽培の標準技術マニュアルを策定することが急務と考え本課題に着手する。

1. 試験の目的

生態型の異なる大豆品種を播種期を変えて栽培し、多様な生態反応の変動を乾物重や葉面積の追跡過程より把握して生長に関する因果関係の解析を行い、収量と適正生育量との関連性を検討してデータの蓄積を図る。

2. 試験研究方法

1）供試品種　FT-COMETA（早生、無限伸育型、ピラポ地域工藤繁氏採取の分譲種子）
BR-4（中生、有限伸育型、CETAPAR産種子）

2）播種期　1995年10月23日、11月7日（標準）、11月22日

3）耕種概要　条間35cm、株間10cmの不耕起条播（1株3粒播き1本仕立て、28.6株/m²）で播種し、肥料は前作のエンバクに18-46-0を200kg/ha施用したので無肥とした。その他、播種後は潅水し、病虫害防除は一般耕種法に準じて適宜実施した。

4）試験区構成　収量調査区は1区14m²（5×2.8m）の2反復分割区試験法で配置した。その他、生育追跡調査区として品種、播種期別に1区21m²（5×4.2m）を設けた。

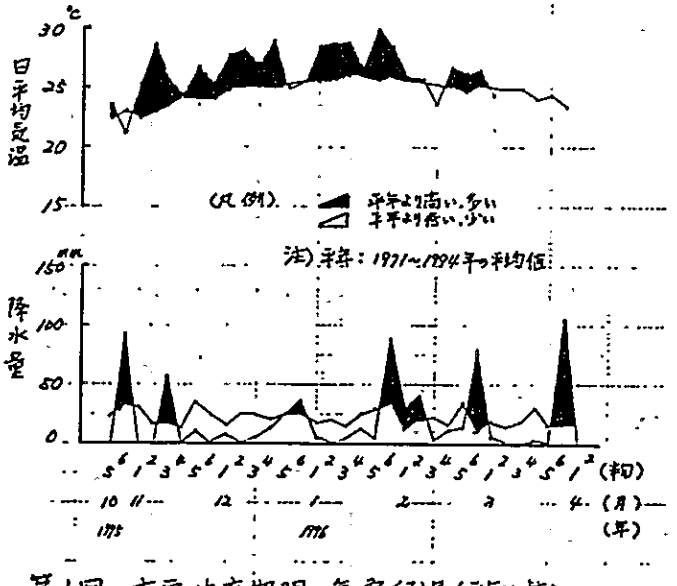
5）調査方法　生育調査は観察による出芽期、開花期、成熟期及び病虫害発生状況、収量調査は1区4.9m²（収量調査区4m×3条、及び生育追跡調査区の成熟期調査20株）の収量構成要素及び収量を調査した。
生育追跡調査は出芽後ほぼ20日間隔で成熟期まで任意系統抽出10株の部位別乾物重、生葉数、生葉面積及び生育諸形質を抜き取り調査した。

3. 試験結果

1. 大豆作期間の気象と生育経過の特徴

第1図は、播種期の1995年10月から成熟期の1996年3月までの半旬別日平均気温と降水量の平年比較である。大豆作期間の気象は観測史上稀にみる異常気象で、登熟期前半の1月下旬まで著しい高温が連続し、その間 殆ど降雨もない大旱魃に推移したことが特筆される。その後の1月6半旬~2月2半旬、2月6半旬はかなり多雨に経過した。

出芽は播種時の潅水で各作期とも良好であったが、上記した長期干魃の影響で初期生育は著しく抑制され、特に11月7日までに播種した両品種は短茎で、しかも粒数確保が不十分なため例年にない低収量を記録した。



第1図 大豆生育期間の気象経過(平年比較)

品種、播種期別生育日数の結果を第1表に示す。

第1表　品種別、播種期別の出芽期、開花期、成熟期と生育日数の比較

品種名	播種期 (月日)	出芽期 (月日)	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	開花まで日数(日)	結実日数 (日)	生育日数 (日)
FT-COMETA	10.23	10.27	12. 7	3.16	45	100	145
	11. 7	11.12	12.22	3.19	45	88	133
	11.22	11.27	1. 5	3.26	44	81	125
BR-4	10.23	10.28	12.14	3.24	52	101	153
	11. 7	11.12	12.29	3.26	52	88	140
	11.22	11.27	1.13	4. 3	52	81	133

備考) 1. 開花まで日数は播種期~開花期までの日数
2. 結実日数は開花期~成熟期までの日数

両品種とも、播種期の遅れに伴い、開花まで日数の差は認められなかつたが、結実日数がかなり短縮したため生育日数の差は大きくなり、10月23日播きと11月22日播きの間でともに20日の差を生じた。

2. 収量構成要素及び収量の調査結果

収量調査による品種別、播種期別の収量構成要素及び収量のブロック平均値、及び分散分

析結果に基づく処理要因別の平均値はそれぞれ第2、3表に示したとおりである。統計処理の結果によれば、播種期による有意差は主茎長、最下着莢高と子実粒数歩合に認められ、早播きするほど短茎で莢の着く位置が低く粒数の少ないわりには屑粒が少ない傾向にある。また、品種間差は茎径、莢数、粒数、乾物重(全、茎、莢実)、百粒重及び収量で認められ、BR-4がいずれの形質ともかなり優る結果を認めた。播種期と品種の交互作用関係ではいずれの形質も明らかな有意差は認められていない。品種BR-4の多収要因は主に莢数増による粒数の増加と百粒重の増大で、この結果が乾物重の増加に大きく寄与している。

また、播種期による干ばつの影響は例年とは異なり早播きよりも標準播き(11月7日)が大で、両品種ともに乾物重が低下したため減収し、11月22日播種に比較して、FT-COMETAの10月23日および11月7日播種で200g/m²以下、BR-4は350g/m²以下となった。しかし晩播では高収となり、FT-COMETAは230g/m²であったが、普及品種のBR-4は400g/m²以上を確保したのが特記される。

第2表　品種別、播種期別収量構成要素及び収量(ブロック平均値)

品種	播種期(月日)	主茎長(cm)	最下着莢高(cm)	茎径(mm)	主茎節数(節)	第1次分枝数(本)	稔実莢数(個/m²)	粒数(粒/m²)
FT-COMETA	10.23	43	6.7	6.4	14.9	3.3	1117	2157
	11.7	42	7.6	5.8	15.1	2.8	956	1797
	11.22	54	8.6	6.4	15.9	2.5	1130	2545
BR-4	10.23	44	6.8	8.2	15.0	3.1	1235	2389
	11.7	44	7.3	8.5	15.3	3.1	1346	2738
	11.22	56	11.0	8.1	15.1	4.0	1386	2993

品種	播種期(月日)	子実粒数歩合(%)	全重(g/m²)	茎重(g/m²)	莢実重(g/m²)	収量(g/m²)	収穫指数(%)	百粒重(g)
FT-COMETA	10.23	90.5	462	86	376	195	42.0	9.0
	11.7	79.9	404	70	335	187	46.4	10.5
	11.22	72.6	524	89	435	230	43.8	9.0
BR-4	10.23	76.9	694	174	520	341	49.0	14.3
	11.7	76.4	670	153	517	327	48.9	11.9
	11.22	76.2	842	228	615	405	48.3	13.9

第3表　処理要因別収量構成要素及び収量の平均値

要因	水準	主茎長	最下着莢高	茎径	主茎節数	第1次分枝数	稔実莢数	粒数	粒数歩合	全重	茎重	莢実重
播種期	10.23	44**	6.7**	7.3	14.9	3.2	1176	2273	83.2*	578	130	448
	11.7	43	7.4	7.1	15.2	2.9	1151	2268	78.1	537	111	426
	11.22	55	9.8	7.2	15.5	3.2	1258	2769	74.4	683	158	525
品種	FT-COMETA	46	7.6	6.2*	15.3	2.9	1067*	2166*	81.0	463*	82*	382*
	BR-4	48	8.3	8.2	15.1	3.4	1322	2707	76.5	735	185	551

要因	水準	百粒重	収量	収穫指数
播種期	10.23	11.6	268	45.5
	11.7	11.2	257	47.6
	11.22	11.5	318	46.1
品種	FT-COMETA	9.5*	204*	44.1
	BR-4	13.3	357	48.7

注)1.有意水準:*5%　**1%
2.収量は水分14%補正値

3. 生育時期別諸形質及び乾物重、葉面積指数の調査結果

生育追跡調査区で出芽後ほぼ20日ごとに抜き取り調査を行い、生育諸形質及び乾物重、葉面積の変化を調査した。第4表は主要形質の変動を示した結果である。

第4表　品種、播種期別、調査時期別生育形質の推移

（任意系統抽出10株の平均値）

品種名	播種期（月日）	調査時期（日）	主茎長（cm）	主茎節数（節）	茎径（mm）	1次分枝数（本）	莢数（個/株）	生葉数（枚/株）	生葉面積（cm²/株）	生葉面積（cm²/葉）
FT-COMETA	10.23	25	12.2	6.1	3.3	-	-	15	124	8.2
		49	28.9	10.5	5.7	-	-	24	345	14.5
		70	38.0	13.4	5.9	2.3	5	50	566	11.2
		89	44.2	15.2	5.9	1.8	28	62	611	9.9
		109	44.1	15.0	6.4	3.4	38	87	867	9.9
		129	43.0	14.2	6.8	3.4	36	26	238	9.2
		(成)143	43.5	14.9	6.5	-	45	-	-	-
	11. 7	24	13.3	6.0	3.3	-	-	15	122	8.0
		46	32.5	10.2	5.8	0.9	-	25	331	13.3
		64	47.2	15.7	6.4	3.5	20	58	882	15.1
		85	49.7	16.5	6.9	3.5	35	75	1003	13.5
		106	49.9	16.8	6.2	2.3	41	45	509	11.4
		(成)128	49.5	17.2	5.1	2.5	33	-	-	-
	11.22	29	14.8	6.4	4.0	-	-	15	164	10.7
		51	32.0	12.7	5.1	3.5	2	42	531	12.5
		59	48.4	14.4	5.0	2.1	14	46	666	14.6
		79	54.0	16.6	5.6	2.5	33	48	676	14.0
		99	52.2	16.9	6.6	2.5	45	49	1023	20.7
		(成)120	55.0	17.3	5.9	2.7	38	-	-	-
BR-4	10.23	24	14.3	5.7	3.3	-	-	16	144	8.8
		48	26.3	10.4	5.7	-	-	26	331	12.9
		76	42.9	14.8	6.5	3.9	0	62	675	10.9
		96	43.0	15.4	6.5	3.1	23	87	781	8.9
		116	44.3	15.1	6.7	4.0	43	97	820	8.4
		136	42.9	15.0	7.2	3.6	36	14	106	7.4
		(成)149	43.9	14.9	8.0	2.6	39	-	-	-
	11. 7	24	13.5	6.0	3.1	-	-	14	93	6.8
		46	27.7	9.8	5.4	0.5	-	30	461	15.3
		75	48.3	14.6	6.9	3.7	4	73	936	12.8
		95	46.0	15.3	6.4	5.2	52	82	1028	12.5
		115	46.0	14.5	7.7	4.8	48	68	932	13.7
		(成)135	49.5	15.3	8.1	3.1	49	-	-	-
	11.22	29	17.3	6.8	4.0	-	-	13	157	11.7
		51	34.5	12.4	5.1	2.1	-	32	516	16.3
		71	47.6	14.0	6.7	4.8	5	87	1083	12.5
		92	45.7	14.1	6.7	5.5	45	96	1402	14.6
		113	47.7	13.9	7.8	4.0	45	46	672	14.5
		(成)128	56.6	14.9	8.3	3.7	52	-	-	-

