

図2 大豆における純同化率、生長率及び全乾物重の時期的変化
(1988/89 雨期、10品種平均)

乾物生産の効率が最も高くなるような、換言すれば生長率が最大になるような葉面積指数は最適葉面積指数と呼ばれる⁹⁾。この値は必ずしも作物固有のものでなく、条件によって変る可能性があると考えられるが^{7) 10) 13)}、この試験の条件で見ると、図2の生長率と図1の葉面積指数との関係から、4.5前後と見ることができよう。

それぞれの時期における全乾物重は、生長率が時間的に積分されたものと考えることができる。全乾物重の時期的な推移は図2に見るようないわゆるシグモイド曲線を示すが、生育末期には葉の枯死脱落のため低下する傾向が見られる。

大豆の植物体を葉(葉身及び葉柄)、茎、莢、子実、及び根の各部位に分け、それらの乾物蓄積の状況を見ると図3のようになる。葉においては、生育前半に各部位中最も多くの乾物が蓄積されるが、生育後半には減少する。これは古い葉の枯死脱落のためと見られる。茎における乾物蓄積は葉に次いで多く生育後半においても低下は見られない。

子実における乾物蓄積は開花後3週間頃から顕著に見られるようになり、植物の生育末期には極めて急激な増加を示す。前に見たように、この時期には葉面積は減少し乾物生産も低

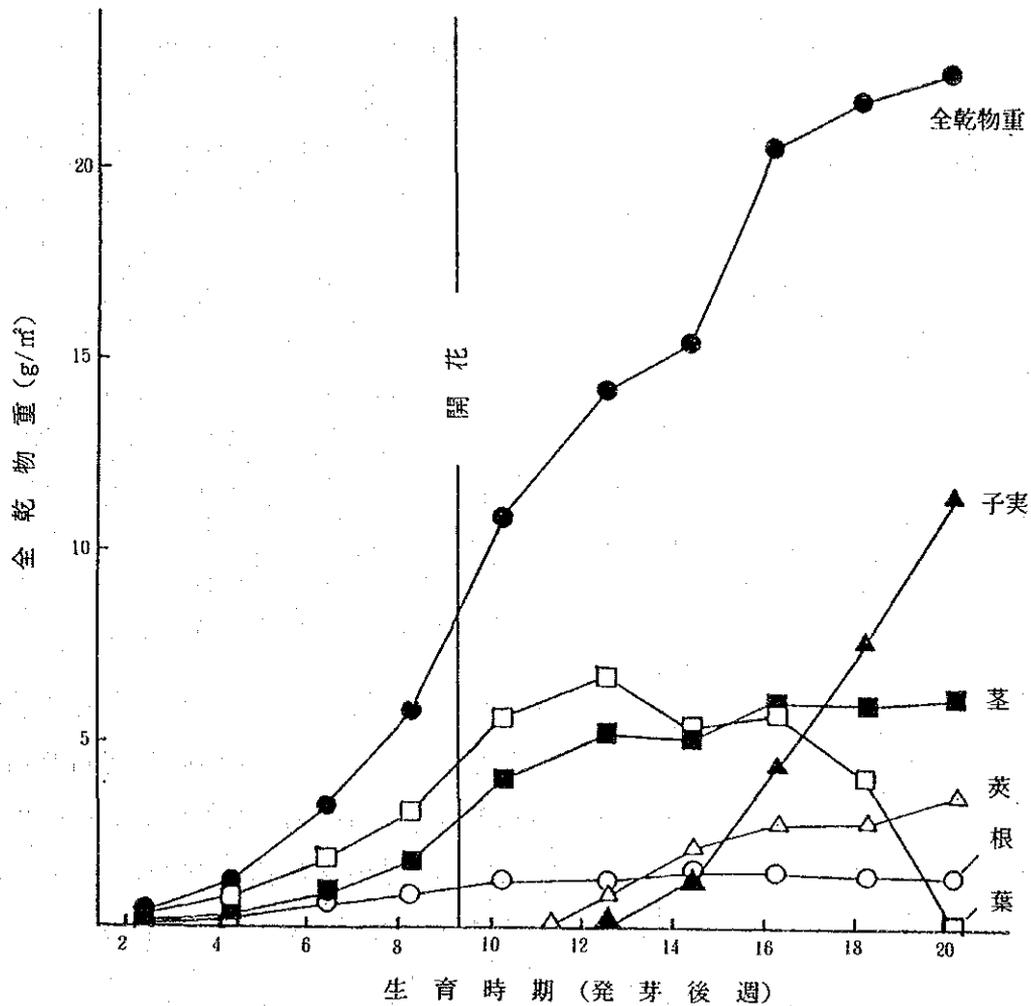


図3 大豆の植物体各部位における乾物蓄積
(1988/89 雨期、品種：Savana)

下していることから、子実におけるこの急激な乾物蓄積をその時期の乾物生産のみに結びつけて考えることはできない。子実に蓄積される乾物の中には、その時期に生産された乾物が直接関与している部分もあるであろうが、かなりの部分は、以前に生産されて栄養体の一部、例えば葉、に貯えられていた物質が子実に移行して利用されている可能性も考えられる¹⁴⁾。このことは後に述べるように、大豆の収量形成の上で重要な役割をもつものである。

2. 雨期に栽培された大豆の生育の品種間比較

先に、乾物生産に関連する要因の一般的な動向を見たが、ここでは品種ごとにそれらの変化を見る。

表1. 大豆各品種における葉面積指数の時期的変化 (1988/89雨期)

品 種	生 育 時 期 (発芽後日数)									
	17	30	45	58	72	88	101	114	128	142
BR-15	0.33	1.05	1.84	3.83	6.22	7.23	5.44	5.27	3.60	0.06
Cristalina	0.39	1.05	2.25	4.42	5.89	7.92	7.61	5.59	3.87	0.22
Doko	0.42	1.05	2.18	3.95	6.16	6.65	7.80	6.09	4.06	0.10
Eureka	0.34	0.83	1.65	3.12	4.52	3.47	1.60	-	-	-
IAC-7	0.38	0.83	1.85	3.34	5.26	7.53	5.67	5.07	3.80	0.22
IAC-8	0.48	0.99	2.28	4.01	4.89	6.25	5.55	3.73	1.95	0.03
Savana	0.48	0.98	2.08	3.71	5.41	6.94	5.22	5.21	2.70	-
BR79-31339	0.35	0.90	1.99	4.20	5.31	5.14	4.59	3.21	-	-
BR82-4843	0.48	1.11	1.88	3.83	4.47	4.31	3.79	0.44	-	-
BR82-5467	0.33	0.84	1.32	3.12	4.35	3.83	3.93	2.34	-	-

注: は最高値を示す

葉面積指数 (表1) については、いずれの品種も1つのピークのある時期的変化を示すが、そのピークの時期は品種によって違いがあり、Eureka、BR 79-31339、BR 82-4843、BR 82-5467など早生ないし中生の品種で早く、Dokoのような晩生の品種では遅い。このピーク時の葉面積指数は、ピークが早く来る品種で低く、遅い品種で高い傾向がある。

表2. 大豆各品種における純同化率の時期的変化 (1988/89雨期)

単位: g/m²・day

品 種	生 育 時 期 (発芽後日数)						
	17	30	45	58	72	88	101
BR-15	5.54	3.09	3.35	2.87	2.06	0.78	
Cristalina	5.30	3.67	3.26	1.94	1.76	1.28	
Doko	5.11	3.99	3.22	2.78	2.40	0.28	
Eureka	5.16	3.81	3.64	4.04	2.74	-0.41	
IAC-7	4.45	3.37	3.45	2.62	1.87	2.17	
IAC-8	4.58	3.83	3.53	3.20	1.97	2.62	
Savana	4.11	3.90	3.30	3.47	1.48	0.66	
BR79-31339	4.81	3.48	3.90	2.95	2.51	0.94	
BR82-4843	4.85	3.43	4.53	3.50	2.45	2.11	
BR82-5467	5.15	2.92	4.78	3.27	2.24	3.55	

注: は最高値を示す

表3. 生育各時期における品種の葉面積指数と純同化率との相関

生育時期	r
	LAI : NAR
I	-0.289
II	0.602
III	-0.567
IV	-0.727*
V	-0.664*
VI	-0.611

生育時期 I : 発芽後17~30日, II : 31~45日

III : 46~58日, IV : 59~72日, V : 73~88日

VI : 89~101日

* 5%水準で有意

純同化率(表2)は、いずれの品種も生育初期に高く、生育が進むにつれて低下する。標本誤差のためこの結果から直接正確に品種間の比較をすることは難しいが、表3に示すように純同化率と葉面積との間には負の相関が見られることから、品種による純同化率の高低は葉面積の大小と逆の傾向にあると見てよいであろう。純同化率と葉面積との負の相関についてはこれまでも多くの報告がある¹⁾²⁾¹⁰⁾¹²⁾¹³⁾。

表4. 大豆各品種における生長率の時期的変化

単位 : g/m² · day

品 種	生育時期(発芽後日数)						
	17	30	48	58	72	88	101
BR-15	3.46	4.35	9.08	14.16	13.85	4.89	
Cristalina	3.55	5.77	10.46	9.93	12.08	9.97	
Doko	3.52	6.16	9.59	13.80	15.38	2.01	
Eureka	2.82	4.56	8.41	15.24	10.89	-0.98	
IAC-7	2.59	4.30	8.69	11.07	11.82	14.23	
IAC-8	3.25	5.93	10.80	14.18	10.89	15.46	
Savana	2.89	5.70	9.29	15.63	9.09	4.00	
BR79-31339	2.80	4.79	11.56	13.95	13.10	4.59	
BR82-4843	3.65	5.01	12.42	14.52	10.73	8.54	
BR82-5467	2.82	3.09	9.99	12.12	9.15	11.76	

注 : □ は最高値を示す

生長率（表4）は葉面積指数と同様1つのピークをもった推移を示すが、そのピークの時期はDoko、Cristalina、及びIAC-7では他の品種よりやや遅くなる。生長率の値は一般に品種間で大きな差異が認められないが、これは前に見たように葉面積と純同化率との間に負の相関関係があって相互に影響を打ち消しあっているためと考えられる。

表5. 大豆各品種における全乾物重の時期的変化（1988/89雨期）

単位：g/m²

品 種	生 育 時 期（発芽後日数）										
	17	30	45	58	72	88	101	114	128	142	
BR-15	18	63	128	246	445	666	730	829	865	740	
Cristalina	18	64	151	287	426	619	748	755	907	712	
Doko	21	67	159	284	477	723	749	694	782	673	
Eureka	17	54	122	231	445	619	606	504			
IAC-7	18	52	116	226	381	570	755	847	844	847	
IAC-8	23	66	154	295	493	668	769	808	814	836	
Savana	22	60	145	266	485	630	682	853	865	880	
BR79-31339	19	55	127	277	473	682	742	798	739		
BR82-4843	22	69	144	306	509	681	792	636	650		
BR82-5467	17	53	100	230	399	546	724	662	791		

注：□ は最高値を示す

全乾物重（表5）は、いずれの品種も生育に伴って増大し、葉の枯死脱落によって低下する。そのピークの時期は植物の成熟の遅速に関係し品種によって異なる。その最高値は成熟の早い品種で低い傾向がある。

表6. 品種の全乾物重最高値に対する各時期の生育パラメーターの相関

生育時期	LAI	NAR	GR
I	0.343	-0.208	0.263
II	0.441	-0.139	0.247
III	0.471	-0.296	0.183
IV	0.561	-0.712*	-0.432
V	0.530	-0.844**	0.039
VI	0.800**	-0.276	0.071

生育時期 I：17～30日，II：31～45，III：46～58日

IV：59～72日，V：73～88日，VI：89～101日

* 5%水準で有意

** 1%水準で有意

それぞれの品種が示す全乾物重の最高値に対して各時期の生育パラメーターが関係する状況を相関係数で見れば表6のようになる。

葉面積指数は全生育期間を通じて常に全乾物重の最高値と正の相関があるがその値は低く、生育末期に有意な値を示すだけである。

純同化率は常に負の相関を示す。乾物生産に関与するはずの純同化率がこのように全乾物重に対して負の相関を示すことは一見奇異に思われるが、これは全乾物重の最高値と葉面積とはともに植物の成熟の遅速と関連し、また葉面積と純同化率との間には負の相関があることから説明される。

生長率と全乾物重の最高値の間には明らかな相関関係を認め難い。これは、このパラメーターが品種間で顕著な違いを示さないことによるものであろう。

これまで、大豆の植物全体における乾物生産の状況を見て来たが、次に大豆栽培の最終目的である子実生産の問題について検討する。

表7. 雨期栽培の大豆の子実収量

品 種	子 実 収 量 (kg/ha)
BR 79-31339	4057a
BR 82-4843	3890a
Cristalina	3816a
BR 82-5467	3812a
BR-15	3801a
Savana	3768ab
IAC-8	3591abc
IAC-7	3247 bc
Eureka	3081 c
Doko	2273 d
差の有意性	**
LSD _{0.05}	523

** 1%水準で有意

注) 同じアルファベット文字のついた値は
5%水準で統計的に差が認められない

雨期に栽培した大豆各品種の子実収量を表7に示す。供試材料として高い収量性のある実用品種を多く用いたため、収量が上位の7品種の間では統計的に有意な収量差が認められなかった。Dokoは他の品種に比べて著しく低い収量を示したが、これはmancha-olho-de-rã (カッパン病)の影響によるものであり、明らかに異常値と見なされる。

表 8. 雨期栽培の大豆における品種の子実収量と各時期の
の生育パラメーターの相関

生育時期	LAI	NAR	GR	全乾物重
I	0.144	-0.081	-0.060	0.233
II	0.546	-0.508	-0.326	0.441
III	0.193	0.412	0.494	0.230
IV	0.629	-0.026	-0.062	0.568
V	0.256	-0.259	-0.480	0.389
VI	0.081	0.318	0.217	0.418

生育時期 I : 発芽後17~30日、II : 31~45日、III : 46~58日
IV : 59~72日、V : 73~88日、VI : 89~101日

表 8 に品種の子実収量と各時期の生育パラメーターの相関を示した。葉面積指数は、いずれの時期においても子実収量と正の相関を示すが、統計的に有意な値は見られない。純同化率と生長率は時には正、時には負の相関を示すが相関の程度は低い。全乾物重は常に正の相関を示すが、これも有意性は認められない。

このような結果は、これらの生育パラメーターでは品種間に見られる収量性の違いを説明することができないということを示している。その原因としては前述のように、子実の乾物蓄積と植物全体の乾物生産との関連が直接的でないこと、また、この試験で用いた品種の収量性のレベルが極めて接近していたことなどが考えられる。

3. 乾期に栽培した大豆の生育と収量

乾期に栽培した大豆の生育パラメーターを雨期の大豆のそれと比較する。葉面積指数 (図 4) については、生育初期から乾期の大豆は雨期の大豆に劣り、最高値も 4 程度にすぎない。これは、乾期の大豆では雨期の大豆にくらべ主茎節数が少なく、従って着生する葉の数も少ないことに起因する。純同化率 (図 5) は、乾期の大豆で生育初期著しく低い値が見られるほか、一般に雨期の大豆と似た推移を示す。生長率 (図 6) については、乾期の大豆は全生育期間を通じて雨期の大豆より低い値で経過し、最高値も約 $8 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 程度にすぎない。これらの結果として、乾期の大豆の全乾物重 (図 7) は生育期間を通じて雨期のそれより著しく低く経過する。

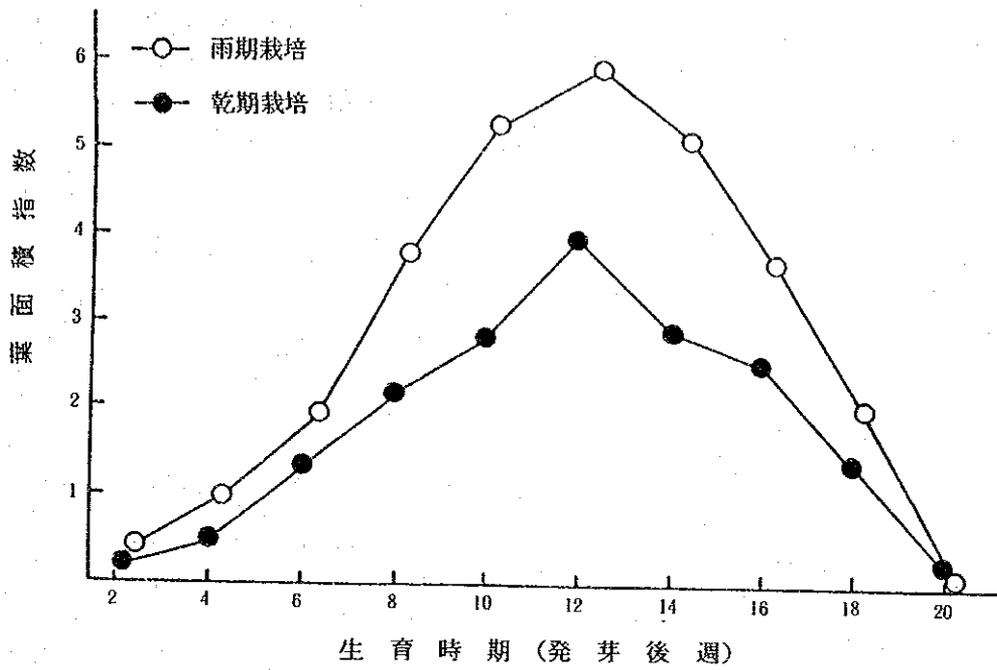


図4 雨期及び乾期における大豆の葉面積指数の消長 (10品種平均)

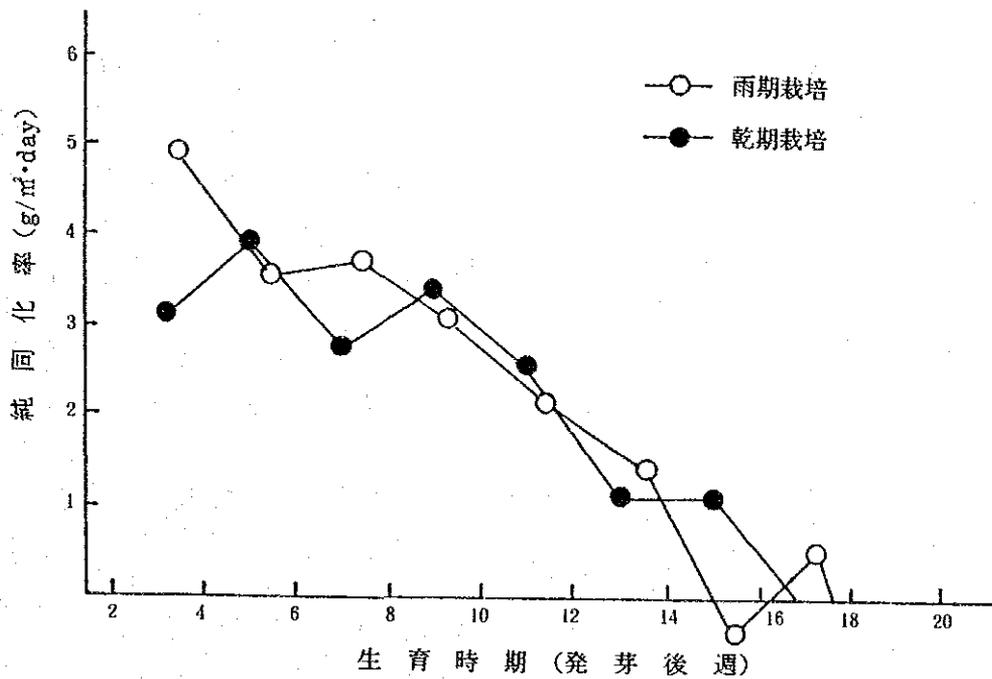


図5 雨期及び乾期における大豆の純同化率の消長 (10品種平均)

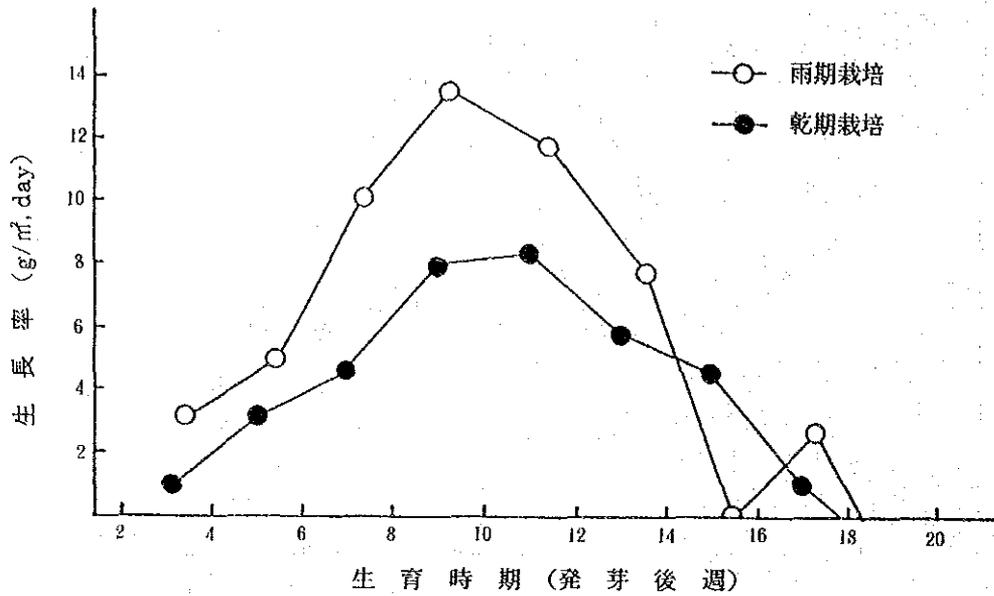


図6 雨期及び乾期における大豆の生長率の消長 (10品種平均)

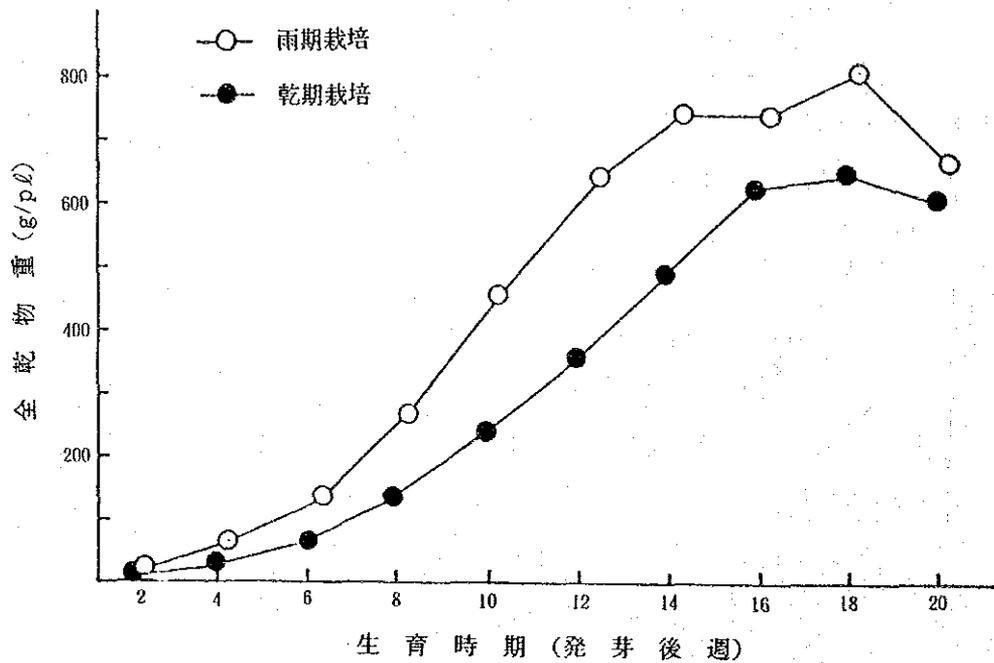


図7 雨期及び乾期における大豆の全乾物重の推移 (10品種平均)

乾期の試験では灌漑によって十分な土壌湿度を保っているため、乾期におけるこのような乾物生産低下の原因は土壌湿度に帰しては考え難い。乾期には雨期に比べ気温が低く経過するので、それがこの乾物生産低下の主な原因であろうと考えられる。

