

(2) Cd (カドミウム)

土壌中のCdの可給性は、pHが7-8で最も少なくなる。pHの低下により土壌平衡溶液中のCd濃度は増大する。土壌中のCd含量を沈殿汚泥で乾土当たり35mg/kgに設定した試験で、DIEZとROSOPULO (1972) は、バレイショ塊茎中にかなり高い濃度のCdを検出した (kg 乾物当たり0.36と0.54mg)。バレイショ茎葉中の濃度はこれよりも15~20倍高かった。土壌のCd含量を16mg/kgまでに設定したポット試験では、バレイショ塊茎中のCd含量は、ドイツ連邦保健省が設定した人間の摂取許容値である0.1ppm以下であった (ANON. 1979)。バレイショ塊茎中のCd含量は、土壌中の濃度が高くなると上昇し、少なくなると比例して減少する。

畑作物中のCd含量を高くしないためには、土壌のCd含量を1ppm以上に上げないようにすることをHENKENS (1983) は提案している。平均して、現在、オランダの非汚染土壌では、約0.4ppmのCdが検出されている (van DRIEFLら、1983)。最近の100年間に、土壌に、もし年間ha当たり約20g程度のCdが施用されたとしても、土壌中の値が1ppmに達することはないだろう。施用された販売肥料からだけでも、土壌に年間ha当たり約6g以上のCdが投入されている (HENKENS 1983)。

(e) 重金属などが植物に過剰害を生ずる濃度

重金属などが植物に過剰害を生ずる濃度は第84表に示すとおりである。作物葉の重金属過剰害水準は第85表に示すとおりである。

第84表 重金属などが植物に過剰害 (葉害) を生ずる含有率

元 素	含有率 (ppm) *	元 素	含有率 (ppm) *
1. Ag 銀	2	12. Mn マンガン	1500 - 3000
2. As ヒ素	15 - 50	13. Mo モリブデン	2 - 10
3. B ホウ素	25 - 100	14. Ni ニッケル	100
4. Be ベリリウム	10	15. Pb 鉛	100 - 400
5. Br 臭素	10 - 20	16. Sb アンチモン	5 - 10
6. Cd カドミウム	3 - 8	17. Se セレン	5 - 10
7. Co コバルト	25 - 50	18. Sn スズ	50
8. Cr クロム	75 - 100	19. Ti チタン	1
9. Cu 銅	60 - 125	20. V バナジウム	50 - 100
10. F フッ素	200 - 1000	21. Zn 亜鉛	70 - 400
11. Hg 水銀	0.3 - 5		

*参考文献により数字に幅がある

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 40

第85表 作物葉の重金属過剰害の水準 (ppm)

作物	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn
レタス	10 - 95	-	-	8 - 21	300 - 1000	30 - 40	150 - 250
稲	-	-	-	-	100 - 1000	-	-
インゲンマメ	5	4 - 40	1	15 - 30	100 - 1000	10 - 83	60 - 250
トウモロコシ	25 - 150	-	-	5 - 21	-	60	200 - 400
大豆	4 - 6	-	-	-	100 - 300	-	450
トマト	25 - 90	-	-	-	-	10 - 30	350
小麦	18 - 43	-	-	18	-	14 - 46	108 - 500

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 89

(3) 市販資材の微量要素と重金属

(a) 石灰岩粉末中の微量要素と重金属

酸性矯正資材中の微量要素と重金属 (海外データ) は第86表に示すとおりである。ブラジルで生産されている酸性矯

正資材中の微量元素と重金属は第87表に示すとおりである。ブラジルのマツト・グロッソ州産出の苦土石灰の微量元素分析値は第88表に示すとおりである。

このように天然農業資材中に微量元素と重金属が含まれており、特に、微量元素については今後の農業生産活動では積極的に考慮されるべきであろう。

第86表 酸性矯正資材中の微量元素と重金属 (海外データ) (ppm)

元 素	石灰岩		農業用石膏	珪酸石灰
	カルサイト	ドロマイト		
B ホウ素	2,8 - 50	1 - 50	5	0 - 2000
Co コバルト	1 - 2	5	2	5
Cu 銅	4 - 70	0,3 - 10	8	0 - 80
Fe 鉄	-	-	670	-
Mn マンガン	15 - 9300	40 - 1900	15	3000 - 10000
Mo モリブデン	2 - 20	20 - 30	16	-
Ni ニッケル	10 - 70	1 - 5	2	200
Zn 亜鉛	50 - 700	10 - 200	9	tr
As ヒ素	0,21 - 3,3	0,38 - 8,14	42	-
Cd カドミウム	-	-	7	-
Cr クロム	3 - 61	50 - 300	-	200
Hg 水銀	0,048 - 0,7	-	-	-
Pb 鉛	5 - 100	1 - 20	1	80

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg110

第87表 ブラジルで生産されている酸性矯正資材中の微量元素と重金属 (ppm)

元 素	石灰岩		農業用石膏	高炉高滓
	ミナス・ジライス州	サンパウロ州		
B ホウ素	-	-	-	-
Co コバルト	-	2 - 47	-	6
Cu 銅	2,5 - 11	10 - 42	-	7800
Fe 鉄	376 - 4599	2466 - 33110	-	65000
Mn マンガン	46 - 221	334 - 1150	-	23000
Mo モリブデン	-	0,3 - 1,4	-	3,5
Ni ニッケル	8 - 9	-	-	1000
Zn 亜鉛	12 - 78	13 - 46	-	-
As ヒ素	-	-	-	-
Cd カドミウム	2,3 - 3,4	-	0,8 - 5,3	-
Cr クロム	0,1 - 0,6	-	-	-
Hg 水銀	-	-	0,1 - 0,2	-
Pb 鉛	23 - 28	-	15 - 45	-

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg110

第88表 マツト・グロッソ州のドロマイトの分析値

項 目	単 位	項 目	単 位
Zn	13 ppm	PN	99,0% CaCO ₃
Fe	2000 ppm	PRNT	84,0% CaCO ₃
Cu	12 ppm	湿度	6,1%
Mn	24 ppm	粒度 # 10	1,5
B	tr	# 20	7,6
Mo	tr	# 50	18,9
Co	tr	> # 50	72,0
S total	tr	分析者 - Coaiti Odashiro	
CaO	30,1%	分析日 - 1993. 1. 11	
MgO	17,3%	分析所 - ULTRAFERTIL	

(b) 市販肥料中の微量元素と重金属

市販肥料中の微量元素と重金属含有率は第89表に示すとおりである。特にリンサン肥料中に微量元素と重金属が含まれており、肥料の使用に当たっては意識的に土壌分析値と作物より配合材料を考慮すべきであろう。

第89表 ブラジルで商品化されている肥料中の微量元素と重金属 (ppm = g/t)

肥料	B	Co	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn	Cd	Cr	Pb
硫酸	45	3	12	-	26	1, 1	-	5	-	-	-
尿素	74	3	<1	-	26	3, 4	-	2	-	-	-
DAP	100	11	7	-	235	11	-	122	-	-	-
MAP	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,03	-	-
リン鉱石*	-	-	72	29590	3915	-	117	740	6,7	1,9	36
過リン酸石灰*	(8)	-	(64)	(2,9)	(95)	(2)	-	(150)	0,6	-	-
重過リン酸石灰	-	-	-	6565	300	-	24	810	4,4	0,9	18
溶成リン肥	-	-	44	38410	2220	-	3300	374	3,1	10	65
塩化加里	44-204	8-9	4-17	-	23-32	0,2-1,4	-	11-26	-	-	-

* Araxá(MG)

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 109

() INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO E PLANTA PARA FINS DE ADUBAÇÃO 1989 pg 176

(c) 各種有機物中の微量元素と重金属

ケイフンと牛糞中の有用と有毒な微量元素の濃度は第90表に示すとおりである。ミミズフンの分析値は第91表に示すとおりである。

牛糞堆肥の分析値は第92表に示すとおりである。これらの数字は、今後これらの有機物資材を使用する時の参考になると考えられる。

第90表 ケイフンと牛糞中の有用と有毒な微量元素の濃度 (ppm)

元素	ケイフン*	牛糞
As ヒ素	0,56	4
B ホウ素	-	24
Ba バリウム	54	268
Be ベリリウム	< 0,03	-
Cd カドミウム	0,42	0,8
Co コバルト	2	5,9
Cr クロム	6	56
Cu 銅	31	62
Hg 水銀	0,06	0,2
Mn マンガン	166	286
Mo モリブデン	5	14
Ni ニッケル	-	29
Pb 鉛	2,1	16
Sb アンチモン	< 0,08	0,5
Se セレン	0,38	2,4
Sn スズ	2,0	3,8
Ti チタン	12	2800(?)
V バナジウム	3,9	43
Zn 亜鉛	155	71

*敷床(しきど)の混ざったケイフン

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 20

第91表 ミミズフンの分析値 *

項目	%	項目	ppm
N	0,96	Po	7,125
P total	0,38	Mn	320
K ₂ O	0,24	Cu	25
Ca	0,82	Zn	100
Mg	2,47	Na	3,000
S	0,33	B	1,000
湿度	53,86		
M.O	36,93		
C/N	7,30		

*ミミズの餌は牛糞である。

分析者 - IMPLANTAR-Santa Isabel SP

分析日 - 1988.10.17

分析所 - LAGRO

第92表 牛糞堆肥（木質資材混合）の分析値（乾物当たり）

項目	水分 %	pH	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	HgO %	EC μS/cm	CEC meq/100g	Pb ppm	Zn ppm
平均	68,20	7,54	1,53	3,56	1,49	1,11	0,68	1,39	37,9	8,0	74,30
標準偏差	15,09	0,34	0,29	2,02	0,28	0,75	0,28	0,39	15,92	3,11	13,33
変動係数	22,13	4,48	18,89	56,77	15,05	67,39	41,03	28,06	42,03	38,82	17,93

項目	Cu ppm	Cd ppm	Hg ppm	As ppm
平均	25,4	1,02	0,10	0,52
標準偏差	25,68	0,21	0,03	0,68
変動係数	100,94	20,20	31,63	130,57

出所：日本一長野農総試分析より

兵庫県農林水産部一土づくりと施肥の手引き 1983 pg 45

マモナ粕とヤギフンの分析値は第93表に示すとおりである。

マモナ粕とヤギフンはブラジルの東北部のサンフランシスコ川流域の乾燥地帯のブドウやマンゴ栽培や野菜栽培の有機物資材として極めて重要であり、それらには分析の如く微量元素も含まれている。

第93表 マモナ粕とヤギフンの分析

有機物	%					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	Fe
マモナ粕	7,57	0,86	1,18	0,75	0,56	92	124	28	180	240
ヤギフン	2,78	0,26	2,27	2,33	0,65	368	70	16	748	954

分析者：Mamoru Yamamoto

分析日：1986. 10. 16

分析所：EMBRAPA-CPATSA

次に厩肥（きゅうひ）と堆肥（たいひ）について解説すると下記の如くである。

厩肥（うまやごえ、まやごえ、英語ではStable-manure）は家畜小屋から取り出した、家畜の糞尿およびシキワラをただちに圃場に施用する場合もあるが、多くは堆積、腐熟させ、あるいは野草やワラと混合堆積して堆肥として使用するもので、したがって実際上厩肥と堆肥と区別することは困難であるが、便宜上家畜の糞尿とシキワラを主とするものを厩肥とし、野草やワラを主とするものを堆肥（英語でFarmyard-manure）として区別することにする。

さて都市ごみコンポスト（Composto de lixo）については、都市や工業からの廃棄物からつくられるが、重大な不利益な点は、作物にとって有害なある種の元素を含むかも知れないということである。

これら有害元素は天然に土壤中に生ずることもあるが、この種の大部分の汚染は工場の煙突、ある種の廃棄石灰、下水汚泥（工業都市の）、及び都市ごみから生ずる。汚染された廃棄物が定期的に用いられる場所では有毒金属が蓄積し、作物にも障害を与えることになる。

これらの金属は土壤中で容易に動かないので、それらを除去することは不可能である。そのような土壤に育った作物は正常な作物よりも多くの有毒要素を含む。

植物に対するこれらの金属の吸収され易さは、有機質肥料の種類で異なり、またそれが施用される土壤の酸性度（pH）にも左右されるので、農家は有機質肥料として求めた廃棄物を使う前に専門家の助言を受けるべきである。

有毒効果は、ある種の下水汚泥の量が多過ぎ、それがあまりにもしばしば施用された場合に生ずる。工業地帯の下水汚泥は著しく重金属の含量が高いことがある。

作物に対する主な危険は、Zn、Cu、Niと多分Cdからのものである。B（ホウ素）—洗剤由来は液状汚泥とか、下水処理水が農地に施用された時、感受性の高い作物に障害を与えることがある。場合によっては、Pb（鉛）とHg（水銀）が

下水汚泥に含まれることがある。

土壌がCd (カドミウム) やHg (水銀) を含んでいる所に育った植物は人間や家畜に障害を与えるし、Pb (鉛) で汚染された牧草は放牧家畜に有害である。

都市ごみコンポストの分析例は第94表に示すとおりである。

第94表 日本の8都市、12点の都市ごみコンポストの分析値 (水分以外は乾物当たり)

項目	水分	EC	pH	T N	C/N	T P ₂ O ₅	T K ₂ O	CaO	MgO	不純物	灰分
	%	μmho/cm		%		%	%	%	%	%	%
平均	53,9	5,47	7,3	1,68	23,7	1,17	1,81	5,25	0,67	11,2	28,1
標準偏差	10,8	2,29	0,7	0,44	7,6	0,87	0,72	1,81	0,70	12,2	11,1
変動係数 CV%	20,0	42,0	9,8	26,1	32,0	74,1	39,7	34,4	105,6	109,2	39,3

項目	Pb	Zn	Cu	Cd	Ni	Hg	As
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
平均	222	639	176	2,8	28	1,7	2,7
標準偏差	239	418	123	1,5	12	1,1	1,9
変動係数 CV%	107,3	65,4	69,9	53,5	41,4	60,6	69,1

出所：農業技術研究所 1983

兵庫県農林水産部 - 土づくりと施肥の手引き 1983 pg 41

(4) 重金属汚染とその規制

(a) ヨーロッパと米国で採用されている重金属限界量

(i) 英国

J. WEBBER(1977)の研究により、Ni (ニッケル) はZn (亜鉛) より8倍有毒であり、Cu (銅) より2倍有毒とした。そして英国では重金属累積投入量の制限と土壌最大許容付加量として、第95表が規定されている。

第95表 土壌最大許容付加量 (英国)

元素	30年間累積量 (Kg/ha)	毎年の施用量 (Kg/ha)
Cd カドミウム	5	0,17
Ni ニッケル	70	2,33
Zn 亜鉛	560	18,67
Cu 銅	280	9,33
Pb 鉛	1.000	33,33
Hg 水銀	2	0,07
Se セレン	5	0,17
Mo モリブデン	5	0,17
Cr クロム	1.000	33,33
B ホウ素	耕地 3,5 ~ 4,5 Kg/ha/年 牧草地 5,0 ~ 7,0 Kg/ha/年	

出所：土づくりと施肥の手引き (兵庫県農林水産部 1983 pg 36)

英国では土地に対する下水汚泥の際のガイドラインは環境省の作業班によって、このJ. WEBBERの基礎に基づいて作られている。そしてそれらは水道局およびその他が土地への汚泥の使用についての指導する際にも用いられている。

重金属過剰土壌は、排土、客土による除去が基本対策となるが、堆肥や石灰などの投入で、土壌溶液のpHを上昇させたり、有機物のキレート結合を強めたりすることによって、重金属イオン濃度を減少させることはある程度は可能で

ある。

なおある種の植物は特異的に重金属を蓄積する性質を有しており、植物に吸収、蓄積させて畑の外に持ちだすことが研究されている。

(b) ヨーロッパ

ヨーロッパ諸国で採用されている農業への使用に対する、都市ごみコンポスト、下水汚泥中の重金属の限界量は第96表に示すとおりである。

第96表 ヨーロッパ諸国で採用されている都市ごみコンポスト、下水汚泥中の重金属の限界量 (乾物重当り)

元 素	都市ごみコンポスト				下水汚泥			
	オーストリア	イタリア	オランダ	ベルギー (1) (2)		ドイツ	スウェーデン	C. E. E.
	mg / kg (ppm)							
Cd	6	10	5	5	5	15	15	15
Cr	300	500	500	150	200	900	1.000	750
Cu	1.000	600	600	100	500	800	3.000	1.000
Hg	4	10	5	5	5	8	8	16
Ni	200	200	100	50	100	200	500	300
Pb	900	500	500	600	1.000	900	300	750
Zn	1.500	2.500	2.000	1.000	1.500	2.500	10.000	2.500

① 食用作物 ② 草花

出所: Boletim Técnico 100 2ª edição IAC 1996 pg 33

都市ごみコンポストは、分解のむずかしいCd、Ni、Crといった重金属を含むので、公園や庭そして汚染により食物連鎖で直接消費されないような作物、綿、ゴム、砂糖キビのようなものに施用されるべきである。

重金属を含有の残渣物を土壤中で集積させないために、都市ごみコンポストの施用は制限されるべきである。

(c) 米国

米国における下水汚泥中の許容重金属含量と農業用地への年間制限使用量と最大許容集積量は第97表に示すとおりである。

第97表 米国の下水汚泥中の許容重金属含量と農業用地への年間制限使用量と最大許容集積量 (乾物重当り) *

元 素	下水汚泥中の許容量 mg/Kg (ppm)	年間施用最大許容量 Kg/ha/年	施用集積最大許容量 Kg/ha
As ヒ素	75	2	41
Cd カドミウム	85	1,9	39
Cr クロム	3.000	150	3.000
Cu 銅	4.300	75	1.500
Pb 鉛	840	15	300
Hg 水銀	57	0,85	17
Mo モリブデン	75	0,90	18
Ni ニッケル	420	21	420
Se セレン	100	5	100
Zn 亜鉛	7.500	140	2.800

* 1993年広報 40CFR-503

出所: Boletim Técnico 100 2ª edição IAC 1996 pg 34

上表のように米国では、法律により土壤中に重金属の高い含有量を含んでいる下水汚泥の施用の最大年間施用量と最大集積量を制限した。このように都市廃棄物の農業への使用は土壌と水の汚染を防ぐために、定期的に検査をおこなうべきであろう。

米国の場合では、施用量集積最大許容量に適するには20年間を要することになる。土地は人類の共有の資源であり慎重な取り扱いが要求されることは当然である。

(d) 食物中の重金属

牧草や食物中の重金属の蓄積を有害な水準になるまでに未然に防ぐことは人間の健康上から重要事である。

1985-1993年間のいくつかの試験結果から汚染されていない土壌に栽培されたいくつかの食物に含まれる重金属の濃度は第98表に示すとおりである。

第98表 汚染されていない土壌に栽培された食物中の重金属の濃度

食 物	ppm			
	Ni	Cd	Cr	Pb
コメ	—	0,05 - 0,34	0,011 - 0,6	0,02
トウモロコシ	0,19	0,06 - 0,10	0,25	0,02
大豆	0,30	0,003 - 0,35	0,010 - 0,2	0,037 - 0,16
小麦	—	0,003 - 0,023	0,05	—
粉				
インゲンマメ	—	0,29 - 0,34	0,090 - 0,11	0,02
レタス	1,40	0,12 - 0,66	0,07	0,7 - 3,6
トマト	0,57	0,03 - 0,23		1,0 - 3,0

出所：FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 81

人間が食物を通じて摂取できる重金属の最大許容量は良く論議されており、1日の消費量ベースで計算されるべきである。世界保健機構 (WHO / FAO) によると、ミネラル栄養所要量は1日Cd (カドミウム) で57,1~71,4マイクログラム (1マイクログラムは100万分の1グラム)、Cr (クロム) は1日当たり150マイクログラム、Ni (ニッケル) は400マイクログラム、Pb (鉛) は430マイクログラムである。一覧表にすると第99表の如くである。

第99表 人間の1日ミネラル摂取許容量 (WHO/FAO)

元 素	マイクログラム/人/1日
Cd (カドミウム)	57,1 ~ 71,4
Cr (クロム)	150
Ni (ニッケル)	400
Pb (鉛)	430

出所：FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 80

(e) 人体構成元素と重金属

元素とは物質を構成する基本的成分で、現在では103種類の元素が発見されている。金属元素とは電気や熱の良導体で陽性 (+) の強い元素をいう。土壌と作物に関係する金属元素はNa, Mg, Al, Ca、そして原子番号20以上で、比重4以上の重金属である、V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Hg, Pbなどである。

なお土壌と作物に関係する非金属元素は、C, O, H, B, Si, P, S, Cl, As, Se, I等である。

さて私たち人間は、最終的には自然界に存在するものの最小単位である元素から構成されている。植物の16に対して、人体の生命元素は27である。

人体を構成する主要な元素はC (炭素)、O (酸素)、H (水素)、N (窒素) の4元素で、この4つで体の96,6%を占めている。つまり私たちの体の大部分は、空気と水から成り立ち、死んで燃やせば元の空気と水に戻っていく。