注）1. 調査時期は出芽期後日数

2. (成)は成熟期

第5表　品種、播種期別、調査時期別の乾物重、葉面積指数、生長量の推移

（任意系統抽出10株の平均値）

品種	播種期 (月日)	T 出芽期後日数(日)	W 乾物重 (g/m²) 計	茎	葉	莢	CGR 乾物増加量 (g/m²/日)	LAI 葉面積指数 (m²/m²)	LAR 葉面積比 (cm²/g)	NAR 純同化率 (g/m²/日)	RGR 相対生長率 (g/g/日)
FT-COMETA	10.23	25	31.8	15.2	16.6	-	1.27	0.35	111.1	-	-
		49(8)	127.5	79.2	48.3	-	3.99	0.99	77.3	6.5	5.0
		70(29)	144.6	82.9	58.8	2.9	0.81	1.62	111.9	0.6	0.7
		89(48)	266.5	132.4	90.9	43.2	6.42	1.75	65.6	3.8	2.5
		109(68)	785.3	322.0	143.6	319.7	25.94	2.48	31.6	12.4	3.9
		129(88)	553.8	123.0	35.8	395.0	11.58	0.68	12.3	8.3	1.0
		(成)143(102)	504.2	99.8	-	404.4	3.54	-	-	-	-
	11. 7	24	42.6	20.6	22.0	-	1.78	0.35	81.8	-	-
		46(6)	88.4	49.2	39.2	-	2.08	0.95	107.0	3.5	3.7
		64(24)	263.1	137.8	111.5	13.8	9.71	2.52	95.8	6.0	5.8
		85(45)	692.7	192.5	170.7	329.5	20.46	2.87	41.4	7.6	3.1
		106(66)	773.6	133.6	83.2	556.8	3.85	1.46	18.8	1.8	0.3
		(成)128(88)	430.4	73.8	-	356.6	15.60	-	-	-	-
	11.22	29	40.4	21.2	19.2	-	1.39	0.47	116.1	-	-
		51(12)	140.7	71.8	68.6	0.3	4.56	1.52	107.9	5.1	5.5
		59(20)	187.4	96.4	82.1	8.9	5.84	1.90	101.6	3.4	3.5
		79(40)	384.6	108.4	89.3	186.9	9.86	1.93	50.3	5.1	2.6
		99(60)	901.2	183.0	121.7	596.5	25.83	2.93	32.5	10.8	3.5
		(成)120(81)	530.8	88.4	-	442.4	17.64	-	-	-	-
BR-4	10.23	24	41.2	20.6	20.6	-	1.72	0.41	100.2	-	-
		48(1)	138.8	86.7	52.1	-	4.07	0.95	68.2	6.3	4.3
		76(29)	220.2	127.6	92.6	0.0	2.91	1.93	87.7	2.1	1.9
		96(49)	331.4	183.0	133.0	15.4	5.56	2.23	67.4	2.7	1.8
		116(69)	769.3	206.5	165.0	397.8	21.90	2.35	30.5	9.6	2.9
		136(89)	574.6	142.4	18.9	413.3	9.74	0.30	5.3	9.8	0.5
		(成)149(102)	500.8	126.1	-	374.7	5.68	-	-	-	-
	11. 7	24	34.3	17.7	16.6	-	1.43	0.27	77.4	-	-
		46(-1)	115.5	60.3	55.2	-	3.69	1.32	114.1	5.6	6.4
		75(28)	216.8	129.6	87.2	0.0	3.49	2.67	123.5	1.8	2.2
		95(48)	572.3	209.4	157.0	205.9	17.78	2.94	51.4	6.3	3.3
		115(68)	811.6	223.8	165.2	422.6	11.97	2.67	32.9	4.3	1.4
		(成)135(88)	741.3	192.5	-	548.8	3.52	-	-	-	-
	11.22	29	40.9	21.5	19.4	-	1.41	0.45	110.0	-	-
		51(4)	140.7	75.8	64.9	-	4.54	1.47	104.8	5.3	5.5
		71(24)	295.7	168.7	126.1	0.9	7.75	3.10	104.7	3.5	3.7
		92(45)	759.0	253.7	214.2	291.1	22.06	4.01	52.8	6.2	3.3
		113(66)	1043.0	208.8	107.8	726.4	13.52	1.92	18.4	4.8	0.9
		(成)128(81)	796.0	201.1	-	594.9	16.47	-	-	-	-

注）1. 出芽期後日数欄の( )内の数字は開花期後日数、(成)は成熟期を示す

2. 各種生長量について

1) CGR:土地面積1m²当たり1日の乾物増加量(W_2-W_1/T_2-T_1)

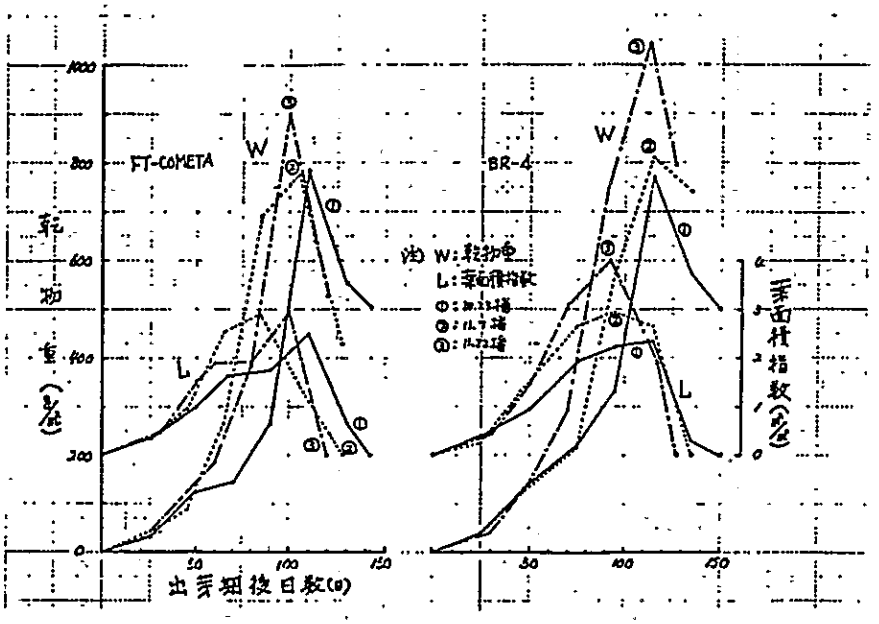
2) LAI:土地面積1m²当たりの葉面積

3) LAR:乾物重当たりの葉面積(A/W　ただし A:葉面積)

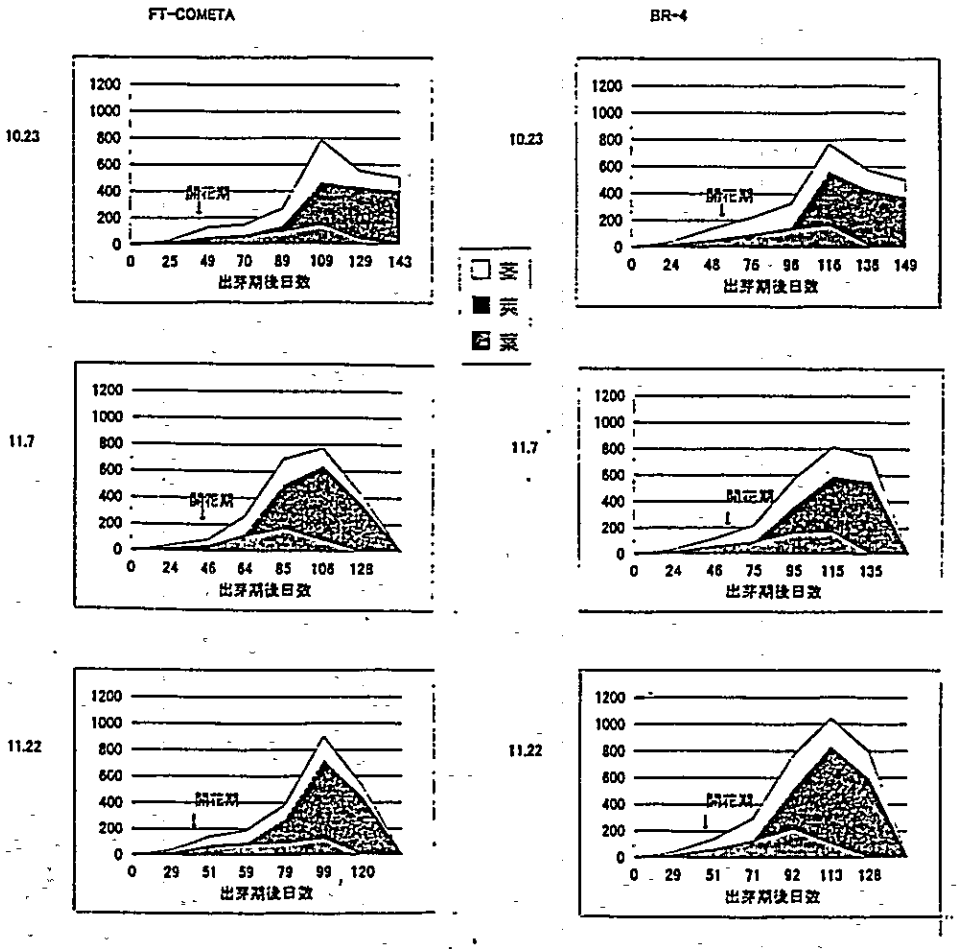
4) NAR:葉面1m²当たり1日の生長量(葉の光合成能力)

($CGR \times \log_e A_2-\log_e A_1/A_2-A_1$)

5) RGR(%):光合成能の相対値(NAR×LAR)



第2図　全乾物重と葉面積指数の生育時期別変化



第3図　部位別乾物重の生育時期別変化

第4表の成績は、試験区の対角線上を毎回10株ずつ1列おきに任意系統抽出して得られた結果である。このような少数標本では分枝数、莢数、葉数、葉面積など形質によっては株間の分散が大きくなるため標本平均値と母平均値間にかなりの誤差を生じ、また調査の時期によっても平均値が変動することは当然であるが、おおよその推移は把握できると考えられる。ただし、FT-COMETAの種子は農家採取であったため、異種の混入があり抜き取りに支障を来したことを付記する。

この結果から、主茎の長さは出芽後50日ごろには25日時点の2倍前後にも達し、その伸長度は早生の方が大きく、80日前後(早生の無限伸長型は80~90日、中生の有限種は70~75日)より一定する傾向にある。節数は出芽後25~30日には6節前後となり、その後70日ごろまで急速に増えてほぼ一定化する。その他、茎径の増加は25~50日の間が特に大きく、分枝は45日を過ぎて発生するなどの結果が認められた。

また、葉数は主茎の節数や分枝の増加に伴って増えるが、両品種とも播種が早いほど出芽後の葉数の最多時期は遅くなる傾向で、その後は落葉とともに徐々に減少し、1葉の面積が最大となる時期はおおむね出芽後50日ごろであることも判明した。

つぎに、品種、播種期別にみた生育時期別の乾物重、葉面積指数及び両者より求めた各種生長量のデータを第5表に、全乾物重と葉面積指数の変動の過程を第2図に、また、部位別乾物重の変動過程を第3図に示す。

生長解析の場では、一定期間の乾物の生長量を比較的容易に実測できる乾物重や葉面積などの関数として把え、実際には長くても2週間以内の乾物増加量(CGR)、葉面積指数(LAI、土地面積当たり葉面積)、乾物重当たり葉面積(LAR)、葉面当たり生長量(NAR、葉の光合成能力)、相対生長率(RGR)などのパラメータを計算して説明するのが普通であるが、第5表にはやや期間の長い値を示している。

第2図によれば、全乾物重は出芽後20日過ぎから増加し、50日以降急激に増大して100~120日ごろに最高に達しその後は落葉によって急速に減少する。この傾向は早生種の方が早く、播種期の早晩でも異なっており最大となる時点は中生種が遅れる。量的には11月22日>11月7日>10月23日の傾向を認めた。

一方、葉面積指数は品種や作期の影響がより大きく、ほぼ乾物重の増加に比例して増える傾向はあるが、そのピークは90~110日にあり、最高となる時期は播種期の間でやや異なる傾向を示した。特にFT-COMETAでは11月7日播きと22日播きのピークがBR-4と逆になったが、異種混入によるサンプリング誤差とも考えられる。

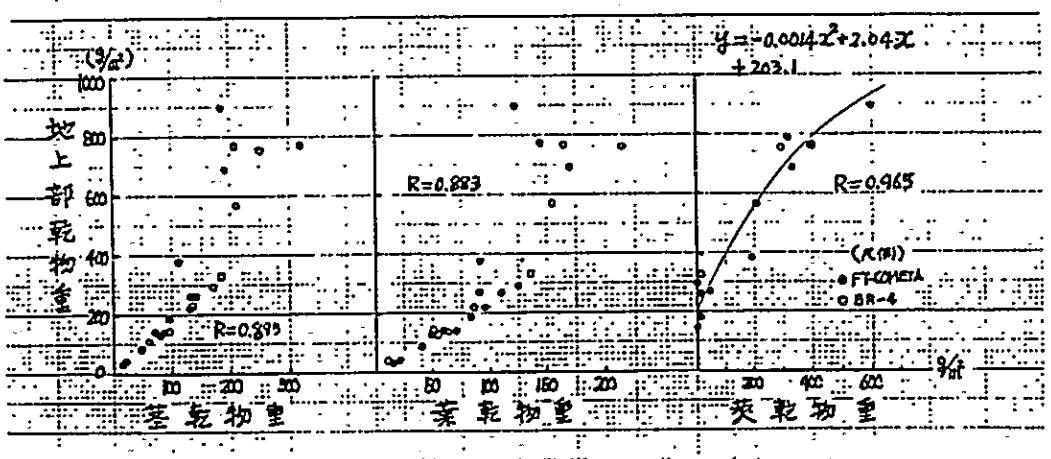
つぎに、部位別乾物重の動きを第3図でみると、出芽後25日ごろは茎と葉の割合はほぼ同じであるが、以後茎の伸長とその後の分枝の発生に伴って50日ごろには茎の比率が高くなり、早生ではほぼ100日、中生では120日を過ぎるころから乾燥が進むため葉重とともに低下する。また、莢重は早生ではほぼ60日、中生は90日ごろより増加してそれぞれ80日並びに100日をすぎる時点で茎重や葉重を上回る傾向が認められ、このように品種や作期で異なる結果を明らかにした。