このように乾物生産の低いことは、次に見るように乾期の大豆が子実収量の面で雨期の大豆に著しく劣る1つの大きな原因になるものと考ええる。

表9. 乾期栽培の大豆の子実収量

品 種	子 実 収 量 (kg/ha)	乾期/雨期 %
BR 79-31339	2797ab	69
BR 82-4843	1592 c	41
Cristalina	2885ab	76
BR 82-5467	1432 c	38
BR-15	1527 c	40
Savana	2462 b	65
IAC-8	2607 b	73
IAC-7	2785ab	86
Eureka	1638 c	53
Doko	3246 a	142
差の有意性	**	
LSD _{0.05}	595	

** 1%水準で有意

注) 同じアルファベット文字のついた値は5%水準で統計的に差が認められない。

乾期に栽培した大豆の子実収量を表9に、また、それを雨期の場合と比較して図8に示す。雨期に病害の影響で収量の低かったDokoを除くすべての品種で、乾期における大豆の収量は雨期のそれより低い値を示す。その低下の程度は品種によって異なり、BR 82-5467、BR-15、BR 82-4843では低下が著しく、IAC-7、Cristalina、IAC-8では比較的低下が少ない。Dokoについては雨期の場合と比較できないが、乾期では全品種の中で最も高い子実収量を示した。

このようなことから、品種の間における子実収量の大小の関係は雨期と乾期では全く異なる。これら10品種について両季節の子実収量の間を相関を見ても $r=0.049$ と全く相関関係は認められなかった。

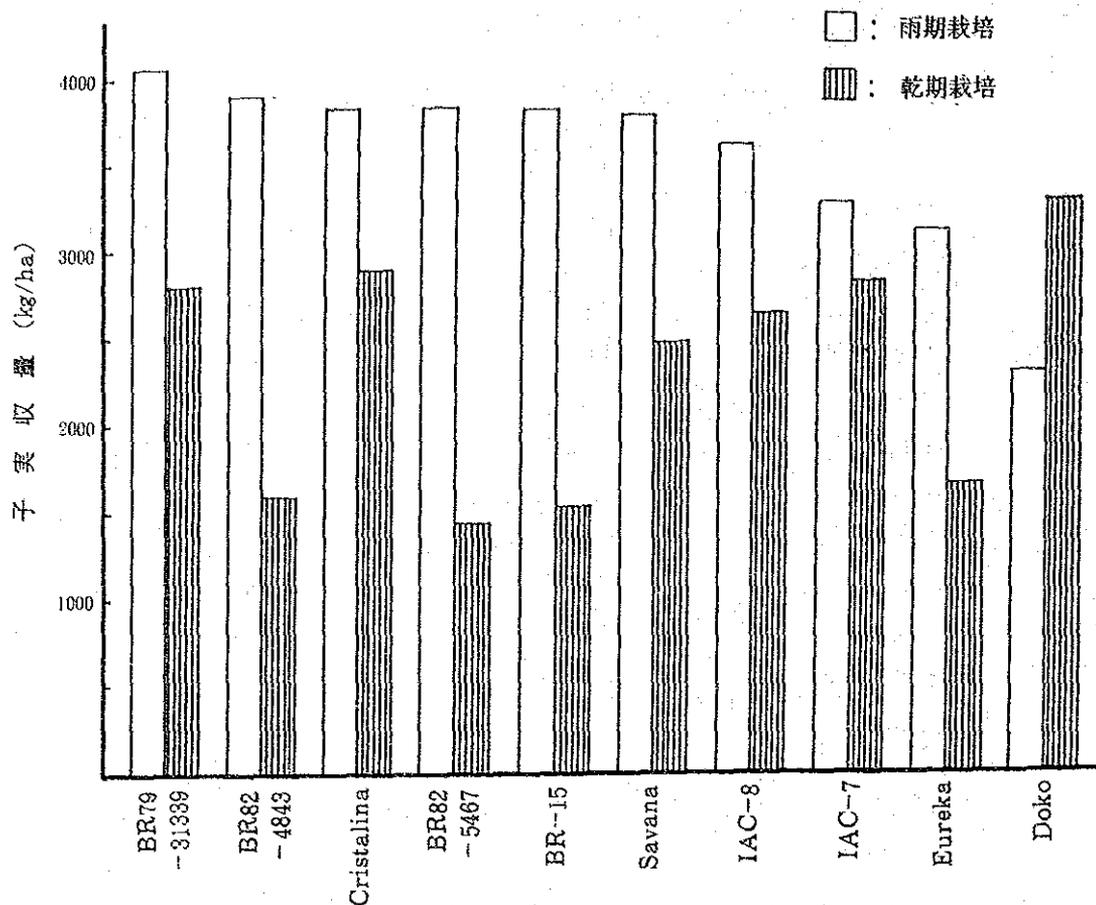


図8 雨期と乾期における大豆の子実収量

表10. 乾期栽培の大豆における品種の子実収量と各時期の生育パラメーターとの相関

生育時期	LAI	NAR	GR	全乾物重
I	-0.200	0.025	0.045	-0.135
II	0.379	-0.677*	-0.533	-0.026
III	0.391	-0.661*	-0.248	-0.397
IV	0.696*	-0.782**	0.026	-0.126
V	0.978**	-0.275	0.711*	-0.255
VI	0.957**	0.911**	0.906**	0.551

生育時期 I : 発芽後15~28日、II : 29~42日、III : 43~56日、IV : 57~70日、
V : 71~84日、VI : 85~98日

* 5%水準で有意

** 1%水準で有意

先に見た生育のパラメーターがこの子実収量にどのように関係しているかを相関係数で見れば表10のようになる。子実収量に対して葉面積指数が正の相関を持ち、純同化率が負の相

関を持つ傾向のあることは雨期の場合（表8）と同じであるが、相関係数の値が雨期には一般に低かったのに比べ、乾期では高い値が見られる。これは、これらの生育パラメーターが関与する乾物生産が直接的に子実収量に影響したためというよりは、後で述べるように、品種間に生ずる開花の早晩の関係から葉の生育量に差異を生じ、これが更にそれぞれの品種の子実収量に影響したためと見るべきであろう。

表11. 雨期と乾期における大豆の開花と成熟

品 種	発芽後開花までの日数			発芽後成熟までの日数		
	雨 期	乾 期	差	雨 期	乾 期	差
BR 79-31339	58	55	- 3	127	134	7
BR 82-4843	54	45	- 9	124	97	-27
Cristalina	68	59	- 9	149	139	-10
BR 82-5467	58	49	- 9	134	97	-37
BR-15	69	49	-20	149	104	-45
Savana	65	59	- 6	149	139	-10
IAC-8	61	57	- 4	141	134	- 7
IAC-7	73	71	- 2	149	154	5
Eureka	51	51	0	110	97	-13
Doko	75	67	- 8	149	154	5

乾期に大豆を栽培すると、一般に開花期は雨期の場合よりも早くなる。これは乾期の短日条件に対する大豆の日長反応によるものと見られるが、その促進の程度は品種によって異なる。供試した10品種の中ではBR-15、BR 82-4843、BR 82-5467などは開花が著しく早まるのに対し、Eureka、IAC-7、BR 79-31339は促進の程度が少ない（表11）。

発芽から成熟までの期間すなわち生育期間もまた乾期では雨期と著しく異なり、その変化は開花期の場合よりも更に大きい。BR-15及びBR 82-5467では、乾期には雨期に比べて生育期間が1か月以上も短縮される。これにくらべて、BR 79-31339、IAC-7、Dokoなどでは生育期間がむしろ増大する結果が見られた。

日長反応によって花の着生が早められることは乾期の大豆に見られる顕著な変化であって、これはその後の大豆の生育、延いては子実収量に大きな影響を及ぼしている。その影響というのはどのようなものであるか次に検討を試みる。

大豆は花を着生すると栄養生長を停止するようになることは先に述べた。従って日長反応によって開花期が早くなると、植物は栄養体がまだ十分発達していない状態で生育を停止する。大豆の栄養体の大きさを代表するものとして葉（葉身及び葉柄）の乾物重を考え、それぞれの品種における葉の乾物重の最高値を取り出してみると表12のようになる。この表と前の表11とを対比すれば、開花の早い品種では葉の乾物重の最高値が小さく、逆に開花期が遅

い品種では葉の乾物重が大きい傾向のあることがわかる。このことは、これら両者の間の相関が著しく高いことから理解できよう (表13)。

表12. 大豆各品種における葉の乾物重の最高値

品 種	葉の乾物重の最高値 (g/m ²)	
	雨 期	乾 期
BR 79-31339	2 5 8	1 9 9
BR 82-4843	2 3 2	1 0 9
Cristalina	3 2 1	2 4 9
BR 82-5467	1 9 9	1 0 5
BR-15	3 3 9	1 2 1
Savana	3 0 0	2 0 7
IAC-8	3 2 4	2 4 7
IAC-7	2 8 4	2 4 6
Eureka	1 9 3	1 2 3
Doko	3 2 8	2 2 5

表13. 各品種の示す発芽後開花までの日数、葉の乾物重の最高値、及び子実収量との相関

要 因	相 関 係 数	
	雨 期	乾 期
発芽後開花までの日数 : 葉の乾物重の最高値	0.788**	0.839**
葉の乾物重の最高値 : 子実収量	0.228	0.929**
発芽後開花までの日数 : 子実収量	0.006	0.843**

** 1%水準で有意

更に、先に述べたように、子実の乾物蓄積には、それ以前に生産されて栄養体の一部に貯えられていた乾物の関与が大きいと考えられる。栄養体を構成する部位としては葉、莖及び根があるが、それらの乾物重の消長から見て、このように乾物が貯えられる部位としては葉が最も大きな役割を果たしているものと思われる。これらのことから、子実の発育が始まる前の葉、例えば乾物が最高に達する時期の葉の乾物量の大小は、子実に蓄積される乾物重の量、すなわち子実収量を支配する要因になると考えられる。また前述のように、葉の乾物重の最高値の大小は開花期の早晚と密接に関連しているので、開花期の早晚もまた間接的に子実収量に関係するであろう。表13に、雨期及び乾期において各品種が示す葉の乾物重の最高値、及び発芽後開花までの日数と子実収量との間の相関を示す。雨期の大豆ではこれらの相関は認められないが、乾期の大豆ではいずれの相関係数も高い値を示している。このことは、乾期の大豆に限って言えば、上に述べたような過程で子実の乾物蓄積が行われているこ

とを裏付けるものと見てよいであろう。雨期の大豆の場合には、恐らく子実の乾物蓄積の過程で他の要因が関与していること、また品種の収量レベルが接近していることなどがこのような相関の無い結果を招いたものと思われる。

上述のように、子実の発育開始以前に葉に貯えられる乾物の多少は、子実に蓄積される乾物の「量」に影響するばかりでなく、子実に乾物蓄積が行われる「期間」にも影響する。すなわち、葉に貯えられた乾物が多ければ子実の乾物蓄積の期間は長く、葉の乾物が少なければ子実の乾物蓄積は短期間で終る。子実に乾物蓄積が行われる期間として、開花から成熟までの日数、すなわち表11の発芽後成熟までの日数から発芽後開花までの日数を差し引いた日数を用い、各品種が示すこの値と葉の乾物重の最高値との間の相関を求めると雨期、乾期ともに有意な相関が得られた（表14）。更に、この開花から成熟までの日数及び発芽後成熟までの日数と子実収量との間にも乾期の大豆で極めて高い相関が見られた。

表14. 各品種の示す開花後成熟までの日数とそれに関連する特性の間の相関

要 因	相 関 係 数	
	雨 期	乾 期
葉の乾物重の最高値：開花後成熟までの日数	0.715*	0.938**
開花後成熟までの日数：子実収量	0.393	0.966**
発芽後成熟までの日数：子実収量	0.220	0.958**

* 5%水準で有意

** 1%水準で有意

これらのことから、大豆の生育期間について要約的に言うならば、前半の発芽から開花までの期間の長さは日長反応によって規制され、後半の開花から成熟までの期間の長さは子実発育前葉に貯えられている乾物の量によって影響されているといえることができる。

4. 雨期と乾期における大豆の収量構成要素の変化

個体当り莢数、莢当り粒数、及び粒の重さ（通常100粒重として表わされる）は大豆の収量構成要素と見なされ、大豆の収量性について論ずる時考慮されなければならない重要な特性とされている。雨期と乾期という環境条件の大きな相違に対してこれらがどのような変化を示すか次に検討する。

表15. 雨期と乾期における大豆の個体当り莢数

品 種	個体当り莢数		乾期/雨期 %
	雨 期	乾 期	
BR 79-31339	35.3	26.9	76
BR 82-4843	29.8	16.4	55
Cristalina	52.1	28.5	55
BR 82-5467	37.0	18.7	51
BR-15	41.9	22.9	55
Savana	44.7	24.5	55
IAC-8	36.0	20.8	58
IAC-7	46.8	27.6	59
Eureka	26.8	18.2	68
Doko	27.1	23.6	87
差の有意性	**	**	
LSD _{0.05}	11.1	5.0	
子実収量との相関	0.441	0.748*	
雨期：乾期の相関	0.813**		

* 5%水準で有意

** 1%水準で有意

表15に見るように個体当り莢数は、雨期、乾期ともに品種間の変異が大きく、それと子実収量との相関は雨期には見られないが乾期には有意に認められた。雨期から乾期への環境条件の変化によって個体当り莢数はいずれの品種でも減少し、平均的に見ると乾期では雨期の約60%程度まで低下する。しかしその低下の割合は品種間でそれほど大きな違いを示さない。このため雨期の大豆と乾期の大豆の間では有意な相関が認められる。

表16. 雨期と乾期における大豆の莢当り粒数

品 種	莢当り粒数		乾期／雨期 %
	雨 期	乾 期	
BR 79-31339	2.26	1.89	84
BR 82-4843	2.30	2.40	104
Cristalina	2.22	1.73	78
BR 82-5467	2.22	2.29	103
BR-15	2.15	2.15	100
Savana	1.95	1.70	87
IAC-8	1.91	1.87	98
IAC-7	1.90	1.74	92
Eureka	2.23	2.38	107
Doko	1.85	1.89	102
差の有意性	**	**	
LSD _{0.05}	0.08	0.14	
子実収量との相関	0.608	-0.855**	
雨期：乾期の相関	0.645		

** 1%水準で有意

莢当り粒数（表16）もまた雨期、乾期ともに顕著な品種間変異を示すが、子実収量との間の相関は雨期に正であるのに対し乾期では有意な負の値を示した。雨期と乾期の環境の変化の影響は品種によって異なり、乾期でこの値が減少する品種と増大する品種とがある。その値が乾期に増大するかあるいは変化しない品種としてはBR 82-4843、BR-15、BR 82-5467、及びEurekaがあるが、これらの品種はいずれも乾期には早い開花期をもつ品種である。これらの品種はまた乾期に低い子実収量を示すことから、先に見たようにこの特性と子実収量との相関は乾期で負の相関を示すようになったものと思われる。この特性について、雨期と乾期との間に正の相関が認められるがその程度はそれほど大きくはない。これは上述のように、環境条件の変化に対する反応が品種によって異なるためと見られる。

表17. 雨期と乾期における大豆の100粒重

品 種	100粒重		乾期/雨期 %
	雨 期	乾 期	
BR 79-31339	14.8	18.7	126
BR 82-4843	17.9	12.1	68
Cristalina	14.5	17.6	121
BR 82-5467	15.5	11.3	73
BR-15	14.5	11.1	77
Savana	15.2	19.6	130
IAC-8	17.6	20.9	119
IAC-7	13.7	15.5	113
Eureka	16.4	10.5	64
Doko	16.3	20.6	126
差の有意性	**	**	
LSD _{0.05}	1.3	1.9	
子実収量との相関	-0.139	0.884**	
雨期：乾期の相関	-0.050		

** 1%水準で有意

100粒重について見れば表17のようになる。この特性もまた雨期、乾期ともに品種間で明らかな変異を示すが、子実収量に対する相関は雨期ではほとんど認められないのに対し乾期では高い値を示す。雨期から乾期への環境の変化に対する100粒重の変化は品種によって異なり、BR 82-4843、BR 82-5467、BR-15、及びEurekaでは乾期にこの値が低下し他の品種では増大する。乾期に100粒重が低下する上記の品種は、前に見た莢当りの粒数が乾期に増大する品種と一致する。これは単なる偶然の一致ではなく、恐らく莢当り粒数が決る過程と100粒重が決る過程との間に何らかの相互関係があるためと思われる。

このように100粒重については品種と環境条件との間に顕著な交互作用があるため、雨期の大豆と乾期の大豆との間では全く相関が認められなかった。

表18. 雨期と乾期における大豆品種の収量構成要素間の相関

要 因	相 関 係 数	
	雨 期	乾 期
個体当り莢数：莢当り粒数	-0.098	-0.870**
個体当り莢数：100粒重	-0.724*	0.545
莢当り粒数：100粒重	0.006	-0.820**

* 5%水準で有意

** 1%水準で有意

各品種が示すこれら3つの収量構成要素の間の相関を雨期と乾期の大豆で見れば表18のようになる。雨期には個体当り莢数と100粒重との間に有意な負の相関が見られるだけで他の特性の間には相関は認められない。乾期には個体当り莢数と莢当り粒数との間、及び莢当り粒数と100粒重との間にかなり高い負の相関がある。このように雨期と乾期で相関の表われ方が異なるのは、先に見たようにこれらの特性が環境条件によって変化し、また、その変化のし方が品種の間で異なることによるものであろう。

結 論

大豆を乾期に栽培すると、栄養生長と生殖生長のいずれにおいても雨期の大豆とは異なった様相を示す。

栄養生長においては、乾期の大豆は雨期の大豆に比べて葉面積の発達が劣り、乾物生産が低下するため全乾物重は生育期間を通じて低く経過する。このような栄養生長の減退は主として乾期における比較的低い気温の影響によるものと考えられるが、これが次に述べる生殖生長の変化と組み合わされて乾期の大豆の収量低下の原因となるものである。

生殖生長について見れば、乾期の大豆では一般に花の着生及び開花が雨期の場合にくらべて早められる。これは明らかに、短日植物である大豆が乾期の日長条件に反応した結果である。

日長条件に対する感受性が品種によって異なるため、乾期の大豆で開花が早められる程度についても品種間で大きな差異を生ずる。このような日長反応による開花期の変化は次に述べるような過程を経てその後の生殖生長、延いては子実収量に影響を与えるものと考えられる。

この研究で用いた品種・系統（いずれも有限型）で見ると、大豆は花を着生するようになると栄養生長を停止する。従って日長反応によって生じた品種間における開花期の早晩の違いは、大豆の栄養生長を持続する期間が短いか長いかという違いをもたらすことになる。この栄養生長の期間の長短は、更に、栄養体に貯えられる乾物の多少に関連する。

一方、子実における乾物蓄積には、同じ時期に行なわれる乾物生産が直接的に関与するばかりでなく、以前に生産されて栄養体の一部に貯えられている乾物の関与も大きいと考えられる。従って前記のように栄養体に貯えられる乾物の量に差異があると、子実に移行される乾物の量にも差異を生じ、結果的に子実収量に違いを生ずることになる。

以上が、乾期に大豆を栽培した場合品種間で子実収量に大きな変異を生ずる理由についての1つの説明である。この試験で得られた多くの結果はこの説明の妥当性を裏づけるものであった。

雨期に栽培した大豆については上記の理論だけで品種間の収量性の相違を説明することは困難である。これは子実の乾物蓄積の過程で他の要因の影響が大きいと思われるが、基本的には雨期の場合にも上述のような子実収量形成の機構が働いているものと考えられる。

個体当り莢数、莢当り粒数及び100粒重は大豆の収量構成要素と見られる特性であるが、これらは雨期と乾期との環境条件の違いによって種々の変化を示す。すなわち、個体当り莢数は乾期の大豆で著しく減少するが、その減少の程度は品種間で大差がない。これに対し、莢当り粒数と100粒重では、乾期に減少を示す品種と逆に増大を示す品種がある。また乾期に100粒重が減少する品種では莢当り粒数がむしろ増大する傾向が見られる。このように、これらの特性は環境条件によって複雑な変化を示すので、大豆の研究においてこれらの特性を問題にする場合には十分な注意が必要であろう。

経済的な面から見て、大豆の乾期栽培での最も重大な問題点は子実収量が低いということであろう。この収量低下はこれまで見て来たように、乾期における比較的低い気温及び短い日長に起因する。これらの条件は乾期の気候条件の一部を成しているため避け得ないものであり、また人為的にコントロールすることもできない。従って施肥技術や栽培技術などによって乾期栽培の大豆の収量を雨期の大豆と同じレベルに引き上げることはほとんど不可能なことと思われる。

しかし幸いなことに、乾期の環境条件、その中でも特に日長条件については、それに対する感受性に品種間で著しい相違があり、品種によっては収量低下が比較的少ないものもある。従って大豆の乾期栽培のためには、その環境条件においても収量低下の少ない品種を選んで利用することが最も重要なことである。

この研究で用いた10品種の中で見るならば、比較的収量低下の程度の少ないものとしては、Doko、IAC-7、Cristalina、及びIAC-8が挙げられる。これらは乾期栽培に比較的適した品種ということができよう。一方、乾期栽培で子実収量が著しく低下する品種としては、BR 82-5467、BR-15、BR 82-4843などがある。このように乾期栽培で収量低下の著しい品種は日長条件に対して感受性が強いので、単に乾期栽培に不適であるばかりでなく、低緯度地帯で栽培する場合や播種期が遅れた場合などに収量が低下するおそれがある。

このことは、実際の大豆栽培における品種選定に当って十分考慮されねばならない。

この研究においては、研究方法としていわゆる生育解析法を用い、大豆の生育と収量形成過程を乾物生産の観点から解析することを試みた。しかし、得られた結果は、通常の生育解析法だけでは大豆の収量性を十分解明できないことを示した。これは前にも述べたように、大豆の子実における乾物蓄積は植物全体の乾物生産と直接的に関連するものでなく、その間に乾物が葉に貯えられる過程が介在すると考えられるためである。従って今後大豆の収量性について解明しようとするならば、葉における乾物の貯蔵と子実への移行など、植物体内での乾物の動きについても研究することが必要である。

引用文献

1. BEAVER, J.S. and R.L. COOPER. Dry matter accumulation patterns and seed yield components of two indeterminate soybean cultivar. *Agronomy Journal* 74 : 380-385, 1982.
2. BUTIERY, B.R. Analysis of the growth of soybeans as affected by plant population and fertilizer. *Canadian Journal of Plant Science*, 49 : 675-684, 1969.
3. CLAWSON, K.L., J.E.SPECHT, and B.I.BLAD. Growth analysis of soybean isolines differing in pubescence density. *Agronomy Journal* 78 : 164-172, 1986.
4. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF, Culturas Anuais-soja, cultivo de soja na época da seca. *Relatório Técnico Anual 1979-80*, Planaltina, 1981, p.104.
5. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF, Culturas Anuais-soja, produção de soja na época seca. *Relatório Técnico Anual 1980-81*, Planaltina, 1982, p.106.
6. FERRI, M.G. *Fisiologia vegetal* 1, p.342. Editora Pedagógica e Universitária Ltda. São Paulo 1979.
7. HUNT, R., *Plant growth analysis*, Studies in Biology no. 96 p.29, Edward Arnold (Publishers) Limited, London, 1978.
8. 泉山陽一. てん菜収量性の基礎としての乾物の生産と分配に関する研究. 北海道農業試験場研究報告 121号 : 13-69, 1978.
9. IZUMIYAMA, Y., Production and distribution of dry matter as a basis of

- sugar beet yield. *Japan Agricultural Research Quarterly* 17 : 219-224, 1984.
10. KOKUBUN, M. and K. WATANABE, Analysis of the yield-determining process of field-grown soybean in relation to canopy structure.
II. Effect of Plant type alternation on solar radiation interception and yield components. *Japanese Journal of Crop Science* 50 : 311-317, 1981.
 11. KOKUBUN, M. and K. WATANABE, Analysis of the yield determining process of field-grown soybean in relation to canopy structure.
VI. Characteristics of grain production to plant types as affected by planting patterns and planting densities. *Japanese Journal of Crop Science* 51 : 51-57, 1982.
 12. 中世古公男、後藤寛治、大豆、小豆、菜豆の生産生態に関する比較作物学的研究。日本作物学会紀事 50 : 38-46、1981.
 13. 小島睦男、福井重郎。大豆の子実生産に関する研究 第3報 乾物生産の特性について。日本作物学会紀事 34 : 448-452、1966.
 14. 小島睦男、福井重郎。大豆の子実生産に関する研究 第4報 乾物生産と収量との関係。日本作物学会紀事 34 : 453-456、1966.
 15. RADFORD, P.J. Growth analysis formulate—Their use and abuse. *Crop Science* 7 : 171-175, 1967.
 16. SCOTT, H.D. and J.T. Batchelor. Dry weight and leaf area production rates of irrigated determinate soybeans. *Agronomy Journal* 71 776-782, 1979.
 17. SIVAKUMAR, M.V.K. and R.H. SHAW. Method of growth analysis in field-grown soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Annals of Botany*, 42 : 213-222, 1978.
 18. URBEN FILHO, G., SPEHAR, C.R. and SOUZA P.I.M., Efeito da população de plantas sobre variedade de ciclo longo no plantio de inverno. *Relatório Técnico Anual 1982-85*, Planaltina, 1987, p.303-305.
 19. WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Advance in Agronomy* 4 : 101-145, 1952.