次に準主要元素とされるものが、Ca (カルシウム)、P (リン)、S (硫黄)、K (カリ)、Na (ナトリウム)、Cl (塩素)、

Mg (マグネシウム) の7元素である。これらは体の構成要素であり、同時に電解質機能 (水などの溶液に溶け、電離して陰陽のイオンを生ず) を持ち、体液、血液の酸、アルカリ性のバランスの維持に対応したり、臓器の働きを間接的にコントロールしたり、生体を維持する恒常性の保持に絶えず反応している。この7元素で体の3~4%を占め、燃やすと土に戻る。

微量元素 (微量ミネラル) と呼ばれるものは、Fe (鉄)、Zn (亜鉛)、Cu (銅)、Cr (クロム)、Co (コバルト)、Se (セレン)、Mn (マンガン)、Mo (モリブデン)、I (ヨウ素)、F (フッ素)、Ni (ニッケル)、Si (ケイ素)、Sn (スズ)、V (バナジウム)、Pb (鉛)、As (ヒ素) の16元素である。人体の0.02%を占めており、死ぬといづれも土に戻る。これらの元素は、主として生体内の各種酵素の活性化剤として働き、体の機能維持に決定的な役割を果たしている。

6. 肥培管理の改善技術

1) 施肥成分の動態

(1) 施肥成分の溶脱と集積

(a) 降雨によるピーマンのマルチング栽培と肥料成分の溶脱

第100表にジャボチカバル農大の研究による、ポリエチレン・フィルム（黒）のピーマンに対するマルチング（被覆）の効果の成績を示す。これによるとマルチング・フィルムは強い雨に対し、物理的に防壁として肥料成分の溶脱を少なくする。したがって肥料の利用率を高め、生育と生産量を高める。

第101表によると『マルチング有り』は肥料成分、特にK（カリ）、Ca（カルシウム）、Mg（マグネシウム）の溶脱を防いでいる。P（リン）については、溶脱は見られない。この肥料の溶脱が少ないということは地下水を汚染しないことにもつながり大切なことである。更にこの溶脱する肥料成分を輪作によりカホン科の深い根系により地上部に吸い上げ再利用するという技術は大事である。

第100表 追肥Nの3段階の施用量の違いとマルチングの有無の差によるピーマン（品種名イケダ）の栽培後の土壌分析値（PAULO D. CASTELLAN 1991）

N (Kg/ha)	Presina (ug/ml)	meq/100ml					V %
		K	Ca	Mg	H + Al	T	
(マルチング有り)							
0	490	0,58	8,6	1,0	3,1	13,28	77
200	410	0,34	7,5	0,9	3,8	12,54	70
400	360	0,36	5,8	0,8	3,8	10,76	65
平均	420	0,43	7,3	0,9	3,6	12,19	71
(マルチング無し)							
0	490	0,32	8,7	0,8	2,8	12,62	78
200	410	0,24	7,2	0,7	3,4	11,54	71
400	410	0,19	4,4	0,6	4,7	9,89	52
平均	437	0,25	6,8	0,7	3,6	11,35	67

出所：SOB INFORMA VOL13 1° SEM/1994 pg 26

(b) 溶脱による養分の損失

土壌から塩基が溶脱によって流亡する量と、作物によって吸収される量との比較について興味深い結果が見られる。この比較はDunkrik微砂質埴土の標準輪作区について得た、溶脱量の成績と、畑で一般に輪作を行なう際に作物によって吸収される養分の推定年平均量について行なわれた（第101表）。

第101表 米国Cornell 大学農事試験場で用いられたDunkrik Silt Loam (dunkrik 微砂質埴土) において標準輪作が行われた際、土壌から浸透作用によって溶脱した養分量と輪作作物によって吸収される養分の年平均量の比較—1年間ha当たりの養分損失量(Kg)—

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃
浸透作用によって溶脱した養分量	44	痕跡	376	1.754	392	588
輪作作物によって吸収される養分の年平均量	327	136	272	163	109	109

注：本文はAcreとPoundで表示してあるのをKg/haに変換した。

出所：土壌学 1950 pg 200 (THE NATURE AND PROPERTIES OF SOILS 1948)

一般にこのような比較対象の結果は充分な注意のもとで取り扱われぬとあやまりを招く危険があるが、第102表で見られる結果は、非常に顕著な傾向を持っているから、これによって実際の畑で起こっている現象についてある程度の結論

を下しても誤りを犯すことにならぬであろう。すなわちN(チッソ)、 P_2O_5 (リンサン)は作物によって吸収される部分が多く、この傾向は土性の重粘な土壌から中庸な土壌では特に著しい。

CaO(カルシウム)、MgO(マグネシウム)、 SO_3 (イオウ)ではこれと反対の傾向が強く溶脱によって流亡する量が多い。K₂O(カリ)はこの表の例では、溶脱する量と作物に吸収される量がほぼ等しい。この比較から明らかなように、溶脱作用は実際問題として重大な結果をもたらす。すなわち土壌中のCaO(カルシウム)、MgO(マグネシウム)はこれによって大量に失われ、湿潤地帯の土壌はその反応が酸性に傾き、またこれらの結果、生化学的諸変化が起こるのである。もし溶脱作用という現象が全くないとすれば、我々が耕地のCaO(カルシウム)、MgO(マグネシウム)、K₂O(カリ)、 SO_3 (イオウ)含量を重要問題として取り扱う必要は無くなるであろう。土壌の肥沃度が専ら養分の吸収によるものであるとする考えは全く誤ったものであり、実際は溶脱作用及び侵蝕作用が土壌の肥沃度の低下をおおいに促進しているのである。

(c) 石灰の移動・溶脱状況

愛知県の大塚町の畑地において、施用石灰の持続性を検討し、第102表に示すような石灰の移動の経緯を示した。すなわち、当初施用したCaCO₃(炭酸石灰) 4,750kg/haに対し、石灰施用後3年後に残存する石灰量は第1層、第2層、第3層の計58.0%であり、溶脱したものは41.75%であったが、堆肥を併用したものは幾分溶脱が少なく、38.58%であった。

なお、相当古い熟畑であっても、作土が中性に近い場合でも、下層土は強酸性の場合が多い。これは下降する石灰の下層位での集積の少ないことを示すものである。

第102表 CaCO₃の移動状況(施用CaCO₃-炭酸石灰--に対する割合%) (山本 1955)

試験区名	年次	残存石灰				作物の吸収 搬出した石灰	石灰溶脱
		第1層	第2層	第3層	計		
石灰施用単独区	1年後	58.4	10.5	1.2	70.1	0.417	29.48
	2年後	42.4	12.3	5.2	59.9	0.457	39.64
	3年後	38.4	13.8	5.8	58.0	0.249	41.75
石灰堆肥施用区	1年後	59.4	12.4	7.3	79.1	0.595	20.31
	2年後	45.2	16.8	1.8	63.8	0.910	35.29
	3年後	42.1	17.1	1.6	60.8	0.625	38.58

出所：土壤肥料全編 1962 pg 357

(2) 溶脱養分の補給

(a) 降雨による供給養分

作物に必要な養分は根によって土壌から吸収される。根が依存している可溶性養分の蓄えを補給する3つの重要な給源がある。それは(1)降雨、(2)土壌の貯蔵養分、(3)肥料である。

降雨が供給する植物養分は第103表に示すとおりである。S(イオウ)は雨によって供給される重要な部分である。排水の良い土壌にS(イオウ)を含ませ肥料が用いられるところでは、雨が唯一の給源である。通常英国の土壌は毎年降雨によって15~100kgS/haを供給されており、その大部分は燃やされた石炭や石油から残りは海からもたらされたものである。10kgS/haあるいはそれ以上が降雨によってもたらされているところでは、肥料中のS(イオウ)の供給がなくても十分量を供給されることになる。

西ヨーロッパの大部分では14kgS/haあるいはそれ以上が供給されている。ところがスカンジナビア、中部アフリカの一部と南半球の大部分、特にオーストラリアとニュージーランドにおいては雨では少量のS(イオウ)しか供給されず、このような多くの地域ではS(イオウ)が高収量をあげるために必須なものとなっている。

ブラジルでも海岸地帯や都市近郊ではほぼ同じく降雨によるS(イオウ)の供給があると考えられるが、都市からの遠隔地である大部分の地帯でS(イオウ)施用は必須であろう。

第103表 年間高雨中の植物養分 (Kg/ha)

要素	サクスマンダム イングランド	スウェーデン	ノルウエー	西部 オーストラリア	アフリカ 象牙海岸
NH ₄ -N	9	0,7 - 4,0	0,8- 6,0	0,7	21
NO ₃ -N	7	0,15 - 0,8	-	0,5 - 0,8	
P	0,2	-	3 - 19	-	2,3
S	18	-	0,8- 8	(2)	-
K	3	1,1 - 3,5	3 - 14	0,3	5,7
Ca	13	6 - 19	0,4- 17	-	30
Mg	4	-	0 - 148	0,2	7
Na	27	4 - 30	1 - 257	1,1	-
Cl	50	2,5 - 40	-	1,6 - 1,8	-

出所：施肥の理論と実際 1986 pg 89

(b) 灌漑水による供給養分

灌漑水の中には第104表のように肥料成分が含まれているので、特にブラジルの東北(ノルデステ)の乾燥地でサンフランシスコ川の流域の水を灌漑するような場合は考慮する必要があると考えられる。日本では同じ熊本県下の川でありながら、白川の含有成分量は球磨川のものより多く含んでいる。例えばCaOでは白川28,3mg/lであり、球磨川では13,0mg/lである。

第104表 灌漑水によって土壤に添加される肥料成分量(Kg/0,1ha)(小林)

灌水量	河川の別 (熊本県)	添加される肥料成分量**			
		CaO	MgO	K ₂ O	SiO ₂
300mm*	白川	9,4	6,0	1,6	12,0
	球磨川	3,4	0,8	0,4	6,4
500mm*	白川	16,5	9,8	2,6	20,3
	球磨川	5,6	1,5	0,4	10,5

* 300t/0,1ha と 500t/0,1ha

** Kg/0,1ha

出所：畑地かんがい 1964 pg 289

(c) 世界の農耕システムに含まれる肥料成分

第105表に世界の作物に対する、年間の肥料成分の投入量と持出量を示した。これによると肥料として投入されるNPKよりも、家畜廃棄物からのNPKの投入量が大きく、特にK(カリ)においてそれが著しい。このように家畜排泄物中の肥料成分の重要性は極めて高い。世界中の全家畜廃棄物は肥料が供給するよりも多くのN(チッソ)とP(リン)を含み、また使用されているK(カリ)肥料の19百万トンより6倍も多い120百万トンを提供する。家畜廃棄物を肥料として効率的に利用することは世界的規模で必要である。

また、N(チッソ)、P(リン)、K(カリ)の投入量と持出量を比較すると、N(チッソ)はほぼ同量で相殺出来るが、P(リン)は29%持出量が多く、K(カリ)は98%持出量が多い。従ってK(カリ)の世界的な需要傾向は続き、K(カリ)肥料、即ち塩化カリが経年的に価格が上昇傾向にあることと合わせて考える時、産業廃棄物、家畜廃棄物等の一層の有効利用と降雨で溶脱するK(カリ)を輪作等によりリサイクルさせる耕作形態を確立することが急務であることが理解される。

第105表 世界の作物に対する年間肥料成分の投入量と持出量 10⁶t

投入量	N	P	K	小計
1. 天然のN固定量				
・一般作物	50	-	-	50
・草地	100	-	-	100
2. 肥料(1979/80)	57	14	19	90
3. 家畜廃棄物	80	17	120	217
小計	287(100)	31(100)	139(100)	457(100)
持出量				
1. 一般作物	75	15	75	165
2. 草地	200	25	200	425
小計	275(97)	40(129)	275(198)	590(129)
不足分	+12(+3)	-9(-29)	-136(-98)	-133(-29)

出所: Fertilizing for Maximum Yield 1982 G. W. Cook

施肥の理論と実際 山田芳雄訳 1986 pg327

(d) 世界の肥料投入量

世界の肥料投入量は第106表に示すとおりである。これよりブラジルは世界の第6位の投入(消費)国で、K(カリ)肥料をN(チッソ)肥料より多く使う唯一の国であることが分かる。これは次の2つのことが考えられる。その第1は大豆の栽培面積が多いことによる。即ち、大豆は根粒菌が空気中のN(チッソ)を固定するので、原則としてN(チッソ)肥料は施用しないのである。その第2は特に栽培の多いトウモロコシ栽培において、N(チッソ)肥料、又は他も含めて単位面積当たり肥料投入量が少ないことによると説明されよう。

第106表 1992-又は1992/1993年の世界の肥料投入量

国名	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NPK	%	比率 N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
	10 ⁶ t					
1. 中国	20,09	6,68	1,90	28,67	22,8	10,5:3,5:1,0
2. 米国	10,30	4,04	4,64	18,98	15,1	2,2:0,9:1,0
3. インド	8,42	2,88	0,88	12,18	9,7	9,6:3,3:1,0
4. 旧ソ連	5,25	3,67	3,23	12,15	9,7	1,6:1,1:1,0
5. フランス	2,15	1,03	1,35	4,53	3,6	1,6:0,8:1,0
6. ブラジル	0,86	1,35	1,37	3,58	2,8	0,6:1,0:1,0
7. ドイツ	1,68	0,49	0,67	2,84	2,3	2,5:0,7:1,0
8. インドネシア	1,70	0,59	0,29	2,58	2,1	5,8:2,0:1,0
9. カナダ	1,32	0,62	0,32	2,26	1,8	4,1:1,9:1,0
10. その他	21,86	10,12	6,07	38,05	30,1	3,6:1,7:1,0
合計	73,63	31,47	20,72	125,82	100,0	3,5:1,5:1,0

出所: ANDA(1994) Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS -No. 67 -SETEMBRO/94 pg 3

(3) リン酸肥料の残効性

過リン酸石灰の肥効は現在のところ、リン酸肥料中では最も優れているが、そのリン酸の作物に対する吸収率は良好な場合でも10~20%程度であり、まずは10%前後である。

ところでリン酸肥料の第1作に対する肥効は10%前後と低いが作物に利用されなかったリン酸は土の中に残っていて、その残効は長年続くものである。

イギリスのRothamsted農試のHoos園場で行われた試験の成績は第107表のようで、1856年から1901年まで、45年間過リン酸石灰あるいは厩肥を施用した区では、その後N(チッソ)のみを施用し無リン酸で栽培を続けた48年後の、1949年においても大麦の収量および収穫物中のP(リン)は無リン酸区よりは明らかに多く、50年近く残効があることを示している。

このように第1作に対するリン酸の吸収率は小さいが、永年を通算するとリン酸の吸収利用率もN(チッソ)やK(カリ)と比較して特に小さいとはいえない。

なお厩肥のリン酸も過リン酸石灰に劣らぬか、それ以上の肥効力があり、有畜農業による厩肥の利用法の成否が持続型農業を考えるうえで重要なものとなるであろう。

第107表 リン酸肥料の残効性 (Pothamsted)

処 理 (1856-1901)	大麦の収量 1949(Kg/ha)	収穫物中のP (Kg/ha)
無リン酸：無既肥区	98	2,8
過リン酸石灰区	253	8,7
既 肥 区	264	9,2

資料：E. W. RUSSELL: Agricultural Progress, 28(Part 2) (1953)

出所：肥科学概論 1960 pg 159

2) 野菜畑における施肥設計

(1) 露地野菜土壌診断の項目

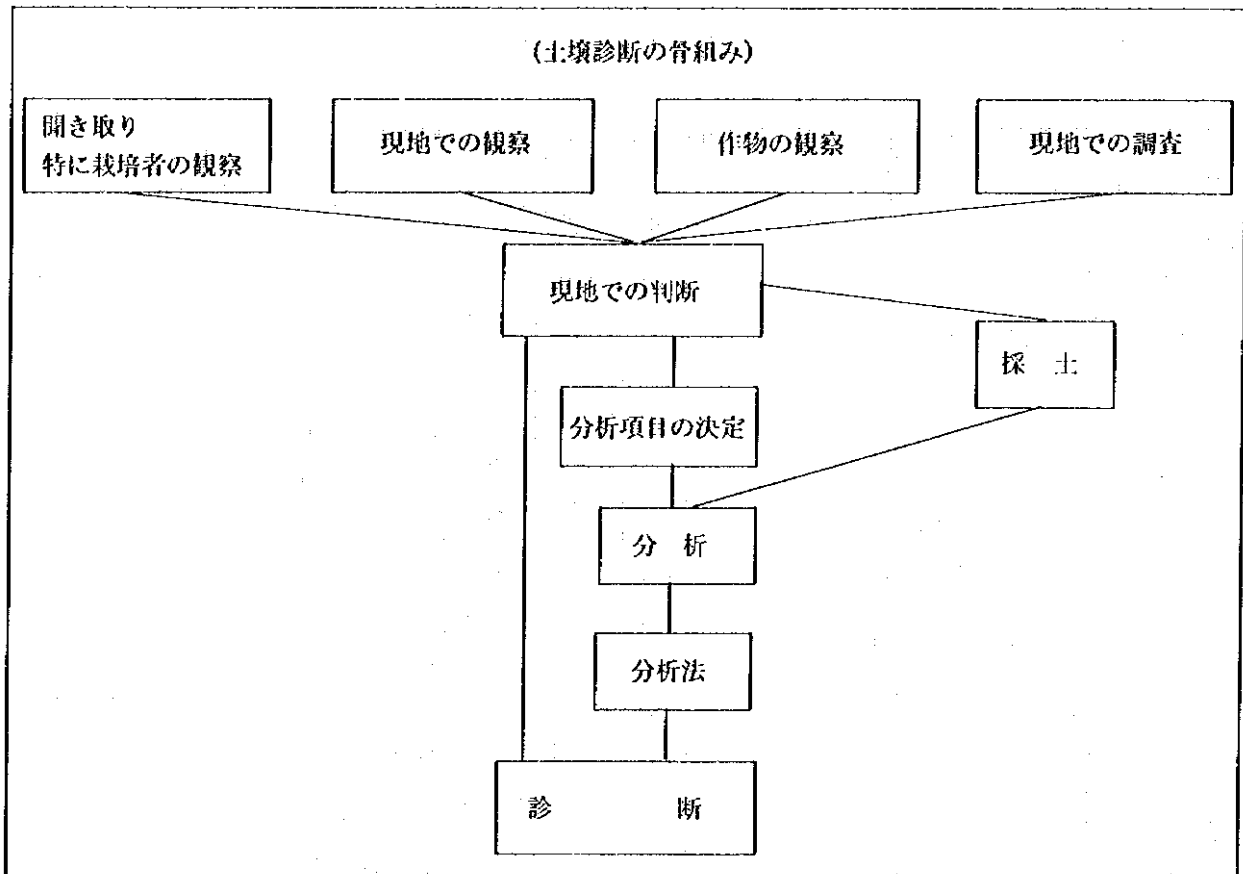
露地野菜土壌診断においては化学性が重要であるが、実際の畑においては総合的な判断が要求される。露地野菜土壌診断の項目の内容は第108表に示すとおりである。土壌診断の骨組みは第9図に示すとおりである。

第108表 露地野菜土壌診断の項目

項 目	内 容	手法の難易	
*聞き取り調査	出来のよしあし	作物の種類ごとに生育、収穫物の品質のよしあしに、生育のくせ、病虫害	易
	適作物	作物の種類、作期による良否	易
	その他	開畑年次、経歴、堆肥施用量等	
観察および現地調査	生育状況	生育の良否、収穫物の品質、障害、病虫害	易
	土性の重なり	微量元素欠乏	易
	*根群分布 *団粒の発達	各層の土性と厚さ 根群が充分に分布している土層の深さ	易
肥倍管理のための調査	* pH(H ₂ O)	とくに作土	易
	EC	作土	易
土壌改良のための調査	* 塩基 リン酸	Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、K ⁺ 有効態リン酸	中 中
特殊な障害解決のための調査	微量元素 センチュリ、土壌病害	Mo、Mn、B、Cu、Fe、Zn など	難