4 考 察

1.乾物重を支配する要因

植物の生長に伴って雪だるま式に増加して行く乾物の重さは、収量の大小を支配する重要な指標として広く知られている。つまり、生長はその時々の重さに一定の生長率が加わった形で一つの生長量となって増加し、何度も繰り返されて最終の収量が決定される。この視点より調査結果に基づいて乾物重を左右する諸要因の統計解析を行った。

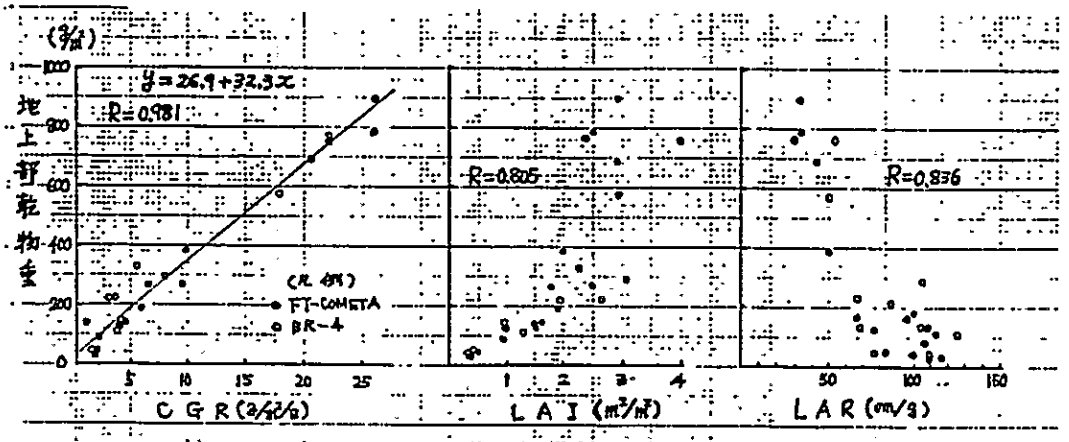
生育時期ごとに抜き取り調査を行った第5表のデータから、葉が順次生成され増加して行く過程の部位別乾物重と全乾物重との関係を検討した結果、第4図にみられるようにそれぞれ有意な相関関係が認められた。すなわち、単位面積当たりの茎、葉や莢重は全体の乾物重と正の高い相関関係があり、特に、莢重は密接な曲線関係を示して２次回帰が適合し、全重に対する寄与率は極めて大きい($100R^2\%=93$)ことが判明した。莢重の増加は、前述したように、早生のFT-COMETAではほぼ出芽期後60日(開花期後20日ごろ)、中生のBR-4では90日(同45日ごろ)より顕著になるが、第4図から明らかなように地上部乾物重を800g/m²以上(収量でほぼ350g/m²以上)確保するためには、葉の生成増加の過程で少なくとも400g/m²以上の莢重確保が必要であると考えられる。



第4図 葉の生成過程における地上部乾物重と部位別乾物重との関係

次に、乾物重と各種生長量との関連性を解析し、特に密接な関係を認めた結果をまとめて第5図に示す。全乾物の重さは、前述したように時期別乾物重(CGR:乾物増加量)の積算値であるため、両者の間には極めて密接な1次回帰の関係が存在する。この結果から800g/m²以上の乾物重を確保するためには、1日1m²当たりの乾物増加量が登熟期の半ば以降の葉が生成される時期までの間に25g以上は必要であることが理解される。

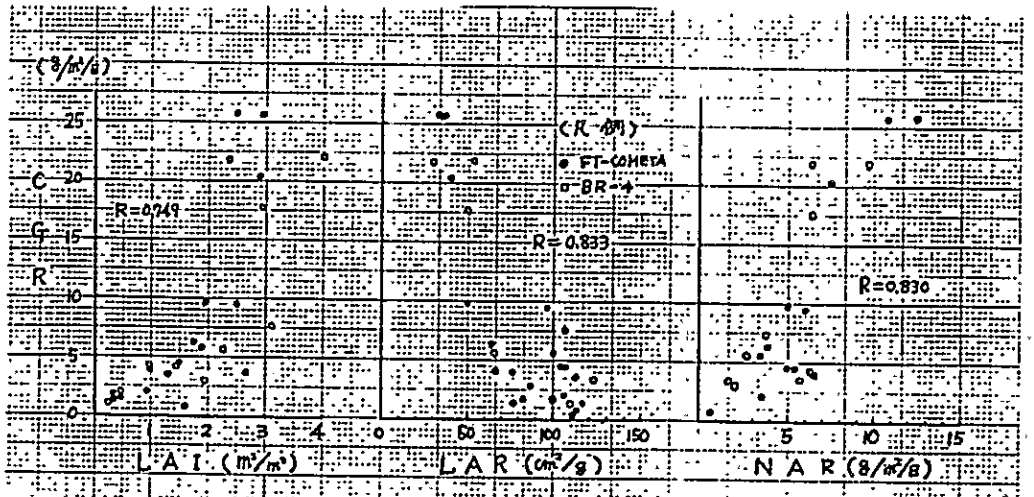
その他、単位土地面積当たり葉の広がり度合いを示す葉面積指数(LAI:Leaf Area Index)は乾物重と正の相関関係があって葉の広がるに伴って増大し、また、乾物1gを生産するのに必要な葉面積(LAR:Leaf Area Ratio)とは負の関係が認められるなどの結果が明らかになった。



第5図 葉の生成過程における地上部乾物重と生長量との関係

以上のように、地上部の乾物重は部位別乾物重(特に莢重)や時期別の乾物増加量(CGR)とそれぞれ極めて密接な関係があるが、更に、CGRに関与する生長要因についての検討を行った結果は以下の通りである。

第6図によれば、葉の生成過程における乾物増加量は葉面積指数の増加とともに大きくなり、また、葉が行う見かけの光合成能力(NAR:単位葉面積1m²当たり1日の生長量)についても同様な傾向がうかがえる。しかしながら、一定量の乾物を生産するために必要な葉の大きさ(LAR)は、第7図におけるNARとの因果関係からも判るように負の相関関係があり、乾物1gを生産するに要する葉面積の割合が 少なくなる時期ほど生産効率は高くなりこの結果乾物増加量は大きくなる傾向にある。



第6図 葉の生成過程における乾物増加量と生長量との関係

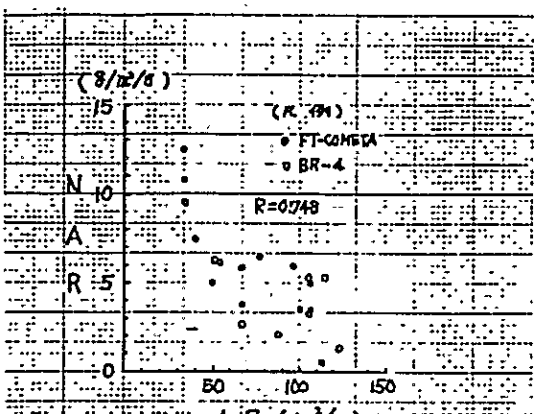
2. 収量及び収量構成要素を支配する要因

第8図は収量構成要素のうち莢数、百粒重と収量との関係をまとめた結果である。百粒重は収量と正の相関関係が高く、とくにBR-4では粒の増大で多収となる傾向が強い。莢数との関

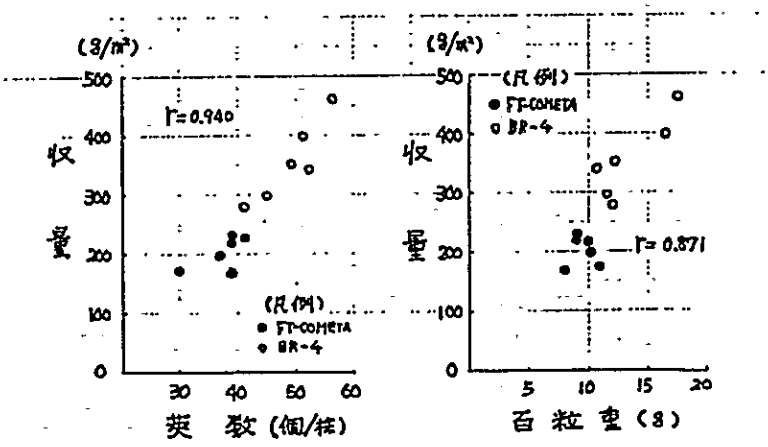
係はより密接で、当然のことながら莢の増加で多収する傾向が強い。

つぎに、第9図は収量と乾物重との関係をみたものである。前述のように、収量は乾物増加の最終的な産物であるので、両者の間には極めて密接な関係が存在する。この関係を部位別にみると、茎重よりも莢重の方が収量に寄与するウエイトはかなり高く1次回帰で説明でき、前述した第4図の全重と莢乾物重との密接な関係からも納得できる。

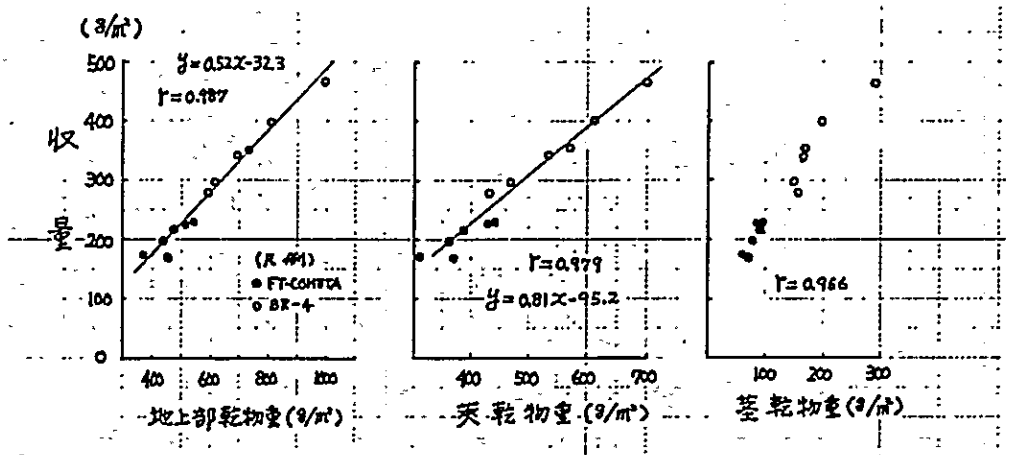
このように、収量を大きく左右する莢乾物重は、葉の造成過程におけるCGRとも極めて密接な曲線関係がある(第10図)ことも明らかになった。



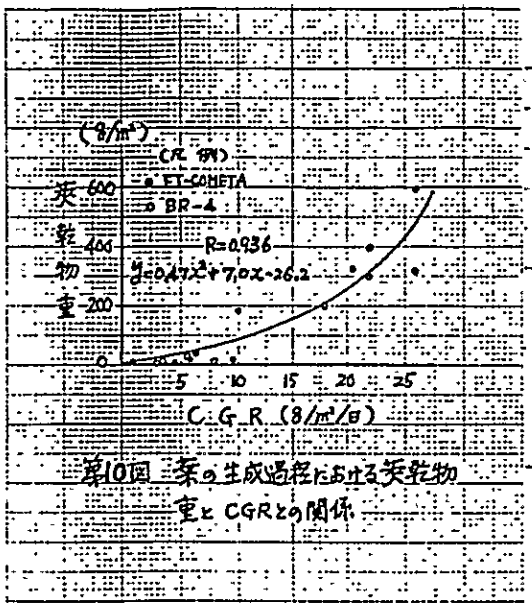
第7図 葉の生成過程における生長量相互間の関係



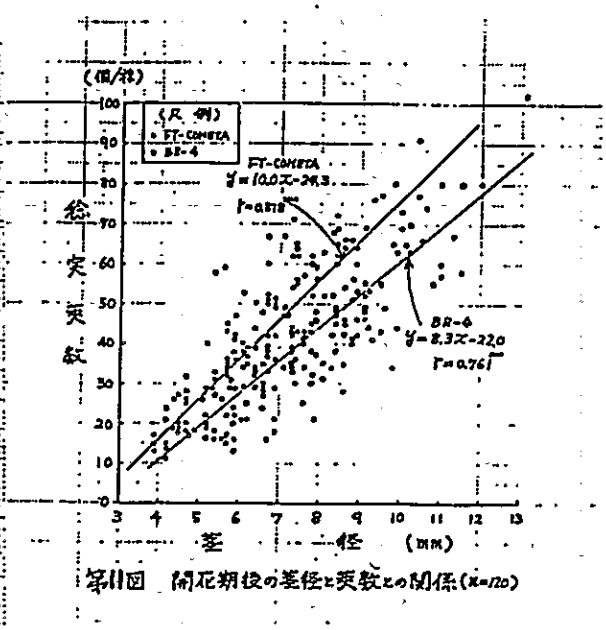
第8図 収量と収量構成要素との関係



第9図 収穫時における乾物重と収量との関係



第10図 葉の生成過程における莢乾物重とCGRとの関係



第11図 開花期後の茎径と莢数との関係(n=120)