4. セラードの暗赤色ラトソルにおける土壤水分張力に基づく
フェジヨンおよびエルビーリャに対するかん水点の設定

派遣専門家：宮沢数雄（土壌-作物-水分系）

（87.7～89.7）

カウンターパート：Sebastião Francisco Figueredo

セラードの暗赤色ラトソルにおける土壌水分張力に基づく フェジョンおよびエルビーリャに対するかん水点の設定

宮 沢 数 雄

Sebastião Francisco FIGUEREDO

1. はじめに

かんがいは、セラード農業にとって、雨期における農業生産を安定させるためにも、また乾期における農業生産を定着させ、自然的・社会的資源を有効に利用するためにも欠くことのできないものである。

幸い、セラードは地形が平坦で、雨期に十分な雨量があるため、乾期におけるかんがい水の確保は比較的容易である。

雨期における農業生産にはベラニコや降雨の不均等な分布、湿害、病虫害、雑草害、収穫時の天候不順等数々の不安定要素があるが、乾期かんがい下の農業では、これらの不安定要素がなく、良好な土壌、作物の管理が伴えば、高い生産をあげる可能性がある。特に病害、湿害に弱い麦類や、フェジョン、エルビーリャ等は、かんがい下の栽培に適する。いろいろなデータを総合すると、かんがい下のフェジョンの収量はha当たり、平均1,800kgと高く、それに反して無かんがいのフェジョン平均収量は、500~850kg/haときわめて低い(Azevedoら、1987)。

かんがいシステムにおける水管理の観点からすると、基本的な問題はかん水時期の決定である。正確な時期のかん水は疑いもなく、かんがい農業の成功にとって重要な要因である。換言すれば、かんがいに必要な知識がなければ、作物の全生育期間を通ずる合理的なかんがい計画をたてることはできない。

かん水時期の決定にはいろいろな方法があるが、古くから使われているものとして、作物体の蒸発散量を推定する方法がある(DoorenbosおよびPruitt, 1977)。例えば一定の裸地または芝生に設置したAクラスタンクからの蒸発量より、植物被に覆われた表面よりの対照蒸発散量(E_{To})を推定する。作物よりの蒸発散量(E_{Tc})は、これに作物種とその生育段階に固有の係数をかけて求められる。すなわち、

$$E_{Tc} = K_c \times E_{To}$$

この方法によれば、作物による水の消費量は、科学的に推定できるので、土壌の有効水保持容量から、かん水間隔を推定することができる。Azevedoら(Azevedoら、1983、EMBRAPA-CPAC, 1981)によると、粘土質LE(暗赤色ラトソル)では15気圧までの張力の水は1.3mm/cmあり、そのうちの65%までが0.7気圧以下の張力で抽出されるので、 E_{To}

が1日当たり4~6mmで、深さ30cmまでの水を利用すると、4~6日以下の間隔でかん水しなければならないことになる。

この方法では、かん水点の決定は間接的になるので、やはり直接土壌水分を測定し、作物に障害をもたらすことなく、かんがいを始めなければならない最低の土壌水分含量を確定することは、労働力及び水分消費の合理化にとって極めて重要である。

土壌水分含量は、土壌水分張力によって推定することができ、土壌水分張力は、それが0.8気圧以下の場合はテンシオメータ、1気圧以上の場合は石膏ブロックの電気抵抗により測定することができる。

この場合、対象作物およびその生育段階にとって、土壌水分張力を測定する適切な深さ及びかん水を開始する土壌水分張力の値は既往の業績では、極めてまちまちである。

Azevedoら (Azevedoら、1986、AzevedoおよびCaixeta、1987) は既往の文献を整理し、かん水点の土壌水分張力(バール)が増すにつれて、色々な作物の相対収量(%)が低下すること、2バールの周辺では最高の80%であり、4バールに達すると50%の収量に減少することを示している。Azevedoはかんがいのマニュアルの中で、かん水点は0.6気圧、測定は幼植物では深さ15cm、生育最盛期では深さ30cmを提唱している。

Arruda (1987) は、フェジヨンの根系は20~30cmなので、テンシオメータ設置の深さは15cmが良いとしている。またカンピーナスで行った試験では、全かん水量300mmで最も高い平均収量を得たことを報じている。

Stoneら (1986) は、CNPAF (イネーフェジョン研究センター) で行われた試験で、かんがい下のフェジョンに対する適切な水分張力は、深さ15cmで測定して0.25~0.30バールの間にあるとし、かん水点の張力が高い場合、収量の低下した多くの外国の例を引用している。

Bernardoら (1970) は、土性砂質埴壌土の古い段丘上の土壌を用いて行ったフェジョンのポット試験で、深さ10cmの水分張力0.5気圧の収量を100とすると、0.65気圧78、0.75気圧54の収量指数を得たが、水分欠乏の徴候が作物に現れたのは0.75気圧からであるとしている。

Magalhaesら (1978) は、ペトロリーナの乾燥多角形と呼ばれる地帯で、フェジョンのは場試験を行い、開花期11日間の水分欠乏(30cmまでの水分張力0.9バール)までは、子実収量に統計的な有意差がなかったが、それ以上の水分欠乏では収量が急速に低下することを示している。

またPrizone (1987) はフェジョンの子実収量に対するかん水量と窒素施用量の総合効果について検討し、かん水量500mm、N120kg/ha施用で最高の子実収量(2.4t/ha)が得られたことを報告している。

エルビーリャのかん水点については、外国での沢山の報告があるが、ブラジルではまだ試験結果が報告されていない。Marouelliら (1989) は既往のデータを総括して、生育初期には2パール (粘土質)、1パール (砂質)、開花期、登熟期には1パール (粘土質)、0.5パール (砂質) のかん水点を示している。

以上概観したように、土壤水分張力に基づく、かん水点の決定については、まだ不明確な点が多く、乾期におけるかんがい農業システムの全過程で検討を要する。

CPACでは、以上のような観点から乾期かんがい下の畑作物に対するかん水点決定の一連の試験を進めているが、現在までの所小麦にかんする試験が完了している。小麦のかん水点は、10cm、0.67気圧までは4.9t/haと子実収量の低下がなく、総かん水量は596mmと節約された (Guerra及びSilva, 1987)。

フェジョン及びエルビーリャのかん水点設定については、筆者の着任した1987年から試験が開始され、なお継続中であるが、大体において結論が得られており、その概要を報告する。この試験の中で、筆者は土壤専門家として参加し、試験ほ場の土壤管理、施肥管理及び土壤中の水分変動について担当し、ほ場試験としては高い精度で、フェジョン及びエルビーリャの高収量を伴う結論を引き出すことができたのは幸いである。

2. 目的

セラードの粘土質LE (暗赤色ラトソル) における乾期のフェジョン (*Phaseolus Vulgaris* L.) 及びエルビーリャ (*Pisum sativum* L.) のかんがい栽培において、土壤水分張力に基づいて設定した種々のかん水点の収量及び収量構成要素に及ぼす影響を評価し、最高の収量と水利用効率の得られるかん水点を確定する。

3. 仮設

乾期のかんがい栽培について、かん水点設定の試験を行うには、まず土壤水分張力を何cmの深さで測定するかを考えなければならない。Azevedoら (EMBRAPA-CPAC, 1980) は供試したすべての土壤で、水分伝導度が、土壤水分含量の低下とともに急速に低下することを示した。したがって根が土壤水分を吸収するにつれて水の伝導は悪くなり、水の分布は均質でなくなる。したがってかん水時期を判定するための土壤水分張力測定部位は、活性な根が最も分布する所でなければならない。根の分布の調査から判断して、作物の全サイクルを通じて地表に最も近い所に根が最も多いと思われ、水の蒸発散も表層で最も盛んであると考えられる。

そこで次のような仮設が成り立つ。

1) 乾期におけるかんがい下の作物の生育は、土壤水分含量がある限度以下になるとその

影響を受け、生育が低下する。

- 2) 土壌水分の変動は、作物の全生育期間を通じて、地表付近の層で大きく、したがってかん水点を設定するための土壌水分張力の測定は、地表下10cmで行うのが良い。
- 3) しかし、作物の根系は地表下60cmまでの土壌水分を吸収するので、かん水量は地表下60cmまでの水分の変化を考慮して計算する。
- 4) 供試作物は1気圧までの張力の土壌水分を利用することができる。

4. 試験方法

試験はCPACの粘土質LEのは場で行った。エルビーリャの試験ほ場は、ほぼ1haで、開畑後5年、養分の蓄積は多くないが、トラクターによる圧密が少ない。隣接するフェジョンの試験ほ場は開畑後10年を経過し、養分の蓄積は多いが、地表近くにトラクターによる圧密層が見られる。

フェジョン及びエルビーリャに対するかん水点としての土壌水分張力の影響は、次の6水準で評価された：0.33, 0.5, 0.7, 1, 5, 10気圧。各処理は1ブロック中に無作為に配置され、各ブロックはそれぞれ4反復された。

テンシオメータと石膏ブロックは、各処理毎に、10, 20, 30, 40, 60, 80, 100cmの深さに設置した。10cmの土壌水分張力の値が、それぞれの処理のかん水点に達した時にかん水することとし、かん水量は各部位の土壌水分張力の観測結果から、深さ60cmまでをほ場容水量の状態に戻すのに必要な量を計算した。

かん水はフェジョンについては、降雨を模して穿孔したポリビニールチューブを用いて人力で行った。1区は幅3.5m、面積21㎡で、かん水量は精度1ℓのハイδροメータで測定した。

エルビーリャのかん水は4m間隔で配置したオーストラリア型ミクロスプリンクラーで行った。1区のかん水面積は16m×16mで、16本のスプリンクラーを配置し、中心の16㎡で土壌水分張力の測定、作物体試料の採取および収量調査を行った。時間当たりかん水量は、雨量計で測定し、各処理区ごとに必要なかん水量はかん水時間で計算した。

5. 試験ほ場の準備・管理

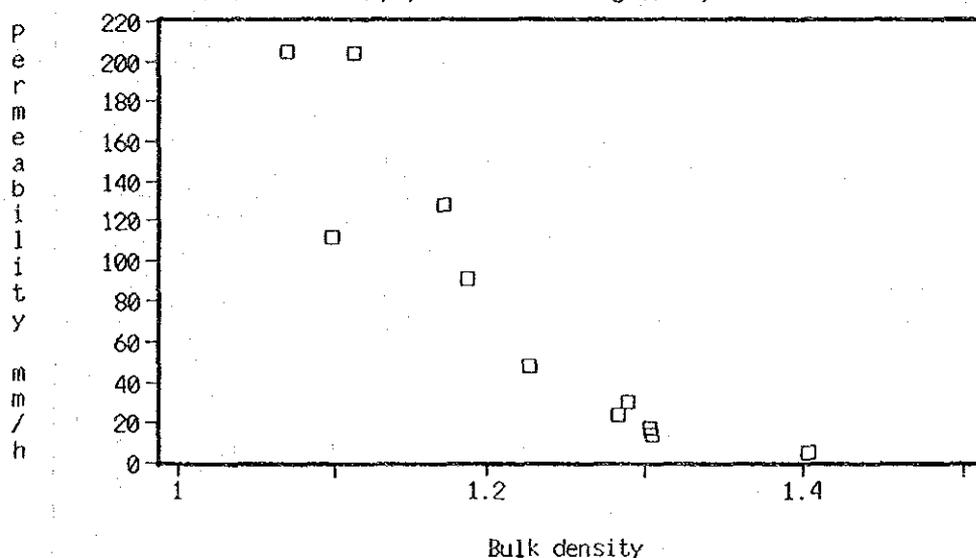
試験ほ場は1988年1月現在で、フェジョンほ場は裸地、エルビーリャほ場にはトウモロコシが栽培されていた。表1に示すように、両ほ場とも、地表近くに容積密度が極めて高く、気相容積の少ない圧密層が明らかに認められた(表1)。採取した100cc円筒の試料につき、飽和透水係数を測定すると、容積密度が1.2を超えると急激に透水性が悪くなる(図1)。

Table 1 Three phases distribution
in the original soils

Experimental field of irrigation, CPAC
Date: 13.21/01/88

Field	Horizon	Depth (cm)	Speci- fic Gravity	Bulk Den- sity	Three Phases %		
					So- lid	Li- quid	Gas
Feijao	Ap	0-16	2.69	1.07	39.8	32.5	27.7
	A	16-33	2.68	1.30	48.5	36.5	15.0
	B	33-	2.78	1.11	39.8	32.0	28.2
Ervilha	Ap	0-16	2.78	1.30	47.4	25.6	27.0
	A	16-33	2.73	1.25	46.0	31.3	22.7
	B	33-	2.78	1.18	42.4	27.8	29.8

Fig. 1 Bulk density and permeability
Exp., fields of irrigation, CPAC



この圧密層を除去するため、エルビーリャの畑では、トウモロコシ収穫残渣のすきこみを兼ねて、プラウによる30cm深耕を行った。一方、フェジョンの畑は裸地であったので、心土犁で50cmの深さまで心土破碎を行った。図2に各ほ場の1988年及び1989年度試験開始直後における、土壌の深さ別貫入抵抗の値 (kg/cm^2) を示す。トウモロコシ稈すき込みを含むプラウによる30cm深耕の効果は極めて高く、エルビーリャほ場では圧密層が消失している。一方、フェジョンのほ場で行った心土破碎の効果はあまり認められず、1988年度には依然として深さ20~30cmに貫入抵抗の高い層が存在した。そこで1988/1989年の雨期には各ほ場ともトウモロコシを栽培し、1989年度試験前に、トウモロコシ残渣すき込み、30cmプラウ深耕を行った。図2に見られるように1989年度では深さ40cmまでに圧密層はなくなっている(図2)。1989年、フェジョン及びエルビーリャ収穫後、採取した試料につき、粒径分布と容積密度を測定した(表2)。表2によると、毎年の耕耘処理により、土壌の物理性は改善され、表層に特別な圧密層はなく、地表下30cmまでは容積密度は1.10、地表下40cm以降では1.15となっている。ただし、フェジョンの場合、1988年のみは、地表下30cmにおいても容積

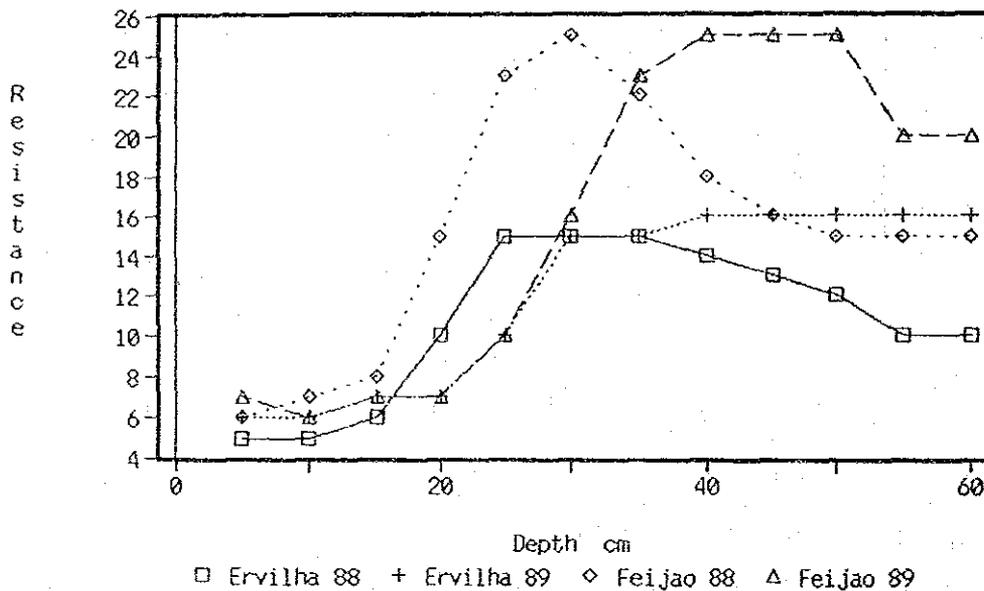
密度は1.15前後である。

Table 2 Particle size distribution and bulk density

After harvest feijao and ervilha, '89, CPAC
Date: 27/09/89

Crop Treatment Block	Depth (cm)	Clay	Silt	Coarse Sand %	Fine Sand	Grouping of Texture Class	Bulk Density
Feijao	0-15	51	8	27	14	clayey	1.11
0.5 atm	15-30	49	9	29	13	clayey	1.12
4 Block	30-45	50	9	30	11	clayey	1.11
Feijao	0-15	51	8	27	14	clayey	1.10
10 atm	15-30	50	9	28	13	clayey	1.10
2 Block	30-45	52	9	27	12	clayey	1.15
Ervilha	0-15	52	7	28	13	clayey	1.08
1 atm	15-30	50	10	26	14	clayey	1.09
1 Block	30-45	52	9	27	12	clayey	1.17
Ervilha	0-15	56	10	21	13	clayey	1.12
5 atm	15-30	57	10	20	13	clayey	1.12
4 Block	30-45	57	10	21	12	clayey	1.19

Fig.2 Resistance to penetration
Just before planting, CPAC; kg/cm²



6. 水分張力から土壌水分含量の計算

ほ場試験を実施するに当って、土壌水分の計算は従来CPACで用いられてきた回帰式によって行った。

$$\theta = 26.509 - 3.479 \ln \phi \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\theta = 28.718 - 0.667 \ln \omega \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに θ は土壌水分の容積%、 ϕ はテンシオメータの読みから計算した水分張力(気圧)である。また ω は石膏ブロックの電気抵抗k-ohmである。

1988年試験開始前、試験ほ場より100cc円筒で採取した試料について高速遠心器で土壌水分と張力の関係をJuniorら(1987)の方法で測定した。式(1)、(2)は40cm以下の層の平

均値から得られた回帰式と殆ど等しい。

試験の水分計算には、実験室で得られた回帰式 (1)、(2) を用いたが、試験と併行して、土壌水分張力と土壌水分との関係をほ場で調査した。すなわち試験ほ場のわきに $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ のかん水ブロックを設け、充分にかんがいた後、その乾燥過程における土壌水分含量と水分張力との関係を調査した。また試験区の各処理がかん水点に達した時に、各層より試料を採取し、水分張力と土壌水分含量の関係をみた。土壌試料の採取は、直径 3 cm 、長さ 25 cm の半円筒型採土部位をもつ、長さ 105 cm の検土杖で行った。

水分張力と土壌水分との関係は、試料としてとりだした土壌の含水量 (重量%) との関係ではなく、現実に水分張力を測定した部位にある水分との関係であるから、土壌水分はその部位の容積%で示すのが正しい。その際前述したように、表層と下層で固相の容積密度に若干の差があるが、それとは無関係に土壌の水分張力と含水量の関係を求めた。

Fig.3 Water in the field and atm.
 $\theta = 25.06 - 5.52 \text{ LOG } \psi$

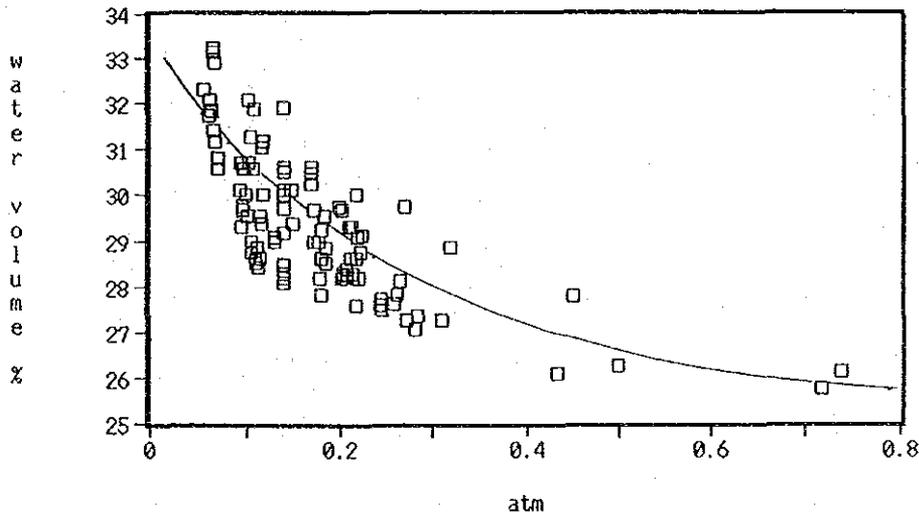


Fig.4 Water in the field and k-ohm.
 $\theta = 30.76 - 4.1 \text{ Log } \omega$

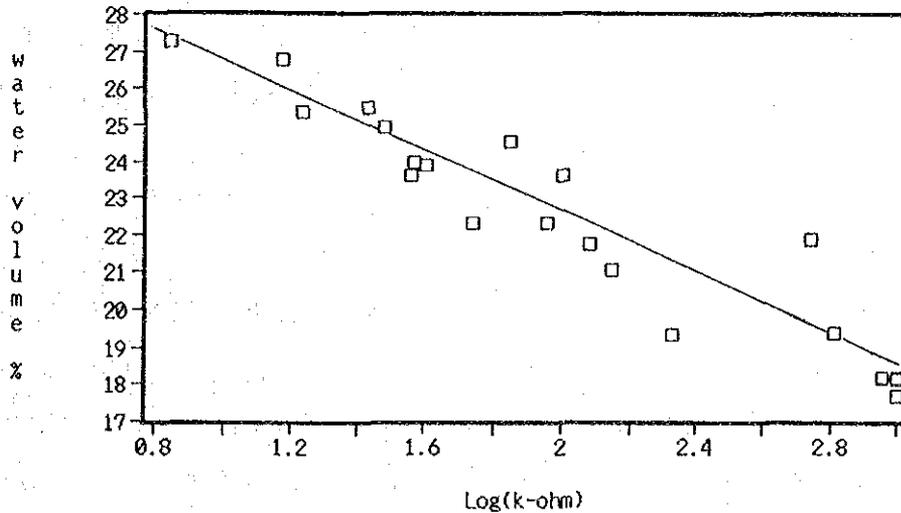


図3はほ場におけるテンシオメータの読みから計算した水分張力（気圧）と土壤水分との関係であり、図4は石膏ブロックの読み(k-ohm)と土壤水分の関係を示す。これらの測定値から得られる回帰式は、

$$\theta = 25.06 - 5.52 \log \psi \quad \dots\dots\dots (3)$$

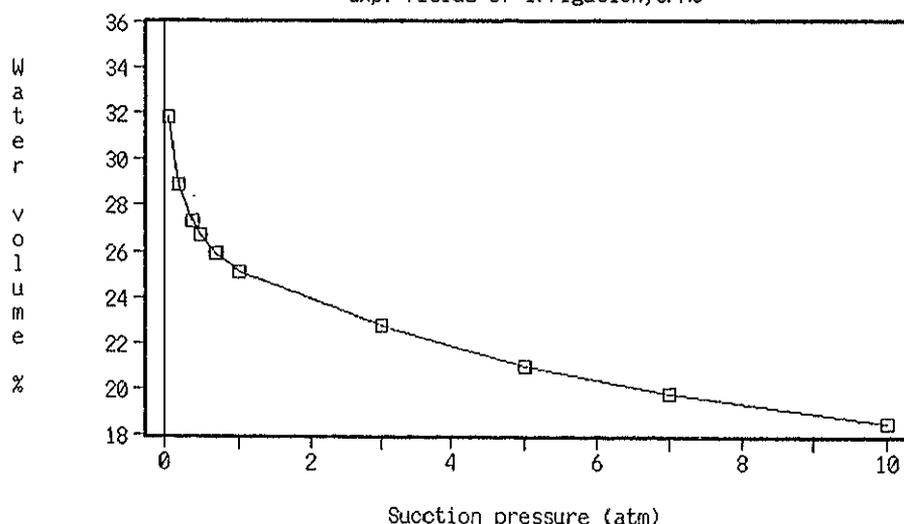
$$\theta = 30.76 - 4.1 \log \omega \quad \dots\dots\dots (4)$$