*特に重要な項目

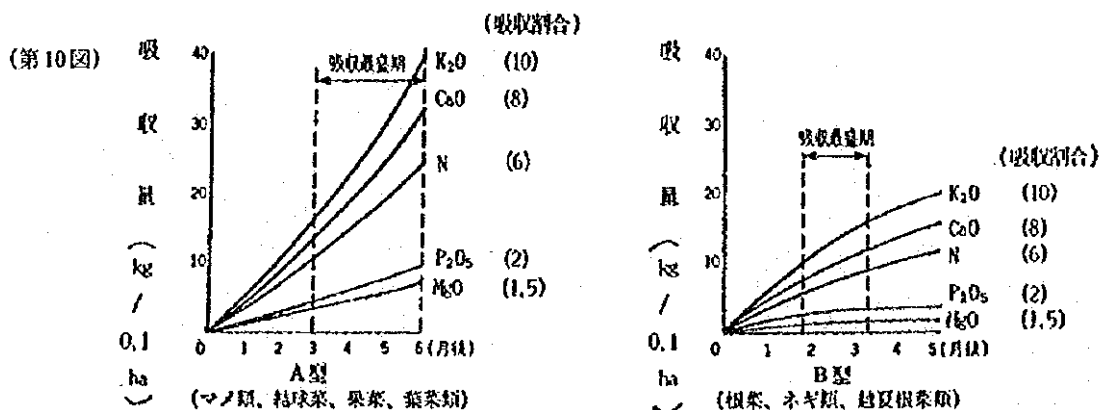
出所：土壌診断法 1991 pg 83



第9図 土壌診断の骨組み
出所：土壌診断法 1991 pg 22

(2) 野菜の養分吸収様式

各養分がどの時期に多く吸収されているか、ということについては、山崎氏はこれを二つの山に分け、トマトやナスのような果菜類と、生育期間の長いキャベツ、ハクサイ、マメ類、イチゴ等、生育のあとのほうで養分吸収が多くなるものをA型として、追肥重点施肥をおこなう。またダイコン、ニンジン、パレイショなど、生育のなかごろにたくさんの養分を吸収するものをB型として、元肥重点施肥を考えてゆかねばならないのである。



第10図 養分吸収様式による野菜の二型 (kg / 0.1ha) <山崎青哉氏>
出所：蔬菜の肥培 1960 pg 160

(3) 野菜の標準的な収量と肥料成分吸収量

野菜の標準収量と、各作物の吸収養分量を検討すると、大体 K₂O (カリ) を 10 とすると N (チッソ) 6~8、CaO (カルシウム) 8~15、P₂O₅ (リン酸) 2~4、MgO (マグネシウム) 1~3 の範囲で各養分を吸収している。第 109 表は各野菜に対する必要な成分量を算出したものである。この数字は個々の作物で検討してみると、もっと改良すべき点もあるが、各養分の比率を考慮して施肥をしようとする、進歩を示したものである。またこの表の数字は、作物に吸収させなければならない養分量であるから、肥料の量とは違う。肥料は土に施すので、雨や灌水によって溶脱する。その溶脱の程度は土性に最も大きく支配される。そこで畑の土性をみて、第 110 表の倍率を乗じ施肥量を算出すれば良い。

第 109 表 野菜の標準的な収量と肥料成分吸収量 (山崎)

倍率	野菜の種類と収量 (t/0, 1ha)	肥料成分吸収量 (Kg/0, 1ha)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
4	キュウリ (8)、トマト (8)、ナス (6)、ピーマン (3) スイカ (8)、メロン (5)、カボチャ (8)	24	8	40	32	6
3	サツマイモ (6)、カブ (6)	18	6	30	24	5
2	キャベツ (4)、ハクサイ (6)、セルリー (4) ダイコン (6)、ニンジン (2)、パレイシヨ (4)	12	4	20	16	3
1.5	イチゴ (2)、ソラマメ (2)	9	3	15	12	2
1	タマネギ (6)、ホウレンソウ (2)、レタス (2) エンドウ (1)、インゲン (1)	6	2	10	8	1.5

出所：施肥の基礎と応用 1982 pg 119

第 110 表 施肥量算出倍数 (山崎)

土壌の種類	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
砂 土	1,3~2,0	1,0~2,0	1,0~1,5
砂 壤 土	1,2~1,8	0,5~2,0	0,5~1,0
壤土・埴土	1,0~1,5	3,0~6,0 (ワコウ 吸収力の大きい土)	0,5~0,8
		0,5~2,0	
		3,0~6,0 (ワコウ 吸収力の大きい土)	

砂土：粘土含量 < 12,5% 以下、砂壤土：粘土含量 12,5~25,0%

壤土：粘土含量 25,0~37,5%、埴土：粘土含量 > 50,0%

出所：野菜の栄養診断と施肥 1966 pg 118

(4) 野菜の種類別・目標収量の施肥量

第 109 表の野菜の標準的な収量と肥料成分吸収量と第 110 表の施肥倍率から、作物別施肥設計として、野菜の種類別・目標収量の施肥量は第 111 表に示すとおりである。

第 111 表 野菜の種類別・目標収量の施肥量

目標収量 (t/0, 1ha)	野菜の種類	施肥量 (Kg/0, 1ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
16		54,0	18,0	48,0
12		45,0	15,0	40,0
8	トマト、カボチャ、キュウリ、スイカ、メロン	36,0	12,0	32,0
6	サツマイモ、カブ	27,0	9,0	24,0
4	パレイシヨ、ダイコン、キャベツ、ハクサイ、ニンジン、モトキャベツ、セルリー	18,0	6,0	16,0
2	ソラマメ、イチゴ	13,5	4,5	12,0
1	エンドウ、インゲン、ホウレンソウ、レタス	9,0	3,0	8,0

出所：施肥の基礎と応用 1982 pg 118

土壌のなかには、腐植からでてくる養分量があり、また灌漑水のなかにも第104表のような肥料成分が含まれているので、特にブラジルの東北（ノルデステ）の乾燥地でサンフランシスコ川の流域の水を灌漑するような場合は考慮する必要があると考えられる。日本では同じ熊本県下の川でありながら、白川の含有成分量は球磨川のものより多く含んでいる。例えばCaOでは白川28.3mg/lであり、球磨川では13.0mg/lである。

葉ものはN（チッソ）をたくさんやりさえすれば出来ると考えがちであるが、そのような栽培をすると病気が出やすくなるし、キャベツなどは施肥量が多すぎると、外葉ばかり多くなり、球がしまらない。トマトでは多肥は茎葉の繁茂をうながし、果実の成熟がわるく、尻ぐされ果の発生が多くなったりする。ナスもN（チッソ）が多すぎると繁茂がすぎ、結実がわるくなる。やはり、それぞれ適量施肥の基本を知っておく必要があるわけである。

山崎肯哉農学博士は1969年5月に来伯されて、野菜の施肥について、サンパウロ州アチバイア市の南伯産組試験場で、在伯の日系農業技師を集めて講習会が行われた。著者もそれに参加する機会に恵まれた。

それで、山崎博士の施肥法に従ってブラジルの地で、試行錯誤を繰り返しながら、野菜の施肥設計をおこない、トマトをはじめ各種の野菜の生産活動に応用してきたが、充分この考え方がブラジルで使えるとの確信を著者は持つにいった。

ブラジルで栽培されている野菜の種類とその平均収量は第112表に示すとおりである。

第112表 ブラジルで栽培されている野菜の種類とその平均収量 (t/ha)

野菜名	t/ha	野菜名	t/ha
Aobrinha ベポカボチャ	10 - 20	Jiló ニガナス	16 - 20
Abóbora rasteira カボチャ	10 - 15	Melancia スイカ	30 - 50
Alcachofra アーテチヨーク	4 - 6	Melão メロン	20 - 40
Alface レタス	20 - 30	Moranga 硬皮カボチャ	10 - 15
Alho ニンニク	4 - 8	Morango イチゴ	30 - 35
Aspalgo アスパラガス	4 - 7	Nabo ダイコン	6 - 8*
Berinjela ナス	30 - 60	Pepino キュウリ	20 - 50
Beterraba ビート	15 - 30	Pimenta トウガラシ	4 - 16
Brócolos ブロッコリ	10 - 30	Pimentão ピーマン	30 - 40
Cebola タマネギ	20 - 40	Quiabo オクラ	15 - 22
Cenoura ニンジン	25 - 45	Rabanete ハツカダイコン	15 - 30
Couve-flor ハナヤサイ	8 - 16	Repolho キャベツ	30 - 60
Ervilha エンドウ	1.5 - 2.0	Tomate estaquqdo 支柱トマト	50 - 100
Feijão-vagem サヤインゲン	20 - 25	Tomate rasteiro 無支柱トマト	30 - 50

*このダイコンが低収過ぎるので IAC に問い合わせた (Paulo E. Trani 氏 1997. 3. 26) ところ、これは古い品種の数値とのことである。

出所: Boletim Técnico, 100 IAC, 1996 pg 161

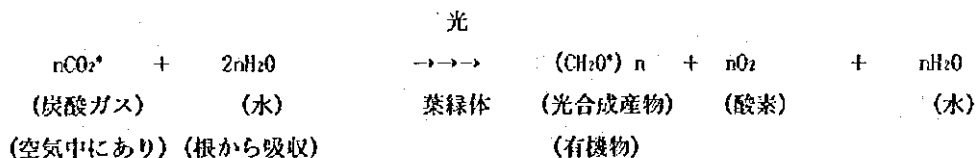
3) 生産向上技術の事例

(1) 光合成を高める農業技術

(a) 作物生産の基本

作物生産の基本は葉で合成される、光合成産物の生成と移動である。しかもこの光合作用は、作物体への障害に敏感であって、ごく僅かの機械的または化学的障害によっても完全に停止する。

光合成（炭酸ガス同化作用）は葉の緑色部にある葉緑体を通じて行なわれる。次式に表される。



普通空気中には0.03%のCO₂ (炭酸ガス) があり、それからC (炭素) とO₂ (酸素) を光合成産物として取り込まれる。光合成産物 (有機物) のC (炭素) の45%とO₂ (酸素) 45%、合わせて90%は空気中のCO₂ (炭酸ガス) に由来するものである。次にH₂O (水) から由来するH (水素) は6%になり、葉で作られる炭水化物 (有機物) の96%が自然の恩恵による供給であり、あと4%が肥料成分として施用されたものであり、肥料の大量要素が3.5%、微量元素が0.5%である。

この空気中のCO₂ (炭酸ガス) の供給は無限と考えてよく、農業とは葉で営まれている光合成を最大限に行なわせ、そこで生産された光合成産物を能率よく、遅滞なく、順調に目的とする収穫物に集中させることであるといえる。そのためには肥料の大量要素、微量元素を効率的に施用することが要求されるのである。

(b) CO₂ (炭酸ガス) の濃度

植物が光合成によって空気中から摂取するCO₂の量は多量であり、一方空気中に含まれるCO₂濃度は0.03%でごく低いから、植物の行なう光合成によって大量のCO₂が空気中から除去されることになる。

例えば8年生のリンゴ樹は光合成の一番盛んな日本の8月には1日当たり50gのCO₂を同化するが、これは空気中300.000ltに含まれるCO₂の量である。

また水田の全生育期間の光合成量は、その水田の上空約8.000mの空気中のCO₂を全部吸収した量であるという。

これから見ても盛んに光合成を行なっている植物の周囲の空気中のCO₂濃度が普通の空気中のCO₂濃度 (0.03%) より低くなっていることは容易に理解される。例えばトウモロコシ畑の空気は晴天の風のない日には0.01%に下がることもあるといわれるが、微風により植物の周囲の空気が入れ替わるから、CO₂濃度の低下は見られない。

光合成反応は化学方程式によると、44gのCO₂ (炭酸ガス) と18gのH₂O (水) から、30gの炭水化物 (有機物) と32gのO₂ (酸素) とが生成され、その反応のためには114KCal (キロカロリー) の光エネルギーが必要である。

以上述べてきたように、植物体を構成している要素の中で最も多いのはC (炭素) で、乾物の約45%を占めている。これは空気中のCO₂ (炭酸ガス) から由来しているが、その濃度は約0.03% (300ppm) で、C (炭素) に換算するとわずかに空気中の、0.008%に不足する。したがって植物は乾燥重中45%のC (炭素) にするために、光合成 (炭酸同化) によって6.000倍もに濃縮していることになる。

(c) 作物の光合成型と光呼吸

炭酸同化の能力の違い、すなわち炭酸ガスを同化する速度に植物間に差があり、栽培作物に2つの型がある。すなわち一つはイネをはじめ多くの作物が営んでいる型 (C₃)、もう一つはトウモロコシなどの生長の速い植物の型 (C₄) である。

C₃型植物は弱光 (27.000 ~ 53.000ルクス) で光合成を行ない、光合成速度も15 ~ 35mgCO₂ / dm² / 時間と低く、光合成の最適温度は15 ~ 25℃と低温域にある。

C₄植物の光合成速度は50 ~ 70mgCO₂ / dm² / 時間と高く (砂糖キビは代表例)、強光 (86.000ルクス)、高温 (30 ~ 40℃) の条件に適している。

C₃型植物である柑橘は、強光、高温条件では植物体内に生理障害を起こす還元性物質のフェレドキシンを生成する。そこで食物はその還元力を消すために、葉で出来た有機物 (炭水化物) を酸化分解し、CO₂ (炭酸ガス) を放出する。これを光呼吸反応という。

植物にとっては光呼吸は生理障害の危機回避の安全弁であるが、光合成物 (有機物 = 炭水化物) を利用する生産者の側から見れば、光合成を停滞させ、収量と品質を低下させることになり好ましくない。

光呼吸量については、タバコ、マメ科植物、穀物で、光合成で固定されたCO₂ (炭酸ガス) の約50%が光呼吸で再放出されるという実験がある。これは約50%収量が低下することにつながり重大事である。

光呼吸は普遍的に存在しているが、C₄型植物のように光呼吸によりCO₂ (炭酸ガス) を直接空気中に放出するものと、生成CO₂ (炭酸ガス) を体外に放出せずに再利用するC₃型植物とがある。

多くの植物 (C₃型) はCO₂濃度が0.03%から0.01%に低下すると光合成は殆ど止まってしまう。ところがC₄型 (例えばトウモロコシ、砂糖キビ) は0.01%以下の低濃度のCO₂を利用でき、光合成能力も高く、光呼吸もなく、自然環境下でC₄型植物はC₃型植物に比べて生長の競争で優位に立つことになる。従って熱帯、亜熱帯の強光、高温条件下のブラジルでは砂糖キビ、トウモロコシのようなC₄型作物の栽培面積の増大は合理的なものである。

作物の光合成型は第113表に示すとおりである。C₄型作物としてはブラジルではトウモロコシ、ソルゴ、砂糖キビが重要である。

第113表 作物の光合成型

	C ₃ 型作物	C ₄ 型作物
穀類	イネ、ムギ、エンバク、ソバ	トウモロコシ、キビ、アワ、シコクビエ
牧草	イタリアンライグラス、オーチャードグラス ラギノクローバー、アルファルファ	パーミュググラス、ソルゴ、ネピアグラス スーダングラス
糖料作物	サトウダイコン	砂糖キビ
マメ科作物	エンドウ、ダイズ、ラッカセイ、アズキ インゲンマメ	なし
野菜	トマト、ナス、キュウリ、ダイコン、ネギ ハクサイ、サツマイモ、パレিশヨ	なし

出所：作物栄養の基礎知識 1982 pg 66

第114表は世界におけるC₃型作物とC₄型作物の栽培面積を大陸別に推定したものである。これを見ると世界の主要な作物栽培面積の70%をC₃型作物が、30%をC₄型作物が占めているが、アフリカとラテン・アメリカ (ブラジルを含む) ではC₄型作物の栽培率は50%を越えている。このことはC₄型作物が強光、高温の熱帯、亜熱帯地方を原産地としているからである。

第114表 大陸別のC₃型作物とC₄型作物の栽培面積の比較 (長谷川・園田 1974)

1970年	C ₄ 型作物 栽培面積 (A) 万ha	C ₃ 型作物 栽培面積 (B) 万ha	合計 (A + B) 万ha	C ₄ 型作物 栽培率 % (A / A + B)
ヨーロッパ	1.195	7.666	8.862	13.5
北アメリカ	3.332	6.976	10.308	32.3
ラテンアメリカ	3.559	3.371	6.930	51.4
アジア	6.107	18.909	25.016	24.4
アフリカ	4.288	3.927	8.215	52.2
オセアニア	100	1.156	1.256	8.0
統計	18.582	42.004	60.586	-
%	30.7	69.3	100	-

出所：作物栄養の基礎知識 1982 pg 83

(d) 光呼吸の軽減法

光呼吸は作物の生産を低下させる現象であるが、この光呼吸を軽減出来れば増収につながる。その軽減法としては、密植栽培、炭酸ガス施用、NO₃ (硝酸態チツソ) の施用が考えられる。

(1) 密植栽培

密植栽培は、葉と葉が重なり合って日陰をつくり、葉面積指数 (単位土地面積当たり総葉面積) を増加し、強光を葉面に当てないことにより、強光により出来るフェレドキシン (還元物質) の生成を少なくして、光合成により出来た炭水化物の光呼吸による消費を少なくするものと考えられる。

第115表に密植栽培によるコーヒーの生産量の増加を示している。コーヒーにおいては密植区は疎植区に比べて約2倍強の収量である。

第115表 S. Sebastião do Paraíso MG における栽植、密植によるコーヒーの生産量 (俵/ha)

栽植距離 (m)	植穴数 (ha)	1985		1987		1989	
		CI	MN	CI	MN	CI	MN
2,0 × 0,5	10.000	49 *	29	117	105	82	82
2,5 × 0,5	8.000	44	24	111	91	81	78
2,0 × 1,0	5.000	41	19	114	108	71	70
2,5 × 1,0	4.000	36	17	110	91	66	71
2,5 × 2,0	2.000	19	9	67	53	45	51
3,5 × 2,0	1.428	12	7	38	44	30	43

* 豆60kg/ 俵 CI=Catuai種 MN=Mundo Novo種

出所: Nutrição Mineral e Adubação de Cafeeiro 1993 pg 149

ブラジルでは柑橘の密植栽培が進行中で密植区は疎植区の約2倍の収量である(第116表)。

このように光呼吸は密植することにより低減できる。すなわち露地栽培では経験的に葉の相互遮蔽が利用され、夏では葉面指数がある程度高い方が望ましい。

第116表 ミカン・パレンシア種の栽植密度と収量(E. E. Limeira IAC 1988)

栽植密度 (m)	本数/ha	平均生産量						比数
		3~7年		8~12年		13~15年		
		*箱/ha	t/ha	箱/ha	t/ha	箱/ha	t/ha	
6 × 2	833	500	20	1.354	55	1.419	58	197
6 × 3	555	333	14	1.023	42	1.056	43	147
6 × 4	416	218	9	902	37	955	39	133
6 × 5	333	186	8	673	28	818	33	114
6 × 6	277	184	8	777	32	720	29	100

* 40,8Kg/箱

ミカン・パレンシア種はTrifoliata Limeiraに接木

出所: INFORMATIVO DA CITROSUCO PAULISTA S/A (16) MARÇO/ABRIL 1989 pg 5

(2) CO₂ (炭酸ガス) 施用

CO₂ (炭酸ガス) 濃度を上げることによっても光呼吸を軽減することができる。第117表のCO₂ (炭酸ガス) とナスの生育によると、空気中のCO₂を3倍にすることにより果実収量は2倍になり、CO₂を10倍に高めることにより果実収量3倍になる。

第117表 CO₂ (炭酸ガス) 濃度とナスの生育 (今津・矢吹・織田 1976)

CO ₂ 濃度 (ppm)	葉数 (枚/個体)	葉面積 (cm ² /個体)	果実個数 (個体当たり)	果実新鮮重 (個体当たりg)	比数
* 300 (1)	446	39.409	8,5	735	100
900 (3)	554	45.172	19,8	1.536	209
3.000 (10)	620	48.429	28,3	2.271	309

* 空気中の標準CO₂ (炭酸ガス) 濃度

出所: 作物栄養の基礎知識 1982 pg 86

ハウレンソウとシュンギクの密植と炭酸ガス施用の成績は第118表に示すとおりである。炭酸ガス濃度を上げることにより多収量になることが示されている。

第118表 密植区と間引区との乾物重の比較 (畦長30cm当たりの乾物重g)

(矢吹、田村ら 1967)

種類・品種	ハウレンソウ		シュンギク	平均 乾物重 (g)	比数	
	ノーベル	バイキング				
対照区	密植	15,8	17,5	31,6	21,6	124
	間引	13,8	12,0	26,5	17,4	100

炭酸ガス 施用区	密植	34,1	41,3	44,6	40,0	230
	間引	19,5	26,1	22,4	22,7	130

注：間引区は密植区の1/2

出所：風と光合成 1990 pg 79

野菜で栽培密度を高めていくと、乾物生産が飽和して一定値になるが、これは光が制限因子なく炭酸ガスが野菜群落中へ不足してくるためと考えられる。

ブラジルのミカン・バレンシアードとコーヒーの密植栽培の例では、密植により日陰をつくることにより、光合成により出来た炭水化物の光呼吸による消費を少なくして増収を計っていると考えられるが、この密植栽培を更に確実なものにするために、堆肥施用や草生栽培等により土壌中の有機物含量を高めて、土壌中からの有機物によるCO₂ (炭酸ガス) 供給量をも高めることも重要であり、生食用ミカン生産に堆肥を施用して生産性と品質を高めている大生産者も存在する。