すなわち、第9図の結果からも明らかなように、350g/m²以上の高収量を確保するためには、収穫時の全乾物重は最低でも750g/m²以上は必要で、特に莢の乾物重が550g/m²以上確保できるような莢数増加のための技術対策を講じないと達成は不可能である。そして、この場合、第4図の莢乾物重と全重との関係でも指摘したように、生葉の生成過程における莢重は400g/m²以上の確保が条件となり、その際のCGRは第10図から1日に1m²あたり25g以上必要と思われる。

また、莢数は茎径の大小と密接な関係がある。第11図は毎回の追跡調査で実施した多数株での関係を品種別に調べたものであるが、この結果からかなり密接な正の相関関係が認められており、1株莢数を50莢以上確保するための茎径はFT-COMETAでほぼ7mm以上、BR-4では9mm以上必要となる。

5 要 約

生態型の異なる2品種を用いて、3播種期での収量調査並びに抜き取り追跡調査を行い生態反応を調べた結果、以下のことが明らかになった。

1. 生育日数は、両品種とも結実日数の相違で差を生じ、早播の10月23日と晩播の11月22日との間に20日の差を認めた。

2. 生育及び収量は、早播と標準播は異常気象の影響を強く受けてともに不良となったが、晩播は比較的軽微であったため各要素とも上回り、BR-4では400g/m²以上の多収を得た。

3. 生育の変化は、品種、播種期の差はあるが、概ね茎の伸長は出芽後80日前後より、節数は70日後にそれぞれ一定化する傾向で、茎径の増加は25~50日の期間が大きく、分枝は45日後に発生する。

4. 乾物重の増加は、出芽後50日以降急激で100~120日頃最高となり、この時期は早生種が早く、量的には晩播が優った。

部位別では、出芽後25日ごろの時点では茎、葉の占めるウエイトは同等であるが、50日ごろには茎重が優り、莢重は早生ではほぼ60日、中生は90日ごろより増えてそれぞれ80日、100日を過ぎる時点で茎、葉を上回る傾向にある。

5. 葉面積指数の増大は、乾物の増加に比例するがそのピークはやや早く90~100日で、BR-4では晩播するほど早く到達する。

6. 乾物重は、光合成の盛んな生葉の生成増加過程において、特に莢重と密接な曲線関係があり、800g/m²以上〈収量で350g/m²以上〉を確保するに要する莢重は最低400g/m²以上であり、登熟中期の乾物増加量は1日1m²当たり25gが必要である。

7. 収量は、収量構成要素のうち莢数や百粒重とプラスの相関関係があり、とくに莢数との関係は極めて密接である。また、収穫期の乾物重とも当然のことながら高い正の相関関係を持ち、莢の乾物重とも同等な関係がある。この結果から、350g/m²以上の高収量を得るためには、収穫時の全乾物重、莢重はそれぞれ750、550g/m²以上必要と推定される。また、莢重の増大は莢数の増加によるが、莢数は茎径と密接な関係をもち、いかに早くから太い茎を確保して莢数を増やし、葉面積指数を高めて光合成を高めるかが多収の基本技術と考えられる。

むすび

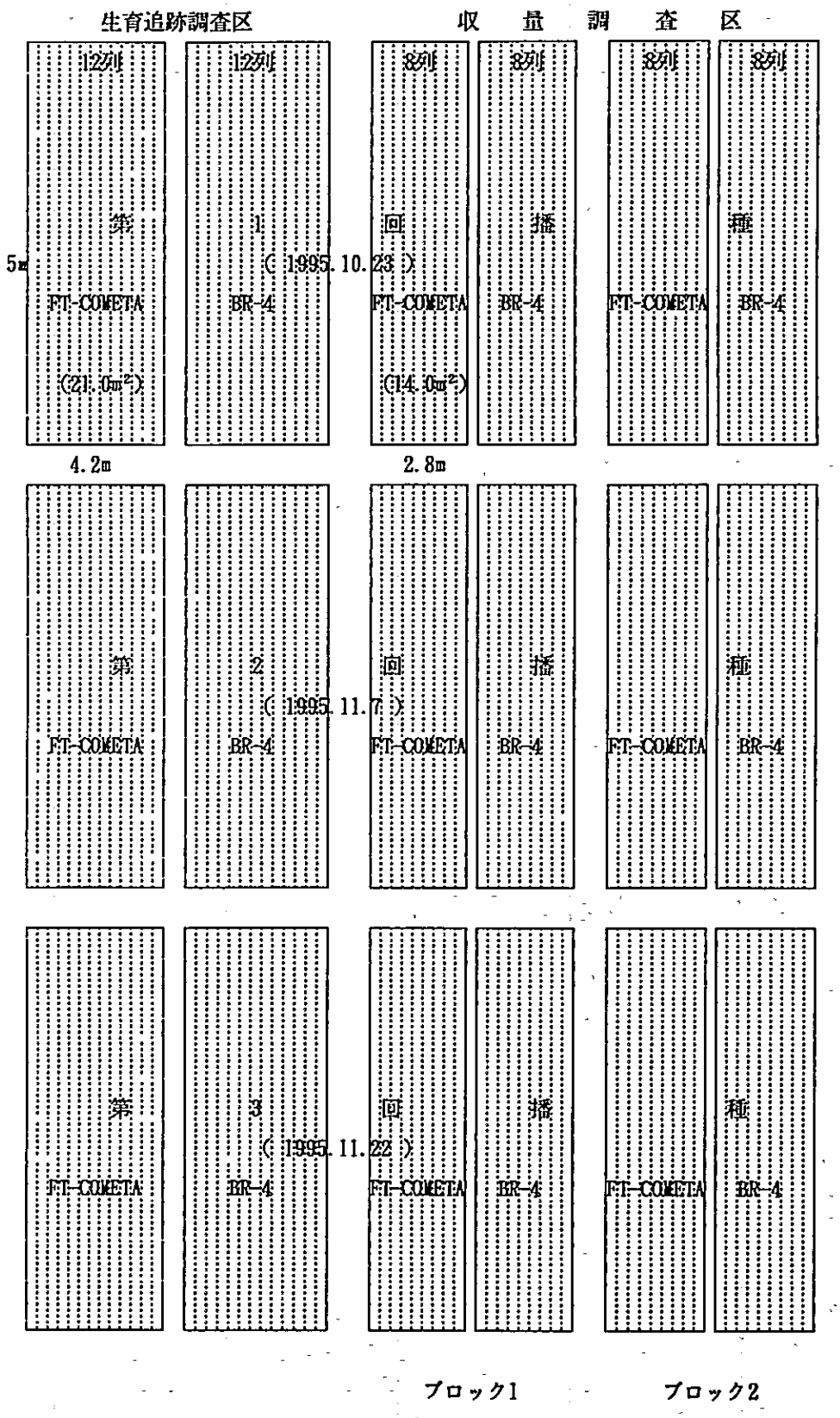
初年度は播種期の相違による品種生態反応の解明に終始したが、この試験研究を通して多収をあげるための生育形質の適量に関する幾つかの知見を得た。

しかしながら、多収性の解明については、FT-COMETAのような低収性品種の供試と取り扱った種子の問題、より多収性品種の採用と播種時期の拡張問題、主要生育ステージである開花期前後から登熟期間に至る間の葉面積指数を含めたより詳細な生長過程の追求と科学的な解析が不十分に終わったことは否めない。

葉中チッソ含量の定量化など本課題に関連する生理的研究は現状では不可能にしても、毎年の異なる気象条件の下で上記反省のうえに立って多くの異なったデータを蓄積し、多収のための生育適量をあらゆる視点より探索して、最終年度には適正技術を組み立て標準技術を策定する必要がある。

1995年度適正技術開発研究試験区配置図(初年度)

CETAPAR 畑作部門



平成8年度適正技術開発研究報告書

パラグアイ農業総合試験場　畑作班
職　員　関　節朗
Manuel Jose Mayeregger Aquino
専門家　宮川 敏男（畑作試験研究）

課題名　不耕起栽培における大豆の生育適量解明による持続的高位生産安定技術の開発
（2年度）播種期の相違による品種生態反応と生育適量の解明

はじめに

パラグアイの日系農家を主体とする大豆不耕起栽培は、土壌保全に有効な手段として定着し全土に波及しつつあるが、1991年3月のメルコスール協定加盟以来、大豆の栽培面積と生産量は急速に増大し世界第5位の生産国にまで躍進した。しかしながら、近年の厳しい気象変動の影響等もあって単収の年次間差は著しく、ヘクタール当たりの全国平均収量は2.5～3.0トンの範囲に停迷している。今後は3.5トン以上の高収量を安定維持し、環境保全型持続的農業の基幹技術としてより発展普及させることが求められている。

このためには、大豆の栽培環境の変化に対する多様な生態反応の変動を乾物生産面より追求して生育量と収量との因果関係を解析し、この結果から、高位安定多収を得るための生育諸形質の最適値を探索して、広く適応可能な標準技術マニュアルの策定を図ることが必要である。

1．試験の目的

現在、広域に普及している多収性品種のBR-4について、多収時期と考えられる4播種期での多様な生育パターンを創り出し、作期別生態反応の変化を乾物重や葉面積の追跡過程から追求して生育、収量との因果関係の解析を行い、多収を得るための生育適量値を探索する。

2．試験研究方法

1）供試品種 ： BR-4（中生、有限伸育型、Hill×Hood）

2）播 種 期 ： 1996年10月15日、10月28日、11月7日、11月18日の4回

3）耕種概要 ： 条間35cm株間10cmの不耕起播き（1株3粒播種し間引き後1本立、28.6株/m²）とし、基肥は前作えんばくに第2リン安（18-46-0）を200kg/ha施用したため無肥とした。その他、播種後は灌水し、病虫害防除は適宜実施した。

4）試 験 区 ： 収量調査区は1区8.75m²（5×1.75m）の3反復乱塊法で配置した。その他、生育追跡（抜き取り）調査区として1区28m²（5×5.6m、無反復）を設けた。

5）調査方法 ： 生育調査は観察による出芽期、開花期、成熟期、病虫害の発生状況、収量調査

は1区3.67m²(収量調査区4m×2列、生育追跡調査区25株)の収量構成要素及び収量、生育追跡調査は出芽期後15日、30日、開花期、及び開花期後は約15日の間隔で成熟期までの期間、毎回任意系統抽出による10株の生育諸形質、乾物重(葉、茎、莢)、葉数、葉面積を抜き取り調査した。

3. 試験結果

1. 大豆作期間の気象と生育経過の特徴

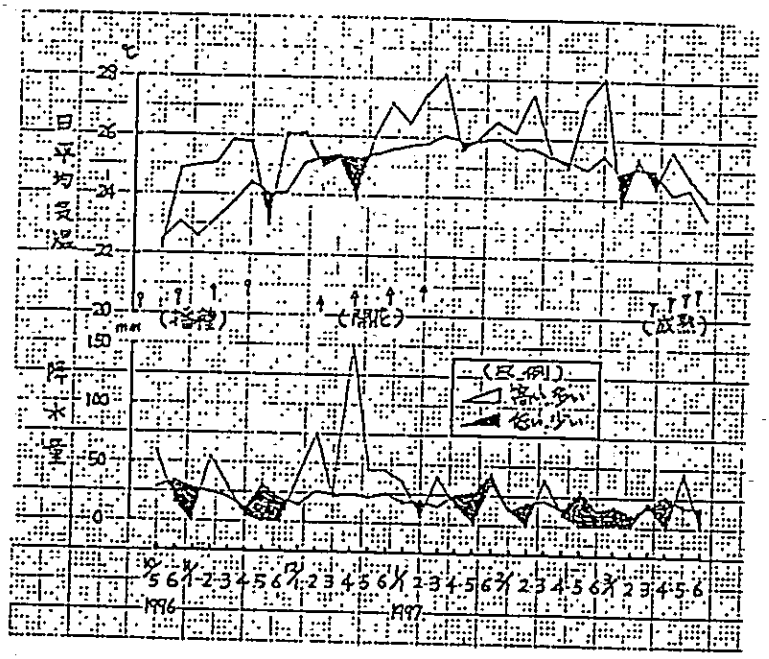
第1図は、播種期の1996年10月下旬から成熟期の1997年3月下旬に至る半旬別日平均気温と積算降水量を平年(25または26年平均)と比較した結果である。