また1気圧の時の石膏ブロックの電気抵抗を10k-ohmとすると、1気圧以上の水分張力（気圧）と土壤水分との次のような関係式が推定される。

$$\theta = 26.7 - 8.2 \log \psi \quad \dots\dots\dots (5)$$

式(3)及び(5)を使って、実際のほ場における水分張力（気圧）と含水量の関係を求めると図5に示す曲線となる。

Fig.5 Soil water distribution curve
Exp. fields of irrigation, CPAC



実験室とほ場で得られた回帰式を比べると、ほ場の方が高水分張力で含水量が低くなるが、かん水量は相対的なものであり、重要なことは安全で水利用効率の高いかん水点を確立することなので、かん水量の計算に実験室で得られた回帰式を用いることは何等差支えない。しかし本報告の今後の水分計算は、実際にはほ場で得られた回帰式(3)、(4)により行うこととする。

7. フェジヨンの1988、89年度試験結果

Doorenbosら(1979)によると、フェジヨン(サイトウ)は90~120日の生育期間をもち、用水量は300~500mmである。試験には1988、89年ともに品種カリオカを用いた。Sartoratoら(1982)によると、カリオカは標準タイプで、生育日数は90~100日である。実際には、1988年98日、1989年103日であった。畦幅0.5m、1m当り10本の栽植密度で、1区は長さ6

mの7畦、すなわち21m²である。肥料は播種前に1988年はP₂O₅ 130、K₂O 108、MgO 60 kg/ha、1989年はP₂O₅ 100、K₂O 100、MgO 45kg/haを溶リン、過リン酸石灰および塩化カリで作土に全面施用した。窒素は1988年には発芽直後に20kg/ha、結実期に40kg/haを尿素で施したが、1989年には、根粒接種の効果を見るため、初期の窒素は施用せず、結実期にのみ40kg/haを尿素で施した。根粒菌の接種は、1988、89年ともにCPACで分離した菌株からなる十分な量の接種材を蔗糖液に懸濁させ、これを播種前日に種子にまぶして風乾し、播種した。

1) 収量及び養分含量

表3に収量調査の結果を示す(表3)。1988年、89年ともに、精度1%以上の有意差をもって、かん水点1気圧までの子実収量が、かん水点5気圧以上の子実収量に勝ることを示している。かん水点1気圧までの処理間では、全く有意差がないので、フェジヨンに対しては1気圧が最も有利なかん水点であると確認できる。1気圧以下の収量は1988年約2.9t/ha、1989年1.9t/haと、全体として収量差があるが、これを収量構成要素で見ると、個体当り着莢数と100粒重に明らかな差が認められる。

Table 3 Yields of feijao '88 and '89

Year	Irrigation Points	Bean Yield	Plant Height	Variety: CARIOCA		
				Number of Pods for Plant	Number of Bean for Pod	Weight of 100 Bean g
	atm	kg/ha	cm			
1988	0.33	2946	44.6	9.4	5.8	24.9
	0.5	2973	41.7	11.0	5.7	24.4
	0.7	2776	49.9	9.5	5.5	24.1
	1	2866	47.0	11.2	5.5	24.5
	5	2171	35.3	8.3	5.5	24.8
	10	2152	38.4	7.4	5.4	25.1
	* CV: 9.2%		LSD: 5%	365	1%	505 kg/ha
1989	0.33	1839	49.4	7.3	5.3	24.0
	0.5	1738	44.9	8.3	5.4	21.9
	0.7	1940	44.7	8.4	5.0	22.5
	1	1919	43.7	8.0	5.0	23.0
	5	1105	36.1	6.9	4.5	19.9
	10	1310	36.5	6.7	4.8	21.9
	* CV: 16.3%		LSD: 5%	409	1%	510 kg/ha

開花始めの葉の養分含量をみると、1988年の方が1989年に比し全般に含量が低い、これは恐らく88年の方が初期生育が旺盛で地上部乾物重が多く、そのため葉中の養分濃度が薄まったものと思われる(表4)。

Table 4 Nutrients content in leaf at early flowering epoch

Feijao '88 e '89, CPAC						
Date of sampling: 20/07/'88, 18/07/'89						
Year	Treatment	N	P	K	Ca	Mg
		dry matter %				
		atm				
'88	0.33	2.44	0.18	1.49	2.91	0.33
	0.5	2.71	0.19	1.41	2.58	0.30
	0.7	2.32	0.17	1.30	2.68	0.31
	1.0	2.43	0.18	1.29	2.51	0.33
	5.0	2.67	0.18	1.56	2.43	0.29
	10.0	2.32	0.17	1.41	2.20	0.24
'89	0.33	2.98	0.25	1.53	3.18	0.47
	0.5	2.92	0.25	1.42	3.04	0.43
	0.7	2.91	0.26	1.53	3.18	0.43
	1.0	3.06	0.26	1.54	3.28	0.46
	5.0	3.07	0.27	1.53	3.46	0.44
	10.0	2.93	0.25	1.45	3.00	0.39

収穫時の養分吸収量を1気圧の処理で比較すると、1988年度は1989年度に比べて全般に吸収量が多いが、特に窒素とカリの吸収に顕著な差がある(表5)。

Table 5 Nutrients uptake in feijao of 1 atm treatment

Feijao '88 and '89, CPAC						
Date of sampling: 28/08/'88, 30/08/'89						
Year	Part	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
		kg/ha				
1988	Bean	72.9	20.9	44.2	10.5	10.3
	Foliage	15.2	2.7	49.2	59.1	13.8
	Total	88.1	23.5	93.4	69.6	24.1
1989	Bean	62.1	18.5	32.8	7.0	6.9
	Foliage	15.9	3.9	26.6	54.0	11.9
	Total	78.0	22.3	59.4	61.0	18.7

表6に試験開始前の土壌と、1989年フェジョン収穫後の土壌の養分含量の変化を示した(表6)。原土のAp層は、有機物に富み、置換性塩基も可給態リンも、セラードの土壌の基準から見て含量が高い(Goedertら、Sousaら、Vilelaら)。1989年フェジョン収穫後の土壌は、Mg、K、P含量が深さ30cmまで高くなっているが、有機物とCa含量が若干低くなっている。これはプラウにより深耕したことと、2年間石灰岩を施用しなかったことによるので、今後は雨期にトウモロコシを栽培し、残渣をすきこむことと、定期的な石灰岩の施用が必要である。しかしこのことが1988年に比し、89年の収量が低かったことの原因であるとは考えられない(表6)。

Table 6 Change of soil fertilities with feijao cultivation. CPAC

Horizon	Depth (cm)	Organic matter %	pH (H ₂ O)	Date of sampling: 22/01/'88, 13/09/'89				P Mehlich PPM
				Exchangeable cations meq/100ml				
				Ca	Mg	K	Al	
Original field								
Ap	0-16	2.71	5.5	3.98	0.48	0.23	0.00	18.4
A	16-33	2.07	5.7	3.60	0.50	0.15	0.00	3.5
B	33-	1.63	5.7	1.80	0.50	0.05	0.06	0.7
After harvesting feijao '89								
Ap1	0-15	2.04	5.5	2.77	0.54	0.20	0.14	21.1
Ap2	15-30	2.04	5.3	2.80	0.60	0.25	0.16	23.6
B	30-	1.74	5.6	2.54	0.43	0.21	0.09	12.9

表7に1988、89年乾期のCPACにおける気象観測データの月別平均を示したが、これで見ると、1989年が88年に比して特に気候条件が悪かったとは考えられない(表7)。

Table 7 Monthly mean or total of meteorological parameters in dry season of '88 and '89, CPAC

Monthes	Air Temp. ° C	Total Rain Fall mm	Evap. Class "A" mm	Solar Radiat. cal/cm ² /day	Soil Temperature ° C			
					2 cm	5 cm	10 cm	20 cm
1988-								
5	21.4	7.8	4.96	330	22.9	22.4	22.4	23.4
6	19.0	0	5.47	323	19.6	19.5	19.6	20.8
7	18.5	0	6.79	349	19.5	19.3	19.3	20.4
8	20.1	0	8.40	477	21.7	21.1	21.0	22.2
9	22.9	1.5	9.45	502	26.0	25.1	24.6	25.8
1989-								
5	20.9	0	5.86	457	22.1	21.5	21.3	22.4
6	20.7	11.7	5.13	417	21.6	20.8	20.6	21.7
7	19.8	8.3	6.84	472	19.7	19.4	19.6	21.0
8	21.7	36.1	6.38	440	21.5	21.2	21.2	22.4
9	23.5	59.2	6.89	451	21.7	22.9	22.8	24.0

1989年度は、根粒菌接種の効果を見るため、初期の窒素施用を省略した。1988年は根粒の着生があまり良くなかったが、89年は深耕したことにより透水が良く、好氣的条件が表層で保たれたので根粒の着生が極めて良かった。しかしそれにもかかわらず子実収量が相対的に低かったのは、初期窒素を省略したことによる初期生育の遅れが原因であると考えられる。表7からも明らかのように、乾期の始めから半ばにかけては、年間を通じて最も気温が低く、その為根粒菌の活性が低下するものと思われ、乾期かんがい下で栽培するフェジョンに対しては、初期生育促進のための少量の窒素施用が必要である。

2) かんがい水量と水の移動

表8に1988年及び1989年乾期のフェジョン栽培に対するかん水点別の用水量を示す。1

気圧の用水量は全生育期間を通じて、ほぼ450mmで、用水量が400mm以下になると収量の低下が起こる。かんがいの間隔は、1988年は全生育期間を通じて6～7日、1989年は生育最盛期の7月は7～8日、登熟期の8月は10日となっている。1988年と89年のかんがい間隔の差は、88年は心土破碎のみで深耕を行わなかったため土層が浅く、土壌内の貯水量が少なく、かんがい間隔が早まったものと思われる（表8）。

Table 8 Sum of irrigated water (mm)

		Feijao '88 and '89, CPAC Variety: CARIOCA Period of vegetation: 98 days('88), 103 days('89)						
Year	Sum of water and interval of irrigation	Irrigation point						
		0.3	0.5	0.7	1	5	10	
		atm						
1988	Sum of irrigated water(mm)	623	571	561	466	361	324	
	Interval of irrigation (days)	July	3-4	4-5	5-6	6-7	10	14
		August	4	4	5	6-7	10	14
1989	Sum of irrigated water(mm)	574	526	446	487	319	329	
	Interval of irrigation (days)	July	4	5	6-7	7-8	14	14
		August	4-5	5-6	6-7	10	14	14

図6.1に1988年開花期の7月19日から7月24日にわたる1気圧処理の深さ別土壌水分の変化を示す。7月18日にかんがいた後、水分は徐々に減少し、7月25日に10cmで張力1気圧に相当する25%まで減少する。かんがい水は30cm以下に殆ど滲透せず、フェジョンの根系は20cmまでの層から主として水分を吸収する（図6.1）。

Fig. 6.1 Change of soil water
Flowering time, feijao, 1atm, '88, CPAC

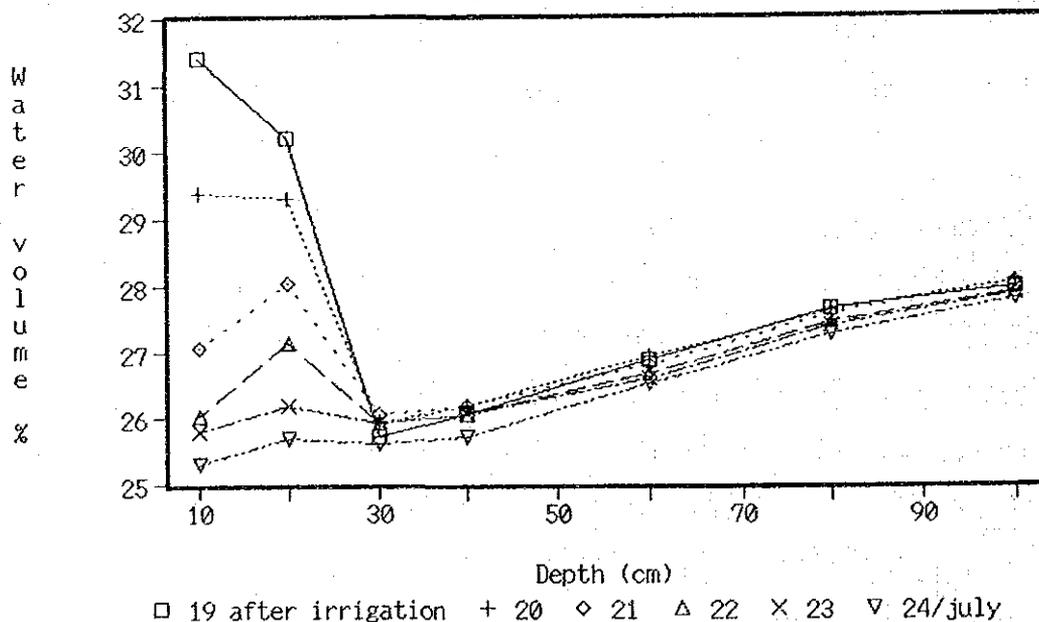


図6.2は1988年1気圧の生育期間全般を通じたかんがい水の動きを、深さ40cmまでの水

分変動で示す。10cmにおける水分含量の変動は大きいですが、40cmでの変動はわずかで、全体として次第に乾燥が進んでゆく。全生育期間を通じて、10cmの層が1気圧の張力に相当する25%まで乾いても20cm以下ではそれ以上の水分をもっており、かん水点10cm 1気圧が安全であることを示唆している (図6.2)。

Fig.6.2 Movement of irrigated water
Feijao, 1 atm, 1988, CPAC

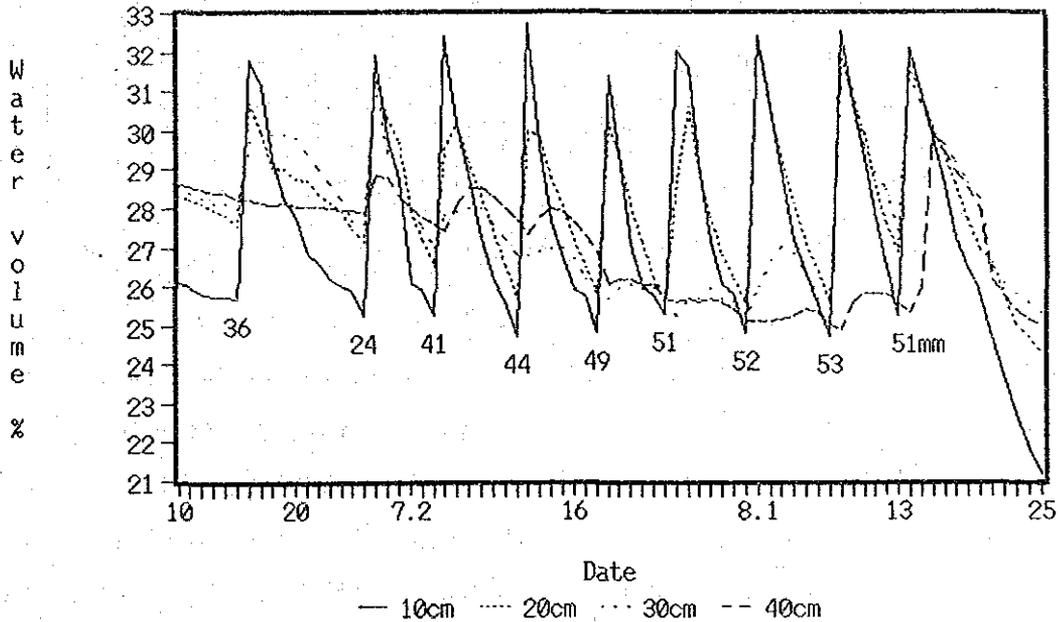


図7.1は1988年度5気圧の7月23日から7月31日にわたる深さ別土壌水分の変動を示す。7月31日10cmの層は5気圧に相当する水分22%に近づくが、10cmの層が1気圧をすぎると、土層全体を通じての水分変動が少なくなり、作物による水の吸収が阻害されることを示している (図7.1)。

Fig.7.1 Change of soil water
Flowering time, fejhao, 5atm, '88, CPAC

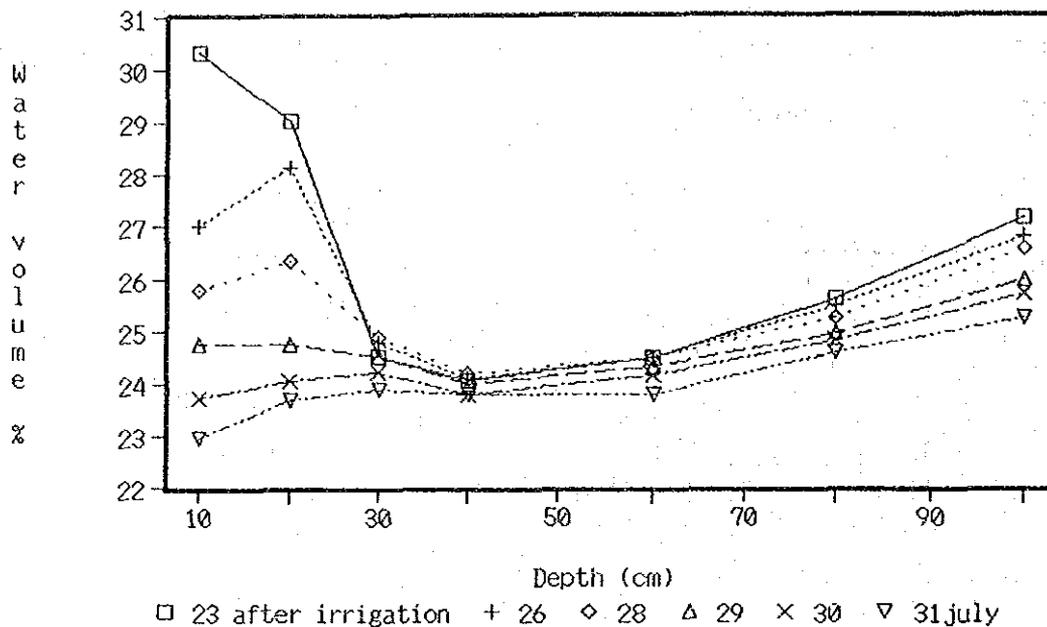
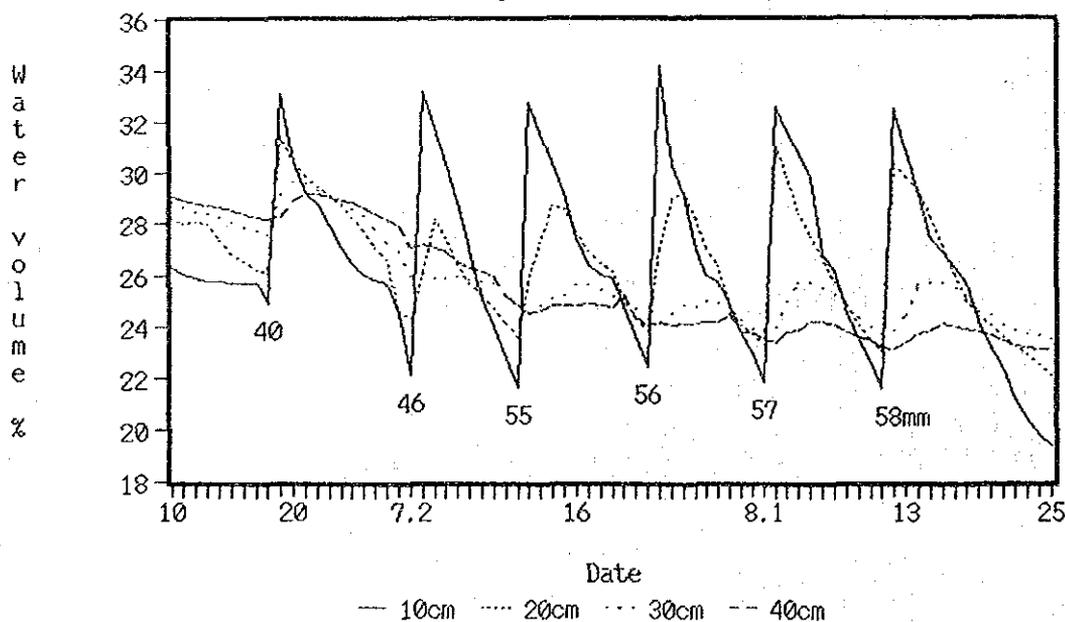


図7.2は1988年5気圧の生育期間全般を通じたかんがい水の動きを、深さ40cmまでの水分変動で示したものである。10cmの層が5気圧の水分22%に達した時、20cmのみならず30cmまで1気圧に相当する水分25%を切り、作物の水分吸収が阻害されることを示している。この場合も40cmの層では水分変動が少ないが、全体として乾燥が進み、7月中旬には40cmの層の水分張力が1気圧以上になる(図7.2)。

Fig.7.2 Movement of irrigated water
Fejhao, 5atm, 1988, CPAC



1989年度の水分変動については1気圧の処理の土壤水分の日変動を表14.2に示しておいたが、この場合も1988年と全く同様である。

以上を総合するに、フェジヨンの根系は主として地表から20~30cmの間で水分を吸収し、10cmまでの層が水分変動が最も烈しく、かん水点設定のための土壤水分張力の測定位置としては深さ10cmが妥当である。表層10cmで水分張力が1気圧に達するのは、総じて10cmが0.7気圧に達してから1日後であるから、表層10cmのテンシオメータが作動しなくなってから1日後にかん水すれば良い。また20cm以下のテンシオメータは作動しているのでこれによりかん水量の計算ができる。フェジヨンの根系は浅く、地表下30cmの土壤水分しか利用しないので、かん水量は地表下40cmまでの土壤水分を補給すれば充分である。

8. エルビーリャの1988、89年度試験結果

Doorenbosら(1979)によると、エルビーリャ(エンドウ)は子実採取の場合、正常な生育日数は85~120日で、水の必要量は350~500mmである。

エルビーリャのかん水点決定の試験は、方法で述べたように、1区が16個のマイクロスプリンクラーからなり、6処理4連で試験ほ場はほぼ1haである。

品種は1988年はトリオフィン、1989年にはフラビアを用いた。

種子は根粒菌接種剤を蔗糖液に懸濁させたものでまぶし、人力播種機で0.2m間隔で播種した。

供試ほ場は開畑後年次が浅く、リン酸の蓄積が少なかったので、1988年度には P_2O_5 200、 K_2O 108および MgO 110kg/haを、溶リン、過リン酸石灰および塩化カリで播種前に全面に施用し、均平機で地表に混和した後作畦を行った。1989年は施肥量は P_2O_5 100、 K_2O 100および MgO 45kg/haの維持施肥とした。

いずれの年次も、前作のトウモロコシ収穫残渣を良く粉碎し、プラウで30cmの深さに混和した。

1) 収量及び養分含量

2年間の収量及び収量構成要素を表9に示す(表9)。

Table 9 Yields of ervilha '88 and '89, CPAC

Year	Varieties: TRIOFIN('88), FLAVIA('89)						
	Irrigation Points	Grain Yields	Plant Height	Number of Pods for Plant	Number of Grains for Pod	Weight of 100 Grains	NUMBER OF PLANTS /m ²
	atm	kg/ha	cm			g	
1988	0.33	2956	123	10.1	3.7	13.0	90
	0.5	3084	124	9.9	3.1	13.0	96
	0.7	3935	111	10.4	3.1	14.8	110
	1	3488	125	8.5	3.5	13.8	119
	5	4244	104	8.9	2.8	15.8	102
	10	3780	102	8.4	3.1	14.8	106
	* CV: 14.6%		LSD: 5%	796 kg/ha			
1989	0.33	4077	94	12.2	3.8	15.2	78
	0.5	3791	94	10.7	4.1	15.5	88
	0.7	3871	87	11.3	3.9	15.8	79
	1	3657	82	11.2	4.1	16.1	76
	5	3417	82	12.4	3.9	16.9	78
	10	1882	55	6.8	4.0	16.7	91
	* CV: 9.9%		LSD: 5%	516, 1%	709 kg/ha		