有機物施用によるCO₂ (炭酸ガス) の供給についてみると、堆肥の施用、又は輪作や緑肥栽培により有機物の蓄積されている地力の高い土地では、土壌微生物が活発に活動し微生物の呼吸によってCO₂ (炭酸ガス) が多く放出され、光合成の原料供給源となる。有機物の比較的多い新地からのCO₂ (炭酸ガス) の放出の季節変化を測定した例では、地温の低い冬季のCO₂ (炭酸ガス) の放出2g/nf/1日足らずであるが、地温の高い夏季にはその3倍の6gを示した。これらの値は、良く繁茂した作物群落の1日、1m²当たりのCO₂ (炭酸ガス) 吸収量が15~30gであるのに比べると、土壌呼吸(土壌有機物の微生物による分解)による地面からのCO₂ (炭酸ガス) の放出は、CO₂ (炭酸ガス) の供給源として無視できない量である。

(3) NO₃ (硝酸態チツソ) 施用

光呼吸を軽減する方法として、NO₃ (硝酸態チツソ) 施用がある。植物に吸収されたNO₃ (硝酸態チツソ) は強光、高温条件下植物体内に生理障害を起こす還元性のフェレドキシンを酸化し、光呼吸を防止し、炭水化物の消費を節約する。夏の強光により生成されるフェレドキシンは、その還元力で葉中のNO₃ (硝酸) をNH₃ (アンモニア) に変化することができる。

普通、作物により吸収されたNO₃ (硝酸) は糖を消費してNH₃ (アンモニア) に還元される。またフェレドキシンも他に酸化するものがなければ、糖を両分解(消費)してしまう。

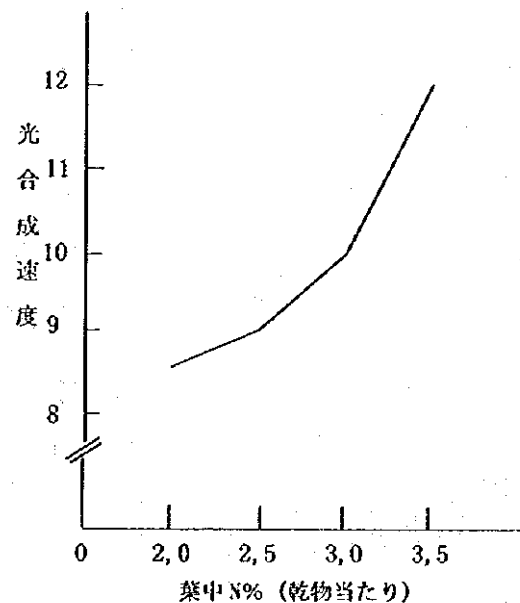
このフェレドキシンによるNO₃ (硝酸) 還元反応が機能すれば、作物により吸収されたNO₃ (硝酸) は糖を消費せずに、しかもフェレドキシンの解毒に役立つという二重のプラスになる。また、夏季に土壌水分が多いと、葉温上昇は防止され、NO₃ (硝酸) の吸収転流が促進され、光呼吸防止に役立つことになる。しかも葉中N(チツソ)濃度がある程度高いことが葉の光合成能力をたかめることでもある(第11図)

第11図によると、葉中N(チツソ)濃度が2,5%から3,5%に上昇すると、光合成速度は9mgCO₂/dm²時間から、12mgCO₂/dm²時間に変る。これは葉中N濃度が1%上昇すると光合成速度は1,3倍になることである。

葉の光合成速度が高まると、果実の糖濃度上昇、果実肥大促進、酸の希釈が連鎖的に起こる。

作物生産を高めるためには、葉中の一定の高N濃度を維持することが要求されるのである。

夏季に作物へのNO₃ (硝酸態チツソ) の葉面散布も光呼吸防止



第11図 柑橘の光合成能と葉中N

出所：農業及び園芸 (1991号 pg 44)

と光合成速度上昇の両面から意味あると考えられる。

(2) セラード土壌の改良技術

(a) 熱帯土壌とセラード

熱帯地方では高温と多湿のために化学的風化が激しくおこなわれ、母岩および土壌中の著しい塩基の遊離のため、溶液がアルカリ性になり、脱SiO₂（ケイ酸）作用が行なわれ、Fe（鉄）とAl₂O₃（アルミナ）が残る。これがラテライト化作用である。したがってこの（SiO₂/Al₂O₃ = Ki）ケイバン比が低いということは、SiO₂（ケイ酸）の溶脱がより進んでいること、すなわち土壌生成過程の作用する時間がより多く経過したことを示しており、ブラジルの中央部地方の表土は、国内では最も土壌が古く、安定し塩基の溶脱していることを示している。

熱帯土壌の代表であるラテライトまたはラテライト的（ラトソル）といわれる土壌を理解するために、寒帯土壌のポドソール土壌と比較してみる。寒帯湿潤地方では針葉樹林の葉が落葉して、地表にたまって腐植酸ができる。このような酸性の溶液条件下では、酸に弱い土壌中のFe（鉄）Al₂O₃（アルミナ）が、A層（表層）から溶脱して下層に集積し、いわゆる漂白層（白い層）と集積層とをもつ、ポドソール（灰色を意味する）という土壌型が発達する。温帯の日本の土壌はちょうどポドソールとラテライトの中間にあるといえよう。

ラテライトは熱帯地方で発見された赤色土壌につけられた名称で、Laterはレンガの意味であり、ラテライトとはレンガ赤色土壌の意味である。

セラードの基盤となっているブラジル中央高原の大地は、2億年の昔から安定した大陸地塊の上にあつて、雨による侵食や堆積を繰り返してきた。そのため溶けやすい成分はほとんど流れ去り、極端にいえば鉄とアルミニウムの集合体のようなカオリナイトという堅い石英砂が混じりあつたラトソルという土壌が出来た。このカオリナイト粘土の塩基置換容量（CEC = CTC）は3～15meq/100gと他の粘土鉱物の中でも最も低いものである。

以上述べてきたようにセラード土壌は脱ケイ酸、脱塩基され、酸性土壌で粘土の大部分はカオリン系で、保肥力が低いので土壌中有機物含量を高めることが保肥力を高め、作物の多収につながることになる。

中央ブラジルのセラードの表土の化学性は第119表に示すとおりである。植生との関係ではカンボリンポの塩基状態が最も悪く、森林のそれは他に比べやや良好である。これは有機物含量と密接な関係にあり、森林の相対的に良い塩基状態が、生物的循環によるCa、Kなどの蓄積に依存していることを物語っている。

第119表 中央ブラジルの自然セラード植生型と表土の化学性 (Cochrane, 1978 より抄録)

植生型 (サンプル数)	カンボリンポ (68)	カンボリート* (148)	セラード (255)	セラドン (45)	森林 (16)	適正值
pH(H ₂ O)	4,87	4,94	5,00	5,14	5,28	6,0-6,5
pH(KCl)	4,16	4,25	4,25	4,32	4,35	
pH(KCl-H ₂ O)	0,71	0,69	0,76	0,82	0,93	
M.O (%)	2,21	2,33	2,35	2,32	3,14	
Ca ²⁺	0,20	0,33	0,45	0,69	1,50	3,0-4,0
Mg ²⁺	0,06	0,13	0,21	0,38	0,55	1,0-1,5
K ⁺	0,08	0,10	0,11	0,13	0,17	0,2-0,3
Al ³⁺	0,74	0,63	0,66	0,61	0,78	< 0,6
ECEC	1,08	1,19	1,43	1,81	3,00	
P	0,5	0,5	0,9	2,1	1,4	10,0-15,0
Zn *	0,58	0,61	0,66	0,67	1,11	1,0-5,0
Cu *	0,60	0,79	0,94	1,32	0,95	0,8-1,6
Mn *	5,4	10,3	15,9	22,9	24,1	10,0-20,0
Fe *	35,7	33,9	33,0	27,1	37,2	30,0-40,0
B **						0,5-1,0

* 0,05M HCl + 0,0125M H₂SO₄ 抽出 ** 熱水可溶性 出所: 酸性土壌とその農業利用 1984 pg 92

適正值は FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 126

(b) 熱帯土壌・セラードの管理法

セラードとは湾曲した硬皮質樹木の疎林である。この熱帯土壌・セラードの管理法はエロージョン（土壌侵食）防止も含めて要約すれば次ぎのごとくになる。

- (1) 有機物を年間を通じて施用する。
- (2) 作物の廃棄物は焼かないようにする。
- (3) 緑肥を出来るだけすき込むようにする。
- (4) 被覆 (Cover crop) をつくる。冬作物 (特にエンバク) やマメ科と混播する。
- (5) 輪作栽培体系と等高線栽培。
- (6) 有畜農業を推進する。
- (7) 体系化された不耕起栽培の実施。これは前作物 (バイオマス供給) の栽培が必ずあり、輪作体系を確立し、畜産との複合経営を行なうことにより (例えば放牧もふくめ)、土壌中微生物がより活性化され、土壌の生物性、物理性、化学性が改善され持続型農業が可能になる。

(c) セラードの潜在生産力

ブラジル中央高原台地のセラード地帯は、その面積は1億8千万haと測定され、その内少なくとも5千万haが農耕可能で、穀物の生産に適していると考えられている (EMBRAPA, CPAC 1976)。

1989年には1,200万haをこえて開発は急ピッチで進んでいる。セラード地帯の主な土壌は通常酸性であるので、セラード農業開発計画はその拠点地を石灰岩鉱床の近くに集め、その運搬にあまり費用がかからないようにした。

そのセラード開発戦略は二つの方針から成り立っており、それを維持している。

- (1) セラードの新開発地域を生産プロセスに組み入れること。
- (2) 土壌と作物の管理をすでに行なっている地帯には灌漑導入を奨励し、効率と生産性を向上させること。

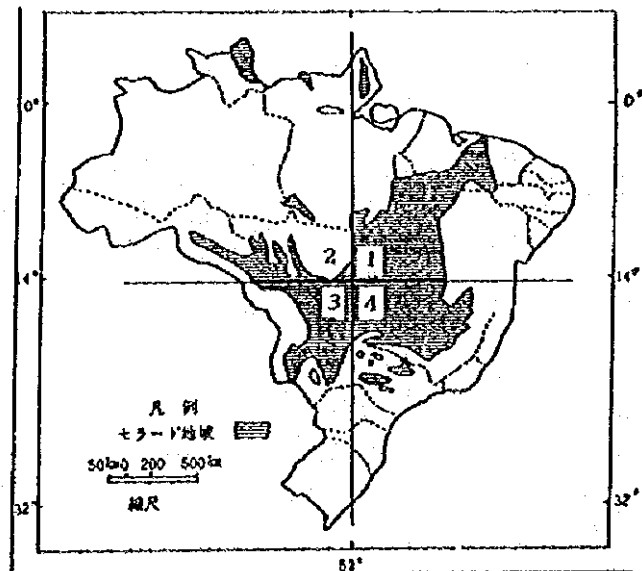
基本的推量によれば、セラードの農耕可能地をすべて開拓し、当時に知られていて技術を駆使出来た場合、ブラジルは1億2千5百万トンの穀類、8百万トンの肉、6億立方メートルの材木を生産できるであろうとしている (Goedertら 1980)。

付け加えるならば、ブラジリアの建設は疑いもなくブラジルのセラード地域の開発と発展を助長した。

(d) セラードの分布と区分

セラードの生態系は半乾燥地帯、湿潤地帯、内陸アンデス、北半球南部、大西洋地帯の接隣する生態系の影響を受け、均質でも一定でもない。また、その環境も分布も一様でなく、行政的組織区分を超越しており、そのためセラードは一定の地理的、また政治的区分とは適合しない。このような理由と、またセラード開発がある程度集中的に行なわれていることから、セラードを南緯14度、西経52度で四分する基準を適用した。

このような四分方法は、気候、地質、地形、植物形態のセラードを特色付ける指標と関連性を持ち、その他のインフラ構造、人口及び生産のような指標とも関連している (第12図)。



第12図 ブラジルにおけるセラードの分布と四面分への区分すなわち発展の差異による準地域

出所：セラードの土壌 1989 pg 5

(e) セラードの生産実績

セラードでの生産量、面積、人口は第120表、第121表、第122表に示すとおりである。

第120表 セラード地帯における牛、
農地および農業生産

	1980年
牛一頭数	46.724.902
耕地面積 (ha)	9.010.251
生産量 *(t)	20.395.062

*ワタ、イネ、トウモロコシ、ダイズ、
コムギ、コーヒー、砂糖キビの生産量を示す。

出所：CPAC 1980 IBGE

セラードの土壤 1989 pg 7

第121表 セラード地帯の1980農年度の区分ごとの面積と生産

区分	面積 (ha)	%	生産量 (t)*	%
1	1.855.679	21	1.531.245	14
2	318.122	4	472.424	4
3	2.368.603	28	3.067.168	27
4	4.011.376	47	6.086.008	55
計	8.553.780	100	11.156.845	100

*はワタ、イネ、インゲンマメ、ダイズ、コムギの生産を含む

資料：IBGEとSUPLAN 1980

出所：セラードの土壤 1989 pg 9

第122表 セラード地域の中心部分の1980年の人口(1,000)

区分	都市	農村	計	%
1	1.915	3.207	5.122	25
2	266	296	562	3
3	1.274	499	1.773	9
4	9.456	3.669	13.125	63
計	12.911	7.671	20.582	100
%	63	37	100	-

資料：CPAC 1980 -IBGE

出所：セラードの土壤 1989 Pg 9

(f) セラード土壤の改良例

(1) マット・グロッソ州ルッカス・ド・リオ・ベルデ地方のプログレッソ農場 (Faz. Progresso)

プログレッソ農場はマット・グロッソ州クヤバ市北部380km、クヤバ・サンタレンの街道にある。南緯13度に位置し、
海拔400m、雨量2,000~2,600mm、傾斜が3~4%ある。土壤の流亡が起こりうる。マット・グロッソ州中北部のルッカ
ス・リオ・ベルデ郡(1993年人口15,000人)のルッカス農協にプログレッソ農場は所属している。この農場はCIRAD-CA
の佛人のL.Seguy, S.Borzinacの両技師により、永続農法、持続農法の研究がされたのでその研究結果を紹介する。(出所：
Os Sistemas de Culturas para a Região do Médio Norte do Mato Grosso-Recomendações Técnicas 1993より引用する)

1994年にはマット・グロッソ州は中北部のセラード地帯、南緯13度線、西経56度に新しい穀物生産前線を作った。Lucas
do Rio Verde, Tapurah, Nova Mutum、及びSorriso郡(クヤバ市より約350km地点)によって形成されるこの地帯は、
現在40万haに110万トン(単収2,75ton/ha)の大豆生産をしており、更にこの地方には約100万haの農耕可能地が
残されている。このような熱帯圏での穀物生産の増加は農業技術の研究の貢献のよるところが大きい。当地方の現在の
最大の問題は運搬である。

現在生産物の大半はトラックでパラナグア港(パラナ州)まで輸送されているが、その輸送コストはトン当たり
US\$70,00にも達している。これを鉄道で輸送すると半額で済むようになる。即ち鉄道が建設されれば100万haの農耕地
を出現させることを意味している。

(2) 新開拓地のセラードの化学性と物理性

土壤の分類としてはLatossolo Vermelho-Amareloである。化学性と物理性は第123表に示すとおりである。

第123表 新開拓のセラードの化学性と物理性

深さ Cm	pH H ₂ O	MO %	P PPM	K PPM	meq/100 ml			V %	粒経組成 %			
					Ca+Mg	Al	CTC		粗砂	細砂	シルト	粘土
0-10	5,0	3,0	0,5	27	0,4	2,1	7,2	9,4	18,8	21,7	5,7	53,9
10-20	5,3	2,3	0,4	25	0,6	1,2	6,4	7,2	17,5	26,6	5,7	50,2
20-30	5,3	2,3	0,3	20	0,6	1,0	7,1	6,9	16,4	24,6	5,8	53,2

注：1—傾斜面の上部の土 2—化学性においては溶脱されている。

3—物理的構造に富み、有機物含量は高い。

分析所：LAGRO - Campinas SP

(3) 低品位草地の化学性と物理性

低品位草地の化学性と物理性は第124表に示すとおりである。

第124表 低品位草地の化学性と物理性

深さ Cm	pH H ₂ O	MO %	P PPM	K PPM	meq/100 ml			V %	粒経組成 %			
					Ca+Mg	Al	CTC		粗砂	細砂	シルト	粘土
0-10	4,8	3,6	2,0	25	0,6	0,9	8,7	8,0	29,0	23,3	5,4	32,3
10-20	4,7	3,4	1,0	22	0,5	1,0	9,4	6,2	28,7	27,8	9,1	34,4
20-30	4,7	3,3	1,0	22	0,7	1,0	9,6	8,2	24,3	30,8	5,8	39,1

注：傾斜面の中間の地点の分析値

分析所：LAGRO - Campinas SP

第123表と第124表を比較すると、セラードでは粘土が50%と高く、低品位草地では30%と低い。しかし、塩基置換量が低品位草地でセラードより高いのは有機物含量に由来すると考えられる。

(4) 生産性を阻害している要因の認識

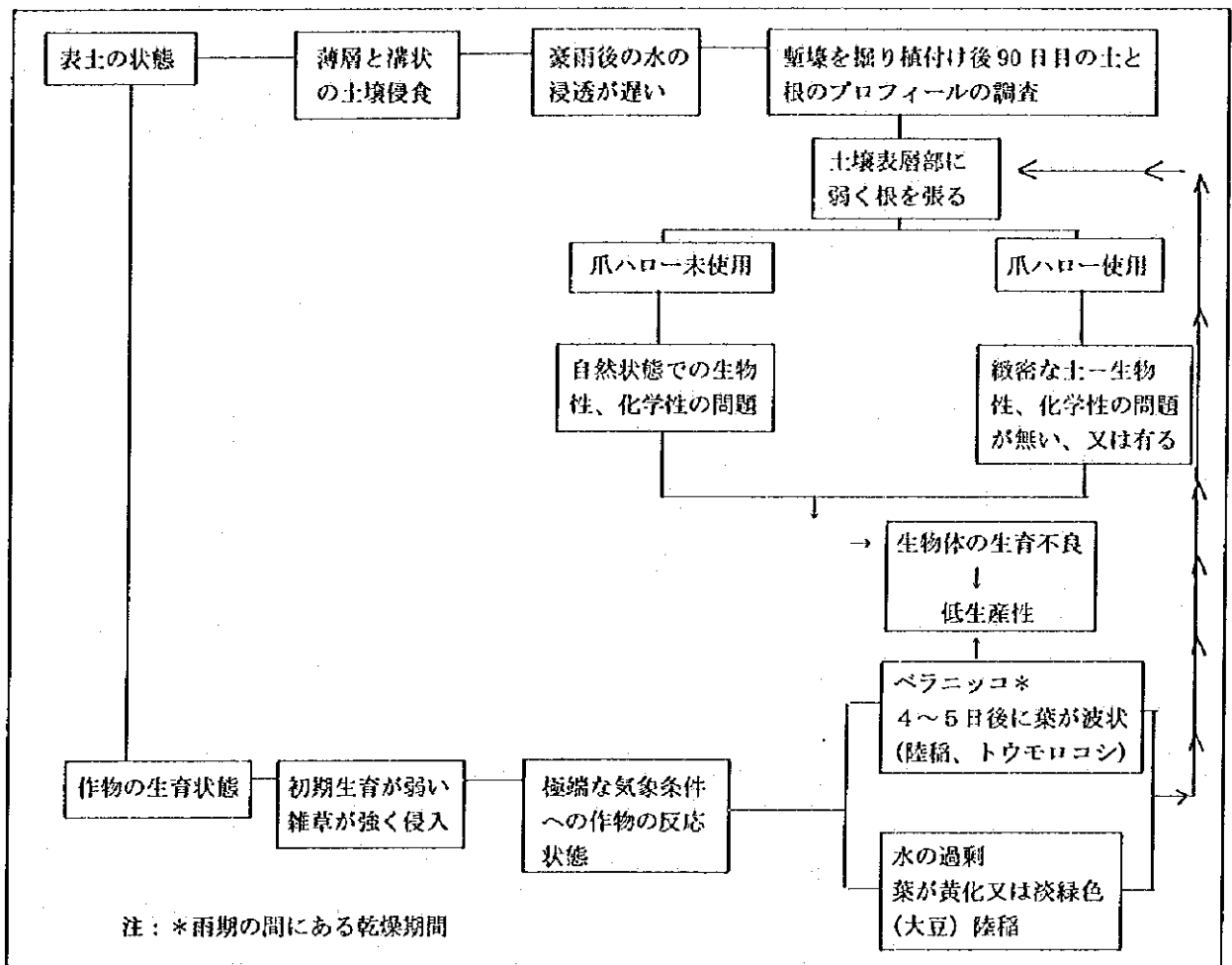
農家は土壌と作物の生育を観察して、それを評価する為に各作物区の観察ノートを用意するべきである。この観察ノートには、各区の肥沃性とそれに応じた生産性を規定しているものの進展状況を見えるようにするものである。それにより生産性を限定している原因がなんであるかが分かるようになる。