気温は、11月5半旬、12月4半旬及び3月1半旬には平年を1°C前後下回ったが作期を通し全般に高く推移し、特に、第2~4回目の播種時、開花期~登熟中期の12月5半旬~1月3半旬及び後期の2月下旬には平年を2°C前後も上回る日が多かった。降水量は、12月の多雨を除けば全般に平年より少ない日が多く、特に登熟後半の2月下旬から成熟期の3月中旬は晴天日が連続した。

出芽は各作期とも良好で、初期生育も高温と適雨に恵まれ順調に経過した。

早播きは開花始期の極多雨に遭遇し、また、各作期とも1~2月の高夜温で呼吸量増大に伴う同化量の低下を招き、早播きほど莢先熟の傾向はあったが、3月以降は好天の連続で粒の充実が良く、各作期とも500g/m²前後の高い収量を得た。

播種期による生育日数の変動を第1表に示した。



第1図 大豆作期間における半旬別気象の平年比較

第1表 播種期別の出芽期と生育日数の比較

播種期 (月日)	出芽期 (月日)	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	開花まで 日数(日)	結実日数 (日)	生育日数 (日)
10.15	10.21	12. 8	3.15	48	97	145
10.28	11. 3	12.18	3.20	45	92	137
11. 7	11.12	12.29	3.23	47	84	131
11.18	11.24	1.11	3.26	48	74	122

各播種期とも潅水の効果もあって播種後5~6日目には順調に出芽した。10月15日播きと11月18日播きとの開花期及び成熟期の差はそれぞれ34日と11日で、開花まで日数は大差なく、結実日数の差(23日)によつて生育日数は晩播するほど短縮し23日の差を生じた。

2. 播種期による収量構成要素及び収量の変動

第2表によれば、播種期による生育形質の有意差は主茎長、第1着莢高、茎径、節数、1莢粒数、乾物重、百粒重、粒茎比、収穫指数など殆どの項目に現れたが、分枝数、莢数、粒数や子実重の明らかな差は認められなかった。

早播きは極めて短茎で、機械収穫の指標となる着莢位置も低く、主茎節数、1莢粒数、百粒重や乾物重も少ないが、全体の地上部乾物に占める莢重のウエートは高くいわゆる短茎分枝閉鎖の生態型で、収穫指数や粒茎比は他の作期よりかなり優る。これに対し、11月播きは長茎で主茎節数が多く、粒重大の理想的な長茎分枝開張型の生育を呈し、早播の莢数確保型に比べるとむしろ粒重確保型に近い生態的特徴がある。

収量は乾物重と百粒重の優る11月7日播き(標準)が最高の517g/m²を示し、次いで10月28日>11月18日>10月15日であったが、早播き以外の差はいずれも小さかった。

第2表　播種期別収量構成要素及び収量の平均値と分散分析結果

播種期	主茎長	第1着莢	茎径	主茎節	1次分枝	莢数(個)		粒数(粒)		1莢内粒
(月日)	(cm)	高(cm)	(mm)	数(節)	数(本)	株	m²	株	m²	数(粒)
	**	**	*	**						**
10.15	30.1	6.7	8.7	10.6	4.2	61	1738	107	3062	1.76
10.28	54.7	11.6	8.9	12.7	3.6	65	1862	120	3423	1.84
11. 7	81.4	14.7	8.6	14.2	3.2	59	1690	111	3161	1.87
11.18	77.9	13.8	8.0	15.2	3.1	57	1621	112	3195	1.97
L.S.D	12.7	1.7	0.6	1.9						0.13

播種期	乾物重(g/m²)			莢重割合	収量(g)		百粒重	粒茎比	収穫指数
(月日)	計	茎	莢	(%)	株	m²	(g)		(%)
	*	**		**			*	**	**
10.15	771	195	576	74.7	15.3	437	14.3	2.24	56.7
10.28	984	325	659	67.0	17.4	499	14.6	1.54	50.7
11. 7	1050	374	676	64.4	18.1	517	16.4	1.38	49.2
11.18	937	298	639	68.2	17.0	487	15.2	1.63	52.0
L.S.D	173	69		2.5			1.2	0.25	3.0

注)
有意水準
* 5%
** 1%

3. 生育時期別の諸形質、乾物重及び葉面積の変動

出芽後ほぼ一定間隔で実施した抜き取り調査における生育調査結果を第3表に、更に乾物重、葉面積の調査結果とこれらから求めた各種生長に関するパラメータを第4表に示した。

第3表は、毎回10株調査の平均値であるため時期別の形質間にバラツキを伴い判然としない面はあるが、主茎長は各作期とも出芽後65日ごろ(開花期後15日~20日)にはほぼ一定し、主茎の節数は茎長よりやや早い時期に一定化してともに晩播きするほど優る傾向が窺える。茎径の増大はかなり後期まで続いてほぼ出芽後75日(開花期後30日)を過ぎる時点には一定となるが、10月下旬~11月上旬播きが大きく晩播では劣る。一次分枝の発生する時期は、出葉期との関係はあるが、早播きするほど早く発生してその数も多くなっている。

第3表　播種期別生育形質の推移(10株調査の平均値)

播種期	調査時期	主茎長	主茎節数	茎径	一次分枝数	莢数	葉数	葉面積	
(月日)	(日)	(cm)	(節)	(mm)	(本)	(個/株)	(枚/株)	(cm²/株)	(cm²/葉)
10.15	15	14	4.0	2.5	-	-	8	46	6.1
	30	19	6.5	3.1	-	-	14	115	8.0
	48(0)	27	10.7	3.4	1.7	-	27	324	11.8
	64(16)	34	11.0	5.8	3.0	-	58	883	15.3
	77(29)	35	11.1	7.6	3.4	5	87	1678	19.2
	93(45)	35	11.1	8.3	4.6	52	83	1505	18.5
	108(60)	33	10.6	8.7	4.1	64	61	1194	19.6
	123(75)	34	10.8	8.8	3.9	59	47	877	18.7
	142(94)	34	10.8	8.5	4.8	61	-	-	-
10.28	15	14	4.2	2.6	-	-	9	84	9.5
	30	20	8.0	3.4	1.1	-	20	245	12.0
	44(-1)	37	10.9	5.0	2.2	-	37	601	16.1
	64(19)	44	13.5	7.5	2.7	-	71	1520	21.3
	75(30)	46	13.5	8.3	3.9	20	86	1659	19.9
	89(44)	45	13.0	8.0	3.0	70	79	1652	21.0
	106(61)	47	13.1	8.4	3.2	68	53	1242	21.5
	120(75)	49	13.3	9.0	3.3	71	55	1079	19.6
	135(90)	51	13.5	9.1	3.4	67	-	-	-
11. 7	15	12	4.3	2.9	-	-	8	71	8.6
	30	23	9.1	4.9	0.8	-	26	413	15.9
	55(8)	70	14.9	7.2	1.4	-	62	1857	30.2
	62(15)	74	14.8	8.5	3.7	-	78	2327	29.7
	77(30)	76	15.0	8.7	3.8	46	97	2358	26.2
	93(46)	69	14.3	9.2	3.7	70	69	2135	30.9
	107(60)	68	14.5	9.0	3.5	66	53	1610	30.6
	122(75)	74	15.0	9.3	3.6	62	10	233	23.8
	132(85)	76	14.6	8.9	3.1	60	-	-	-
11.18	15	13	3.9	2.4	-	-	8	45	5.4
	30	21	6.8	3.9	-	-	19	198	10.4
	50(2)	53	12.9	5.7	2.5	-	51	1062	20.8
	64(16)	79	14.2	6.6	2.2	-	71	1762	24.8
	78(30)	76	15.5	8.4	3.1	50	90	1921	22.4
	93(45)	73	16.4	8.2	3.5	57	71	1776	25.2
	108(60)	77	16.7	8.8	3.9	55	41	969	23.5
	122(74)	79	16.5	8.3	3.3	56	-	-	-

(注)　調査時期　出芽期後日数(開花期後日数)

葉数は節数や分枝の増加で増えるが、播種時期が早いほど緩やかに増加し、その最多となる時期は作期とは無関係に出芽期後75日(開花期後30日)前後であり、以降は落葉とともに徐々に減少する。また、生葉1枚の大きさは、10月播きでは開花期後60日ごろ、11月播きでは同45日ごろにそれぞれ最大となるが、株単位でみるとそのピークは開花期後30日前後である。

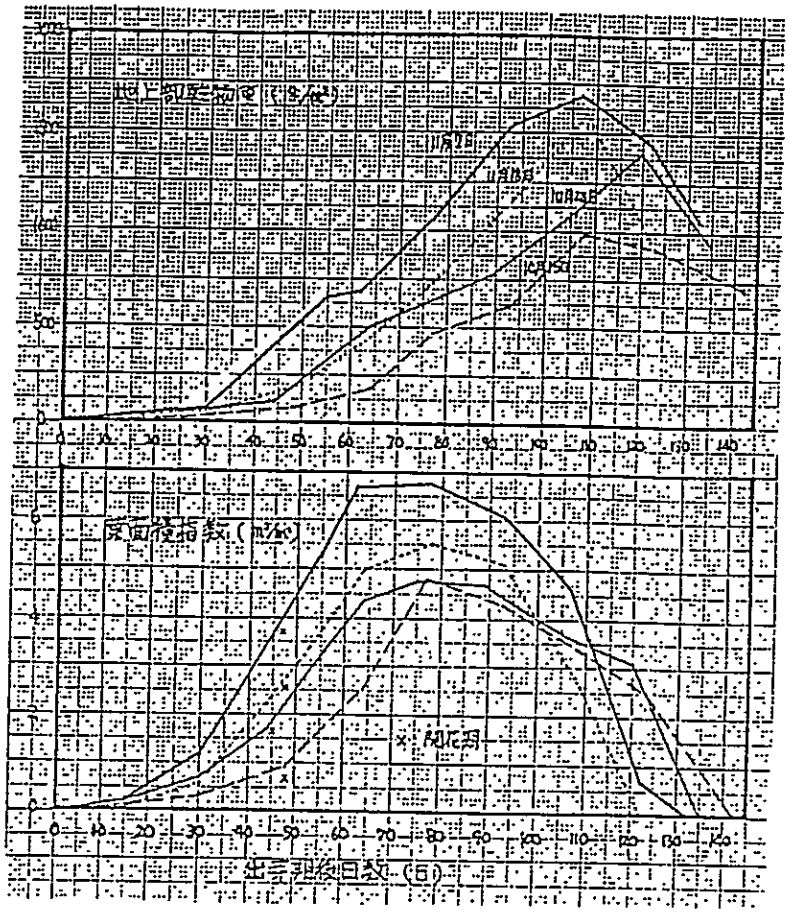
第4表　播種期別各種生長量の推移(10株調査の平均値)

播種期	調査時期	T_2-T_1	地上部乾物重(g/m²)				W_2-W_1	葉面積	LAI	CGR	NAR	LAR	RGR
(月日)	T(日)	(日)	W(計)	茎	葉	莢	(g/m²)	A(cm²/m²)					
10.15	15	15	8.2	3.8	4.4	-	8.2	1317	0.13	0.55	4.2	160.6	0.67
	30	15	23.6	10.5	13.1	-	15.4	3276	0.33	1.03	3.1	138.8	0.43
	48(0)	18	87.4	43.0	44.4	-	63.8	9262	0.93	3.54	3.8	106.0	0.40
	64(16)	16	190.4	99.0	91.4	-	103.0	25252	2.53	6.44	2.5	132.6	0.33
	77(29)	13	475.2	265.1	208.0	2.1	284.8	47994	4.80	21.91	4.6	101.0	0.46
	93(45)	16	608.8	361.1	174.3	73.4	133.6	43041	4.30	8.35	1.9	70.7	0.13
	108(60)	15	987.6	297.6	159.2	530.8	378.8	34155	3.42	25.25	7.4	34.6	0.26
	123(75)	15	914.3	283.3	108.4	522.6	-73.3	25072	2.51	-4.89	-	27.4	-
	142(94)	19	711.2	183.4	-	527.8	-203.1	-	-	-10.69	-	-	-
10.28	15	15	10.1	5.3	4.8	-	10.1	2387	0.24	0.67	2.8	236.3	0.66
	30	15	51.5	22.2	29.3	-	41.4	7005	0.70	2.74	3.9	136.0	0.53
	44(-1)	14	112.0	57.4	54.6	-	60.5	17173	1.72	4.32	2.5	153.3	0.38
	64(19)	20	507.1	352.1	155.0	-	395.1	43477	4.35	19.76	4.5	85.7	0.39
	75(30)	11	625.2	426.4	188.8	10.0	118.1	47436	4.74	10.74	2.3	75.9	0.17
	89(44)	14	810.6	452.2	184.8	173.6	185.4	47243	4.72	13.24	2.8	58.3	0.16
	106(61)	17	1112.0	379.0	153.0	580.0	301.4	35533	3.55	17.73	5.0	32.0	0.16
	120(75)	14	1407.5	384.0	149.6	873.9	295.5	30853	3.09	21.11	6.8	21.9	0.15
	135(90)	15	938.6	312.7	-	625.9	-468.9	-	-	-31.26	-	-	-
11. 7	15	15	11.7	4.6	7.1	-	11.7	2024	0.20	0.78	3.9	173.0	0.67
	30	15	65.3	28.7	36.6	-	53.6	11808	1.18	3.57	3.0	180.8	0.54
	55(8)	25	661.0	513.4	147.6	-	595.7	53112	5.31	23.83	4.5	80.4	0.36
	62(15)	7	692.7	481.9	210.8	-	31.7	66542	6.65	4.53	0.7	96.1	0.07
	77(30)	15	1066.2	796.8	255.4	14.0	373.5	67425	6.74	24.90	3.7	63.2	0.23
	93(46)	16	1529.4	845.5	231.0	452.9	463.2	61062	6.11	28.95	4.7	39.9	0.19
	107(60)	14	1688.1	557.5	202.4	928.2	158.7	46052	4.61	11.34	2.5	27.3	0.07
	122(75)	15	1443.4	429.3	18.0	996.1	-244.7	6652	0.67	-16.31	-	4.6	-
	132(85)	10	1050.6	397.5	-	653.1	-392.8	-	-	-39.28	-	-	-
11.18	15	15	8.5	4.0	4.5	-	8.5	1277	0.13	0.57	4.3	150.2	0.65
	30	15	37.8	15.9	21.9	-	29.3	5653	0.57	1.95	3.4	149.6	0.51
	50(2)	20	216.0	128.2	87.8	-	178.2	30379	3.04	8.91	2.9	140.6	0.41
	64(16)	14	450.5	311.7	138.8	-	234.5	50400	5.04	16.75	3.3	111.9	0.37
	78(30)	14	753.1	525.9	184.2	43.0	302.6	54950	5.50	21.61	3.9	73.0	0.28
	93(45)	15	1184.6	529.4	226.5	428.7	431.5	50786	5.08	28.77	5.7	42.9	0.24
	108(60)	15	1610.3	490.1	109.6	1010.6	425.7	27710	2.77	28.38	10.2	17.2	0.18
	122(74)	14	958.2	314.0	-	644.2	-652.1	-	-	-46.58	-	-	-