1988年は、かん水点5気圧の子実収量が、0.33気圧および0.5気圧よりも、精度5%の有意差をもって高いことが認められる。このような処理間差を収量構成要素で見ると、かん水点0.5気圧以下は、かん水点5気圧に比べて100粒重が小で、草丈が高い。Giordanoら(1984)によると、1988年の品種トリオフィンは生産力が高く、うどん粉病(Oidio)に対する抵抗性が強い。然しこの品種は貯蔵用食品としては粒が少し大きく、100粒重は18g程度であるとしている。1988年の100粒重は、かん水点5気圧の場合もトリオフィンとしては小さく、全体を通じて過繁茂徒長の傾向が認められ、機械による収穫が困難であった。

1989年度は、過繁茂を避けるため、上位葉がなく、つる化した草型で、透光性の良いフラビアを用いた(Giordanoら、1988)。栽植本数もm²当り80本前後と少なくしたため、1989年度は過繁茂の傾向はなく、かん水点5気圧以下と10気圧との間に1%の精度で有意差があった。かん水点5気圧以下では、0.33気圧が良く、5気圧処理との間に5%の精度で有意差が認められたが、それ以外の0.5気圧から5気圧の処理間では有意な差はなかった。100粒重を見ると、5気圧で最も大で、0.7気圧以下の処理では、100粒重が小さく、草丈が高く、若干の徒長の傾向が見られる。

表10に、開花期に採取した作物体の分析値を示す。N、P、K、Ca、Mg含量は、いずれもエルビーリャの葉中限界養分濃度の中の標準的な値である(MagalhaesおよびCiordano、1989)。1988年、1989年の年次間及び88年の処理間には差がないが、89年のかん水点10気圧はN、P、Kの含量が少なく、水分欠乏のストレスがあったものと思われる(表10)。

Table 10 Nutrients content in plant at early flowering epoch

		Ervilha '88 and '89, CPAC				
		Date of sampling: 26/07/'88, 8/08/'89				
Year	Treatment	N	P	K	Ca	Mg
	atm	Dry matter %				
1988	0.33	3.73	0.27	3.45	1.32	0.41
	0.5	4.23	0.27	3.48	1.52	0.43
	0.7	3.90	0.26	3.22	1.42	0.44
	1.0	4.19	0.26	3.01	1.64	0.44
	5.0	3.86	0.22	2.69	1.56	0.43
	10.0	3.84	0.23	2.62	1.57	0.43
1989	0.33	3.89	0.25	3.25	1.38	0.35
	0.5	3.95	0.29	3.16	1.42	0.39
	0.7	3.82	0.24	2.86	1.50	0.41
	1.0	3.50	0.23	2.76	1.35	0.37
	5.0	3.77	0.23	2.99	1.38	0.38
	10.0	3.36	0.19	2.26	1.52	0.40

表11に、かん水点5気圧の収穫時の養分総吸収量を示す。根粒接種の効果は大で、窒素肥料を施すことなしで、N総吸収量は140kg/ha (1989) に達し、Peresら (1989) の示した最高の窒素固定量を上まわった。カリウムの吸収も多く、施肥量を上まわる場合もあるので、トウモロコシ収穫残渣のすきこみは必要である (表11)。

Table 11 Nutrient uptake in ervilha of 5 atm treatment

		Ervilha '88 and '89, CPAC				
		Date of sampling: 19/09/'88, 11/09/'89				
Year	Part	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
		kg/ha				
1988	Grain	142.7	26.2	41.8	8.5	10.4
	Foliage	66.1	9.8	112.5	111.4	31.6
	Total	208.8	36.0	154.3	119.9	42.0
1989	Grain	119.7	26.1	38.0	1.7	6.5
	Foliage	20.7	2.7	56.7	64.3	12.8
	Total	140.4	28.7	94.7	66.0	19.4

表12に試験開始前及び1989年収穫後の土壌養分の分析値を示す。原土壌は、カリウムの限界値0.13meq/100mlよりわずかに多く (Vilelaら、1986)、リンは限界値9 ppmより少なかったが (Goedertら、1986)、89年エルビーリャ収穫後の土壌は、0~30cmの層を通じて、限界値以上に改善されている。しかしカルシウムは2年間で大幅に流亡し、石灰岩2t/ha施用の水準を下まわっており (Sousaら、1986)、毎年2t/haの石灰岩施用が必要である。有機物含量は、毎年のトウモロコシ収穫残渣施用でバランスよく維持されてお

り、減少の傾向はない (表12)。

Table 12 Change of soil fertilities with ervilha cultivation, CPAC

Horizon	Depth (cm)	Organic matter %	pH (H ₂ O)	Ca	Date of sampling: 21/01/'88. 13/09/'89				P Mehlich PPM
					Exchangeable cations meq/100ml				
					Mg	K	Al		
Original field									
Ap	0-16	2.17	5.8	3.72	0.60	0.18	0.00	8.1	
A	16-33	2.32	5.8	4.24	0.66	0.04	0.00	5.4	
B	33-	1.53	5.5	1.42	0.42	0.02	0.44	0.9	
After harvesting ervilha '89									
Ap1	0-15	2.36	5.6	2.00	1.11	0.21	0.14	10.9	
Ap2	15-30	2.26	5.6	2.10	1.06	0.28	0.14	14.3	
B	30-	1.53	5.5	0.98	0.52	0.10	0.37	1.8	

2) かんがい水量と水の移動

表13に1988、89年のかん水量と、7月、8月のかん水間隔を示した。1988年は栽植密度が高く、過繁茂の傾向を示したが、水の消費量も89年に比して大となっている。89年は透光性の良い品種を採用し、栽植密度も下げたので、水の消費効率が良く、かん水点5気圧、ほぼ300mmのかん水で高い収量を維持できたが、かん水量が300mmを切ると収量が低下する (表13)。

Table 13 Sum of irrigated water (mm)

Year	Sum of water and interval of irrigation	Ervilha '88 and '89, CPAC Varieties: TRIOFIN ('88), FLAVIA ('89) Period of vegetation: 112 Days ('88), 98 Days ('89)					
		Irrigation point atm					
		0.33	0.5	0.7	1	5	10
1988	Sum of irrigated water (mm)	469	557	541	454	426	382
	Interval of irrigation (days)	July	5	5	5	8	10
		August	4	4	6	7-8	8-9
1989	Sum of irrigated water (mm)	427	384	348	354	314	223
	Interval of irrigation (days)	July	6	7	8	10	12
		August	5	7	9	10	12

図8.1は1989開花期の8月2日から14日にかけての、かん水点5気圧の土壤中での深さ別水分変化である。8月1日に50mmかん水後、水分は全層を通じて次第に減少し、表層10cmでは8日目に0.7気圧、10日目に1気圧の水分となり、12日目に5気圧の張力に相当する21%に低下するが、その際20cm以下の含水量は、1気圧の張力に相当する25%よりも多い。またエルビーリャの根は深く、60cm以下まで根による水分の吸収が認められる (図8.1)。

Fig.8.1 Change of soil water
Flowering time, ervilha, 5atm, '89, CPAC

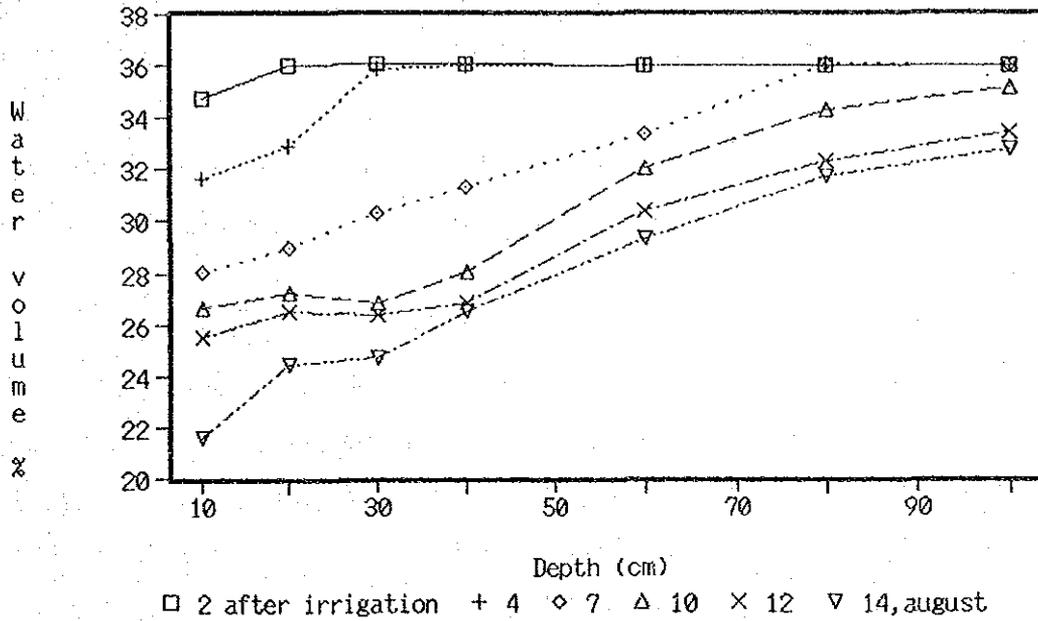
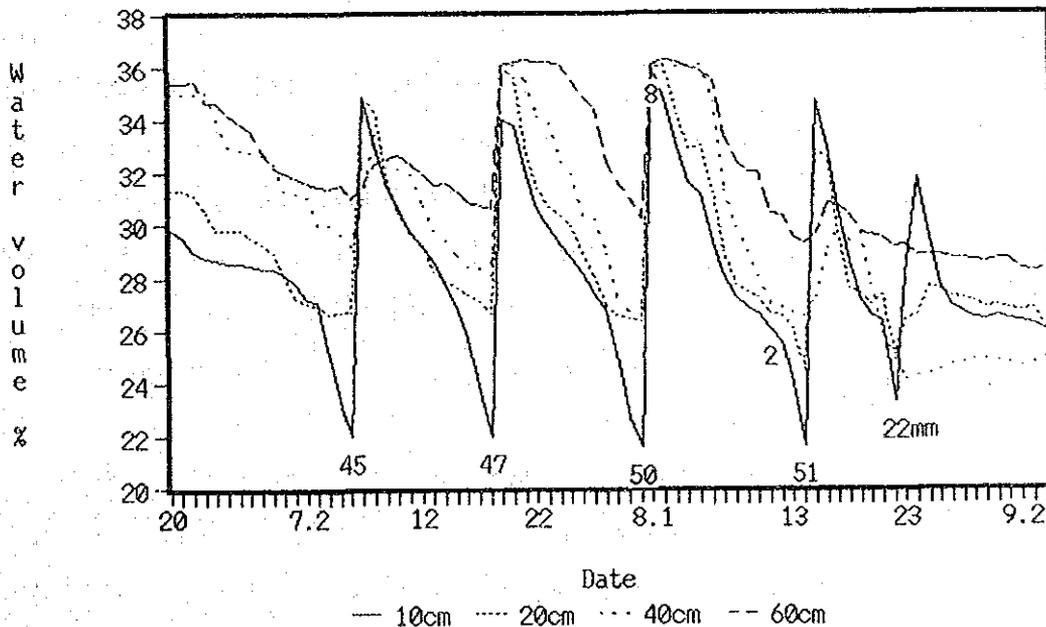


図8.2は1989年度かん水点5気圧処理の、全生育期間を通じた水分変動を示す。10cmの層が最も水分含量の変動が大きい、60cmの層にも水分変動が認められ、エルビーリャが下層まで根をはり、土層全体から水を吸収していることがうかがわれる。また10cmの層が5気圧の水分21%に達しても、20cm以下の層の水分張力は1気圧に達せず、かん水点5気圧が安全で水利用効率が高いことを示している(図8.2)。

Fig.8.2 Movement of irrigated water
Ervilha, 5atm, 1989, CPAC



以上を通じて、エルビーリャのかん水点は表層10cm、5気圧、かん水間隔10~12日、総

かん水量300mm強が最も水利用効率が高い。実際的には10cmのテンシオメータが切れてから3日後に、かん水すればよい。その際地表下20cm以下では、未だテンシオメータの適用範囲にあるので、地表下60cmまでの水分を計算して施す。

9. 考察

以上2年間にわたるフェジヨン及びエルビーリャのかん水点決定の試験から、次の点が結論される。

1) ほ場の準備

乾期におけるかんがい下の作物栽培は、最も集約的で高収量が得られるものであるから、トウモロコシ収穫残渣すきこみ、プラウ深耕を伴う雨期作との間の適正な輪作体系が必要である。またかんがい栽培下では石灰の流亡が促進されるので、土壤分析結果に基づき、プラウ深耕前に適量の石灰岩散布が必要である。

2) 乾期におけるフェジヨンのかんがい栽培

(1) かん水は10cmの部位が1気圧に達した時行う。

(2) かん水量はフェジヨンの根が浅いので、地表下40cmまでの土壤水分を考慮し、これをほ場容水量まで水分含量を高めるのに必要な量を施す。

(3) フェジヨンの栽培には、根粒菌接種の他に、少量の窒素を基肥または、発芽直後に施し、初期生育を促進することが必要である。特に、乾期かんがい下のフェジヨンの生育初期は、年間を通じて最も気温の低い時なので、初期生育促進のための窒素施肥は必要である。

3) 乾期におけるエルビーリャのかんがい栽培

(1) エルビーリャは密植をするので、過繁茂を避けるため、上位葉がなく透光性の良い品種の採用が望ましい：コグマ、フラビア等

(2) 栽植密度は密植を避け、1㎡当り80～90本が妥当である。

(3) 根粒菌接種の効果は充分なので、窒素施肥の必要はない。

(4) かん水点は、地表下10cmが5気圧の水分張力に達した時とする。

(5) かん水量は地表下60cmまでの土壤水分をほ場容水量にもどすよう計算する。

10. 謝辞

本研究を進めるに当って、終始助言をいただいたCPACの土壤及び水部門元コーディネータDr. Leo Nobre Mirandaおよび排水関係研究員Dr. Jorge Cesar dos Anjos Antoniniに感謝する。

11. 引用文献

- ARRUDA.F.B. Uso da agua na produção agricora. Simpósio sobre o manejo de agua na agricultura. Campinas.1987. 177-199 p.
- AZEVEDO, J.A., FREIRE.J.C. & SILVA, E.M. Características físico-hídricas importantes para a irrigação de solos representativos de cerrados. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Brasília, 1981. Anais...Brasília. 1983. 843-844 p. Volume II.
- AZEVEDO, J.A., SILVA. E.M., RESENDE, M, & GUERRA, A.F. Aspect sobre manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Planaltina. EMBRAPA-CPAC,1986. 30-31 p. (Circular Técnica 16).
- AZEVEDO, J.A. & CAIXETA, T.J. Irrigação do feijoeiro. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1987. 13-14, 16-17, 25, 32 p.(Circular Técnica 23).
- BERNARDO, S., GALVAO, J.D., GUERINI, H. & CARVALHO.J.B. Efeito de níveis de agua no solo sobre produção do feijoeiro.Sieva.Vicosa.30 (71) : 7-13. 1970.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Crop water requirement. FAO. Rome, 1977. 35, 63 p. (FAO.Irrigation and drainaige paper.24).
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield response to water. FAO. Rome. 1979. 77-79. 112-113 p. (FAO Irrigation and drainage paper.33).
- EMBRAPA-CPAC. Características físico-hídricas de solos dos cerrados. Relatório tecnica anual do CPAC, 1979-1980. Planaltina. 1981. 67-72 p.
- GIORDANO, L.B.et al. Cultivo da ERVILHA. Brasília, EMBRAPA-CNPH, 1984. (Instrução Técnicas 1). 3 p.
- GIORDANO, L.B., REIFSCHNEIDER, F.J.B.& NASCIMENTO, W.M. ERVILHA -Novas cultivares para produção de grãos secos. Serviço de Produção de Sementes Basicas-SPSB, EMBRAPA-CNPH. Brasília, 1988.
- GOEDERT, W.J., SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Fosforo. Solos dos Cerrados. EMBRAPA-CPAC, Planaltina; Nobel São Paulo, 1986. 159 p.
- GUERRA, A.F.& SILVA, E.M. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre desenvolvimento e produção de trigo em solos dos cerrados. Relatorio tecnica anual do CPAC, 1982/1985. Planaltina, 1987. 221-223 p.
- JUNIOR, E.F.& SILVA, E.M. Caracterização modificações sob cultivo e variabi-

- lidade, espacial das propriedades físicas dos solos dos cerrados. Relatório técnica anual do CPAC, 1982/1985. Planaltina, 1987. 206-208 p.
- MAGALHAES, A.A. & MILLAR, A.A. Efeito do deficit de agua no periodo reprodutivo sobre a produção do feijão. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 13 (No. 2) : 55-60. 1978.
- MAGALHAES, J.R. & GIORDANO, L.B. Nutrição mineral da ervilha. *Ervilha: Integração Pesquisa (Informe Agropecuario, EPAMIG)*. Belo Horizonte, 1989. 9-16 p.
- MAROUELLI, W.A. & OLIVEIRA, C.A.S. Irrigação da ervilha, *Ervilha: Integração Pesquisa (Informe Agropecuario, EPAMIG)*. Belo Horizonte, 1989. 32-37 p.
- PERES, J.R.R., SUHET, A.R. & VARGAS, M.A.T. Fixação de nitrogênio atmosférico pela ervilha em solos de cerrados. *Ervilha: Integração Pesquisa (Informe Agropecuario, EPAMIG)*. Belo Horizonte, 1989. 16-19 p.
- PRIZZONE, J.A. Funções de resposta do feijoeiro ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação. *Simpósio sobre o manejo de água na agricultura*. Campinas, 1987. 123-133 p.
- SARTORATO, A. et al. Recomendações técnicas para a cultura de feijão com irrigação suplementar. EMBRAPA-CNPAP, 1982. 6-7 p. (Circular Técnica 16).
- SOUSA, D.M.G., CARVALHO, I., J.C.B. & MIRANDA, I., N. Correção da acidez do solo. *Solos dos Cerrados*. EMBRAPA-CPAC. Planaltina : Nobel, São Paulo, 1986. 106 p.
- STONE, I., F. & MOREIRA, J.A.A. Irrigação do feijoeiro. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1986. 16-17 p. (Circular Técnica 20).
- VILELA, L., SILVA, J.E., RITCHEY, K.D. & SOUSA, D.M.G. Potássio. *Solos dos Cerrados*. EMBRAPA-CPAC. Planaltina ; Nobel, São Paulo, 1986. 220 p.

12. Summary

Optimum irrigation point based on soil water tension for dry season pulse crops on a cerrado latosol

Key words ; Cerrado ; Oxisol ; Irrigation point ; Phaseolus bean ; Garden pea ; Soil water tension.

A field experiment with dry season pulse crops was initiated on a dark-red latosol (oxisol) as one of a series of irrigation studies in CPAC.

The test crops were phaseolus bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and garden pea (*Pisum Sativum* L.). Six treatments of irrigation point based on soil water tension at depth of 10cm were established as follow : 0.3, 0.5, 0.7, 1, 5 and 10 atm. The volume of irrigation water had been calculated from the value of tension to 60cm depth in each plot providing enough for restoration of field water capacity. The values of soil water tension were calculated from daily reading of tensiometers (0.3 - 0.7 atm) and electric resistance in gypsum blocks (1 - 10 atm). The experimental treatments were carried in 4 repetitions for each crop. The plot size for phaseolus bean was 3.5m×6m which was irrigated with perforated handy PVC tube held above the plant canopy. For garden pea, it was 4m×4m in the center of a block of 16m×16m which was composed of 16 microsprinklers of the australian type. The experimental field was plowed deeply incorporating maiz residue of rainy season for each season.

The experimental results in 1988 and '89 were summarized as follows :

The yields of bean (*Carioca*) were similar and very high up to the 1 atm treatment, 2.9 t/ha, and then decreased in the 5 to 10 atm treatment. The 1000 grains weight was about 250g for normal case. The total amount of water application and interval of irrigation was about 470mm and 7 days for the 1 atm treatment. As water uptake by bean root system did not reach to deep horizon, it seemed to be enough to supply water until 40 cm depth for phaseolus bean. As temperature is lowest in early period of dry season, small amount of nitrogen basal application is indispensable for high level of bean yield. The bean yield and the 1000 grains weight without nitrogen application (inoculation only) was 1.9t/ha and 230g for the 1 atm treatment.

The steady and high yield of garden pea was obtained in the 5 atm treatment.

Generally the plant growth of garden pea was very vigorous under irrigation in good environmental conditions and the seeds weight became lighter in the more humid treatment than the 5 atm. To avoid rank growth, the variety without leaves in upper part, Kodama, was planted in 1989. The yield and 1000 seeds weight was 3.4 t/ha and 169g for Kodama in the 5 atm treatment. In this case, the total amount of water application and interval of irrigation was about 320mm and 12 day. As the root system of garden pea can use the water in deep subsoil, it is necessary to supply water until 60 cm depth. The inoculation for garden pea was very effective and the amount of nitrogen in plant was more than 140 kg/ha without nitrogen fertilizer.