診断の主要な鍵の一つは（陸稲、大豆、トウモロコシでは）、植え付けて90日後の土壌中の根の張り方のプロフィール（従断面図）を調査することである。

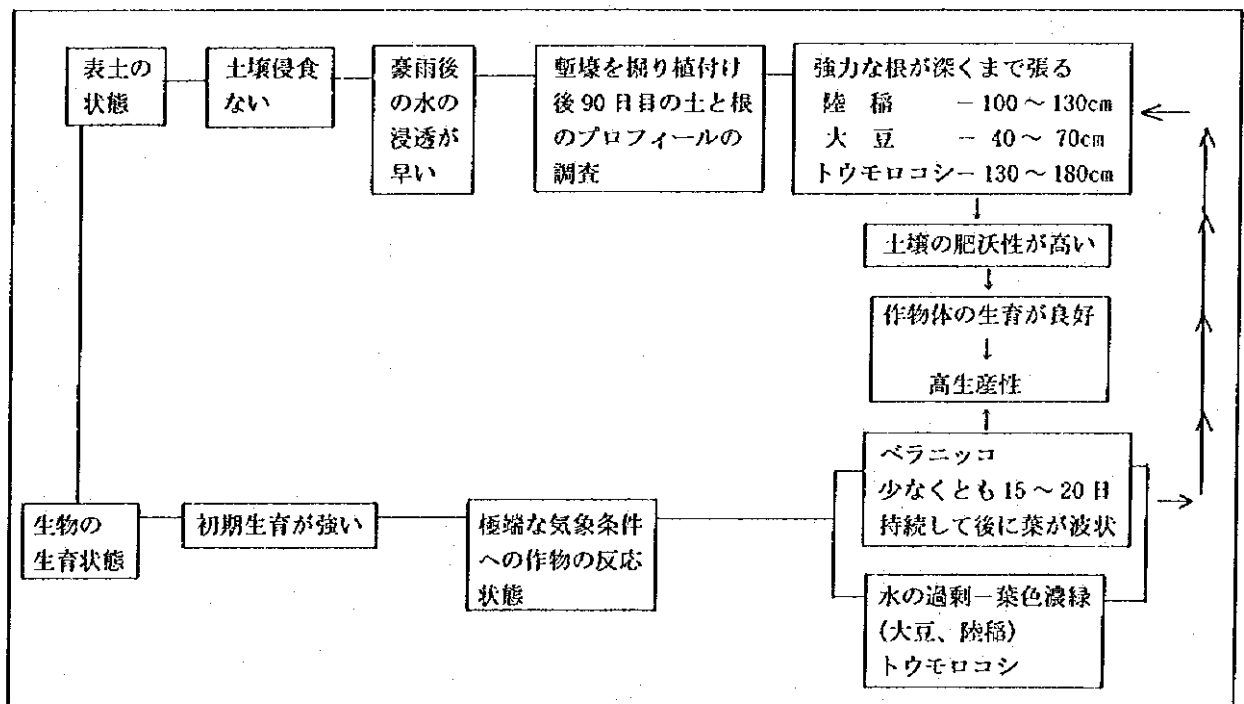
作物の生産性は根の張り方とその深さとに極めて相関関係が高いのである。貧養土では根が多いことは、より多くのミネラルと水を吸収し、作物の生育を良くする事を意味する。

要約すれば、根の張り方とその深さが大きいほど、その土壌の肥沃性が大きく、生産性を大きくする。根の張り方のプロフィールはグローバルな肥沃性（土壌の物理性、生物性、化学性）の水準を示すものである。

観察と記録による作物栽培診断の簡易法により、低生産者の場合を第13図に、高生産性の場合を第14図に示した。



第13図 低生産性の場合



第14図 高生産性の場合

(5) 生産農家が留意すべき事項

- a. 先ず観察と記録による作物栽培診断の簡易法により、記録をつけることが必要である。
- b. 土の緻密度を評価するために硬度計で土の硬度を計ることが望ましい。硬度を計る際に土壌中の湿度に注意する事が大切で、48時間の降雨の無い条件にて計ることである。硬度計の無い場合の土の緻密度を測定する一方法と評価は下記の如くである。

4 kgの重量で、40cmの高さからを一打として、

* 緻密土壌……………15打以上で50～65cmの深さに達する。

* 緻密でない土壌……………8～10打で55～60cmの深さに達する。

- c. 化学性の評価は土壌分析によって決定される。

土壌の分析値の評価基準は第125表に示すとおりである。

第125表 土壌分性値の評価基準 (cf. Lopes, Van Raiji e EMBRAPA)

	炭素 C %	M. O. (C % × 1,72)	可吸態 P ppm Mehlich	meq/ 100ml		
				K ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Al ³⁺ 飽和度%
低い	0,8	1,38	> 6	< 0,10 (39 ppm)	< 2,4	< 5
中位	0,8 ~ 1,4	1,38 ~ 2,42	6 ~ 12	0,10 ~ 0,30 (39 ~ 117ppm)	2,4 ~ 4,8	5 ~ 45
高い	> 1,4	> 2,40	> 12	> 0,30 (117 ppm)	> 4,8	> 45

ところで、ここで注意すべきことは、上記の土壌分析値では土壌の深さ20cmについて評価しており、これだけでは土壌の一面のみをとらえており、作物の根が張るといふ土壌管理法と関連するダイナミックな土壌の働きと肥沃性は評価するには十分ではない。

なぜならば、土地を浅く耕せば根は浅く、深く耕せば根は深く入ることになり、肥料成分の吸収力と吸収量に大きく影響を与えるからである。

(6) 土壌管理と栽培法の違いによる肥沃性回復における化学性の相違

大豆栽培において、大豆単作でハロー区（浅耕）を対象区として、単作、輪作そして耕法を変えて栽培して後の土壌化学分析値は第126表に示すとおりである。

第126表 土壌管理、栽培法の違いによる肥沃性回復における化学性の相違 (L. Séguy S. Bouzinac 1993)

土壌と作物 管理法	供試土壌 の深さ cm	pH		Mo %	P ppm	meq/ 100ml					V %
		CaCl ₂	H ₂ O			K	Ca	Mg	Al	CTC	
1. 単作	0-10	4,9	5,5	1,0	8,3	0,21	2,9	1,1	0,1	8,4	50,1
大豆×浅耕	10-20	5,0	5,6	1,0	2,6	0,12	2,0	0,8	0,1	6,3	46,2
ハロー使用	20-30	5,2	5,6	1,0	3,3	0,09	0,5	0,3	0,4	4,3	20,7
2. 単作	0-10	4,5	5,4	1,1	2,6	0,17	2,7	0,9	0,1	9,0	42,0
大豆×深耕	10-20	4,4	5,0	0,9	5,3	0,08	2,7	1,0	0,1	10,2	37,1
	20-30	4,5	5,1	0,7	6,3	0,10	2,5	0,8	0,1	9,8	34,7
3. 輪作	0-10	5,1	5,7	1,5	9,6	0,15	1,9	0,5	0,1	5,3	47,6
大豆-トウモロコシ	10-20	5,5	6,1	1,3	7,6	0,14	2,1	0,7	0,1	4,5	64,2
深耕	20-30	5,0	5,6	1,3	6,0	0,16	1,8	0,8	0,1	6,3	41,0
4. 輪作	0-10	4,6	5,2	1,7	9,6	0,24	2,5	1,0	0,1	8,3	49,6
大豆-陸稲	10-20	4,5	5,3	1,3	4,0	0,10	2,8	0,9	0,1	8,5	44,7
深耕	20-30	5,0	5,6	1,3	7,8	0,10	2,5	0,7	0,1	6,1	63,9

5. 交互作	0-10	4,7	5,3	2,4	6,6	0,21	2,0	0,9	0,1	7,8	39,8
大豆 年一作	10-20	5,1	5,7	2,2	10,0	0,17	2,8	1,0	0,1	6,8	58,6
陸稲等年二作 不耕起栽培①	20-30	5,2	5,8	2,0	7,6	0,12	1,8	0,9	0,1	4,8	58,5
6. 年二作	0-10	4,3	4,9	2,0	9,5	0,20	3,4	0,8	0,1	10,2	43,2
大豆-トウモロコシ	10-20	4,6	5,2	3,4	4,3	0,14	2,5	1,0	0,1	8,3	43,7
5年間 不耕起栽培②	20-30	4,9	5,5	3,8	1,2	0,12	0,8	0,4	0,1	7,1	18,6

注：(1) 二年三作

(2) 深さ 120cm の所に m² 当たり 20 個以上のコガネムシの幼虫による直径 2-3 cm の穴が出来ている。通気と排水が良くなる。

分析所：LAGRO - Campinas SP

つまり同一中和石灰、溶燐等の施用と栽培作物と土壤管理法の差が土壤の化学性と物理性に影響する。特に注目しているのはシステム差による土壤有機物含量の差である。不耕起栽培は土壤有機物含量を高めている。(輪作+不耕起栽培) > 輪作 > 単作の順に土壤有機物含量が増加している。

第 127 表に、第 126 表の土壤管理法と栽培法の違いによる大豆の生産性を記す。

最多収穫が出来たのは、輪作でトウモロコシ作後に不耕起栽培との組合わせの大豆作である。

第 127 表 大豆生産性と土壤管理法と輪作の効果—プログレッション農場における 6 年間の平均 (1986/1992)

土壤管理法	大豆単作		米作後の大豆		トウモロコシ作後大豆		土壤管理効果	
	Kg/ha	(%)	Kg/ha	(%)	Kg/ha	(%)	Kg/ha	(%)
浅耕・重いハロー使用	1.674	100	2.562	158	2.850	170	2.362	100
深耕・耕起 + ハロー	2.118	127	3.090	185	3.012	180	2.740	116
不耕起栽培	1.986	119	3.042	182	3.060	183	2.696	114
輪作の効果 (平均)	1.926	100	2.893	150	2.974	155	-	-

注：同一の施肥、播種、品種、農薬を使用した。(違いは土壤管理法と輪作)

出所：Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS MARÇO/95 No.69 pg2 L.Séguy S.Bouzinac

(7) 新開拓地と低品位草地への土壤と作物管理に対する技術勧告

土壤改良への採用される戦略は次ぎの二要因と関連している。その第一は、その地方の経済要因であり、資材価格、生産者に支払われる価格、信用供与条件である。その第二は農業要因であり、可能な範囲で危険性の最少の方法で再生産可能な方法を採用することである。

マット・グロソンの北部中央セラード地域においては次ぎの土壤改良資材の多投入による改良を勧める。即ち 1 ha 当たり苦土石灰 2.000kg、溶リン (Master) 2.000kg、農業用石膏 600kg、塩化加里 160kg である。

上記の土壤改良資材を 1 ha 当たりの成分量に換算して第 128 表に記す。

第 128 表 マット・グロソン北部中央セラードへの勧告肥料成分量

肥料名	施肥量 (Kg/ha)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Mn	Cu	Zn	B	Mo
		Kg/ha									
苦土石灰	2.000			520	260						
溶リン (Master)	2.000	350		560	290		2,4	1,0	11,0	2,0	0,12
農業用石膏	600			144		84					
塩化加里	160		96								
合計 Kg/ha		350	96	664	550	84	2,4	1,0	11,0	2,0	0,12

注：苦土石灰 CaO 25% MgO 13%

溶リン (Master) P₂O₅ 17,5%, CaO 28%, MgO 14,5%, B 0,1%, Zn 0,55%, Mn 0,12%, Cu 0,05%, Mo 0,006%

農業用石膏 CaO 24% S 14%

塩化加里 K₂O 60%

上記の改良資材多投入には下記の三項目を合わせて実施されるべきである。

- a- 土壌を深く耕起し整理する。
- b- 早蒔き (10月始め)
- c- 長い穀粒の高生産性、安定性のある陸稲の品種を選定する。

なおこの土壌改良資材多投入は、三年間で償却されるべきである。第一年目は深く耕起し、(陸稲+ソルゴ)を栽培し、第二年目は(大豆+ソルゴ)を不耕起栽培、第三年目は大豆を不耕起栽培する。

(8) 高生産性達成の為の土壌分析期待値

さて大豆が1 ha 当たり 4,000kg 以上、陸稲が 4,500kg 以上、トウモロコシが 6,000kg 以上の収量に達する為には、土壌肥沃性の回復後の土壌分析値が土層 30cm において第 129 表に示す数値にあるべきである。

第 129 表 高生産性達成の為の土壌分析期待値 (L. Seguy, S. Bouzinac-1986-1993)

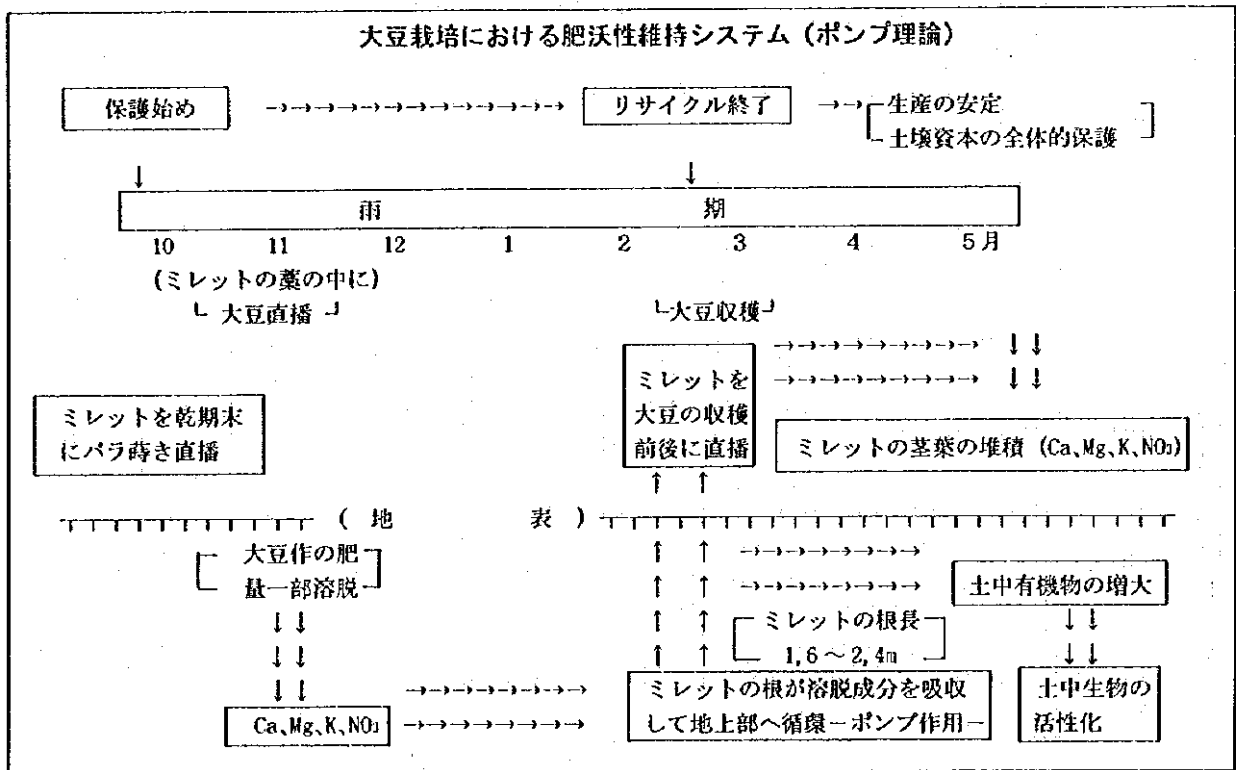
p H		Mo	P	meq/100ml					V
CaCl ₂	H ₂ O	%	ppm	K	Ca	Mg	Al	ClC	%
5,0	5,5	1,7	5	0,15	2,0	0,8	<0,2	6,5	40
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
5,4	6,0	3,0	10	0,24	3,5	1,3		10,0	60

(9) 土壌肥沃性維持システム—ポンプ理論

不耕起栽培は土壌肥沃性維持システムであり、大量のバイオマスをリサイクルさせる不耕起栽培方式で一年に二作する栽培技術は、簡単なシステムであり、しかも実行しやすく、土壌の肥沃性を維持できる。

今日、約百万 ha の耕地がブラジル中央西部地方のセラードで不耕起栽培が実施されており、栽培者によるこの技術の採用と普及は極めて早く行われている。

第 15 図に大豆栽培における土壌肥沃性維持システムを示した。



第 15 図大豆栽培における肥沃維持システム (L. SEGUY, S. BOUZINAC-MT/1993 - CIRAD-CA ☆)

出所：土壤肥沃維持システム—作物と土壤有機物

Potafos. INFORMAÇÕES AGRONÓMICAS - No. 74-JUNHO/96 p 9より改図

☆ CIRAD-CA =Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-
Cultures Annuelles(ex-IRAT)

(10) 大豆栽培の土壤肥沃維持システムにおけるミレット (Milheto) の重要性

アフリカではミレットは人間の食用として利用されており、大豆生産に重要な働きをするようになった。この土壤肥沃維持システム—ポンプ理論—は特にMilhetoの深い根系による下層に流亡する肥料成分の補足、吸収、循環作用に依るところが大きい。アフリカ原産の禾本科Milheto (*Pennisetum Americanum* (L.) Leeke) は年間雨量500mm以下の地帯でアフリカでは植えられている。生育期間中最低150~200mmの降雨量が必要である。最低25度、最適35度、最高40度の乾燥、高温に耐性を有する。しかも砂質土で貧栄養土でも生育できる。大豆作の前後にこのMilhetoを植えて、流亡肥料成分のリサイクルと土中有機物の富栄養化による土壤有効微生物の豊かさを確保できる。マツト・グロッツ州では年間降雨量は1,800~2,000mmであり、肥料流亡が推定される。Milhetoは品種分化しており、発芽後40~45日で開花、開花後70~80で収穫する。草丈は1,3~2,4mである。種実は飼料になり、1haに700~1,200kgの収量がある。牧草、乾草としては開花前に、サイレージとしては種実の乳熟期に供する。1ha当たり必要種子量は10kg、畦幅80cmで、1mに10~15本植える。

ミレットによる植物乾燥重(乾物重)と土壤中無機成分の還元量は第130表に示すとおりである。特にK(カリ)成分の還元量は大きいと理解される。

第130表 ミレットによる乾物重と無機成分の還元 (L.Séguy, S.Bouzinac 1995)

ミレット のタイプ	施 肥	有機物 (乾物重) (kg/ha)	地上部要素*						
			N	P	k	Ca	Mg	S	B
ミレット 普通種	・ NPK	6.000	62,4	24	138	22	14	18	2,6
	・ Yoorin + KCl	14.000	125,0	46	344	28	26	28	5,9
ミレット ICMV	・ Yoorin + KCl	16.000	163,0	67	349	46	61	32	7,0

* 地上部要素は、ただ地上部のみについて評価した。地下にある根部は評価していない。

出所：Potafos INFORMAÇÕES AGRONÓMICAS No. 69 MARÇO/95 pg 2

(3) コーヒー園の管理技術

以下に述べる記述はPotafosのINFORMAÇÃO AGRONÓMICAS No. 64 (MALAVOLTA ら12/93)よりの引用である。

(a) コーヒー樹は語る

コーヒー樹は、空腹であるか、十分に栄養が行き届いているかを話す能力があり、食べ過ぎるか又は何か食べてはいけない物をたべると病気になる。

しかしながら、コーヒー樹が話すことを理解するために、要素不足と過剰の徴候を知ると同時に病虫害の初期症状の徴候も知る必要がある。

何が起きているかを診断出来れば、どうすれば良いか、あるいは患者に必要な“薬”の処方箋を決定できます。では、どうしてコーヒー樹が正常であり、健全であると知りうるのでしょうか。

(b) コーヒー樹のあるべき姿

コーヒー樹は下記の如くあるべきである。

* 1年中葉が大きく、緑色で光沢があること。

* 節間が長く先端が生気のある枝の状態。

- * 乾期やベラニコ (雨期の間にある乾燥期間) にも過度に萎れない。
- * 沢山開花し、豊富に結実する。
- * 4年間を通じて高い生産性を示すこと。
- * 良い品質のコーヒーを生産すること。大粒で精選した豆をひき、煎り、飲んで美味しいこと。
- * コーヒー樹を管理する人に利益を与えること。

コーヒー園の管理熟達者は、状況を判断し、各種の手段を良く使いこなし、適切な処方箋を決定すべきである。コーヒー樹についてのカラー写真つきの出版物、土壌分析、葉分析、畑の経歴、気候の資料等が活用されるべきである。忘れてはならないことは、生産プロセスとは沢山の要因の相互作用の結果であるということである。即ち、栄養、病虫害は第131表にわずかに3要因であり、CEM (経済的最低収量) を目指すべきである。