備考) 1. 調査時期 : 出芽期後日数(開花期後日数)
2. LAI : 葉面積指数(単位面積当たりの葉の広がり程度) A÷10000
3. CGR : 個体群生長速度(単位土地面積当たり単位時間当たりの乾物生長量) W_2-W_1/T_2-T_1 (g/m²/日)
4. NAR : 純同化率(単位葉面積当たりの乾物生長量) CGR/LAI (g/m²/日)
5. LAR : 葉面積比(単位乾物重当たりの葉面積) A/W (cm²/g)
6. RGR : 相対生長率(単位時間当たりの平均生長度) NAR×LAR (mg/g/日)

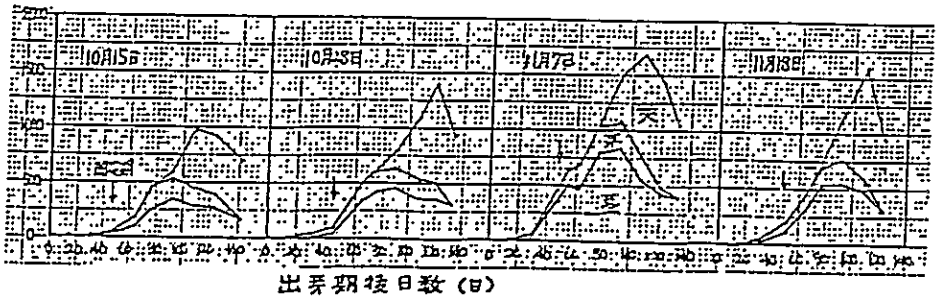
第4表に播種期別の乾物重、葉面積指数および生長解析の結果を、また、第2図には乾物重と葉面積指数の比較、第3図には部位別乾物重の生成過程の比較をそれぞれ示す。

地上部乾物重は、11月7日の標準播では出芽期後30日頃、10月28日と11月18日播きは同45日頃、早播きの10月15日播きはかなり遅れて同65日頃より急速に増加した。全重の最大となる時期は作期で異なり、10月28日播種は出芽後120日目であったが、他の作期は10～15日早く到達し、量的には標準播が優り早播ではかなり少なかった。



第2図　播種期別地上部乾物重と葉面積指数の推移

つぎに、葉面積指数の推移をみると、全重の増加傾向と同様に標準播は生育の初期から増大し、出芽後の60~80日には6.5以上の高いレベルを保持しているのに比べ、早播きでは増加傾向が極めて緩慢で、量的にも5以下と低く、また他の作期に比べて高い値を保持する期間が極めて短い等の特徴がある。

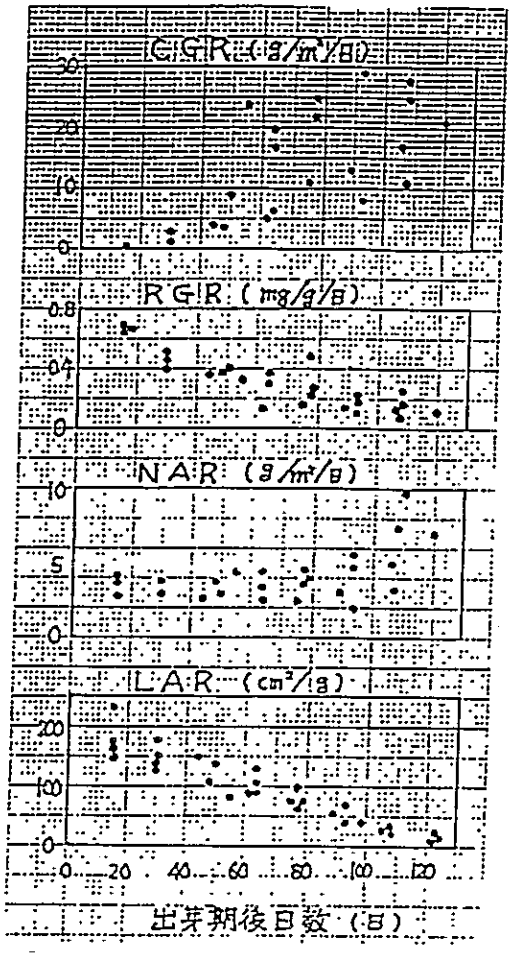


第3図　播種期別地上部乾物重の部位別構成の比較

以上のように、播種期の相違で乾物重や生葉面積の増加過程が大きく異なる理由は、主に播種後の気象条件に対する茎の充実度の早晩が関係し、第3図に示す茎重、葉重や莢重の発育過程の比較をみても明らかである。すなわち、開花期における部位別の乾物重を比較すると、標準播きの茎重は10月播きをはるかに上回り、葉重の変化も

同様で、また、開花期後30日に初めて認められる1cm以上の長さを持つ莢数やその後の莢重の動きをみてもかなりの差を認めている。

第4図は、第4表に示した各種の生長量について、作期をコミにした場合の季節的変化をみたものである。1m²の土地面積内での1日当たり乾物生産量(CGR)は、開花期までは5g以下であるが、その後は各作期ともかなり増大して、特に11月播種では、開花期後45日ごろ(出芽後93日)は30g近くにもなる。また、1m²の生葉が作り出す1日当たりの乾物生産量（純同化率、NAR)は、葉面積指数の最大となる開花期後30日(出芽後75~78日)までは5gを下回っているが、以降作期によっては7以上の高値を示す。このような乾物1gを生産するに必要な生葉の面積(LAR)は、生育初期には葉が小さく数も少ないため150cm²以上を要するが、葉の増加とともに次第に減少し、開花期後60日以後は35cm²以下の葉で生産可能となる。また、一般に言われる葉の光合成能力（NAR)と前記した相対的な葉面積の大きさ(LAR)とで決まる1日あたりの生長率(RGR)は、ＬＡＲの季節変動と似た関係があり、生育当初は0.6mg以上を要するが、その後減つて成熟前には0近くになっている。



第4図　大豆作期間の各種生長量の変化

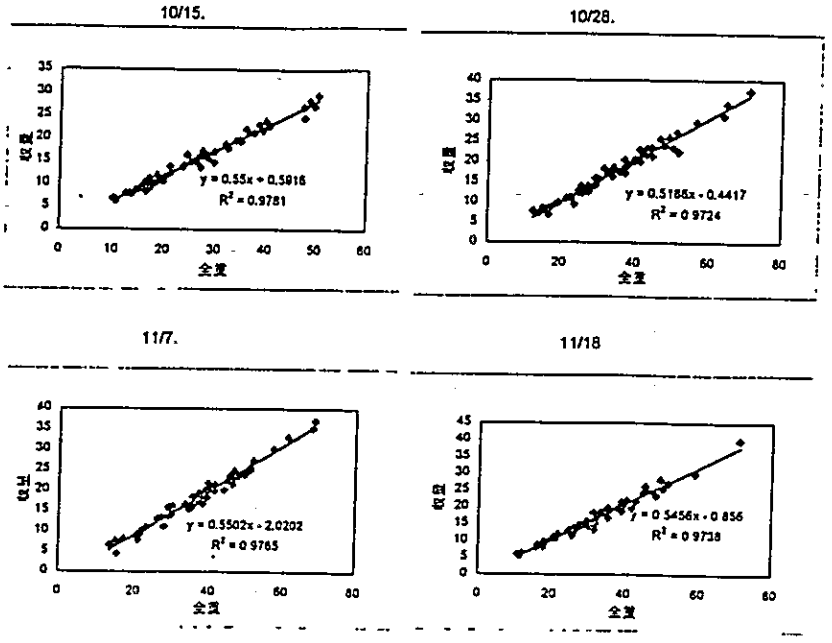
4.考 察

1.大豆の収量を支配する要因の解明

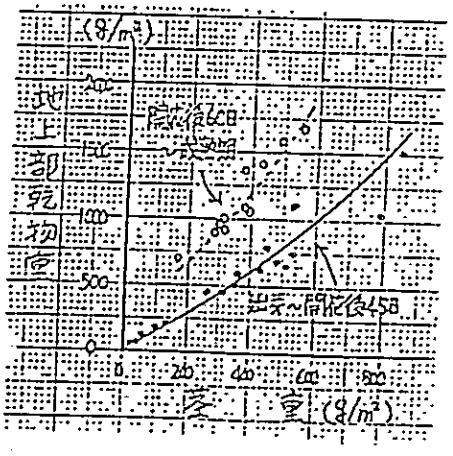
植物の生長に伴って雪だるま式に増えて行く地上部の乾物重は、収量の多少を左右する重要な指標である。第5図は、成熟期における1株単位の調査結果(各播種期とも55株調査)から得られた全重(地上部乾物重)と収量(子実重)との関係図である。両者の関係は、何れの播種時期においても極めて密接な相関関係を示し、全重は収量の全変動部分の98%前後寄与している結果が理解される。しかしながら、この関係は播種期の相違で異なり、例えば、本図において1株20gの収量を得るために必要な全重を推定すると、10月中旬播種で35g、11月上旬播種では41gのような差が認められ、これには播種期別の収穫指数(子実重/全重で、子実の移転効率を示す)の大小関係(第2表参照)が原因していると考えられる。すなわち、早播きの収量は低いが、全重が大きくならない環境の中でも収量歩留まりは極めて高く、つまり子実生産効率が大きい作型を示すのに対して、標準播きは、播種時期の中でも最大を確保する全重を十分に活用した理想的な子実生産を行っているためである。

生育過程における乾物重の増加については第2図で述べたが、生育初期には各作期とも緩慢で、その後は急激に増大して茎の伸長から粒の肥大初期まで高いレベルを保ち、以降、葉の黄化が進む出芽期後110日前後の時期には停止する。

このような乾物重の増加の過程を、全乾物重と茎重との関係でみた結果が第6図である。



第5図　播種期別にみた全重と収量との関係(株当たり)



第6図 生育過程における茎重と乾物重との関係

全重は茎重、葉重や莢重の増加に伴って増えるが、その傾向は、生葉の生成が盛んな開花期後 45日ごろまでと黄葉の始まる同 60日(出芽後110日)以降とでは異なっている。乾物重の増

第5表 収量(Y)と収量構成要素(X)と相関関係

(1株当たり)