13. 附表

ほ場試験の期間中、各処理ごとに地表下100cmまでの水分張力の変化を、毎日9時に測定した。これらの結果から、水分含量を計算し、その日変化を求めた。表14.1は1988年フェジョンの1気圧、表14.2は1989年フェジョンの1気圧処理の土壤水分含量の日変化を示す。表14.3は1989年エルビーリャの5気圧処理の土壤水分日変化である(表14.1, 14.2, 14.3)。

Table 14.1 Fluctuation in soil humidity
1 atm. feijao '88, CPAC

Month	Day	Depth (cm)						Water applied mm
		10	20	30	40	60	80	
Soil water volume %								
5	20	After planting						20
5	28	After germination						20
6	1	30.3	30.0	29.1	28.8	28.8	28.9	28.9
6	2	28.8	29.5	29.1	28.9	28.8	28.8	28.8
6	3	28.3	29.3	29.0	28.9	28.8	28.8	28.8
6	4	27.3	29.5	29.0	29.4	28.8	28.8	28.8
6	4	After application of nitrogen						10
6	5	28.7	29.3	29.0	29.0	28.8	28.8	28.9
6	6	28.2	29.1	28.9	28.8	28.7	28.7	28.8
6	7	27.5	28.4	28.7	28.7	28.8	28.8	28.8
6	8	26.9	28.1	28.1	28.7	28.7	28.8	28.8
6	9	26.4	28.2	28.6	29.6	28.6	28.7	28.7
6	10	26.1	28.3	28.6	28.6	28.8	28.8	28.8
6	11	26.0	28.2	28.4	28.6	28.7	28.7	28.8
6	12	25.8	28.1	28.2	28.5	28.6	28.8	28.8
6	13	25.7	27.9	28.1	28.4	28.6	28.7	28.7
6	14	25.7	27.8	28.1	28.4	28.6	29.1	28.6
6	15	25.7	27.5	28.0	28.2	28.5	28.6	28.6
6	16	31.8	30.7	29.7	28.2	28.6	28.7	28.8
6	17	31.1	29.9	29.9	28.1	28.5	28.6	28.5
6	18	29.3	29.1	29.9	28.1	28.5	28.7	28.7
6	19	28.2	29.0	29.9	28.1	28.5	28.6	28.7
6	20	27.8	28.8	29.8	28.1	28.4	28.4	28.5
6	21	26.9	28.7	29.4	28.1	28.5	28.6	28.5
6	22	26.6	28.3	29.0	28.1	28.5	28.6	28.6
6	23	26.2	28.1	28.6	28.0	28.5	28.6	28.6
6	24	26.0	27.9	28.2	28.0	28.5	28.6	28.6
6	25	25.9	27.5	27.7	27.9	28.5	28.7	28.8
6	26	25.3	27.2	27.6	27.9	28.5	28.7	28.7
6	27	32.0	31.4	31.2	28.8	28.4	28.5	28.5
6	28	29.8	30.3	29.4	28.8	28.4	28.6	28.7
6	29	28.7	29.7	29.7	28.3	30.0	30.2	30.3
7	2	26.1	27.9	28.0	28.0	28.4	28.6	28.6
7	3	25.9	27.2	27.5	27.8	28.3	28.6	28.6
7	4	25.3	26.6	27.0	27.6	28.2	28.6	28.5
7	5	32.4	29.6	27.8	27.4	28.1	28.4	28.5
7	6	30.2	30.2	27.9	28.1	28.1	28.4	28.5
7	7	28.9	29.2	28.0	28.5	28.1	28.4	28.5
7	8	27.3	28.3	28.0	28.5	28.0	28.4	28.5
7	9	26.2	27.4	27.6	28.3	28.0	28.4	28.5
7	10	25.6	26.5	27.2	28.0	27.9	28.2	28.4
7	11	24.7	25.7	26.8	27.7	27.9	28.3	28.5
7	12	32.7	30.0	26.8	27.3	27.8	28.1	28.3
7	13	29.6	29.9	26.9	27.8	27.7	28.1	28.3
7	14	27.7	28.8	27.0	28.0	27.6	28.1	28.3
7	15	26.7	28.0	27.0	27.9	27.5	28.0	28.2
7	16	25.9	27.2	26.7	27.6	27.5	27.9	28.1
7	17	25.8	26.5	26.2	27.3	27.3	27.9	28.2
7	18	24.8	25.8	25.8	26.9	27.2	27.8	28.1

7	19	31.4	30.2	25.7	26.1	26.9	27.7	28.0	
7	20	29.4	29.3	25.9	26.2	26.9	27.6	28.1	
7	21	27.1	28.0	26.1	26.2	26.8	27.6	28.0	
7	22	26.0	27.1	25.9	26.1	26.7	27.5	27.9	
7	23	25.8	26.2	25.9	26.1	26.6	27.4	27.9	
7	24	25.3	25.7	25.6	25.7	26.5	27.3	27.8	51
7	25	32.0	28.7	25.3	25.6	26.3	27.0	27.7	
7	26	31.6	30.6	25.7	25.7	26.3	26.9	27.6	
7	27	29.2	28.9	25.7	25.6	26.2	26.8	27.6	
7	28	27.1	27.8	25.9	25.7	26.3	26.7	27.5	
7	29	26.0	26.8	25.7	25.6	26.1	26.6	27.5	
7	30	25.8	26.2	25.6	25.4	25.8	26.5	27.3	
7	31	24.8	25.6	25.1	25.1	25.6	26.4	27.1	52
8	1	32.4	32.3	26.0	25.1	25.6	26.3	27.9	
8	2	30.5	30.4	26.7	25.1	25.3	26.1	27.6	
8	3	29.0	29.3	27.0	25.2	25.2	26.1	27.5	
8	4	27.2	28.1	26.8	25.3	25.3	26.1	27.4	
8	5	26.3	27.1	26.3	25.4	25.3	26.5	27.4	
8	6	25.6	26.4	25.7	25.3	25.3	26.5	27.3	
8	7	24.7	25.6	25.4	25.0	24.9	26.2	26.7	53
8	8	32.5	32.0	31.4	24.9	24.8	25.7	26.6	
8	9	30.7	30.8	31.1	25.6	24.9	25.7	26.5	
8	10	29.3	29.9	29.6	25.8	25.2	25.7	26.5	
8	11	27.9	28.7	28.9	25.8	24.9	25.7	26.1	
8	12	26.5	27.6	28.5	25.8	25.0	25.7	26.2	
8	13	25.3	26.9	27.4	25.6	24.8	25.6	25.9	51mm
8	14	32.1	31.6	31.4	25.3	24.8	25.5	25.7	
8	15	31.0	30.9	30.7	25.9	24.9	25.6	25.9	
8	16	29.8	30.1	30.0	29.9	24.9	25.6	25.9	
8	17	28.6	29.4	29.6	29.4	25.0	25.6	26.1	
8	18	27.3	28.6	29.2	29.0	25.0	25.6	25.9	
8	19	26.5	27.7	28.7	28.5	25.0	25.6	25.9	
8	20	25.8	26.9	28.2	28.0	25.3	25.7	26.1	
8	21	24.7	26.6	26.4	26.2	25.2	25.7	26.1	
8	22	23.7	25.8	26.1	25.8	25.0	25.6	26.1	
8	23	22.7	25.0	25.8	25.4	24.8	25.6	26.1	
8	24	21.8	24.7	25.6	25.2	24.8	25.5	26.1	
8	25	21.2	24.3	25.3	25.0	24.7	25.4	25.0	
8	26	20.5	24.0	25.0	24.9	24.6	25.3	25.9	
8	27	19.8	23.7	24.8	24.7	24.5	25.3	25.7	

Table 14.2 Fluctuation in soil humidity
1 atm. feijao '89. CPAC

Month	Day	Depth (cm)							Water applied mm
		10	20	30	40	60	80	100	
5	18	After planting							20
5	19	After planting							20
5	29	After germination							30
6	4	33.1	31.8	30.8	26.7	25.6	25.8	25.8	
6	5	32.2	33.9	33.5	26.2	24.4	25.7	25.4	
6	6	31.3	32.0	32.3	27.3	25.0	26.2	25.8	
6	7	30.5	30.8	31.3	28.0	25.3	26.3	26.1	
6	8	29.4	30.1	30.9	28.5	25.6	26.8	26.5	
6	9	28.7	29.4	30.5	29.0	25.9	27.0	26.8	
6	10	28.1	28.7	30.0	29.3	26.2	27.2	27.0	
6	11	27.4	28.2	29.7	29.7	26.3	27.4	27.1	
6	12	27.1	27.6	29.4	29.5	26.8	27.4	27.3	
6	13	26.8	27.8	29.0	29.3	27.1	27.4	27.3	
6	14	26.8	27.1	29.1	29.2	27.0	27.4	27.5	
6	15	26.2	26.8	28.8	29.1	27.2	27.6	27.8	
6	16	25.6	26.7	29.0	28.8	27.3	27.9	27.9	45
6	17	34.9	35.1	33.7	31.6	29.2	28.9	28.6	
6	18	33.4	33.9	32.7	31.1	29.1	28.9	28.6	
6	19	31.3	31.8	32.0	30.7	29.5	28.9	28.7	
6	20	30.3	30.5	31.1	30.5	29.6	29.0	28.6	
6	21	29.7	29.7	30.6	30.4	29.7	29.1	28.7	
6	22	29.3	28.9	30.3	30.0	29.6	29.2	28.9	
6	23	28.6	28.1	29.7	29.8	29.6	29.2	28.9	
6	24	28.5	27.3	29.3	29.5	29.5	29.3	29.1	
6	25	28.4	26.8	28.9	29.3	29.3	29.2	28.8	
6	26	27.8	26.5	28.7	29.1	29.3	29.3	29.0	
6	27	27.3	26.3	28.7	28.9	29.2	29.2	29.0	
6	28	26.8	26.6	28.5	28.6	29.0	29.1	29.0	
6	29	26.3	26.2	27.5	28.5	28.9	29.1	28.9	
6	30	25.7	26.2	27.1	28.3	28.9	29.0	28.9	45
7	1	36.0	36.0	27.4	28.1	28.7	28.9	28.8	
7	2	32.1	31.0	28.0	28.0	28.7	28.9	29.0	
7	3	30.4	29.1	28.2	27.8	28.5	28.9	28.9	
7	4	28.8	27.4	27.7	27.8	28.5	28.9	29.0	
7	5	27.7	26.7	27.5	27.0	28.4	28.8	28.9	
7	6	26.7	26.3	27.4	27.5	28.3	28.7	28.9	
7	7	26.2	26.0	26.8	27.2	28.1	28.8	29.0	
7	8	23.9	26.0	26.7	27.0	28.1	28.6	28.9	48
7	9	36.0	36.0	27.2	26.9	28.1	27.6	28.9	
7	10	32.7	32.3	28.6	26.8	28.0	28.5	28.9	
7	11	31.4	29.7	28.8	26.8	27.9	28.5	28.8	
7	12	30.3	28.0	28.5	26.7	27.9	28.5	28.8	
7	13	29.7	27.1	27.9	26.7	27.9	28.5	28.9	
7	14	27.7	26.4	27.4	26.5	27.8	28.5	28.9	
7	15	27.1	26.3	27.2	26.6	27.8	28.5	28.9	
7	16	25.0	26.0	26.4	26.6	27.6	28.3	28.8	48

7	17	36.0	36.0	26.8	26.3	27.4	28.2	28.6	
7	18	32.7	31.4	27.2	26.2	27.4	28.2	28.7	
7	19	31.0	29.0	27.5	26.1	27.3	28.1	28.6	
7	20	29.1	27.2	27.3	26.1	27.3	28.1	28.6	
7	21	28.3	26.5	27.0	26.0	27.2	28.0	28.6	
7	22	27.2	26.1	26.7	26.1	27.1	28.0	28.5	
7	23	26.1	26.0	26.3	26.0	27.0	27.9	28.5	
7	24	23.0	26.1	26.3	25.9	27.0	27.8	28.5	51
7	25	36.0	35.5	26.4	25.9	26.9	27.7	28.5	
7	26	31.2	30.1	26.8	25.9	26.9	27.7	28.5	
7	27	30.0	27.3	26.8	25.9	26.8	27.6	28.4	
7	28	27.7	26.2	26.4	25.7	26.7	27.5	28.3	
7	29	26.3	26.0	26.2	25.3	26.6	27.4	28.2	
7	30	25.6	26.0	26.0	25.0	26.5	27.3	28.1	51
7	31	36.0	36.0	28.8	25.3	26.5	28.1	29.5	8
8	1	36.0	33.9	29.3	25.8	26.2	27.0	28.1	
8	2	36.1	33.0	30.0	26.1	26.1	27.0	28.0	
8	3	34.9	31.0	29.4	25.7	26.1	27.0	28.0	
8	4	33.6	29.7	28.9	26.2	26.2	27.0	28.0	
8	5	32.1	28.6	28.4	26.2	26.2	27.0	28.0	
8	6	30.8	27.1	27.3	26.0	26.2	26.9	27.9	
8	7	27.7	26.7	27.1	26.2	26.2	26.9	28.0	2
8	8	26.7	26.4	26.7	26.1	26.2	26.9	27.9	
8	9	26.2	26.3	26.5	26.1	26.1	26.2	27.9	
8	10	24.1	25.7	26.4	26.1	25.9	26.1	27.8	51
8	11	36.0	36.0	26.7	26.1	25.8	25.9	27.7	
8	12	36.0	33.9	30.4	26.1	25.8	25.9	27.8	
8	13	36.1	31.3	29.6	26.0	25.8	25.9	27.7	
8	14	32.7	29.9	28.9	26.0	25.9	26.1	27.7	
8	15	32.1	29.0	28.6	26.0	25.8	25.9	27.6	
8	16	31.5	28.6	28.3	26.2	25.8	26.1	27.8	
8	17	30.8	27.7	27.5	26.3	25.9	26.1	27.8	
8	18	28.9	27.1	27.1	26.1	26.1	26.1	27.6	
8	19	27.0	27.0	27.0	26.2	26.4	26.1	27.8	
8	20	25.4	26.5	26.5	26.0	25.9	26.1	27.7	48
8	21	36.0	36.0	28.2	26.2	26.1	26.2	27.7	
8	22	36.3	36.0	30.8	26.1	26.1	26.2	27.8	22mm
8	23	36.0	36.0	36.0	31.4	26.1	26.2	27.6	
8	24	36.0	36.0	35.8	34.0	26.2	26.5	27.8	
8	25	36.3	33.0	33.0	33.0	26.3	26.5	27.8	
8	26	36.0	33.0	32.8	32.3	28.8	26.7	27.9	
8	27	35.1	31.8	31.9	31.8	29.4	26.7	28.3	
8	28	34.2	31.3	31.7	31.6	29.7	29.1	28.6	
8	29	32.6	31.1	31.3	31.2	29.8	29.6	29.1	
8	30	32.7	30.9	31.2	31.0	29.8	29.7	29.2	
8	31	32.1	30.7	30.9	30.8	29.7	29.7	29.6	

Table 14.3 Fluctuation in soil humidity
5 atm. ervilha 89. CPAC

Month	Day	Depth (cm)							Water applied mm
		10	20	30	40	60	80	100	
5	30	After planting							50
6	9	After germinatin							50
6	20	29.8	31.4	32.4	35.0	35.4	36.1	36.3	
6	21	29.6	31.4	31.8	35.0	35.4	36.1	36.3	
6	22	28.9	31.2	31.7	35.0	35.5	36.1	36.3	
6	23	28.8	30.5	31.2	35.1	34.7	36.1	36.3	
6	24	28.7	29.8	30.6	34.0	34.7	37.1	36.3	
6	25	28.6	29.8	30.6	33.0	34.2	37.1	36.4	
6	26	28.6	29.8	30.2	32.9	33.9	34.7	35.5	
6	27	28.5	29.6	30.2	32.8	33.8	34.9	35.5	
6	28	28.4	29.3	30.9	32.7	32.8	34.9	34.6	
6	29	28.4	29.0	30.0	32.4	32.2	34.9	34.6	
6	30	28.2	28.1	30.0	31.4	32.0	33.8	33.9	
7	1	27.8	27.2	29.8	31.2	31.8	33.5	33.7	
7	2	27.2	27.0	30.1	31.1	31.6	33.2	33.6	
7	3	27.1	27.0	30.1	30.0	31.5	32.7	26.3	
7	4	25.0	26.7	30.0	30.0	31.4	32.5	33.1	
7	5	23.1	26.7	30.1	29.7	31.6	32.7	33.1	
7	6	22.0	26.7	30.1	29.2	31.0	33.1	32.5	45
7	7	34.9	34.9	35.0	31.0	31.6	32.9	32.8	
7	8	33.0	34.3	33.1	33.5	32.3	33.6	33.4	
7	9	31.4	31.7	31.5	32.5	32.6	33.4	33.8	
7	10	30.6	30.5	31.0	32.1	32.7	34.0	34.3	
7	11	29.7	29.7	30.5	31.9	32.4	34.2	34.0	
7	12	29.1	29.2	30.1	30.7	32.0	33.4	33.9	
7	13	28.7	28.2	29.6	29.8	31.6	32.6	33.4	
7	14	27.8	27.9	28.1	29.4	31.6	32.8	33.6	
7	15	26.8	27.6	27.7	28.8	31.3	32.5	33.0	
7	16	25.7	27.4	27.6	28.4	30.9	32.3	33.0	
7	17	23.7	27.1	27.0	28.4	30.7	31.9	32.7	
7	18	22.0	26.6	26.5	28.1	30.6	31.7	32.5	47
7	19	34.0	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	
7	20	33.8	35.6	35.0	36.1	36.2	36.1	36.1	
7	21	31.9	32.7	33.1	35.5	36.3	36.1	36.1	
7	22	30.7	31.4	32.1	34.1	36.2	36.1	36.1	
7	23	29.9	30.7	31.4	33.9	36.2	36.1	36.1	
7	24	29.3	30.4	31.0	32.4	36.1	36.1	36.1	
7	25	28.8	29.9	30.6	32.0	35.5	35.5	36.1	
7	26	28.2	28.9	29.2	30.4	34.9	35.5	37.1	
7	27	27.3	28.0	28.3	30.2	34.4	35.5	35.8	
7	28	26.7	26.9	26.9	28.9	32.4	33.7	34.4	
7	29	25.0	26.6	26.5	27.3	31.7	33.1	34.2	
7	30	22.7	26.4	26.3	26.7	31.0	32.5	33.3	
7	31	21.5	26.3	26.1	26.5	30.2	31.6	32.3	50 + 8

8	1	36.0	36.0	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	
8	2	34.7	36.0	36.1	36.1	36.3	36.0	36.0	36.0	
8	3	33.0	34.2	36.0	36.0	36.2	36.0	36.0	36.0	
8	4	31.7	32.9	35.8	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	
8	5	31.2	33.0	34.1	36.1	35.9	36.1	36.0	36.0	
8	6	29.3	31.2	32.7	34.7	35.5	36.1	36.0	36.0	
8	7	28.0	29.0	30.3	31.3	33.4	36.1	36.0	36.0	2
8	8	27.2	27.7	28.4	29.9	32.4	35.1	36.1	36.1	
8	9	26.8	27.5	27.4	28.9	32.0	34.3	35.5	35.5	
8	10	26.6	27.2	26.8	28.0	32.0	34.3	35.1	35.1	
8	11	26.1	26.6	26.4	27.0	30.4	32.2	32.8	32.8	
8	12	25.5	26.5	26.4	26.9	30.4	32.3	33.4	33.4	
8	13	23.9	26.1	26.1	26.6	29.6	31.9	32.7	32.7	
8	14	21.6	24.5	24.7	26.5	29.3	31.7	32.7	32.7	51
8	15	34.7	32.8	28.1	27.2	29.6	35.5	36.0	36.0	
8	16	33.0	32.5	29.8	29.1	30.8	35.5	36.0	36.0	
8	17	30.6	29.6	27.6	29.9	30.8	34.3	34.7	34.7	
8	18	28.6	27.6	26.6	29.4	30.3	32.7	34.8	34.8	
8	19	27.1	27.4	27.7	29.6	29.7	32.2	34.2	34.2	
8	20	26.5	27.0	27.7	27.7	29.6	31.9	33.7	33.7	
8	21	26.3	27.3	25.9	25.8	29.5	31.5	33.0	33.0	
8	22	23.2	25.0	24.1	24.8	29.2	31.3	32.8	32.8	22 mm
8	23	28.1	26.3	23.1	24.1	29.2	30.8	32.2	32.2	
8	24	31.8	26.6	24.2	24.3	28.9	30.8	31.8	31.8	
8	25	29.5	27.7	24.3	24.3	28.9	30.7	31.7	31.7	
8	26	27.7	27.5	24.6	24.4	28.8	30.3	31.2	31.2	
8	27	26.9	27.2	24.8	24.6	28.7	30.3	31.1	31.1	
8	28	26.6	27.2	24.8	24.7	28.7	29.9	30.6	30.6	
8	29	26.5	27.0	24.8	24.8	28.6	29.8	30.5	30.5	
8	30	26.4	26.9	24.8	24.8	28.6	29.8	30.4	30.4	
8	31	26.5	26.9	24.8	24.8	28.7	29.7	30.5	30.5	
9	1	26.4	26.8	24.8	24.7	28.7	29.7	30.5	30.5	
9	2	26.3	26.7	24.7	24.6	28.3	29.4	30.0	30.0	
9	3	26.2	26.8	24.6	24.7	28.3	29.4	30.0	30.0	
9	4	26.0	26.1	24.7	24.9	28.3	29.3	30.0	30.0	

5. セラードの砂質土壌における土壌水分張力
に基づくフェジジョンに対するかん水点の設定

派遣専門家：宮沢数雄（土壌－作物－水分系）
(87.7～89.7)

カウンターパート：Sebastião Francisco Figueredo
Joaquin Pedro Soares Neto

セラードの砂質土壌における土壌水分張力 に基づくフェジョンに対するかん水点の設定

宮 沢 数 雄

Sebastião Francisco FIGUEREDO

Joaquin Pedro Soares NETO

1. はじめに

バイヤ州の南西部、サンフランシスコ川流域の左岸には、平坦な台地の上に、砂質の母材からなるセラードが広く分布している。パヘイラスを中心としたこの地域は、大規模機械化に適する平坦で広大な農地が安価に入手できるので、近年急速に開発が進んでおり、主として大豆が作付けられているが、その他の作目に見るべきものがなく、単作化の傾向を示している。

バイア州ではブラジル全土の作付けの10%の面積でフェジョンが栽培されている。しかし、他州に比べてその生産力は低く、1981年以降収量は漸減している (AZEVEDO及びCAIXETA, 1987)。このように生産性の低い原因は、この地域の砂質土壌の肥沃性の低いこともあるが、雨期にフェジョンの病害が発生し易いこともある。フェジョンの高い生産性を得る目的には、合理的なかんがいシステムを伴う乾期での栽培が必要である。

セラード土壌の土性は、壤質砂土から砂質壤土で、排水が良く、畦間かんがいは不可能である。しかし一方、平坦な地形は、水源に富み、かつ大規模なスプリンクラーによるかんがいに適しており、最近ではピボセントラルを用いた大規模なかんがい農業を行う農家も増えてきている。

乾期におけるかんがい試験については、UEP São Francisco, EPABAでOliveira(1986)によって行われ、フェジョンについては総かん水量393mm, かん水間隔4~8日と云う結果が得られているが、これはセラードの試験でなく、UEP São Franciscoの位置する台地の、石灰岩に由来する細粒の土壌で行われたものである。

以上のような背景の下に、1988年よりJICA-CPAC-EPABAの協力によって、パヘイラス西方50kmのUEP São Franciscoセラード試験地において準備を始め、1989年乾期にフェジョンのかんがい試験を行った。試験はEPABAがほ場管理を担当し、JICA、CPACがかんがい設備、水分変動の計算、土壌及び作物体の分析を担当した。この試験は尚継続中であるが、1989年度試験結果につき報告する。

2. 目的

セラードの砂質土壌における乾期のフェジョンのかんがい栽培において、土壌水分張力に

基づいて設定した種々のかん水点の収量及び収量構成要素に及ぼす影響を評価し、最高の収量と水利用効率の得られるかん水点を確定するとともに、それに伴う栽培システムを確立する。

3. 仮設

砂質の土壤は、一般に保水容量が小さく、透水性が大であると考えられている。保水容量が少ないのは、粘土含量が低いため、毛管孔隙が少ないことにより、透水性が大きいのは逆に粗孔隙が多いためであるが、これは水分が飽和状態にあるときの話で、乾燥により孔隙間が分離されると、事態は全く逆になる。Hillel (1971) はこの点について、その著書の中で次のように述べている。

水で飽和している時、最も水の伝導の良いのは、大きな連続した孔隙が大部分を占める土壤で、一方伝導度の最も悪いのは沢山の微細孔隙からなる土壤である。よく知られているように、砂質土壤は粘土質土壤よりも水を良く透す。しかし、土壤が水で不飽和の時は、全く反対のことが真実である。大きな孔隙をもつ土壤は、これらの孔隙が速やかに空になり、吸引を強めても水を透さなくなり、最初の高い伝導性は速やかに減少する。孔隙の小さい土壤では、反対に、多くの孔隙は相当な減圧下でも保水し、水を伝導する。それ故水分伝導度は急速に低下せず、同じ減圧下におかれた大孔隙をもつ土壤よりも実際に大である。

以上のような不飽和状態の砂質土壤における水分伝導の特徴を念頭において、次のような仮設のもとに試験を行った。

- 1) 砂質土壤においても、水分張力に基づくかん水点は、乾期におけるかんがい下の作物の生育・収量に直接影響を及ぼす。
- 2) 砂質土壤は、不飽和では水の伝導が悪いので、水分変化の最も烈しいのは地表及び根の周辺であり、かん水点を設定するための土壤水分張力の測定は、地表下10cmで行うのが良い。
- 3) しかし作物の根系は地表下60cmまでの水分を吸収するので、かん水量は地表下60cmまでの水分変化を考慮して計算する。
- 4) 供試作物は1気圧までの張力の土壤水分を利用することができる。
- 5) 砂質土壤では不飽和での水分伝導が悪く、表層は下層からの水の補給がないので乾燥し易く、かん水点は高めに設定しなければならない。

4. 試験方法

試験は1区3.5m×4mの5処理4反復で行った。かん水点として設定した10cmの層の水分張力は次の如くである：0.5、1、3、5及び10気圧。水分張力測定の為のテンシオメー

タと石膏ブロックは、各処理について10、20、30、40、60、80、及び100cmの深さに設置した。かん水量は深さ60cmまでをほ場容水量の水分に戻すのに必要な量を水分張力の読みから計算した。かん水は降雨を模し、細孔をあけたポリビニールチューブを用いて人力で行った。かん水量は精度1ℓのハイδροメータで測定した。