第131表 コーヒー栽培でCEM (経済的最低収量) を得る為の主な要因

要 因	項 目
樹	品種、系統、接木
気 候	雨量、降雨量の配分、温度 (最高、最低、平均)、光 (照度、持続期間、方向)、風
土 壌	物理性 (組成、構造、深さ、密度)、肥沃性
酸性矯正	酸性 (表土、下層土)、下層土の酸性矯正
施 肥	量、バランス、相互作用、時期、場所
栽 植	植付け距離、密度、方向、植付け穴、植付け溝
整枝・剪定	タイプ、時期
収穫・精選	時期、タイプ、コーヒーの実を脱皮する
貯 蔵	通風、湿度、害虫
人 間	運搬法、コストと収益の計算、情報 (コーヒー市場、資材、人材) 商品化、企画と意志決定

(c) コーヒー樹の必要要素と欠乏・過剰について

気候や病虫害の悪変に耐えてコーヒー生産をするためには次ぎの要素が必要である。

- * 大量要素 : N, P, K, Ca, Mg, S
- * 微量要素 : B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Si, Zn

コーヒー樹の要素の欠乏・過剰の見分け方は第132表に示すとおりである。

第132表 コーヒーの樹の要素の欠乏・過剰の見分け方

1.	葉は変色しない、新葉は小さい、奇形葉、頂芽が古死、小枝の扇形化.....B	欠
2.	葉は変色する	
2. 1	変色はやや均一	
	古葉が、先ず黄化、そして落葉.....N	欠
	新葉が、先ず黄化し、葉助に沿って始まる.....S	欠
2. 2	変色は均一でない	
2. 2. 1	葉が小さくなる	
	槍鋒状、硬化、筋間が短く、過度に芽が出る.....Zn	欠
	主助に沿って上に葉片が曲がる、葉縁は黄化、筋間短くなる.....Mn	過剰
2. 2. 2	葉は同じ大きさ	
	緑色葉助で、地は黄色-小さい縞状.....Fe	欠
	緑色葉助で、地は黄色-大きな縞状.....Mn	欠
	葉縁近くが黄色斑点、紫色の主葉助.....B	過剰
	新葉の葉脈の間が黄化、葉縁から中心に進行する.....Ca	欠
	古い葉の葉脈の間が黄化-中から外へ.....Mg	欠
2. 3	壊死	
2. 3. 1	先端と葉縁	
	古い葉が黄化して後、葉の先端と葉縁が壊死.....k	欠

	葉の不規則な斑点と乾燥	塩害
	葉の大きな斑点が後に壊死	B 過剰、P 欠
2. 3. 2	葉緑	
	葉助は軽く退色し、不均斉の斑点と褐色	Cu 欠
2. 3. 3	葉緑の近く	
	主葉助に沿って緑から下に曲がり、黄褐色の斑点	Mo 欠
2. 3. 4	中央部	
	水分を含んだ斑点、そして後に黒色	Cu 過剰

(d) 要素の欠乏と過剰の予防と矯正

コーヒー樹の栽培者は常に葉分析を行ない、その結果を手にとって畑を見て廻り、確実な手段を取る為の診断を行なうべきである。葉分析では早期診断を行ない、症状が現れる前に欠乏症と過剰症を矯正できる。

コーヒー樹の正常なもの、不正常なものの分析をして、数多く比較することが大切である。

コーヒー葉分析値の評価は第133表に示すとおりである。第134表にそれらの要素間の要素比の適正值幅を記した。

第133表 コーヒー葉分析値の評価

要素	欠乏	適正	過剰
		%	
N	< 2,2	2,7 - 3,2	> 3,5
P	< 0,1	0,15 - 0,20	> 0,23
K	< 1,4	1,9 - 2,4	> 2,7
Ca	< 0,5	1,0 - 1,4	> 1,7
Mg	< 0,26	0,31 - 0,36	> 0,39
S	< 0,1	0,15 - 0,20	> 0,25
		ppm	
B	< 20	59 - 80	> 90
Cu	< 5	8 - 16	> 25
Fe	< 50	90 - 180	> 220
Mn	< 40	120 - 210	> 300
Mo	< 0,1	0,15 - 0,20	> 0,30
Zn	< 4	8 - 16	> 30

第134表 コーヒー葉分析値の適正要素比数 *

要素比	適正值の幅	要素比	適正值の幅
N/P	16 - 18	P /Cu	125 - 187
N/K	1,3 - 1,4	P /Zn	125 - 187
N/S	16 - 18	Ca/Mn	66 - 75
K/Ca	1,7 - 2,1	B /Zn	5,0 - 7,3
K/Mg	6,1 - 6,6	Cu/Zn	1
N/B	400 - 457	Fe/Mn	0,73 - 0,85
N/Cu	2.000 - 3.375		

* 3, 4葉の葉の分析、生産中の葉、夏で(2-3月)

(e) 石灰施用

石灰施用は過剰のAlとMnを中和し、CaとMgを供給する。それにとどまらず有機物の無機化から生ずるN、S、Bの供給の可能性を増大する。またCuの過剰もコントロールする。石灰施用量は土壌分析値により算出される。

石灰岩粉末は全面散布され、栽植前に20~30cmの深さに混合されるべきである。

コーヒー成園では、収穫後に施肥を始める前に全面散布されるべきである。

石灰の施用量は次式で計算される。

$$N. C = \frac{T (V_2 - V_1)}{PRNT} \times P$$

N. C = 石灰の必要量 t / ha T = 土壌中の (H + Al + K + Ca + Mg) meq / 100cm³

$V_2 = \text{希望塩基飽和度} = 70\%$ $V_1 = \text{土壌現存の塩基飽和度} = S/T \times 10$ 又は

$$V_1 = \frac{(K + Ca + Mg) \text{ meq} / 100\text{cm}^3}{T \text{ meq} / 100\text{cm}^3} \times 100$$

P = 石灰の混入の深さの要因

P = 0,5 は 0 ~ 10cm

P = 1,0 は 0 ~ 20cm

P = 1,5 は 0 ~ 30cm

P = 2,0 は 0 ~ 40cm

PRNT = 石灰の酸性中和能力

生産性の高いコーヒー園では、土壌中の Mg は、 $1,0 \text{ meq} / 100\text{cm}^3$ 、または Mg / CTC (%) を 12 前後に維持することが勧められる。

(f) 農業用石膏施用

石灰施用は、一般的にはコーヒー成園のような下層土の酸性の矯正は、石灰を土壌と温和することが出来ないのでは不可能である。可能とすれば、軽い土壌でかなりの量の石灰を施用し、数年を待つか、心土破砕機を使用するかである。

石灰岩 Ca (カルシウム) についている CO_3^{2-} (炭酸) イオンは土壌表面の空中に散逸し、土壌から揮散する。そしてその結果としてコーヒー樹 (他のどの作物も同様に) は乾燥に感じやすくなる。

農業用石膏は $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (石膏) で、リンサン液製造の副産物である。Ca²⁺ についているアニオン SO_4^{2-} は CO_3^{2-} (炭酸) の逆で揮散出来ない。そして Ca (カルシウム) と一緒に下層土に下る力がある。このことは置換性 Ca (カルシウム) の飽和度を土壌の深い所で増加し、毒性 Al (アルミニウム) を中和する。

農業用石膏施用は通常土壌中の pH を変化させないし、石灰施用に置き替わることはない。両者は補完するものである。

農業研究は今だ実用的見地から土壌分析値の資料機能を使って証明された農業用石膏の施用量の計算式を公表していない。それで今のところ仮に次式を使用することにする。

$$N.G = (0,6 \text{ CTCe} - \text{meqCa} / 100\text{cm}^3) \times 2,5 \quad \text{あるいは、}$$

$$N.G = (\text{meqAl} / 100\text{cm}^3 - 0,2 \text{ CTCe}) \times 2,5$$

$$N.G = \text{農業用石膏必要量} \quad \text{t} / \text{ha}$$

$$\text{CTCe} = \text{有効塩基置換容量}$$

$$= \text{meqAl} + K + Ca + Mg / 100\text{cm}^3$$

なお農業用石膏施用については次の事柄を考えるべきである。

(1) 21 ~ 40cm の深さの土壌分析値 (0 ~ 20cm でない) で Ca の飽和度が 60% 以下の場合。

(2) 21 ~ 40cm の深さの土壌分析値 (0 ~ 20cm でない) で Al 飽和度が 20% 以上の場合。

土壌には栽植前、必要石灰 (Calcáreo) と農業用石膏を施用するには、初めに石灰を全面に散布して、その後農業用石膏を全面散布し、土壌との混合を必要としない。もちろん石灰と石膏を含んだ商品を使用してもよい。育成中の又は生育中のコーヒー園では、農業用石膏は全園散布し、(土壌中に石灰を必要とすれば) 石灰と農業用石膏をあらかじめ混合して散布してもよい。または別々でも良い。

(g) 施肥への勧告

生育中のコーヒー樹の施肥では、不足要素の施肥、施肥時期、施肥位置等の種々の要因を考慮することが大切である。

土壌分析と観察による診断は、土壌と作物に不足している成分を決定するために有効である。生産中のコーヒー樹への施肥は、普通4年目から始まり、土壌中の肥沃度、植え穴への施肥は（主としてリンサンを施肥している）、そして予想収穫量や希望収穫量により決定される。

施肥時期は次の二つの要因により決定される。

* コーヒー樹の最大要求量の時期 - 収穫後、栄養生長初期、結実期、実の肥大期、実際には一般に等量的に分施される。

* 土壌中の肥料の動き - Nは流亡する。Pは土壌中で吸着される。Kは中間である。Nは普通分施される。

結局コーヒー樹の施肥を決定する二大手段は土壌分析と葉分析である。

(1) 土壌分析について

* 回数と深さ

- ・ 毎年0～20cm 施肥帯の中央より採土
- ・ 隔年0～20cm と、21～40cm 施肥帯の中央より採土

* 採土の時期：4月/5月（収穫前、又は畦間整地前）

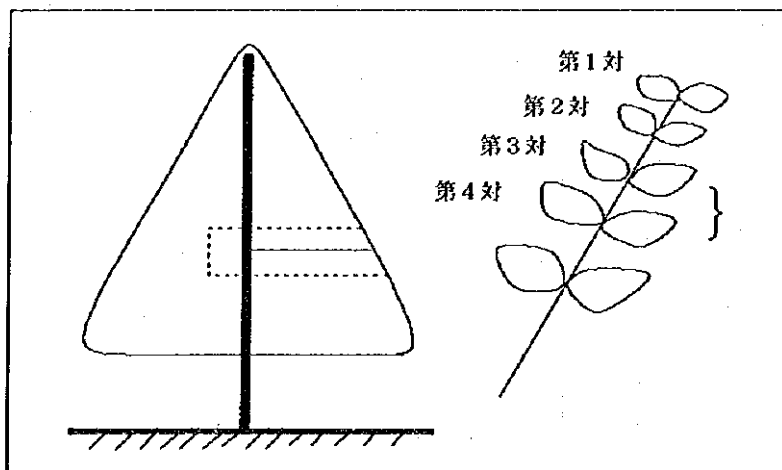
* 標本の数 = 50haまでは均一な畑に対しては10カ所から採土し、後1つにまとめる。

(2) 葉分析について

* 時期

- ・ 第1回施肥前
- ・ 第1回目施肥して1カ月後
- ・ 第2回目施肥して1カ月後

* 採葉：コーヒー樹の中位の高さの枝の第3～第4の一对の葉、コーヒー樹の一方向だけから採葉し、1つの畑から合計50対の葉が必要である（第16図）。



第16図 葉分析のための採葉法
第3と第4対から採葉
第1対の葉長は約2.5cm

(h) 生産への施肥

第135表と第136表は、1996年にIAC（カンピーナス農試）の出版によるBOLETIM TÉCNICO 100（技術広報100） - サンパウロ州への施肥と石灰施用の勧告によるものである。生産への施肥は、第3農年（植付後2年目）から始まり、葉内N含量、土壌分析によるP、K、B、Mn、Znの含量、そして、目標収量より決定される。

第135表 目標収量と施肥量

目標収量*	葉内N濃度、g/Kg			土中P resina, mg/dm ³				土中K ⁺ (置換性)、mmolc/dm ³			
	< 26	26-30	> 30	0-5	6-12	13-30	> 30	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	> 3,0
Kg/ha	N, Kg/ha			P ₂ O ₅ , Kg/ha				K ₂ O, Kg/ha			
< 600	150	100	50	40	20	20	0	150	100	50	20
600-1200	180	120	70	50	30	20	0	180	120	70	30
1200-1800	210	140	90	60	40	20	0	210	140	90	40
1800-2400	240	160	110	70	50	30	0	240	160	110	50
2400-3600	300	200	140	80	60	40	20	300	200	140	80
3600-4800	360	250	170	90	70	50	30	360	250	170	100
> 4800	450	300	200	100	80	60	40	450	300	200	120

*精選したコーヒー豆

施肥にS(イオウ)を加えるのは、N(チッソ)施用量の約1/8を基準にする。土壌分析値でSが10mg/dm³以上あれば施用しない。

第136表 土壌分析値によるB, Mn, Znの施肥量

土中 B mg/dm ³	B 施用量 Kg/ha	土中 Mn mg/dm ³	Mn 施用量 Kg/ha	土中 Zn mg/dm ³	Zn 施用量 Kg/ha
0-0,20	2	0-1,5	2	0-0,5	2
0,21-0,60	1	> 1,5	0	0,6-1,2	1
> 0,60	0			> 1,5	0

目標収量については、コーヒー園の経歴、潜在生産力に詳しい人を優先させて現実的に評価されるべきである。

BとZnは葉分析を確認後、もし濃度が好適か過剰であれば施用しないが、Bが50ppm以下、Znが10ppm以下、Mnが60ppm以下であれば葉面散布してもよい。Bについては剪定後の初年度はBを施用しない。

葉分析濃度に応じた微量要素の葉面散布の勧告は第137表に示すとおりである。

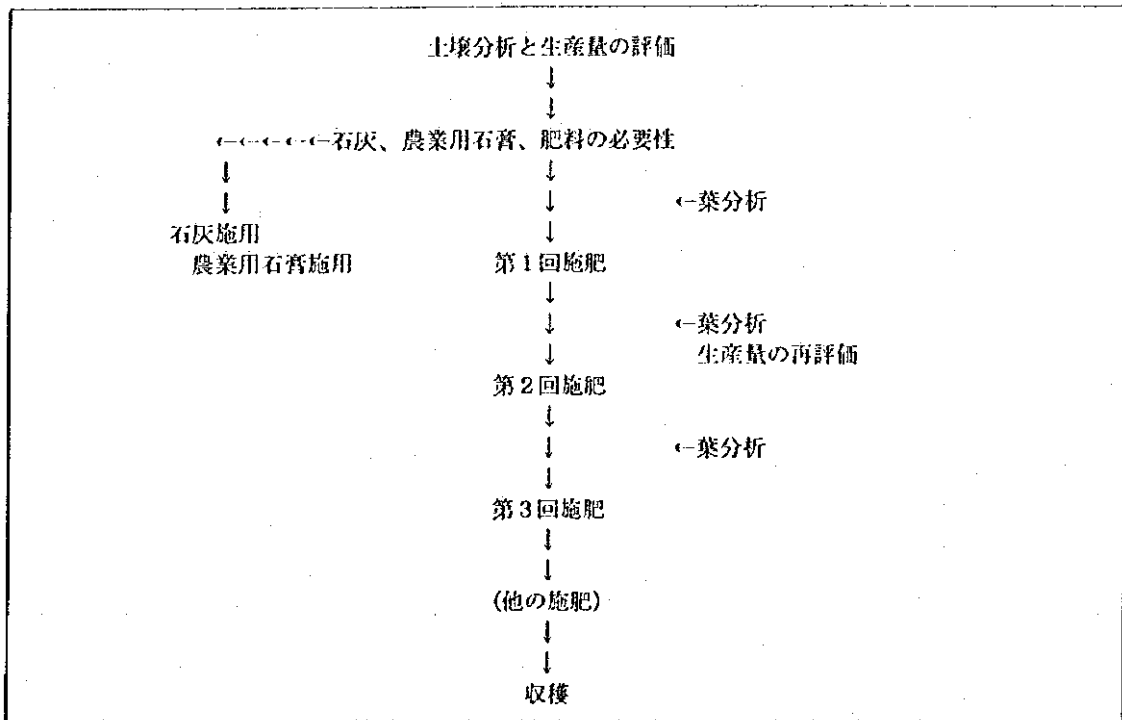
第137表 微量要素の葉面散布の勧告*

要素	葉内濃度 (ppm)	施用量	散布回数	時期 (月)
B	< 50	ホウ酸 0,3 %	2 - 3	10 - 3
Cu	< 10	硫酸銅 0,3 %	2 - 3	10 - 3
Zn	< 10	硫酸亜鉛 0,6 %	2 - 3	10 - 3
Mn **	< 60	硫酸マンガン 1,0 %	2 - 3	10 - 3
B + Zn		ホウ酸 0,3 %+ 硫酸亜鉛 0,6 %+ 塩化加里 0,25%	2 - 3	10 - 3
Cu + Zn		硫酸銅 0,3 %+ 硫酸亜鉛 0,8 %+ 塩化加里 0,25%	2 - 3	10 - 3
B + Cu + Zn		ホウ酸 0,3 %+ 硫酸銅 0,3 %+ 硫酸亜鉛 0,8 %+ 塩化加里 0,25%	2 - 3	10 - 3

* 全ての場合 0,5%の尿素を加用してもよい。

** 著者が追加した。

第17図 コーヒー樹の施肥に対する実施図を示す



第17図 コーヒー樹の施肥に対する実施図

(4) 超多収大豆の生産技術

(a) ブラジル・マラニオン州南部からの報告

この報告は、Potafos INFORMACÕES AGRONÔMICAS No. 69 MARÇO/No. 95のT. YAMADA氏よりのものを引用した。

マラニオン州では、大豆は現在90,000ha、ピアウイ州17,000ha、トカンチンス州に13,000ha栽培されている。北輸出回廊のプログラムがあり、今後も栽培面積は増大の傾向にある。今世紀末までに、百万トンの生産に達するであろうとされている。年間雨量は1,400mmあり、今回は適応品種とともに多収穫を記録した。

理論的大豆の最大収量は11t/haであり、試験的には米国のFlanneryで、7,963kg/ha、132,7依/ha(60kg/依)の記録があった。

(b) 南米の記録的収量

今回報告する、オズワルド・マサオ・イシイとその共営者の経営するサンタ・ルジア農場は、マラニオン州サン・ライムンド・マンガベイレ郡にあり、技術指導しているのは、A. J. Oro Assistência Técnica-Tecnosojaである。

当農場での、1993/94農年の75haの畑で、5,684kg/ha、すなわち94,7依/haの収穫があったことである。これはおそらくブラジル、あるいは南米の記録的収量であろう。この1993/94農年の、農場の全栽培面積3,300haの平均収量は50依/haであった。その内2,200haは古地、1,100haは大豆作初年度であった。

(c) 大豆栽培の条件

第138表にこの大豆栽培畑の土壌とその経歴の情報を要約し、第139表に大豆栽培の条件を記し、第140表に大豆栽培中の生育ステージと降雨量との関係を示した。

第138表 大豆栽培畑の土壌と経歴

標高：600m
 土壌：Latossolo vermelho-amarelo (赤黄色ラトソル)
 物理性：粘土=39%、シルト=14%、砂=47%
 化学分析：

pH(CaCl ₂) = 4,6 %	K = 0,21
M.O = 3,4 %	Ca = 2,80
P(Melich) = 13ppm	Mg = 0,90
S = 3ppm	Al = 0
Cu = 0,4ppm	H+Al = 4,20
Fe = 96ppm	CTC = 8,11
Mn = 9ppm	V % = 48
Zn = 2,5ppm	

畑を開拓した年：1987
 栽培作物の歴史：稲1987～1990(1991-休耕)、大豆1992/93、大豆1993/94
 リン酸施用：過リン酸石灰400Kg/haを1992年に全面施用
 石灰岩粉末施用：1992年にドロマイトを3.500Kg/ha、1993年にマグネサイトを3.000Kg/ha
 土地の準備：ハロー (ハロー20×29インチ)、水平化
 植付け施肥：02-20-18(N-P₂O₅-K₂O)+ZnO,6% + CuO,16% + B₂O₃,06% + MoO₃,03% + MnO,07% + CoO,0075%を430Kg/ha

資料：A. J. Oro Assistência Técnica-Tecnosoja

出所：Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS No. 69 MARÇO/95 pg 5

第139表 大豆栽培の条件

大豆品種：Cristalina
 栽培本数：425.000本/ha
 栽植距離：畦間0,4m、17本/m
 植付時期：1993.11.20
 収穫時期：1994.3.26
 栽培方式：耕起法
 収穫時大豆の草丈：0,8m
 着莢節数：10～11
 総生産量：426.350Kg/75ha
 単収 = 5.684Kg/ha = 94,7俵/ha (60Kg/俵)
 1.000粒重 = 140g
 1個体当たり平均粒数 = 100
 不純物 = 0,5% : 湿度 = 16%