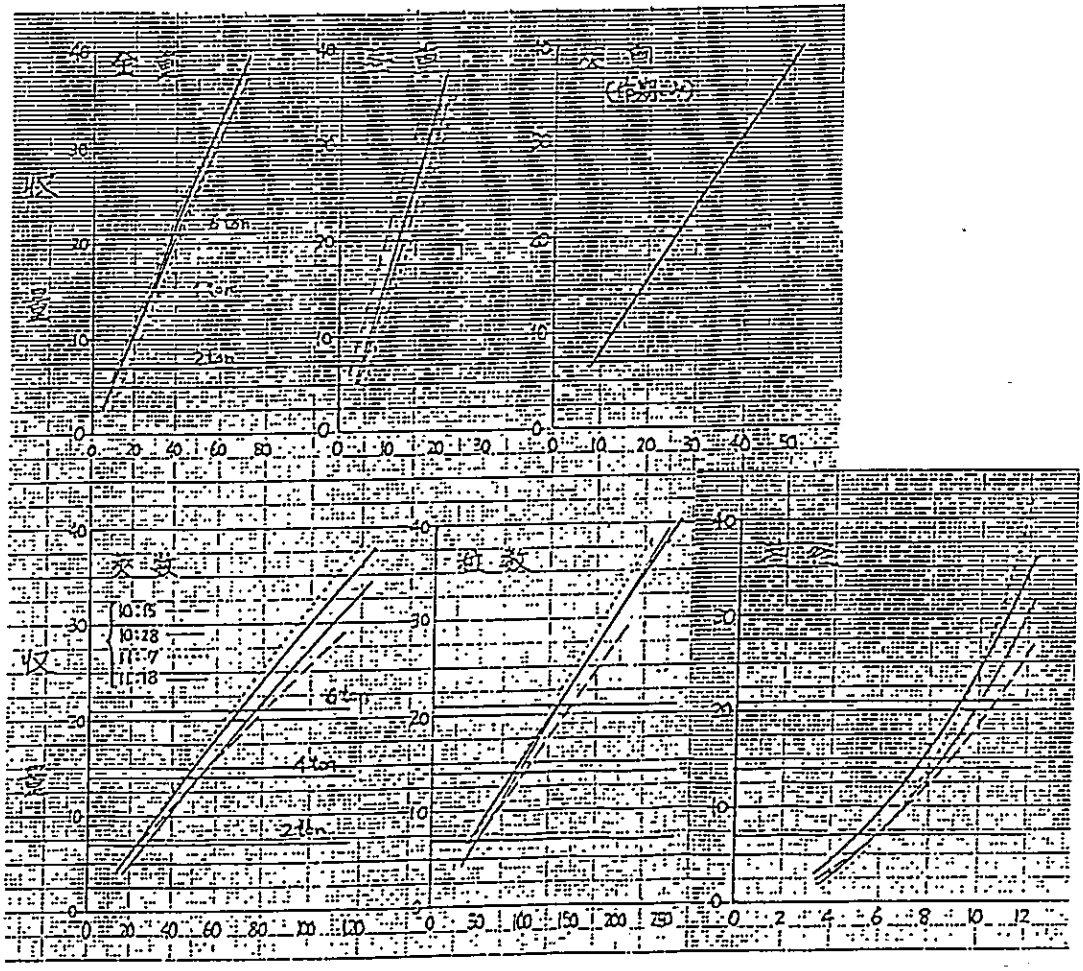
要素(X)	播種期	決定係数(R^2)	回帰式
全重(g)	10月15日	0.9781	Y=0.5500X+0.5916
	10月28日	0.9724	Y=0.5186X-0.4417
	11月 7日	0.9765	Y=0.5502X-2.0202
	11月18日	0.9738	Y=0.5456X-0.8560
茎重(g)	10月15日	0.8692	Y=1.9082X+2.5390
	10月28日	0.8547	Y=1.5458X-0.2779
	11月 7日	0.7930	Y=1.5935X-2.5676
	11月18日	0.8560	Y=1.7161X-0.8472
莢重(g)	10月15日	0.9891	Y=0.7486X+0.2808
	10月28日	0.9965	Y=0.7546X+0.0838
	11月 7日	0.9967	Y=0.7782X-0.2577
	11月18日	0.9874	Y=0.7690X-0.1322
	(作期コミ)	0.9926	Y=0.7635X-0.0156
莢数(個)	10月15日	0.9040	Y=0.2454X+0.6388
	10月28日	0.8821	Y=0.2812X-0.8593
	11月 7日	0.8915	Y=0.3163X-0.5589
	11月18日	0.9227	Y=0.3038X-0.3101
粒数(粒)	10月15日	0.8990	Y=0.1402X+0.4107
	10月28日	0.9311	Y=0.1559X-1.1101
	11月 7日	0.9111	Y=0.1719X-0.9135
	11月18日	0.9240	Y=0.1453X+0.6021
茎径(mm)	10月15日	0.7482	$Y=0.3031X^{1.7935}$
	10月28日	0.7712	$Y=0.2067X^{2.0061}$
	11月 7日	0.6460	$Y=0.0606X^{2.8258}$
	11月18日	0.7464	$Y=0.3553X^{1.8402}$

備考) 55株調査結果による

加が緩慢となる後者の期間における増大は、他の栄養器官からの同化生産物の転流によって莢重(子実重に相当)が増えているためと考えられる。

第5表は、前述した第5図の全重を含め、その他の主要な収量構成要素と収量との因果関係を播種期別にまとめた結果である。本表によれば、1株あたりの茎重、莢重、莢数、粒数や茎径(子葉節とその上の初生葉節の中部の長径)といった要素は、1株の収量とそれぞれ密接な相関関係を示し、特に莢重との間には極めて高い関係があり、また、茎径間には曲線関係が認められる。

これらの関係をより明らかにするため、播種期別の回帰線を用いて各要素別にまとめた結果を第7図に示した。本図は、条間35cm、株間10cmの平方メーター当たり28.57株(ヘクタールで約28万6千株)の条件における試験結果であるが、莢重を除き、他の要素は播種期による回帰傾向が異なり(全重については前述した)、特に、莢数や茎径などについてはかなりの差が認められ、作期をコミにして収量を推定するのには問題がある。1株の収量値からヘクタール当たり2・4・6トンを確保するに要するライン(期待値)を図中に示したが、例えば、莢数に関して11月7日播きで6トンの超多収を得るには、理論的にみて1株68莢、4トンでは46莢、2トンでは24莢(ただし、35cm×10cm)が最低必要である。



第7図　収量構成要素と収量間の回帰傾向と収量の期待値(28.57株/m²)

つぎに、第7図と同様な視点から、第5表の結果を基に播種期別のヘクタール当たり株数が異なる場合の5トン取りに必要な主要形質の理論値を求めて第6表に示す。

第6表　BR-4の5トン取りのための生育適量(理論値)

播種時期	株数(ha)	1株の平均値					
		全重(g)	茎重(g)	莢重(g)	莢数(個)	粒数(粒)	茎径(mm)
10月中旬	20万	44.5	12.0	33.0	99	175	11.7
	30万	29.5	7.5	22.0	65	116	9.3
	40万	21.5	5.5	16.5	48	86	8.0
10月下旬	20万	49.0	16.5	33.0	92	167	10.9
	30万	33.0	11.0	22.0	62	114	8.9
	40万	25.0	8.5	16.5	48	87	7.7
11月上旬	20万	49.0	17.5	32.5	81	151	9.9
	30万	34.0	12.0	21.5	54	102	8.5
	40万	26.5	9.5	16.5	41	78	7.6
11月中旬	20万	47.5	15.0	33.0	83	168	10.1
	30万	32.0	10.5	22.0	56	110	8.1
	40万	24.5	8.0	16.5	42	82	6.9

備考)　算出基礎は第5表による
　　全重が茎重と莢重の和に等しくない場合がある

この結果よりみると、例えば11月上旬の標準播きで、ヘクタール5トンの多収を得るための各要素の値は、株数30万株の場合、地上部の全乾物重は1株平均34g必要であり、この場合茎重12g、莢重は21.5gが条件となる。しかも、このような生育景を示す大豆の莢数は1株54個、子実粒数では102粒が確保され、茎径は8.5mmが適正条件となる。

以上1例を示したが、本結果は、圃場において全く欠株もなく1株1本ずつ均一に配置された精密試験の例であって、一般の大規模な農家の畑には適用できない面がある。しかしながら、単純無作為(よい株ばかり選ばず)に畑から1本立ての16株を抜き取って調べることによりおおよその収量は推定可能と考えられる。

調査株数16本の算出根拠は下記の通りである。

試験に用いた全株数216本個々の収量の変動係数(株間のバラツキ程度)を求めた結果は40%(因みに、日本の九州地域の優良品種では1本立て20~25%、2本立ては30~40%)となり、母集団の値を40%と推定した。この値を下記の式に代入して調査に必要な最小の標本数を計算し16株を得た。

$N \geq t^2 \cdot cv^2 / e^2$　　ただし、N：最小必要株数

t：信頼水準係数(1≒68%とした)

cv：40%

e：母平均値に対する抽出誤差率(10%とした)

したがって、この結果から言われることは、畑でランダムに16株の抜き取り調査をすれば、収量の真の平均値5トンに対して結果が4.5トンから5.5トンの間に入る(10%)確率はほぼ68

%あることが期待され、また、第5表を活用すれば、3トン、4トン水準の各種の収量に対する同様な評価も可能である。例えば、10月中旬の30万株播種で1株平均の全重が20gであった場合、1株収量Y=(0.55×20)+0.5916≒11.6gとなるので、この値に株数をかければ3.48トンの収量が期待できることを意味する。

日本における多収事例として、東北北部における品種ライデンの30~40kg/a取りでは、成熟期の茎重20~25kg/a、粒茎比1.5前後、開花終期の葉面積指数5.5~6.5、また、中国地域では品種タマホマレの50~60kg/a取りの事例として、茎重20~25kg、葉面積指数8~9という報告がある。しかしながら、栽植密度のレベルが著しく大きいパラグアイの大豆では、適正茎重の大きさからみても日本大豆と比較することは不可能である。

これまでに、大豆の多収稜を確保するための生育形質の適量について述べてきた。これらの適正値をいかにして栽培条件で求めるかということは至難の技であり、収量の大小を大きく規制する品種の選定や予期できない雨の影響はともかくとして、2番目に規制度の大きいといわれる播種時期や栽植密度、施肥量の適正な選択など、多収の確保に関して今後残された問題の極めて多いことを痛感する。

5. 要約

普及品種のBR-4を用いて、多収が可能な4播種期で生育相と適正生育量を検討した結果、以下のことが明らかになった。

1. 本年は、全般によい気象条件に恵まれたため、作期を通じて437~517/m²の多収量が得られた。

2. 生育日数は、播種の遅れに伴い主に結実日数の短縮で短くなる。

3. 収量は、乾物重と百粒重の優る11月7日の標準播きが最も高く、その他の作期では10月15日の低収な早播きを除き大差はない。

4. 地上部乾物重(全重)は、標準播きでは開花期前の早い時期から増加し、その後の増加速度も極めて大きく作期間で最高となるが、早播きでの増加は極めて緩慢で絶対量も少ない。これは、葉面積指数や茎重、莢重などの変化をみても明らかで、標準播きでは葉面積指数が7近くまで達し、しかも最大値を保つ期間が長く、茎の充実も早く葉重や莢重が優るのに対し、早播きでの葉面積指数は5以下でその期間も短く、茎・葉・莢重も軽いなどの特徴がある。

5. 216株の標本で株当たり収量と収量構成要素との関係を解析した結果、全重や莢重は収量と極めて密接な相関関係を示し、茎重、莢数、粒数、茎径との間にも高い関係を認めた。しかし、莢重を除く他の要素では播種期の相違で収量との回帰傾向が異なる結果を認めた。

6. 上記の関係に基づき、本試験の栽植密度(ヘクタール換算28万6千本)から推定した2・4・6トン取り、並びに5トンを目標収量とした栽植密度別の主要生育形質(全重、茎重、莢重、莢数、粒数、茎径)の生育適量に関する理論値を策定した。

7. 上記目標収量の推定方法としては、単純任意抽出による16株の各形質の平均値を求めることにより、母平均との誤差の±10%内に入る確率が68%であることで客観的な評価が可能である。

むすび

本年は、前年度の異常気象年とは異なり、全般的に良い気象条件に恵まれたため高収量が確保され、理想的な乾物生産過程の把握や多収穫を得るに必要な主要構成要素の生育適量値の策定が可能となった。

最終年度は、BR-4の標準播きにおける多収穫のための生育適量の実証試験、及び新品種AURORAを含めた開花期以降の乾物生産の比較試験を実施する予定である。

引用、参考文献

1. 大庭寅雄(1988) : 東北地方における大豆品種の生育反応と多収生育型の成立要因に関する研究、東北農試研究報告、78(別刷)
2. 島田信二ほか(1990) : 山陽地域の水田転換畑高収量ダイズに対する播種期および栽植密度の効果、日本作物学会記事、257~264
3. 宮川敏男ほか(1983) : 大豆調査における適正標本数の解明、日作九州支部会報、80~82
4. 斎藤・大久保編著 : 大豆の生態と栽培技術、農文協

大豆の高位安定多収確保のための生育適量値の解明
（適正技術開発研究）

宮川敏男・関　節朗・Manuel Jose Mayeregger

パラグアイの大豆栽培はブラジルからの技術導入によって発展してきた．パラグアイにおける近代的な大豆栽培が始まったのは１９７０年代後半からで，以来約２０年間，パラグアイは終始，ブラジルから品種や栽培技術を導入し，自国への適用に務めきた．現在パラグアイで栽培されている主要品種は，すべてブラジルからの導入品種であり，また，栽培の基幹技術である不耕起栽培もブラジルから導入されたものである．