土壌の保水力を高める目的で、雨期に栽培したトウモロコシ収穫残渣を細粉し、プラウで30cmの深さまですきこんだ。

試験に用いたフェジョンの品種はカリオカで、蔗糖液に懸濁させた根粒菌接種剤とよく混和した後播種し、発芽後栽植密度を20本/m²とした。雨期にトウモロコシを栽培する際、2t/haの石灰岩と、十分な量のリン酸を施したので、フェジョンに対しては、P₂O₅、K₂O各100kg/haを過リン酸石灰と塩化カリで施した。窒素は発芽後20kg/ha、開化後期に40kg/haを尿素で施した。播種は6月2日、収穫は8月26日で、生育期間は86日間であった。

5. 水分張力から土壌水分含量の計算

1) 土壌の物理性

UEP São Franciscoのセラード試験地はバヘイラスの西、ほぼ50km、広大な台地の upper part を流れるペドラス川の右岸にある。試験ほ場は川岸より少し登った平坦な場所であり、かんがい水は試験ほ場内に給水塔をたて、ペドラス川よりポンプで揚水している。

Table 1 Particle size distribution and bulk density

Original soil, feijao '89, EPABA								
Horizon	Depth (cm)	Clay	Silt	Fine Sand %	Coarse Sand	Texture	Specific Gravity	Bulk Density
AP	0-12.5	15	1	50	34	Loamy-Sand	2.76	1.49
A	12.5-20	15	1	45	39	Loamy-Sand	2.72	1.48
C1	30 - 40	18	1	55	26	Sandy-Loam	2.79	1.51
C1	40 - 50	19	1	59	21	Sandy-Loam	2.72	1.48
C1	60 - 70	19	1	53	27	Sandy-Loam	2.79	1.47
C2	70 - 80	20	1	57	22	Sandy-Loam	2.79	1.49
C2	90 -100	22	1	57	20	Sandy-Clay- Loam	2.76	1.47
C2	110 -120	22	1	59	18	Sandy-Clay- Loam	2.72	1.50

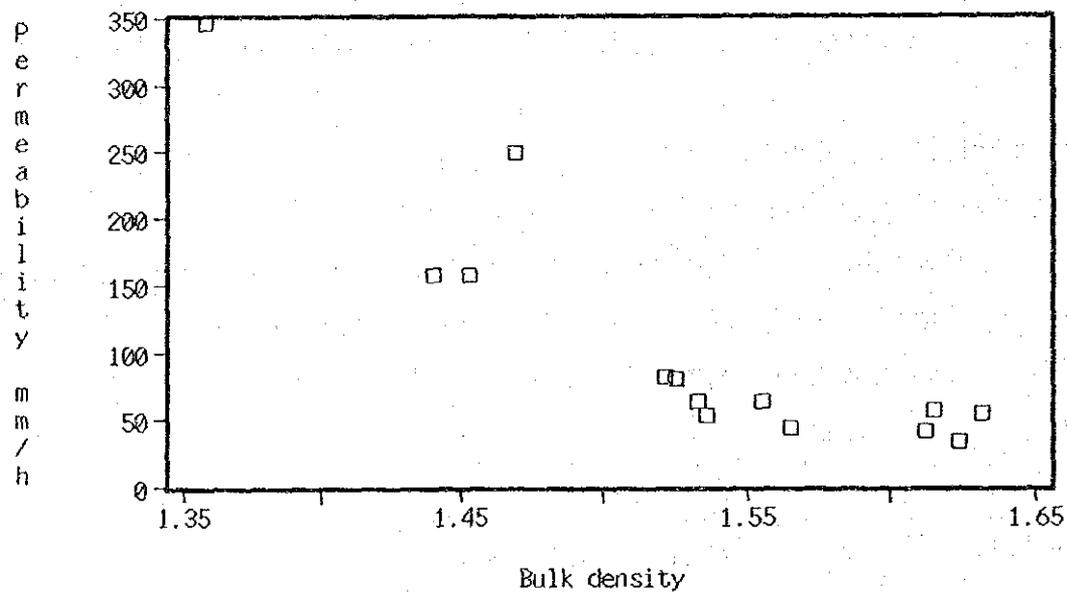
表1に、試験ほ場原土壌の層別粒径分布と容積密度を示す(表1)。断面全層にわたって、ほぼ同様の砂質の母材からなり、粘土含量は15~20%、砂含量はすべて80%前後であり、ブラジルの土性クラス分類では砂質~中粒質となる(SNLCS、1979)。

ブラジル国家資源調査のブラジリア土壤図によると、このあたりは赤黄色ラトソルが

分布するが、表1に示す土性では、むしろ石英砂土に近い。石英砂土はA、C層からなり、砂質で、極めて排水が良く、土層は極めて深く、中度-強度の酸性で、自然肥沃度は低く、塩基飽和度は8~38%、交換性アルミニウムは25~80%である (MME/SG/Project RADAM BRASIL,1982)。

図1に、この土壌の容積密度と、水分飽和状態における透水係数との関係を示す。透水係数は、容積密度が1.5を超すと急激に低下する。原土壌は全層を通じて、相当な密充填の状態にあると思われるので、作物残渣のすきこみを伴う深耕により、作土層の物理性改善に努めなければならない (図1)。

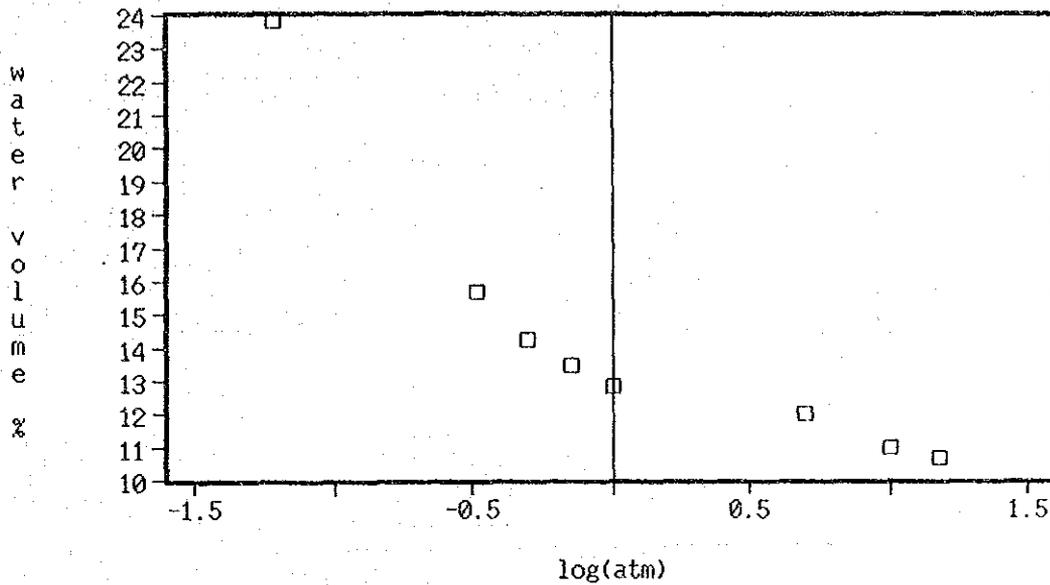
Fig.1 Bulk density and Permeability
Feijao '89, EPABA



2) かん水の為の用水量の計算

図2は、原土壌の各層より100cc円筒で採取した試料につき、遠心分離で測定した水分張力と含水量との関係で (JuniorおよびSilva,1987)、1気圧以上の張力になると、脱水量が急速に少なくなる (図2)。

Fig.2 Soil water and tension
In laboratory, EPABA



遠心分離で測定した場合、現実には場で測定した場合より、同一張力に対して含水量が幾分多くなるので、試験開始に先だち、現場に近い水分計算の関係式を得るため、面積200cm²のポットに15cmの深さに原土壌のC層をつめ、10cmの深さにテンシオメータまたは石膏ブロックを埋め、テンシオメータの読みから計算した気圧または石膏ブロックの電気抵抗k-ohmと水分含量との関係を調べた。図2に見られる傾きを考慮に入れて、水分張力より含水量を推定する次の回帰式が得られた。

$$\theta = 9.37 - 5.06 \log \phi \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta = 10.17 - 0.89 \log \omega \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta = 9.37 - 1.85 \log \phi \dots\dots\dots (3)$$

ここに θ は土壌水分の容量%、 ϕ は水分張力(気圧)、 ω は石膏ブロックの電気抵抗k-ohmである。また式(1)は水分張力1気圧以下の高含水量、式(3)は水分張力1気圧以上の低含水量で適用される。(2)、(3)式から、1気圧では水分9.4%、石膏ブロックの電気抵抗7.9k-ohm、3気圧ではそれぞれ8.5%、78k-ohm、5気圧では8.1%、224k-ohm、10気圧では7.5%、950k-ohmとなる。

以上の(1)、(2)式を用いて、ほ場での水分含量を推定し、かん水量を計算した。

3) ほ場合含水量の計算

現地での水の働きを計算するため、試験遂行中に、水分張力観測点で、径3cm、長さ2.5cmの半円筒型採土部位を持つ、長さ105cmの検土杖を用い、深さ別に試料を採取し、水分張力と水分含量(容積%)との関係を見た。

図3は、テンシオメータから計算された水分張力(気圧)とほ場各層の含水量との関

係であり、図4は、石膏ブロックの抵抗k-ohmと含水量の関係を示す(図3、図4)。

Fig.3 Water in the field and atm
 $\theta = 9.75 - 7.39 \log \psi$

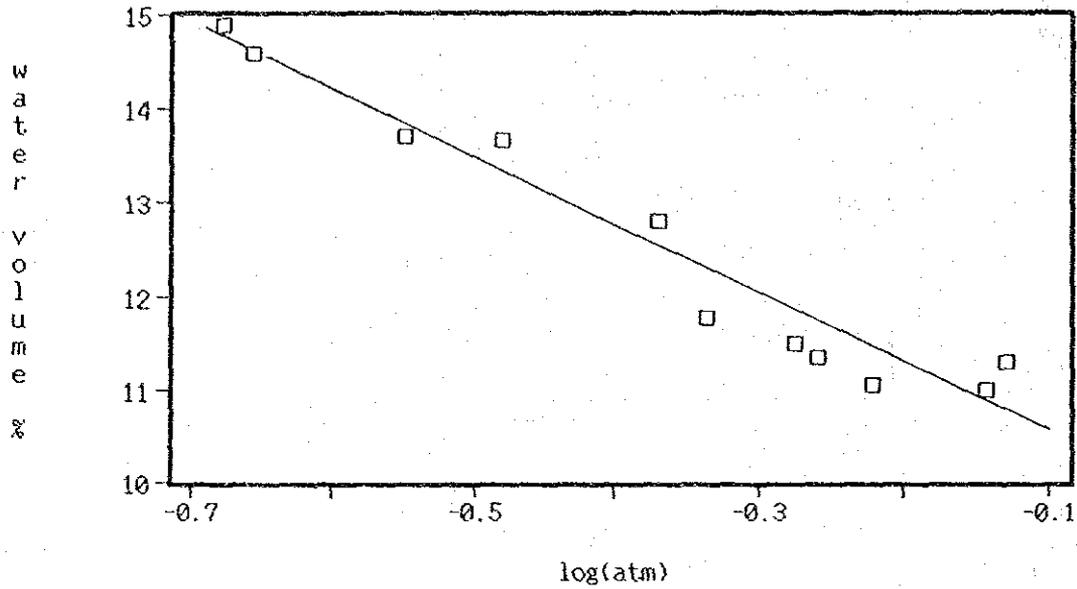


Fig.4 Water in the field and k-ohm
 $\theta = 11.34 - 1.29 \log \omega$

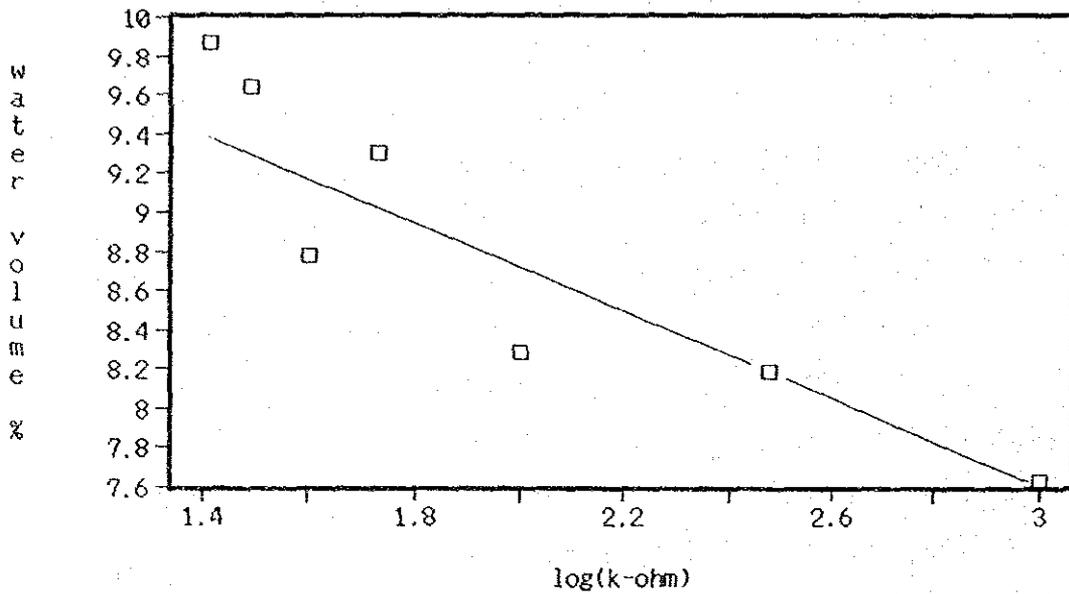


図3、図4よりほ場における水分計算の関係式(4)、(5)が得られる。また(4)、(5)より張力1気圧以上の低水分領域における水分張力(気圧)と含水量との関係式(6)が得られる。

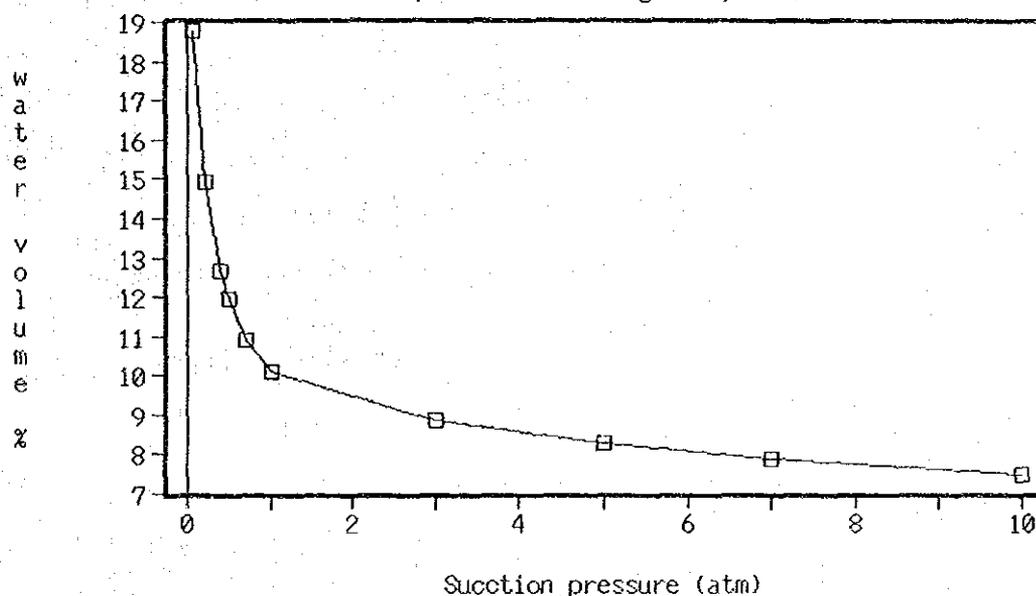
$$\theta = 9.75 - 7.39 \log \psi \dots\dots\dots (4)$$

$$\theta = 11.34 - 1.29 \log \omega \dots\dots\dots (5)$$

$$\theta = 10.05 - 2.58 \log \psi \dots\dots\dots (6)$$

図5は、式(4)、(6)から計算した水分張力と、土壌の容積当り含水量%との関係を示す曲線で、Azevedoら(1981)が測定した、中粒質赤黄色ラトソルの曲線と非常に似ている。10気圧からは場容水量までの有効水含量は約12%で、CPACの粘土質LEの14%に比べて少ないが、1気圧からは場容水量までの有効水含量は9%で、粘土質LEの7%に比べると多く、かんがい水が入る孔隙は沢山ある。これらのかんがい水が土層内に保持されず、急速に下層や側方に流失することが懸念されるが、先に述べたように不飽和の水分状態では毛管が切断され、水の動きは阻止される。むしろ砂質土壌における作物の水分消費の問題点は、逆説的であるが、砂質土壌における水の動きの悪さにある(図5)。

Fig.5 Soil water distribution curve
Exp. field of irrigation, EPABA



6. フェジョン1989年試験結果

1) 収量及び養分吸収

表2に1989年度の収量及び収量構成要素を示す。子実収量は、かん水点3気圧以下の処理間で有意差がなく、かん水点が5気圧以上になると、3気圧以下の処理に比べて、精度1%以上の有意差をもって収量が低下する。またかん水点5気圧とかん水点10気圧の処理間にも、5%の精度で有意差がある。収量構成要素についてみると、作物当り莢数及び100粒重に処理間の差がなく、一般に着莢数が多く、100粒重が小である。着莢数が相対的に多い理由については不明であるが、少なくとも開化後稔実及び子実の肥大が不十分であった事は、全般的な水不足によるものと思われ、砂質土壌の水の伝導が悪く、根が水を吸った後、周囲の土壌から水が十分に補給されないことによるものであろう(表2)。

Table 2. Yields of feijao '89, EPABA

Variety: Carioca Date: 29/08/'89				
Treatment	Bean Yield	Foliage Weight	Number of Pods for Plant	Weight of 100 Bean g
atm	kg/ha			
0.5	1717	1679	13.3	23.6
1	1757	2043	10.0	22.8
3	1657	1823	10.5	23.4
5	1309	1666	11.3	23.0
10	1023	1200	10.3	23.5

*: CV: 9.7 %
LSD 0.05: 223 kg/ha
0.01: 313 kg/ha

表3は、開化期上位葉の養分濃度を示す。N、P、K、Mgともに、CPACの粘土質LEのフェジヨンのそれに比べて、著しく濃度が高い。おそらく、砂質土壌においては、かん水点の如何にかかわらず、水の絶対量が少ないため葉中の養分濃度が高いのではないと思われる。表3の中でCaのみが他に比して養分濃度が低いのは、恐らく原土壌が著しくカルシウムに不足していたためと思われる(表3)。

Table 3. Nutrient contents in leaf at early flowering epoch

Feijao '89, EPABA. Date of sampling: 24/07/'89					
Treatment	N	P	K	Ca	Mg
atm	dry matter %				
0.5	5.16	0.34	1.81	1.63	0.68
1	4.85	0.34	1.81	1.68	0.66
3	4.93	0.35	1.91	1.79	0.66
5	5.00	0.35	1.84	1.73	0.66
10	4.94	0.35	1.78	2.00	0.82

表4にかん水点1気圧処理の養分総吸収量を示す。各養分ともに、総吸収量は高いが、施肥量とのバランスがとれている。初年度のため、根粒接種を行ったにもかかわらず、根粒の着生は悪かったが、窒素総吸収量は施用量を上まわっている(表4)。

Table 4. Nutrients uptake in feijao of 1 atm treatment

Feijao '89, EPABA. Date of sampling: 29/8/'89					
Part	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
kg/ha					
Bean	66.4	18.2	27.1	5.7	6.7
Foliage	27.6	6.0	50.8	50.6	24.2
total	94.0	24.2	77.9	56.3	30.9

表5は原土壌及びフェジョン収穫跡地の土壌養分の変化を示す。原土壌のカルシウム含量はセラードの基準と比して著しく低く、トウモロコシ作付前に石灰岩2t/haを施し、一応改善されているが、尚毎年石灰岩2t/haの施用が必要である(Sousaら、1986)。カリウムもまた低水準であり、施肥によって作物は普通以上の吸収量を確保したが、土壌中にはほとんど蓄積が見られず、作物栽培に対しては必要量のカリ肥料を継続施用しなければならない(Vilelaら、1986)。原土壌のリンは表層を除いて欠乏水準にあったが、トウモロコシ作付前の矯正施肥と、維持施肥により、30cmの深度まで十分な蓄積が見られる(Goedertら、1986)。有機物含量は、トウモロコシ残渣すきこみを行ったにもかかわらず、深耕により減少の傾向があり、今後とも雨期のトウモロコシ収穫残渣のすきこみが必要である(表5)。

Table 5 Change of soil fertilities with feijao cultivation, EPABA
Feijao '89, EPABA
Date of sampling: 13/09/'88, 12/09/'89

Horizon	Depth cm	Organic matter %	pH (H ₂ O)	Exchangeable cations			P Mehlich PPM
				Ca	Mg	K	
				meq/100ml			
Original field							
Ap	0-12.5	1.23	5.2	0.55	0.17	0.06	0.58
A	-20	1.23	5.2	0.48	0.18	0.04	0.68
Cl	-40	0.74	5.2	0.12	0.06	0.01	0.67
After harvesting of 1 atm. block 3							
Ap	0-15	0.91	5.6	1.87	1.19	0.09	0.00
A	-30	1.11	5.6	1.78	1.09	0.09	0.00

2) かんがい水量と水の移動

表6に総かん水量とかんがい間隔を示す。総かん水量はかん水点1気圧で335mm、かん水間隔6~8日で、かんがい水量が300mmを切ると、作物の生育低下が見られる。Prizzone(1987)は、窒素とかん水量の相互作用について、N120kg/ha、かん水量500mmで最高の収穫を得たことを報告しているが、表6のかん水量はそれに比べて非常に少ない。粘土質LEでは、フェジョンの生育日数100日前後、かん水点1気圧の総かん水量は450mmであるが、それに比べて表6のかん水量は少なく、生育日数も86日と非常に短い。このことは今まで述べたように、恐らく砂質土壌内での水の伝導が悪いことに基づくものであろう(表6)。

Table 6 Sum of irrigated water (mm)

Sum and interval	Feijao '89, EPABA. Variety: Carioca Period of vegetation: 85 days				
	Irrigation point atm				
	0.5	1	3	5	10
Sum of irrigated water (mm)	356	335	315	293	224
Interval of irrigation (Days)	July 5-6	6-7	8	9-10	14
	August 7	8	8	11	17

図6.1は、1気圧処理の開化始めの7月22日から、7月28日にかけてのかん水後の土壤水分の深さ別変化を示したものである。図6.1の地表下60cmの層の水分含量が水分張力1気圧に相当する10%で一定していることは興味深い。この部位が1気圧の張力で安定していることは、単なる地表からの乾燥の結果ではなく、ほ場全体における地下の複雑な水分変動を反映しているわけであるが、水分張力1気圧、含水量10%以下の状態が続くと、この層は不透水層となるようである。7月21日にかんがいた水は、この不透水層まで徐々に達してここで停滞し、7月23日になって、この層の上部の水分含量を高め、それ以後全体として水分含量が地表下40cmまでの層で徐々に低下しはじめ、7月27日に地表下10cmの層で0.7気圧の水分張力となり、次いで7月28日に10cmの層のみが、水分張力1気圧に相当する10%の土壤容積水分含量になる。すなわち、実際的には10cmの層の水分張力が0.7気圧に達し、テンシオメータが作動しなくなってから、1日後にかん水すれば良く、図6.1の水分変動からみて、フェジヨンの根系が水を吸収する範囲は地表下40cmまでと思われるので、かん水量は、40cmまでの水分変動を念頭において計算すれば充分と思われる(図6.1)。

図6.2は、1気圧処理の1989年度の全生育期間の深さ40cmまでの水分変動を示したものである。最も変動の烈しいのは10cmの層で、かん水と乾燥の課程で含水量は上下するが、30cm、40cmの層は、かん水量が少ない場合は、そこまでかんがい水が達せず、全体として乾燥の課程をとる。しかし、下層が乾燥してきて、かん水量が多くなると、かんがい水は40cmまで達して含水量の変化が起こる。更にかん水の後降雨があった時には、40cmの部位も大幅に含水量が高まる。図6.2で明らかなように、表層10cmが1気圧の水分張力に相当する10%の含水量に達しても、それ以下の土層では、尚それ以上の水分を持っているので、かん水点1気圧処理は、フェジヨンのかんがい栽培にとって安全で水利用効率の高いかん水点である(図6.2)。