資料：A. J. Assistência Técnica-Tecnosoja

出所：Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS No. 69 MARÇO/95 pg 5

第140表 大豆栽培中の生育ステージと降雨量との関係

生育ステージ	日数	必要雨量		栽培中降雨量		
		mm	%	mm	%	mm/日
V _E ～R ₁	46	222	30	286	38	6,2
R ₁ ～R ₃	25	200	27	213	29	8,5
R ₃ ～R ₈	41	318	43	242	33	5,9
生育サイクル合計	112	740	100	741	100	6,6(平均)

注意：V_E = 双葉の発芽、R₁ = 開花始め、R₃ = 子実充実始め、R₈ = 成熟期

収穫までは発芽後120日

資料：A. J. Assistência Técnica-Tecnosoja

出所：Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS No. 69 MARÇO/95 pg 5

今回の多収穫は降雨量、日照が好条件であったこと。大豆の生育サイクル期間中に、1日降雨量平均6.6mmであって、これは最上の条件であった。なおこの75haの土地には竹林（バンブジンニョ）のあったところで、開拓後6年目でも有機物含量が3.4%もあり、しかも土壌の透水性が良く根に十分酸素を供給出来たことが考えられる。

この大豆作には追肥はやっていないが、マラニオン州で栽培されている約10%の面積にK(カリ)の追肥が施用されている。60~70%が飛行機で施用している。KCl(塩化カリ)で40~60kg/haが施用されている。

大豆の輸送はアスファルト道路380kmと鉄道輸送600kmにて、マラニオン州サンルイスのイタキ港に着くので好条件である。

4) 生理的防除の考え方

(1) 病気の主因・誘因・素因

作物の病害は薬剤で防除するという考え方が一般的であります。病気が発生する素因は、作物が侵されやすいことであり、誘因は水と温度であり、主因は病原菌であるという考え方であり、その主因を薬剤でつんでしまうことにより病気の防除をしようということである。したがって習慣的、予防的に薬剤を散布することになります。

ところがこの考えでは、作物体の健康度が除外されています。そこで観点を180度変えて、たとえ病原菌の密度が高くても、温度、水分等が病原菌の繁殖に好条件であっても、栄養生理的に病害に侵されにくい作物を作ることにより病気の防除をしようという考え方に立脚したのが生理的防除法である。そしてその補助手段として薬剤散布を考えるのが生産的防除といえましょう。

たとえば日照の不足は作物の炭酸同化作用を抑え、糖ならびにタンパク質含量の低下とアンモニア・アミドなどの可溶性N(チツ)化合物の増加を作物体内にきたし、病害を誘発することになります。

すなわち、葉の同化養分が少ないのにN(チツ)が多量に作物体内に入ってくると、吸収されたN(チツ)を消化してタンパク質とするための炭水化物が少ないために、作物体内に肥料の形のままの硝酸態(NO₃)のN(チツ)やタンパク質にならないN(チツ)が一時的に多くなる。このことは作物体が軟弱徒長になることで、病気にかかりやすい状態である。N(チツ)で下痢をすることになる。光合成能が高く炭水化物濃度の高い作物は、吸収されたN(チツ)が作物体内で良く消化されてタンパク化してゆくので、作物体は軟弱にならず病害(下痢)に侵されにくい。このような病害対策を生理的防除という。

果樹では、鳥淵、前田両氏(1954)は、5年生の二十世紀梨及び長十郎梨を、5~6月にヨシズで20日間、日光制限区、すなわち遮光したところでは、日光を制限しないところに比べて、著しく可溶性のNとアミド態N(アスパラギン、グルタミン等)が増加し、しかも黒斑病(*Alternaria kikuchiana* Tanaka)に罹病しやすい二十世紀梨は、黒斑病抵抗性品種の長十郎梨に比較して、枝葉内にそれらの、可溶性N、アミド態Nの増加率が大きかった。特に、注目すべきことは、黒斑病抵抗性品種の長十郎梨も、遮光されることにより、枝葉内にアミド態N、可溶性のN(チツ)が増加して、黒斑病に侵されたことである。

これらの事実から、両氏は樹体内にアミド態N、可溶性Nが少ないことと、炭水化物の多いことが枝葉の健全性を示し、病気に罹りにくい指標であると述べている。したがって生理的防除法とは、枝葉内に炭水化物を多く生産させ、タンパク化を促進して、アミド態N、可溶性Nを少なくすることであるといえる。

(2) トロフォビオーゼ理論

フランスの研究者である、フランシス・シャプスー氏は、作物体栄養のバランスの歪みが、新陳代謝を狂わせ、昆虫の餌である遊離アミノ酸や、病原菌の場合は水溶性糖類が体内に多量に生成され、これらが病気や害虫の増殖を促進するのを発見して、トロフォビオーゼ理論(Trofobiose)と命名しました。

Trofobioseとは、ギリシャ語のTrofo(食べ物)、bios(生命の存在)を意味します。つまりTrofobioseとは、生命は必要とする養分のあるところのみ、生存するということです。

換言すれば、栽培作物体または、その一部が、昆虫、ダニ、センチュウあるいは微生物(菌、細菌)に侵されるのは、

作物体の汁液中に病害虫が必要とする餌が存在する時のみである。この餌とは主として遊離アミノ酸であり水溶性物質であり、作物が大量の害虫の餌である遊離アミノ酸を保有するためには、間違った栽培管理をすることにより引き起こされることになる。

したがって肥培管理の良い、健全な作物では“害虫”や“病気”に攻撃されることは難しい。このことは健全な作物体では“害虫”にも“病原菌”にも餌が不足して餓死してしまうことを暗示している。

サイインゲンマメを栽培すると、生育後期に株が弱る頃からダニの発生が始まりますが、これは、根の障害や成り疲れして新陳代謝が進まず、タンパク合成が遅れて遊離アミノ酸が作物体中に蓄積することにより、ダニの餌が増加してそれらの発生を許すことになると考えられます。

(3) 生物のバランス

農業では、生物間のバランス（均衡）は、虫、ダニ、センチュウ、菌、細菌そしてビールス等のコントロールが天敵の増加によって達成されている。

たとえばアブラムシにはテントウムシが天敵であり、タイズのイモムシ (*Anticarsia gemmatlis*) には *Baculovirus* が寄生する。虫や病気が被害をもたらす密度にならず、経済的に損害を与えない範囲内で、これらのバランスが維持されることが大切である。

更に、次ぎの事柄が確認される。すなわち天敵の死滅のみが、虫や病気を栽培で増加するのではなく、他の要因が存在する。

(a) 施肥のアンバランス

(b) 不適切な栽培管理（例えば作物体へ日光不足による光合成の減少、水不足、過湿）

(c) 土壌中有機物不足による、有用微生物の不足、土が硬過ぎて根が入らない。

(d) 時には農薬は、作物体の新陳代謝に影響を与えることがある。

結論的にいえば、害虫とか病気とは、作物栽培者の農業における、栽培肥培管理の間違いの指摘者であるということであり、虫、ダニ、センチュウ、菌、細菌そしてビールス等は、原因ではなく結果であるということである。

(4) 健全な作物への影響要因

(1) 適正作物と品種の採用

(2) 作物体とその古葉の齢

新芽の展開と開花時はアミノ酸が活発に集積される。古葉ではタンパク質は分解されアミノ酸となり新葉に転移する。

(3) 土壌

肥沃な土壌、化学性、物理性、生物性が優れていて、作物が必要とする養分をすべて含み、良く吸収して、タンパク合成を促進すること。

(4) 日照

日光が不足すると、光合成が低下し、タンパク合成を少なくする。生理活性剤としてアミノ酸を極少量 (100~200g/ha) 葉面散布してやると、炭酸ガスの吸収を高め、光合成を促進して、作物体内に炭水化物をより多く合成するといわれる。

(5) 湿度

水は光合成の原料であり、少ないと作物は生理作用を低下することになる。過湿は根の呼吸を出来なくして、養水分の吸収を阻害する。

(6) 栽培管理

除草、中耕は根を切り、不良剪定は正常な代謝を害する。

(7) 施肥

土壤分析値を評価して、酸性矯正、微量元素を含めバランスのとれた施肥をおこなうこと。

(8) 農薬

直接的（作物）、間接的（土壌）な農薬使用は作物体代謝に影響して光合成を減少させる。

(9) 有機肥料

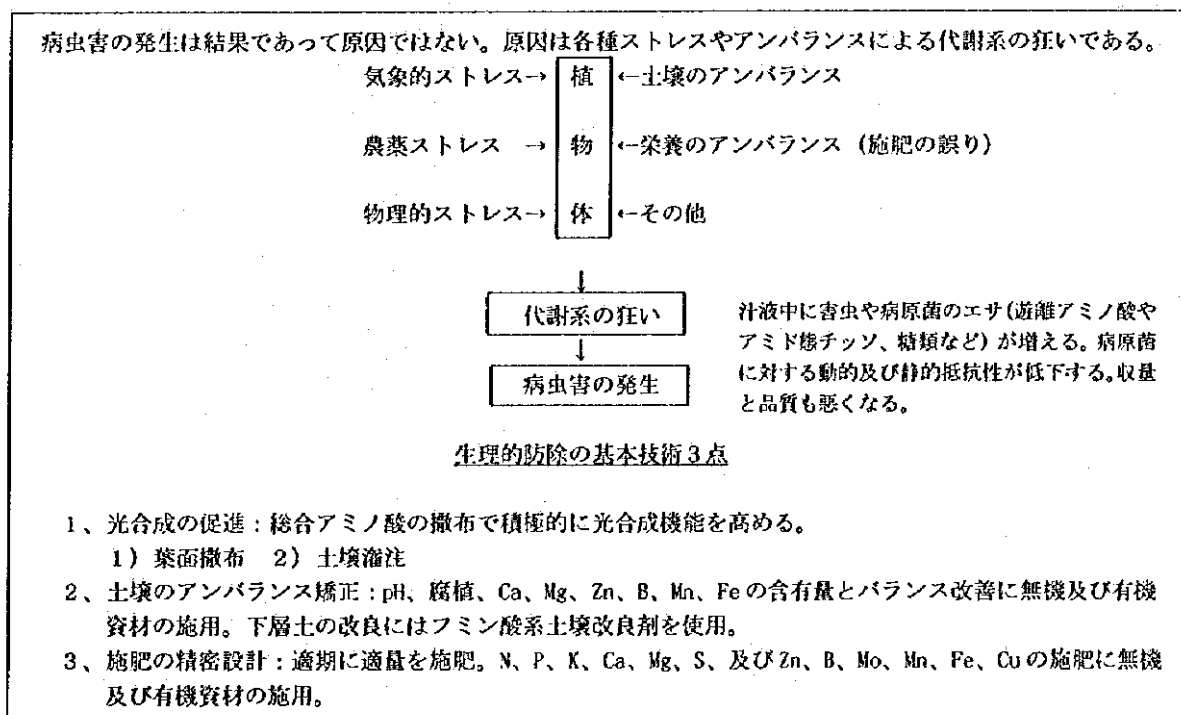
有機物と緑肥の土壌施用は土壌中の微生物を活性化させ、肥料成分を供給する。

(10) 遅効性の鉍物肥料

リン鉍石、石灰岩粉末、鉍物残渣等はゆっくりと可溶性になり、土壌中生物に害を与えない。

(5) 病虫害の生理的防除法の理論と実際

1989年3月ブラジルのリオ・デ・ジャネイロ市で開催された『農牧での害虫防除と予防』という国際セミナーに招待されたブラジル在住の有機農業実践家の続木善夫農業技師の講演内容は参考になるので、それを第17図に示し、病虫害の原因となる代謝系を狂わせる要因を記述する。



第17図 病虫害の生理的防除法の理論と実際の要約図

(a) 代謝系を狂わせる要因

(i) 気象的ストレス：適期に作物を植えても異状高温や異状低温に見舞われることがあります。こういう時には熱帯性害虫やいもち病（異状低温）が多発します。干ばつや多雨、過湿も大きなストレスとなります。

微気象の調整も重要な栽培技術です。たとえば、ブラジルでは真夏直射日光が地表にあたると表土5cmの温度が45度C以上に上がります。これでは熱帯性作物であるオレンジといえども、根の働きが鈍ってしまい、熱帯性の害虫や病害を防ぐことはできません。敷草のできない大農園の場合、草生栽培がよいのはそのためです。また長期干ばつするとき、土中の水分を計ってみますと草生栽培のほうが水分が高いのです。この理由は、表土の水分が下がってくると根の浅い雑草は気孔を閉じ葉からの蒸散は止まるが地表の温度はより低く、それ以後の水分蒸発が清耕栽培よりも少なくなるため、と思われます。同じ理由で、コーヒー苗の新植では敷草をするかしないかで、1年目の生育量（茎葉と根の重さ）が2倍以上、防除では無農薬か農薬多用かと言う大きな差がでます。畝を東西に植える

か南北に植えるかということも微気象に大きく影響します。トマトのように株もとが裸の作物では、1日中真夏に強い太陽にさらされると地表の温度が上がりすぎ、根が高温障害のため働かなくなってしまう。

また、積極的な微気象利用の技術としては、冬期に半熟成堆肥を使って温室の表土の温度を上げ、炭酸ガスの供給を増やす例もあります。

- (2) 農薬ストレス：ある作物の特定病害虫に農薬を撒布すると、他の特定病害虫が増えることがあります。たとえばオレンジでは選択性のダニ剤の多くのもが、特定害虫である貝殻虫を増やし、ぶどうにダイセンの撒布を続けるとウドンコ病が増える、などです。とくに農薬撒布による病害増加はフランスで研究され、多数の例が確認されています。

ブラジルではオレンジ園やコーヒー園での除草剤の連年使用のため、細根群が減り、病害虫が増えてしまった農園が数多く見られます。

- (3) 物理的ストレス：栽培技術のミスでよくおこります。一番多いのは中耕や除草で根を切ることです。夏の高温時、桃や棉畑で中耕しますと、途端にダニが大繁殖してしまいます。なすやトマト、きゅうりなど、鋏で除草しますと萎ちょう病が一度に広がる時でも、草を低く刈り取ると根を傷めず病気が広がらず、収量も高くなります。有機栽培のプロッコリー畑で1株だけあぶら虫がピッチリついており、抜いてみると根が傷んでいた、などということがよくあります。

- (4) 土壌のアンバランス：物理性アンバランスのなかでも通気不足が致命的です。根に酸素が不足すると水も養分も吸えなくなるからです。土が硬すぎると根は充分発育せず、土の吸着能が高すぎても低すぎても養分供給がスムーズにいきません。

土の中の微生物バランスも大切です。土中の養分を取り入れて植物に供給し、植物が光合成で作った糖分やアミノ酸などをもらう共生微生物や、病原菌の攻撃から根を守る拮抗微生物など、善玉微生物の質と量も根の機能と代謝の働きに影響します。

化学性の面では、pHの高さや腐植、Ca、Mg、Zn、B、Mn、Feの含有量やCa/Mg/K比などが適正であることが必要です。よく見られるアンバランスはハウス栽培での肥料の過剰障害です。土の表面が余分の塩分で白く見えるようでは、いくら栄養分の豊富な土でも根は吸収できず、病虫害の発生につながります。またpHが低い場合は土中のAlが可溶化されるので、根の発育と吸収が悪くなります。

土の物理性、微生物性、化学性、は全く別々のものではなく、植物の根と共にお互いに絡み合い影響しあっていて、よい土作りはよい根作りとなり、多収穫高品質、減農薬の元となります。

- (5) 栄養のアンバランス：なぜ病虫害が発生するのかについて興味深い学説があります。フランスのバストール研究所のフランシス・シャプスー氏の唱えたトロフォビオーゼ (Trofobiose) という説で、まず害虫のエサは何かという所から始まります。彼は昆虫のエサは汁液中の遊離アミノ酸であることを発見しました。そして栄養のアンバランスによって、無機態チツソ→アミノ酸→蛋白の合成がスムーズにいかず、汁液中に遊離アミノ酸が増えそれをエサとする害虫が増えることを証明しました。病害の場合もよく似ています。病原菌はアミノ酸以外にアミド態チツソや水溶性多糖類も絶好のエサとしており、これらのエサが施肥の誤りや農薬撒布のストレスで増加し、その結果、病虫害が増えるのである、と多数の例をあげて説明しています。

- (6) その他：酸性雨や工場排水による灌漑水の汚染などが考えられます。

6. 土壌分析値の評価と診断基準

1) 単位の変換

以下に解説する事柄は BOLETIM TÉCNICO 100 IAC(1996) よりの引用であり、国際単位に変わることである。呼びかたについて、(meq) miliequivalente は、(mmolc) milimol de carga になり、EC (電気伝導度) の milimho/cm は、(dS/m) decisiemen por metro と呼称する。(%) porcentagem と (ppm) parte por milhao は第 141 表の表記に変わる (旧→新)。(新→旧) 第 142 表に示すとおりである。

第 141 表 国際システム単位 (SI) の換算 (旧→新)

古い単位	新しい単位
%	× 10 = g/Kg, g/dm ³ , g/L
ppm	× 1 = mg/Kg, mg/dm ³ , mg/L
Meq/100cm ³	× 10 = mmolc/dm ³
Meq/100g	× 10 = mmolc/Kg
Meq/L	× 1 = mmolc/L
mmho/cm	× 1 = dS/m
P ₂ O ₅	× 0,437 = P
K ₂ O	× 0,830 = K
CaO	× 0,715 = Ca
MgO	× 0,602 = Mg

出所: BOLETIM TÉCNICO, 100, IAC, 1996 pg 8

第 142 表 国際システムの換算 (新→旧)

新しい単位	古い単位
g/Kg, g/dm ³ , g/L	÷ 10 = %
mg/Kg, mg/dm ³ , mg/L	× 1 = ppm
mmolc/dm ³	÷ 10 = meq/100cm ³
mmolc/Kg	÷ 10 = meq/100g
mmolc/L	× 1 = meq/L
dS/m	× 1 = mmho/cm
P	× 2,29 = P ₂ O ₅
K	× 1,20 = K ₂ O
Ca	× 1,40 = CaO
Mg	× 1,66 = MgO

2) 土壌分析値の評価

(a) 酸度

土壌中酸度において、(pH) CaCl₂ と V (飽和度) とは極めて平行関係が強く、第 143 表に示すとおりである。

しかも CaCl₂ の 0.01mol/L の評価は、H₂O (水) の pH よりも安定したものが得られる。

第 143 表 土壌耕土の酸度と V (飽和度)

酸度	pH (CaCl ₂)	飽和度	V (%)
極高い	4,3 まで	極低い	0 - 25
高い	4,4 - 5,0	低い	26 - 50
中	5,1 - 5,5	中	51 - 70
低い	5,6 - 6,0	高い	71 - 90
極低い	> 6,0	極高い	> 90

出所: BOLETIM TÉCNICO, 100, IAC, 1996 pg 10

(b) P (リン) と K (カリ)

分析値は 5 クラスに分けて評価される。このクラス (階級) の限界は圃場で主として 1 年生作物で肥料試験の結果から、相対収量を割り出して評価した (第 144 表)。

第 144 表 土壌分析値の P と K 濃度の評価

濃度	相対収量 %	置換態 K ⁺ mmolc/dm ³	P resina			
			林業	永年性	一年性	野菜
極低い	0 - 70	0,0 - 0,7	0 - 2	0 - 5	0 - 6	0 - 10
低い	71 - 90	0,8 - 1,5	3 - 5	6 - 12	7 - 15	11 - 25
中	91 - 100	1,6 - 3,0	6 - 8	13 - 30	16 - 40	26 - 60
高い	> 100	3,1 - 6,0	9 - 16	31 - 60	41 - 80	61 - 120
極高い	> 100	> 6,0	> 16	> 60	> 80	> 120

出所: BOLETIM TÉCNICO, 100, IAC, 1996 pg 9

(c) Ca (カルシウム)、Mg (マグネシウム)、S (イオウ)

分析値は、3クラスに分けて評価される (第145表)。CaH₂PO₄0,01mo/Lで抽出されるSは有効態である。Sは20~40cmの下層土に集積していることがある。

依145表 土壤分析値のCa²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻濃度の評価

濃度	*置換性 Ca ²⁺	置換性 Mg ²⁺	S-SO ₄ ²⁻ mg/dm ³
	mmolc/dm ³		
低い	0 - 3	0 - 4	0 - 4
中	4 - 7	5 - 8	5 - 10
高い	> 7	> 8	> 10

出所: BOLETIM TÉCNICO, 100, IAC, 1996 pg 11

注: *この数字が低いのでIACに問い合わせた (Bernardo van Raij氏 1997.4.8) ところ、各種の文献から、養分としてCa分はこれで充分あるのでこの数字でよい。ただ土壤の酸度矯正をすれば当然この数字は高くなる。なおCa/Mg比についても両養分が欠乏値でなければ、比数が、1/2から30/1まで作物の収量に悪影響を与えないという多くの文献がある。とのことであった。

(d) 微量要素

微量要素の評価は第146表に示すとおりである。大切なのは微量要素の抽出に何を使うかである。IACで実施された試験から、B (ホウ素) は熱水で、Ze (亜鉛)、Fe (鉄)、Cu (銅)、Mn (マンガン) は複合DTPA溶液で抽出する。