このような導入技術のパラグアイ農業への同化によって，パラグアイの大豆生産技術は高い水準に達している．パラグアイは，この５年間の全国平均収量が２．７ｔ／ｈａで世界最多収国の地位にあり，生産量も２８０万ｔに達し，世界第５位を占めるにいたった．技術水準の特に高い日系農家（農家数３３８戸，大豆栽培総面積５７．１４８ｈａ）だけをとれば，1996/97年度の平均収量は３．２ｔ／ｈａにも達している．しかし，パラグアイ全体をみれば農家の技術レベルには大きな格差があり，４ｔ／ｈａを越す農家がある一方，2t／ｈａ前後の農家もみられる．

そこで本試験では，高収大豆の生育解析を通して多収要因を明らかにし，パラグアイの大豆栽培環境に適合した多収穫の生育指針を提示しようとした．

本試験はＪＩＣＡ適正技術開発研究として，１９９５～１９９７年度の３年間，ＣＥＴＡＰＡＲにおいて実施した．第１年目は早生および中生品種の生育解析を通して，中生品種の高収性を検証し，第２年目は播種期を変えて栽培した中生品種について，多収を得るために必要な生育量を明らかにした．第３年目には，ＪＩＣＡ主要穀物生産強化計画によってパラグアイで初めて育成された国産品種「ＡＵＲＯＲＡ」の生育解析を通して，同品種の多収性を示した．

大豆新品種「AURORA」の多収解析

１．はじめに

試験Ｉにおいては、中生および早生の多収品種を３回に亘って播種し、多収を得るための生育量について検討した結果、中生品種ＢＲ－４は早生品種ＦＴ－ＣＯＭＥＴＡに比べて、播種期の早晩に拘わらず乾物生産が大きく、初期のＬＡＩ拡大が速やかで、しかも収穫指数も高いことから、多収の条件をそなえていることを明らかにした。

また試験IIにおいては、ＢＲ－４を１０月下旬から１１月下旬まで４回に亘って播種し、乾物重、ＬＡＩ、収穫指数などについて、多収を得るための生育量を気象要因との関連で解析し、播種適期は１１月上旬であることを示した。

本試験では、ＢＲ－４とほぼ同じ熟性の新品種 AURORA の生育を解析し、その多収性を明らかにしようとした。なお、AURORA はＪＩＣＡパラグアイ主要穀物生産強化プロジェクトによって育成され、CETAPAR の地域生産力検定試験において、多収性が認められたことにより、ALTO PARANA 地域の奨励品種に認定された中生品種であり、パラグアイにおける初めての大豆国産品種である。

２．材料および方法

イグアス地域で最も広く栽培されている高収中生品種ＢＲ－４（有限伸育型）と新品種ＡＵ

ＲＯＲＡ（有限伸育型）を供試して，１１月上旬に不耕起で播種した．栽植密度は条間３５ｃｍ，株間１０ｃｍ（２８．６株／㎡），肥料は前作エンバクに第二リンアン（１８－４６－０）を２００ｋｇ／ｈａ施与し，大豆は無肥料で栽培した．出芽促進のため播種後に灌水を行った．試験区は１区２８㎡（５ｘ５．６ｍ），反復はない．生育中の抜き取り調査用の区は２８㎡（５ｘ５．６ｍ）を別に設けた．生育調査は出芽期後１５日、３０日、開花期および開花期後成熟期までは約２０日間隔で実施した。調査個体数は各時期１０株，調査項目は部位別乾物重，生葉数，生葉面積，生育諸形質について行った．収量及び収量構成要素の調査は１区４．９㎡の全株について行った．

３．結果および考察

(1) 大豆栽培期間の気象と生育経過の特徴

今年度の大豆栽培期間中の気象を平年と比較すると（図１、図２）、気温は全作期間を通して高く推移し、特に１１月上旬、１２月下旬、１月下旬、２月中～３月上旬は、旬別平均気温が平年より３～５℃高く、１月下旬と３月上旬には旬別最高気温が 35℃を越えた。降水量は１１月、１２月はほぼ平年並、１月は少雨、２月、３月、４月は多雨で、特に２月は平年の約３倍以上の降雨量で、降雨日数も１５日を記録した。両品種とも出芽は良好で莢肥大期ころまでは順調に生育したが、生育後期は高温と多雨によって病害が多発して登熟に障害をきたした。

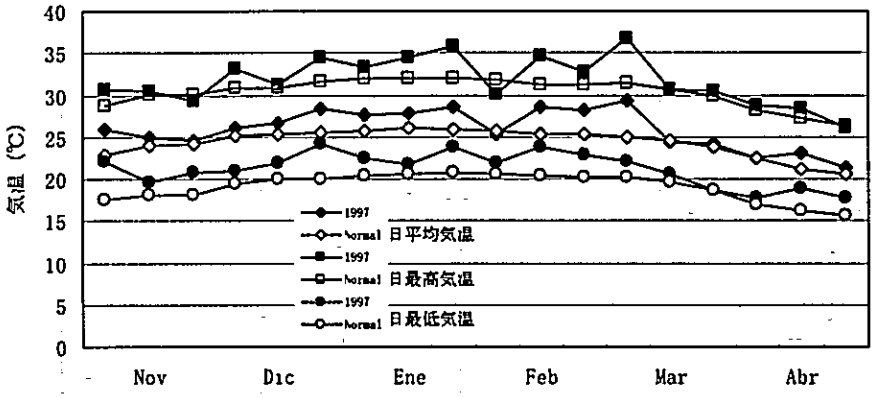


図１ 大豆栽培期間中の旬別気温の推移

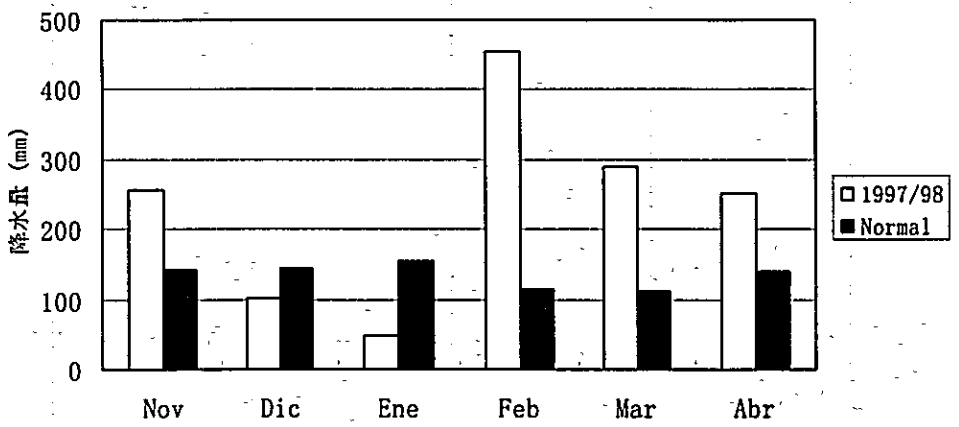


図２ 大豆生育期間中の降水量の推移

(2) AURORA および BR-4 の生育日数

AURORA および BR-4 の生育日数は（表１）、それぞれ 138 日および 130 日で、AURORA が８日長かった。パラグアイにおける大豆品種の熟期分類[1] によると、両品種とも中生品種に属し、平年の両品種の生育日数は AURORA が 136 日、BR-4 が 139 日で BR-4 の方が長いが、今年は逆に AURORA の方が長くなった。これは今年の成熟後期が例年になく多雨で降雨日数が多かったため病害が多発して、登熟が乱れたことや成熟期の判定が明瞭でなかったことによるものと考えられる。

表1 AURORAおよびBR-4の生育日数の比較

品種名	播種期（月日）	開花期（月日）	成熟期（月日）	開花まで日数(日)	結実日数（日）	生育日数（日）
AURORA	11/10	1/9	3/28	60	78	138
BR-4	11/10	12/29	3/20	49	81	130

備 1. 開花まで日数は播種期～開花期の日数
2. 結実日数は開花期～成熟期の日数

(3) 収量構成要素と収量

表２に両品種の生育量を示した。主茎長、茎径、茎重など茎に関する生長量および節数、分枝数は BR-4 が大きく、稔実莢数、莢実重、粒数、百粒重、子実重の子実に関する生長量は AURORA の方が勝っていた。全重は AURORA が BR-4 の 113%と大きかった。特筆すべきは AURORA の収穫指数が 46.7%と BR-4 より高いことである。

ＬＡＩの推移を見ると（図３）、生育初期には両品種間に殆ど差はないが、AURORA は生育後期まで高いＬＡＩを維持していた。また最高のＬＡＩも AURORA が僅かに高かった。

表２ 成熟期におけるAURORAおよびBR-4の生育量の比較

品　種	播種期（月日）	主茎長（cm）	茎径（mm）	主茎節数（節）	第1次分枝数(本)	稔実莢数（個/㎡）	粒　数（粒/㎡）
AURORA	11.10	49.5	6.7	14.5	2.9	1134	2177
BR-4	11.10	56.0	7.0	15.5	3.5	1038	1926

品　種	播種期（月日）	全　重（g/㎡）	茎　重（g/㎡）	莢実重（g/㎡）	子実量（g/㎡）	収穫指数（%）	百粒重（g）
AURORA	11.10	825	280	545	385	46.7	17.7
BR-4	11.10	728	303	425	293	40.2	15.2

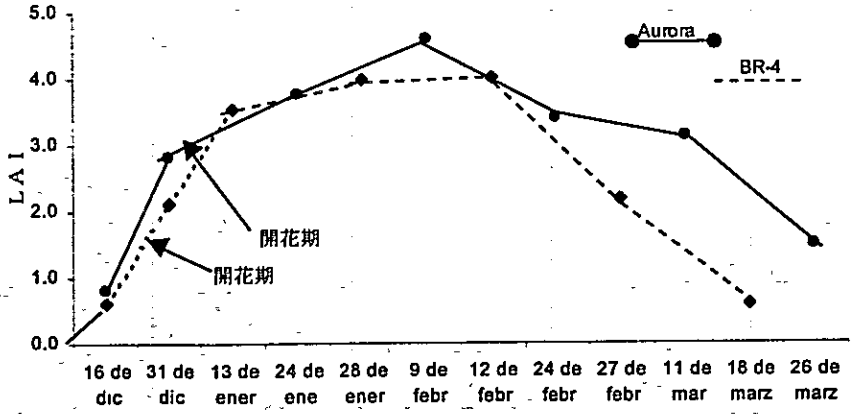


図３ AURORA および BR-4 の葉面積指数の推移

試験１および２で、多収を得るための生育量として、全重が大きいこと、生育初期のＬＡＩの拡大が速く、高いＬＡＩの期間が長く維持されること、収穫指数が高いことが必要であると述べた。AURORA は BR-4 と同様に、生育初期からＬＡＩの拡大が速い上、BR-4 に比べて成熟後期におけるＬＡＩが長期間高く維持される。また、AURORA は全重および子実に関する生長量でも BR-4 に勝り、特に収穫指数が高い。このようなことから AURORA は現在の多収品種 BR-4 より、さらに多収の特性をそなえていると言うことできる。

４．結論

ＪＩＣＡ主要穀物生産強化計画によって、パラグアイで初めて育成された国産品種ＡＵＲＯＲＡを用い、生育解析を通して同品種と BR-4 の生育量の違いを検討した結果、AURORA は現在の多収品種 BR-4 に比べて、全重が大きく、成熟後期においてもＬＡＩの減少程度が小さく長期間生葉が維持され、かつ収穫指数が高いことから、より多収が望める新品種であることが明らかとなった。

３年間の試験結果の要約

（１）第１年目は早生系の FT-COMETA と中生系 BR-4 を用い、葉面積の推移および収量構成要素を調査した。その結果、BR-4 は FT-COMETA に比べ播種期の早晩に拘わらず、乾物生産が大きく多収性であることを明らかにした。

（２）第２年目は播種期を変えて BR-4 を栽培し、多収を得るために必要な生育量を気象要因との関係で解析した。その結果、BR-4 は１１月上旬の播種で、葉面積の拡大と収量構成要素が大きく、子実収量が高いことを明らかにした。

（３）第３年目には，ＪＩＣＡ主要穀物生産強化計画によって、パラグアイで初めて育成された国産品種ＡＵＲＯＲＡを供試して、現在の多収品種 BR-4 との生育の違いを比較して検討した。その結果、AURORA は BR-4 に比べて、多収を得るために必要な生育量である全重、ＬＡＩ、収穫指数などで優れた特性を有していることが明らかとなった。

参考文献

１．関節朗・宮川敏男、1995：パラグアイ東部地域における大豆主要品種の分類基準の策定. CETAPAR 研究・調査報告 1-6.