末尾に、1気圧と3気圧処理の生育期間中の水分の日変化を示してあるが、表7.2の様に3気圧処理の場合は20cmの部位もしばしば10%以下の含水量となり、収量の上で

は1気圧処理と大差はなかったが、水分含量の動態から見てフェジョン栽培に安全なかん水点とは言えない。

Fig.6.1 Change of soil water
Flowering time, feijao, 1 atm, '89, EPABA

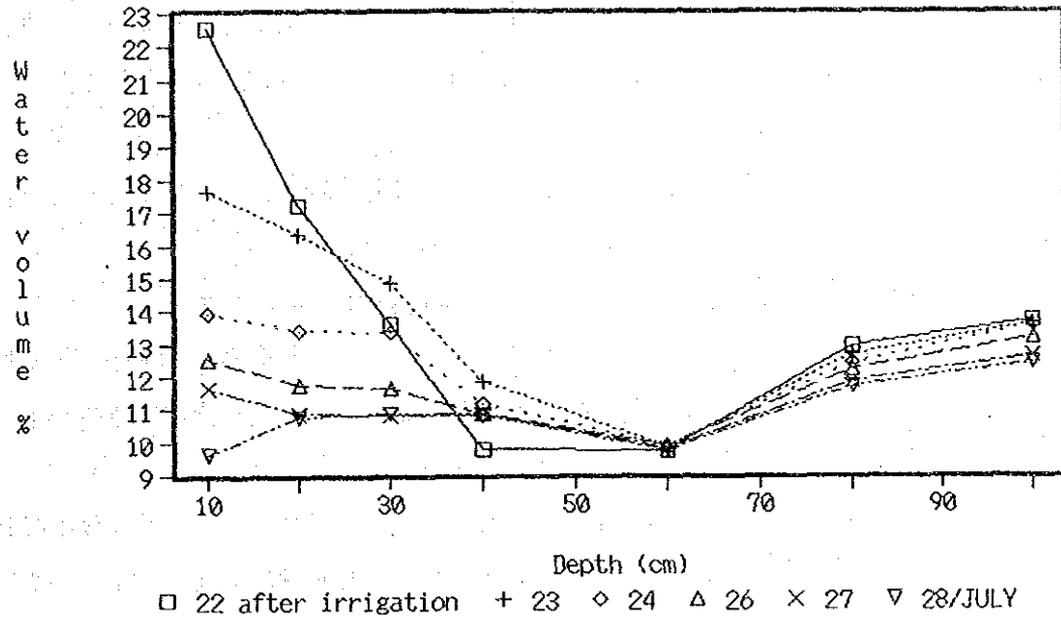
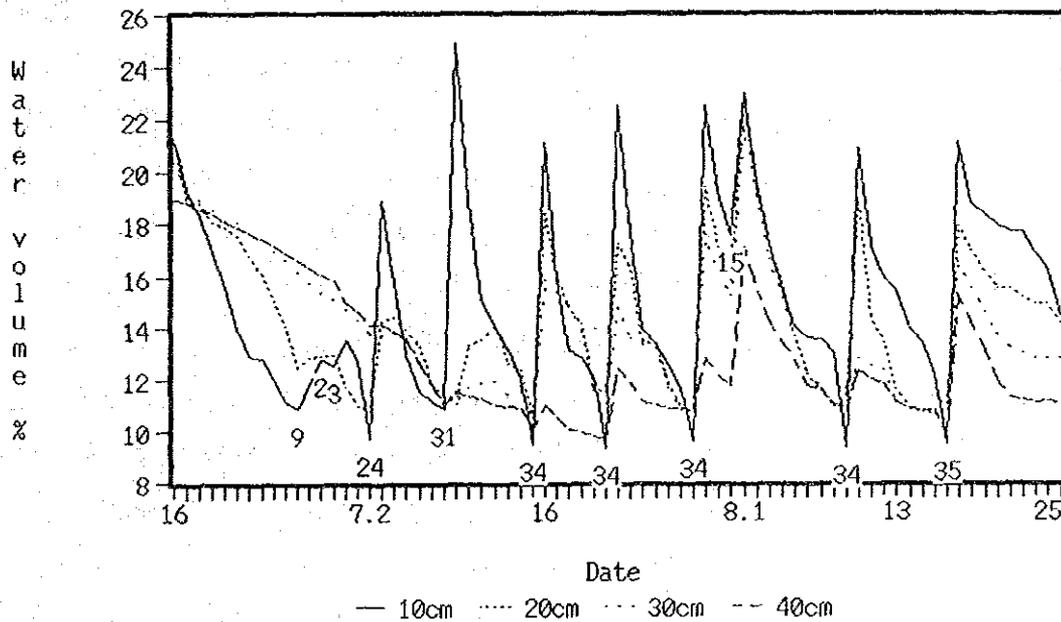


Fig.6.2 Movement of irrigated water
Feijao, 1 atm, 1989, EPABA



7. 考察

今まで述べてきたように、砂質土壌における水の動きは、極めて複雑である。砂質土壌における水の移動に関する問題点を大別すると、まず第1に、地下水の移動と関連した水文学的調査により、土壌の大局的な湿潤・乾燥に関する情報を該当する農地について収集することが必要である。

また作物栽培について言えば、砂質土壌においては、水の伝導が悪いことが最大の問題で、これを克服するための方策を考えなければならない。

まず第1に考えられることは、深耕により根圏域を拡大し、根系の発達を助長して水利用を促進させることである。

第2に、雨期の作物の残渣のすきこみを行い、土壌自体の保水性を高めることである。

第3に水の利用効率を高めるため、かんがい水はなるべく根系の分布する範囲に集めることである。そのためには、かんがい水量の計算は主要な根系の分布する土層の水分を補給することを目安とする可きである。

根粒の発達を助長するためには、根圏域が過湿になったり、過乾になったりするのを避けるべきであり、その為にはかんがい対象とする土層、すなわち根圏域をある程度の深さに保ち、その水分状態を過湿、過乾にならない一定の領域で変動させるようにしなければならない。

砂質土壌で、水分張力が1気圧に乾燥する状態が続くと、その部位は固結して不透水層となるので、地表に最も近い部位の水分張力を観測し、そこが1気圧に達したら、根系の範囲をは場容水量に達する様かんがいすれば安全である。以上を総合すると、

- 1) 砂質土壌において、乾期かんがい下にフェジンを栽培するには、雨期の作物残渣のすきこみ、石灰岩の定期的施用を含む長期の輪作の確立が必要である。
- 2) かん水点設定のための土壌水分張力の測定は、地表下10cmで行う。
- 3) かん水点はフェジンの場合、10cmの水分張力が1気圧に達した時とする。
- 4) かんがい水量は地表下40cmまでの土層の水分状態の変化を考慮して計算する。
- 5) 乾期かんがい下のフェジンの栽培には根粒菌の接種とともに、少量の窒肥の初期施用が必要である。また砂質土壌では、根粒の活性が低いので、適量の窒素追肥を開化期に行う必要がある。

8. 謝辞

本研究を進めるに当たって、EMBRAPA-CPACの研究員Dr.Elias de Freitas JUNIOR, Dr.Dimas Vital S.RESCK及びDr.Jamil MACEDOには、土壌分類、砂質土壌の物理性及び試験の設計・遂行について種々御助言をいただいた。現地においてはUEP São Francisco,

EPABA場長Dr. Jose Joaquin SANTANA SILVAおよびコーディネータDr. Ciderval Vieira SAMPAIOには種々の御援助をいただいた。また試験遂行に当たっては、CPACのは場及びかんがい部門テクニコの各位に御協力をいただいた。JICAとEMBRAPA間の接衝と研究資材の調達については、渡辺チームリーダー、二瓶調整員およびCPAC秘書のSra. Nair Seiko HAYASHIDAに御願ひした。記して謝意を表する。

9. 引用文献

- AZEVEDO, J.A., FREIRE, J.C. & SELVA, E.M. Características físico-hídricas importantes para a irrigação de solos representativos de cerrados. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Brasília, 1981, Anais... Brasília, 1983, 843-844p, Volume II.
- AZEVEDO, J.A. & CAIXETA, T.J. Irrigação do feijoeiro. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1987. 13-14, 16-17, 25, 32p. (Circular Técnica 23).
- GOEDERT, W.J., SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Fosforo, Solos dos Cerrados. EMBRAPA-CPAC, Planaltina; Nobel, São Paulo, 1986. 159p.
- HILLEL, D. Soil and Water; Physical Principles and Processes, Academic Press, New York, 1971. 105p.
- JUNIOR, E.F. & SILVA, E.M. Caracterização, modificações sob cultivo e variabilidade espacial das propriedades físicas dos solos dos cerrados. Relatório técnico anual do CPAC, 1982/1985. Planaltina, 1987. 206-208 p.
- MAGALHAES, A.A. & MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção do feijão, Pesq. agropec. bras., Brasília, 13 (No. 2):55-60, 1978.
- MME/SG/Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Vol., 29, Folha SD. 23, Brasília. Rio de Janeiro, 1982, 361-364 p.
- OLIVEIRA, F.A. Irrigação de diferentes cultivos no Município de Barreiras, Bahia. Salvador, EPABA, 1978. (Comunicado Técnico, 6). Citada de "Resumos de trabalhos, EPABA, 1986". 90p.
- PRIZZONE, J.A. Funções de resposta do feijoeiro ao uso nitrogênio e lâmina de irrigação. Simpósio sobre o manejo de água na agricultura. Campinas, 1987. 123-133p.
- SNLCS. Sumula da X reunião técnica de levantamento de solos, (SNLCS, Serie Miscelânea, 1). Rio de Janeiro, 1979. 9p.

SOUSA, D.M.G., CARVALHO, L.J.C.B. & MIRANDA, L.N. Correção da acidez do solo. Solos dos Cerrados. EMBRAPA-CPAC, Planaltina; Nobel, São Paulo, 1986, 106p.

VILELA, L., SILVA, J.E., RITCHEY, K.D. & SOUSA, D.M.G. Potássio. Solos dos Cerrados. EMBRAPA-CPAC, Planaltina; Nobel, São Paulo, 1986, 220 p.

10. Summary

Optimum irrigation point based on soil water tension for dry season phaseolus bean on a cerrado sandy soil

Key words : Cerrado ; Sandy soil ; Irrigation point ;

Phaseolus bean ; Soil water tension

A field experiment with dry season bean (*phaseolus vulgaris* L.) was started from 1989 on a sandy soil in cerrado experimental station, Branch San Francisco, EPABA.

Generally in Bahia, the yield of phaseolus bean is lower in rainy season because of disease injury. But there is another problem for planting bean under irrigation in dry season. The sandy soil, which distribute widely in the cerrado of Bahia, has low holding capacity and conductivity of water.

The experimental field was planted maize in previous rainy season and plowed deeply incorporating residue after harvest. Five treatment of irrigation point based on soil water tension at depth of 10cm were established as follows : 0.5, 1, 3, 5 and 10 atm. The volume of irrigation water had been calculated from the value of tension to 60cm depth to provide enough for restotation of field water capacity. The values of soil water tension were calculated from daily reading of tensiometers and electric resistance in gypsum blocks. The experimental treatments were carried in 4 repetitions and the plot size was 3.5m × 8m which was irrigated with perforated handy PVC tube held above the plant canopy. Adequate maintenance fertilizer containing nitrogen was applied and inoculated seeds were planted for each plot.

The experimental results in 1989 were summarized as follows: The yields of bean (Carioca) were similar up to the 3 atm treatment, 1.7 t/ha, and then decreased from the 5 to 10 atm treatment. The total amount of water application and interval of irrigation was about 330mm and 8 days for the 1 atm treatment. Reflecting the

slow water conductivity, the total amount of irrigation water was smaller and the plant nutrients contents were higher oppositely. The 1000 grains weight was about 230 g and was little smaller than normal. As water uptake by bean root system did not reach to deep horizon, it seemed to be effective for phaseolus bean on sandy soil to irrigate frequently with a little water of supplying until 40 cm depth.

11. 附表

ほ場試験の期間中、水分張力の変化を毎日9時に測定した。測定結果から層位別の水分含量を計算し、その日変化を求めた。附表7.1は1気圧、7.2は3気圧処理の日変化である(表7.1、7.2)。

Table 7.1 Fluctuation in soil humidity
1 atm. Feijao '89, EPABA

Month	Day	Depth (cm)							Water applied mm
		10	20	30	40	60	80	100	
		Soil water volume %							
6	2	After planting							20
6	6	After germination							20
6	10	After germination							20
6	14	After germination							20
6	16	21.3	21.2	20.4	19.0	18.3	17.5	17.8	
6	17	19.3	19.0	19.4	18.9	18.2	17.4	17.0	
6	18	18.3	18.8	19.0	18.6	17.8	17.5	18.0	
6	19	16.9	18.1	18.6	18.4	17.7	17.6	18.2	
6	20	15.6	17.9	18.2	18.1	17.5	17.5	17.8	
6	21	14.0	17.6	18.1	17.9	17.5	17.6	17.9	
6	22	12.9	16.9	17.7	17.7	17.3	17.4	17.8	
6	23	12.8	16.0	17.4	17.4	17.1	17.3	17.7	
6	24	12.0	15.0	17.0	17.2	17.1	17.0	17.6	
6	25	11.1	14.0	16.7	16.9	17.0	17.1	17.6	
6	26	10.9	12.4	16.2	16.6	16.7	16.9	17.3	9
6	27	11.7	12.8	15.8	16.4	16.7	16.8	17.3	
6	28	12.8	12.9	15.3	16.0	16.4	16.6	17.0	2
6	29	12.5	12.9	15.1	15.9	16.4	16.6	17.0	3
6	30	13.5	11.7	14.7	15.0	16.3	16.6	17.0	
7	1	12.7	11.0	14.3	14.6	16.2	16.5	17.0	
7	2	9.7	10.8	13.8	14.1	16.0	16.3	16.8	24
7	3	18.9	14.3	13.7	14.1	15.9	16.2	16.6	
7	4	15.7	14.4	13.8	13.8	15.7	16.0	16.4	
7	5	12.9	13.9	13.6	13.5	15.5	15.9	16.3	
7	6	11.5	13.3	12.7	12.6	15.4	15.9	16.3	
7	7	11.1	11.8	11.9	11.8	15.2	15.8	16.2	
7	8	10.9	11.4	11.1	11.0	14.5	15.8	16.3	31
7	9	24.9	11.1	11.5	11.5	12.8	15.7	16.2	
7	10	18.9	13.3	11.7	11.3	14.6	15.6	16.1	
7	11	15.0	13.5	11.8	11.3	13.9	15.4	16.0	
7	12	14.0	14.0	11.9	11.0	14.6	15.2	15.7	
7	13	13.1	12.6	11.4	10.9	13.5	15.1	15.5	
7	14	12.0	12.3	11.7	10.8	13.2	15.0	15.5	
7	15	9.5	10.4	10.2	10.1	11.9	17.3	15.1	34
7	16	21.2	18.4	15.8	11.0	12.0	14.4	15.1	
7	17	15.9	16.0	15.3	10.5	12.2	14.2	14.9	
7	18	13.1	14.8	14.8	10.1	11.8	13.9	14.6	
7	19	12.8	14.1	13.8	9.9	11.8	13.7	14.5	
7	20	12.0	11.6	11.5	9.8	10.1	13.3	14.1	
7	21	9.3	11.5	11.0	9.7	9.9	12.7	13.7	34
7	22	22.5	17.2	14.8	12.4	9.7	12.9	13.7	
7	23	17.6	16.3	13.6	11.9	9.8	12.7	13.6	
7	24	13.9	13.4	13.3	11.2	9.9	12.4	13.5	
7	25	13.3	13.4	13.2	11.0	9.9	12.4	13.4	
7	26	12.5	11.8	11.6	10.9	9.9	12.2	13.2	
7	27	11.7	10.8	10.8	10.9	9.8	11.9	12.6	
7	28	9.6	10.8	10.9	10.8	9.7	11.7	12.4	34

7	29	22.5	19.4	17.6	12.8	9.8	11.9	12.5	
7	30	19.2	17.1	16.0	12.1	9.9	11.8	12.7	
7	31	17.6	15.8	15.2	11.7	9.9	11.6	12.6	15
8	1	23.0	23.0	21.8	17.1	12.4	12.1	13.3	
8	2	19.6	19.3	19.0	15.4	11.8	11.9	13.1	
8	3	17.2	17.2	16.7	14.2	11.8	11.9	11.4	
8	4	15.5	15.7	15.1	13.4	11.8	12.0	13.1	
8	5	14.0	13.6	13.6	12.7	11.8	11.9	13.0	
8	6	13.6	12.2	12.3	11.7	11.2	11.3	12.9	
8	7	13.5	11.5	11.6	11.6	11.6	11.8	12.8	
8	8	13.0	10.9	11.0	11.0	11.5	11.7	12.6	
8	9	9.3	11.1	10.7	10.9	11.4	11.8	12.5	34
8	10	20.9	19.0	12.8	12.3	11.4	13.3	13.0	
8	11	17.2	14.4	12.5	12.0	11.3	12.1	12.5	
8	12	15.9	13.4	12.3	11.8	11.3	11.8	12.3	
8	13	15.5	11.6	11.1	11.1	11.2	11.6	12.1	
8	14	13.9	10.8	10.9	10.9	11.1	11.4	12.0	
8	15	13.4	10.8	10.8	10.8	10.0	11.4	11.9	
8	16	12.1	10.6	10.7	10.8	9.8	13.5	11.7	
8	17	9.5	10.8	10.0	9.8	9.6	11.5	11.7	35
8	18	21.2	17.9	16.5	15.1	9.8	12.6	12.1	
8	19	18.8	17.0	15.5	14.2	10.0	11.8	11.9	
8	20	18.3	16.2	14.6	13.1	10.1	11.6	12.0	
8	21	18.0	15.5	13.7	11.9	11.1	11.5	11.7	
8	22	17.7	15.5	13.2	11.3	11.4	11.5	11.8	
8	23	17.7	15.2	13.0	11.2	11.3	11.6	12.0	
8	24	16.9	14.9	12.8	11.1	11.2	11.4	11.8	
8	25	16.4	14.9	12.8	11.1	11.2	11.4	12.1	
8	26	14.5	14.1	12.8	11.1	11.2	11.3	11.8	

Table 7.2 Fluctuation in soil humidity
3 atm, Feijao '89, EPABA

Month	Day	Depth (cm)							Water applied mm
		10	20	30	40	60	80	100	
		Soil water volume %							
6	2	After planting							20
6	6	After germination							20
6	10	After germination							20
6	14	After germination							20
6	16	21.2	20.9	19.8	18.6	17.5	18.2	15.9	
6	17	19.3	19.6	19.6	18.6	17.5	17.4	16.1	
6	18	18.4	19.1	19.0	18.5	17.5	17.2	16.4	
6	19	17.5	18.6	18.8	18.2	17.7	17.1	16.8	
6	20	16.6	18.1	18.3	17.9	17.5	17.1	16.9	
6	21	16.0	17.9	18.1	17.8	17.7	17.3	17.1	
6	22	15.1	17.5	17.7	17.6	17.5	17.2	17.1	
6	23	14.6	17.0	17.3	17.2	17.4	17.2	17.0	
6	24	13.5	16.5	17.0	17.1	17.2	17.2	17.0	
6	25	12.9	16.0	16.7	16.9	17.3	17.1	16.9	
6	26	12.1	15.4	16.2	16.6	17.0	16.9	16.9	9
6	27	13.2	15.0	15.8	16.3	16.9	16.9	16.9	
6	28	13.8	14.8	15.5	16.1	16.7	16.8	16.4	2
6	29	14.1	14.6	15.3	15.9	16.6	16.5	16.3	3
6	30	13.9	14.4	14.9	15.8	16.6	16.7	16.7	
7	1	13.5	14.0	14.1	15.4	16.4	16.5	16.5	
7	2	12.0	13.1	13.4	15.1	16.3	16.3	16.3	
7	3	10.1	12.4	12.7	14.8	16.4	16.4	16.4	
7	4	9.3	12.0	12.4	14.3	16.1	16.3	16.3	
7	5	8.7	11.6	12.0	13.7	16.0	16.0	16.1	28
7	6	21.2	12.6	12.7	13.3	16.2	16.0	16.1	
7	7	17.6	13.6	12.7	13.1	15.8	15.7	15.9	
7	8	14.9	13.3	12.0	12.6	15.6	15.6	15.9	
7	9	13.5	13.0	11.6	12.2	15.6	15.6	15.7	
7	10	12.2	12.2	11.7	11.6	15.5	15.5	15.6	
7	11	11.4	11.4	11.6	11.1	15.3	15.5	15.5	
7	12	9.5	11.2	11.4	10.9	15.1	15.4	15.6	
7	13	8.5	9.5	11.9	10.8	14.9	15.3	15.5	33
7	14	20.4	9.5	10.5	10.9	14.8	15.3	15.4	
7	15	16.8	9.7	10.4	10.0	14.6	15.1	15.2	
7	16	14.9	9.8	10.0	10.0	14.4	14.8	15.0	
7	17	13.4	9.8	10.0	9.9	14.1	14.8	15.0	
7	18	12.1	9.6	10.1	9.9	13.4	14.9	15.4	
7	19	9.7	9.2	9.6	9.8	13.2	14.7	14.8	
7	20	8.6	9.1	9.4	9.5	11.0	14.6	14.5	
7	21	8.1	8.9	9.3	9.2	9.9	9.9	14.1	37
7	22	20.6	9.0	9.2	9.1	9.7	9.9	14.3	
7	23	16.9	9.3	9.3	9.2	9.8	10.1	14.2	
7	24	14.0	9.4	9.3	9.4	9.8	10.1	14.0	
7	25	12.5	9.4	9.3	9.4	9.8	10.0	14.2	
7	26	11.3	9.1	9.2	9.2	9.5	9.5	13.6	
7	27	9.5	8.9	9.0	9.1	9.5	9.7	13.0	
7	28	8.3	8.7	8.9	8.9	9.4	9.6	12.9	37

7	29	21.5	13.7	9.3	9.0	9.4	9.7	13.0	
7	30	18.2	15.8	9.1	9.5	9.5	9.8	13.3	
7	31	16.5	14.6	11.2	10.0	9.5	9.9	14.1	15
8	1	21.2	21.8	18.0	10.0	9.6	13.7	13.8	
8	2	18.7	18.5	17.1	11.4	9.6	13.4	13.7	
8	3	15.7	17.2	15.1	11.3	9.7	13.4	13.6	
8	4	13.9	16.2	13.7	11.2	9.7	13.5	13.3	
8	5	11.8	14.4	11.7	11.1	9.7	13.4	13.0	
8	6	11.2	12.9	11.0	11.0	9.7	13.3	12.7	
8	7	11.0	12.1	10.9	10.5	9.6	13.3	12.4	
8	8	9.9	11.3	10.8	10.0	9.5	9.7	12.1	
8	9	9.0	10.9	10.8	10.0	9.4	9.5	9.8	
8	10	8.3	9.6	10.3	9.5	9.2	9.4	9.7	37
8	11	15.5	11.2	9.5	10.9	9.2	9.4	9.5	
8	12	13.2	11.6	9.5	10.8	9.1	9.4	9.7	
8	13	11.6	11.4	9.4	10.7	9.1	9.3	9.7	
8	14	10.8	10.9	9.2	10.8	9.1	9.2	9.5	
8	15	10.8	10.9	9.1	9.9	9.1	9.2	9.5	
8	16	9.8	9.1	9.0	9.3	9.0	9.1	9.4	
8	17	8.9	8.8	9.0	8.9	9.0	9.1	9.3	37
8	18	18.4	17.2	9.0	9.7	9.0	9.1	9.3	
8	19	15.4	15.8	9.1	10.0	9.0	9.1	9.5	
8	20	13.5	14.6	9.2	10.8	9.1	9.2	9.6	
8	21	11.9	13.6	9.3	10.8	9.1	9.3	9.6	
8	22	11.7	13.3	9.4	11.0	9.2	9.3	9.7	
8	23	11.4	12.8	9.4	10.0	9.3	9.4	9.7	
8	24	11.0	12.1	9.3	9.9	9.3	9.4	9.8	
8	25	10.8	11.3	9.8	9.3	9.3	9.4	9.5	
8	26	9.3	10.8	9.2	9.6	9.2	9.4	9.8	