第146表 土壤中微量要素の濃度の評価

濃度	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	熱水	DTPA			
mg/dm ³					
低い	0-0,20	0-0,2	0-4	0-1,2	0-0,5
中	0,21-0,60	0,3-0,8	5-12	1,3-5,0	0,6-1,2
高い	> 0,60	> 0,8	> 12	> 5,0	> 1,2

出所: BOLETIM TÉCNICO, 100, IAC, 1996 pg 12

(e) 分析専門LAGRO社の土壤評価

サンパウロ州カンピーナス市のLAGRO社 (代表 Fernando José Hass) の土壤分析値の評価を示す。

第147表に土壤酸度の評価、第148表に大量要素の評価、第149表に微量要素の評価、第150表に塩基組成バランスの評価をそれぞれ示す。

第147表 土壤酸度の評価

酸度	pH	(H ₂ O)	酸度	pH	(CaCl ₂)
> 5,0	強酸性	fortemente acido	> 4,4	極高酸性	acidez muito alta
5,0-5,4	酸性	acido	4,4-5,0	高酸性	acidez alta
5,5-5,9	中酸性	medianamente acido	5,1-5,5	中酸性	acidez media
6,0-6,9	弱酸性	fracamente acido	5,6-6,0	低酸性	acidez baixa
7,0	中性	neutro	6,0	極低酸性	acidez muito baixa
> 7,0	アルカリ性	alcalino			

第148表 大量要素の評価

項目		単位	欠乏	低い	中	高い	極高い
有機物	M. Org.	M.O	%	< 1,4	1,4 - 2,1	2,2 - 2,6	> 2,6
リン	Fosforo	P	ppm	< 6,0	6,0 - 15,9	16,0 - 40,9	41,0 - 80,0
カリ	Potassio	K	meq	< 0,07	0,08 - 0,15	0,16 - 0,30	0,31 - 0,60
カルシウム	Calcio	Ca	/	< 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 5,0	> 5,0
マグネシウム	Magnesio	Mg	100ml	-	< 0,5	0,5 - 0,8	> 0,8
アルミニウム	Aluminio	Al	TFSA***	-	0,1 - 0,5	-	> 0,5
イオウ	Enxofre	S	ppm	< 5,0	5,0 - 10,9	11,0 - 15,0	> 15,0
塩基置換容量	*	CTC	meq	< 5,0	5,0 - 8,0	8,1 - 15,0	> 15,0
塩基飽和度	**	V	%	< 25	25 - 50,9	51 - 70,9	71 - 90

注: * Capacidade de troca de cations ** Saturação de bases *** 風乾細土

第149表 微量要素の評価

項目		単位	欠乏	低い	中	高い
鉄	Ferro	Fe	ppm	< 20	20 - 30,9	31 - 200
マンガン	Manganes	Mn	ppm	< 5	5 - 10,9	11 - 130
銅	Cobre	Cu	ppm	< 0,5	0,5 - 1,5	1,6 - 20
亜鉛	Zinco	Zn	ppm	< 1	1 - 3,9	4 - 40
ボロ	Boro	B	ppm	< 0,3	0,3 - 0,5	0,6 - 1

第150表 塩基組成バランス

項目	飽和度バランス			
	不均衡	低均衡	均衡	均衡以上
Ca %	< 40	40 - 59,9	60 - 65	> 65
Mg %	< 7	7 - 9,9	10 - 15	> 15
K %	< 3	3 - 4,9	5	> 5
H %	< 15	15 - 19,9	20 - 25	> 25
Al %	-	< 20	-	> 20
Na %	-	-	< 13,4	> 13,4

参考までに土壌分析値換算表は第151表に示すとおりである。

第151表 土壌分析値換算表

PO ₄ ⁻⁻⁻	1 meq/100g =	P ₂ O ₅	23,7	mg/100g =	P	10	mg/100g
	1 meq/100g =		237	ppm =		100	ppm
K ⁺	1 meq/100g =	K ₂ O	47,1	mg/100g =	K ⁺	39	mg/100g
	1 meq/100g =		471	ppm =		390	ppm
Ca ⁺⁺	1 meq/100g =	CaO	28,0	mg/100g =	Ca ⁺⁺	20	mg/100g
	1 meq/100g =		280	ppm =		200	ppm
Mg ⁺⁺	1 meq/100g =	MgO	20,2	mg/100g =	Mg ⁺⁺	12	mg/100g
	1 meq/100g =		202	ppm =		120	ppm
Na ⁺	1 meq/100g =	Na ⁺	229,0	ppm			
Al ⁺⁺⁺	1 meq/100g =	Al ⁺⁺⁺	90,0	ppm			
SO ₄	× 0,33 =	S					
C %	× 1,724 =	M.O (有機物) %					
CaO	× 1,79 =	CaCO ₃					
MgO	× 2,48 =	CaCO ₃					

7. 用語、略語の解説

1) 用語解説

(あ)

アルカリ分 (CaO 当量)

肥料中に含まれる CaO 含量、あるいは、CaO + MgO のアルカリ成分合計量を CaO 量に換算したもの。

アンモニア

N (チッソ) 1 と H (水素) 3 が結合したもので、 NH_3 とあらわす。有機物や尿素は土壤中で分解してアンモニアになり (アンモニア化)、畑土壌ではさらに硝酸へと変化する (硝酸化)。アンモニアは土壤に吸着されるので、雨水やかんが水による流亡は少ないが、硝酸になると、土壤に吸着されず、流亡しやすくなる。

(い)

EC (ミリモー)

電気伝導度の略号。土壤水分にとけている塩類イオン濃度の多少を示す数値で、この数値が大きいほどイオン濃度は高い。水田では EC が大きい程硝酸 N (チッソ) が多く、EC の大小によって N 成分の残存量が推定出来るが、海岸に近いところなどでは塩分の影響が大きく、EC と N 成分の多少、養分の豊否とは必ずしも一致しない。

(え)

塩基 (えんき)

Ca^{++} (カルシウム)、 Mg^{++} (マグネシウム)、 K^{+} (カリ) など、水にとかずと (+) プラスの電気をもったイオン (荷電イオン) を塩基という。塩基はマイナスの荷電イオンと結合し中性塩をつくる。たとえば、K (カリ) と H_2SO_4 (硫酸) の SO_4 が結合すると、硫酸カリ (K_2SO_4) という中性塩になる。

塩基置換容量 (えんきちかんようりょう)

(CEC=CATION EXCHANGE CAPACITY, CTC=CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS) 土壤はマイナス (-) の電気をおびており、プラス (+) の電気を持ったイオン (塩基) を吸着する力がある。この力をミリグラム当量 (meq = miliequivalente) という単位であらわしたものが塩基置換容量で、土壤の種類によって 5 meq 以下のものか 30 meq 以上のものまで、さまざまな数値を示す。この数値の大きい土壌ほど保肥力にすぐれている。陽イオン交換容量ともいう。

塩基バランス

土壤に含まれている主な塩基は Ca^{++} (カルシウム)、 Mg^{++} (マグネシウム)、 K^{+} (カリ) をなどである。Bear ら (1945) 年によれば、作物が最も良く生育すると考えられる塩基組成は、土壤の塩基飽和度に対し、Ca65%、Mg10%、K5% であるという。もっともこれら最適塩基組成は、作物の種類によって多少は異なるであろうが、土壤改良のおよその目標とすることができよう。

塩類 (えんるい)

酸と塩基の結合したものを塩 (えん) というが、さまざまな種類の塩を総称して塩類という。肥料成分も塩類であり、土壤中でも塩類として存在する。

塩類濃度障害 (えんるいのうどしょうがい)

土壤中の塩類が著しく多くなると、土壤水分にとけている塩類濃度が高まりすぎて、根の機能が害され、養分や水分を正常に吸収できなくなり、作物の生育障害をおこす。

(か)

化学的酸性、中性、アルカリ性

肥料を水にとかした時に、酸性を示すか、アルカリ性を示すかという性質を化学的反応という。この化学的反応が酸性か、中性か、アルカリ性かによって、それぞれ化学的酸性、中性、アルカリ性肥料と呼ばれる。肥料の配合の可否を決めるときに、この化学的反応は重要な要因となる。ただし、土壌への影響については、施肥後生理的反応があらわれるので、化学的反応とはちがった影響を及ぼす場合が多い。

可給態養分 (かきゅうたいようぶん)

土壌分析中の表において、K (カリ)、Ca (カルシウム)、Mg (マグネシウム) などは、いわゆる置換性のものを測っているが、その方法で得られるのは正確には (水溶性+置換性) のイオンである。ただ露地の土壌では水溶性のものがきわめて少ないので、単に置換性という。置換性のイオンは水溶性同様に作物によく利用されると考えられている。P₀₁ (有効リン酸) については可溶性養分というべきものである。つまり作物の根は土壌中で水に溶けている各種の養分を吸収しているが、この他に作物体は根から有機酸を出して土壌中に含まれている養分の一部を溶解させて吸収、利用している。これらを水溶性、酸可溶性あるいは一括して可溶性養分と称しており、これ以外のものを不溶性養分とって当分は作物に利用されない化合物をさしている。酸可溶の場合用いられる酸は研究者によって若干異なるが、これら酸に溶け出してきたものはいずれも作物が吸収利用できるであろうと思われるものである。このように作物に吸収利用されるものを可給態あるいは有効態とっている。

緩衝能 (かんしょうのう)

土壌に石灰岩粉末を施用して酸性をなおそうとすると、少量の石灰ですぐに中性になる土壌もあれば、多量の石灰岩粉末を施用してもなかなか中性にならない土壌もある。これは土壌が変化に抵抗しようとする力、すなわち緩衝能の大小によるものである。多量施肥による濃度障害も、緩衝能の大きい土ほどあらわれにくい。有機物や良質の粘土に富む土は緩衝能が大きく、有機質の乏しい砂質土は緩衝能が小さい。

(き)

拮抗作用 (きっこうさよう)

2種類の成分が、互いに作物への吸収を妨げあう作用。K (カリ) と Mg (マグネシウム) はその典型的な例。

キレート作用

金属原子が、他の2つ以上の原子にハサミ (ギリシャ語でキレート) ではさまれるように結合し、安定化する作用。土壌への有機物施用がリン酸固定を防ぎ有効性を増すのは、有機物からできる腐植酸が Fe (鉄)、Al (アルミニウム) をキレート作用で結合してしまう作用であるといわれている。

(く)

く溶性成分

肥料中の K₂O (カリ)、MgO (マグネシウム)、B (ホウ素)、Mn (マンガン)、P₂O₅ (リン酸) 成分のうち、2%クエン酸にとけるもの。作物は吸収できるが、水溶性や可溶性の成分に比べて緩効的 (ゆっくり) で、B、Mn の場合は過剰害をおこしにくい利点がある。

(こ)

肥焼け

肥料が直接根にふれるためにおこる地上部の枯れ上がりや萎縮現象。

(し)

硝酸化成作用

土壌のアンモニアが、亜硝酸菌によって亜硝酸菌に変わり、さらに硝酸菌によって硝酸に変る作用。硝酸は土壌に吸着されにくく、Nの流亡の原因になる。

(せ)

生理的

作物体内での反応をいう。

生理的酸性、中性、アルカリ性肥料

化学的中性肥料であるが、作物に肥料成分が吸収されたあとに、硫酸根や塩素など、酸性の副成分を残す肥料は、土壌を酸性化するので、生理的酸性肥料と呼ばれる。硫安、塩安、硫加、塩加などがこれに相当する。尿素や NH_4NO_3 (硝安)、MAP、DAP (リン安)などは、作物に吸収されたあとに酸を残さないので、生理的中性肥料と呼び、チリ硝石などは作物に硝酸が吸収されたあとに、土をアルカリ性にする塩基Na (ナトリウム)を残すので、生理的アルカリ性肥料と呼ばれる。

贅沢 (ぜいたく) 吸収

土壌に多量に養分が存在すると、植物は必要以上に吸収する傾向がある。特にNとKはこの傾向が強く、この両成分の必要以上の吸収をぜいたく吸収という。Nのぜいたく吸収は作物の徒長、病虫害多発を招き、Kのぜいたく吸収は、Mgの吸収障害をおこしやすい。

(た)

炭素率 (C/N比)

有機物のC (炭素) とN (チツソ) の含有比。この炭素率が20以上の有機物は、相対的にNが少ないため、有機物を分解する微生物と作物の根との間でNの奪い合いがおこり、作物はN不足におちいる。炭素率が10~15の有機物は、分解にともなってすこしずつNを放出するので、ゆるやかなN肥効を示し、炭素率10以下の有機物は、相対的にNが多いため、分解にともなって多量のNを放出し、高いN肥効を示す。生ワラやオガクズは炭素率が著しく高いので、そのまま施用すると、一時的にはげしいN不足 (チツソ飢餓) 状態をひきおこす。このN不足状態から回復するのに、生ワラで2か月以上、オガクズでは1年以上の期間を要する。

(ま)

待肥 (まちひ)

生育がすすむとともに、将来根が伸びてくる位置 (追肥のできない深層) に、あらかじめ元肥として肥料を置いておく方法。果菜類などで良くおこなわれている。根が伸びてくるまでの間に肥料が土によくなじみ、肥焼けをおこすこともない。

(む)

無機化 (Mineralização)

有機物中に含まれるタンパク質などの有機チツソ化合物が、土壌微生物の働きで分解され、無機態チツソ化合物の、 NH_4 (アンモニア)、 NO_3 (硝酸) を生成すること。

(ゆ)

有効態成分

作物が吸収利用できる形の成分。可溶態養分ともいう。

有効リン酸

土壌中に存在する有効態のリン酸。トルオーグ法、ブレイ法などいろいろな測定方法がある。

(よ)

溶脱 (ようだつ)

土壤中各種養分が、雨水やかんがい水の浸透とともに下層へ逃げる現象。土壤の酸性化や老朽化の原因となる。流亡(りゅうぼう)と同じ。

(り)

リン酸一アンモニア (MAP)

MAP : $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (N-11%、 P_2O_5 -48%)

リン酸二アンモニア (DAP)

DAP : $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ (N-18%、 P_2O_5 -46%)

リン酸吸収係数

100gの乾土が固定する P_2O_5 (リン酸)の量をmgであらわした数値。土壤の数値によって、砂土のように500ぐらいのものから、火山灰土のように2,000以上のものまで、数値に開きがある。この数値の大きい土壤ほど施肥リン酸の効果が低いので、リン酸の多施用が必要である。

リン酸固定

土壤に、リン酸一石灰(過リン酸石灰)などの水溶性のリン酸(P_2O_5)を加えると、土壤中のFe(鉄)Al(アルミニウム)と結合して、リン酸鉄、リン酸アルミニウムの沈殿ができる。この反応は、pH 5以下の弱酸性ないし強酸性で著しい。Fe(鉄)やAl(アルミニウム)と結合して、沈殿したリン酸は植物に吸収されない。

2) 略語解説

A	Solos Aluviais 沖積土
ABCAR	Associação Brasileira de Crédito e Assistência Rural ブラジル農業融資援助協会
ACAR	Associação de Crédito e Assistência Rural 農業融資援助協会
AQ	Areias Quartzosas 石英砂土
BV	Brunizem Avermelhada 帯赤色ブルニゼム
C	Cambissolo カンビソル
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical 熱帯農業国際センター
CPAC	Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados セラード農牧研究センター
DMS	Diferença Mínima Significativa 最小有意差
DTPR-TEA	Acido Dietileno Triamino Penta-Acetido-Trietanolamino 酸性ジエチル・トリアミノ・ペンターアセチック・トリエタノールアミン
ECC	Equivalente em Carbonato de Calcio 炭酸カルシウム等量

EF	Eficiência de uso de água 水利用効率
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária ブラジル農牧研究公社
EMBRATER	Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural ブラジル農業技術援助普及公社
ER	Eficiência Relativa 相対効率 (粒子の大きさによる石灰岩の反応効率)
ET	Evapotranspiração 蒸発散
EUF	Eletro Ultrafiltração 電気限外ろ過
EqST	Equivalente Supertriplo 三重過石等量
HAQ	Areias Quartzosas Hidromórficas 水成石英砂土
HG	Gley Húmico 腐植質グライ
HGP	Gley Pouco Húmico 小腐植質グライ
HL	Lateritas Hidromórficas 湿性ラテライト
HO	Solos Orgânicos 有機質土
IAF	Índice de Área Foliar 葉面積指数
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ブラジル地理統計院
IEA	Índice de Eficiência Agronômica 農業効率指数
IICA	Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura 米州農業協力研究所
ISS	Índice de Susceptibilidade a Seca 干ばつに対する感受性指数
IA	Latossolo Amarelo 黄色ラトソル
LE	Latossolo Vermelho-Escuro 暗赤色ラトソル
LR	Latossolo Roxo 赤紫色ラトソル
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo 赤黄色ラトソル

MO	Matéria Orgânica 有機物
MS	Matéria Seca 乾物
NC	Necessidade de Calagem 石灰の必要量
NR	Nível de Rendimento 収量水準
P	Solo Podzólico ポドソル
PAD-AP-MG	Projeto de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba, M.G. ミナス・ジェライス州パラナイーバ上流入植者定着計画
PAD-DF	(COOPA-DF) Cooperativa Agropecuária da Região do DF, Ltda. 連邦区地域農業協同組合
PE	Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico 富養分赤黄色ポドソル
PERGEB	Programa Especial para a Região Geoeconômica de Brasília ブラジリア経済地域のための特別計画
PLS	Planossolo プラノソル
PMA	Fenil Mercúrio Acetato フェニール酢酸水銀
PNP	Programa Nacional de Pesquisa Agropecuária 農牧研究国家課題
POLOCENTRO	Programa de Desenvolvimento dos Cerrados セラード開発計画
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total 全中和相対力 (石灰質資材の)
PROFIR	Programa de Financiamento de Áreas Irrigáveis かんがい地域融資計画
PROVARZEAS	Programa de Várzeas バルゼア計画
PTK	Poder Tampão de Potássio do solo 土壌のカリ保持力
PV	Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico 貧養分赤黄色ポドソル
R	Solos Litólicos リトソル
RE	Regosol レゴソル
S	Soma de Bases 塩基の総和

SC	Solos Concrecionários 結核質土壌
SNLCS	Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos 国立土壌調査保全局
SS	Superfosfato Simples 単純過リン酸石灰
ST	Superfosfato Triplp 三重過リン酸石灰
SUPLAN	Subsecretária de Planejamento e Orçamento 農林省企画・予算編成部門
TR	Terra Roxa Estruturada 構造テラ・ロシヤ (玄武岩由来)
TS	Terra Roxa Estruturada Similar 構造テラ・ロシヤ類似 (石灰岩由来)
UR	Umidade Relativa do ar (%) 空気の相対湿度 (%)
V	Saturação de bases 塩基飽和度
d	Distrófico 貧養分
e	eutrófico 富養分
h	húmico 腐植質

8. 文 献

1	Manual de Adubação Foliar	P.N. CAMARGO et al	1975
2	Tabelas de Conversão de Fertilizantes	J.P.Leite	1977
3	Elementos de Nutrição Mineral de Plantas	E.Malavolta	1980
4	Manejo Ecológico do Solo	Ana Primavesi	1981
5	Manual de Química Agrícola Adubos e Adubação	E.Malavolta	1981
6	Manual de Morfologia e Classificação de Solo	Lucio S.Vieira et al	1983
7	Adubação Verde no Brasil	Fundação Cargill	1984
8	Solo dos Cerrdos EMBRAPA	W.J.Goedert	1985
9	A Soja no Brasil Central 3ª Edição	Fundação Cargill	1986
10	Amazônia-Seus Solos e Outros Recursos Naturais	L.S.Vieira et al	1987
11	Plantas Doentes pelo Uso de Agrotóxicos(A Teoria da Trofobiose)	FRANCIS CHABOUSSOU	1987
12	MANUAL de Calagem e Adubação das Principis Culturas	E.Malavolta	1987
13	Compêndio de Defencivos Agrícola 2ª Edição	L.F.Monteiro	1987
14	Manual da Ciência do Solo	L.S.Vieira	1988
15	Acidez do Solo e Calagem Boletim Técnico No.1	Anda	1988
16	O Agrônômico, Campinas SP.40 (1)	IAC	1988
17	ABC DA ADUBAÇÃO	E.MALAVOLTA	1988
18	Interpretação de Análise Química de Solo e Planta para Fins de Adubação	Agronomia Botucatu	1989
19	Manual de Fertilidade do Solo	Potafos	1989
20	Avaliação do Estado Nutricional das Plantas	E.MALAVOLTA(Potafps)	1989
21	Solos Tropicais e Aspectos Fisiológicos das Culturas(EMBRAPA)	NANDO KUMAR FAGERIA	1989
22	Agricultura Natural da MOA	MIYASAKA et al	1989
23	Manejo Ecológico de Pragas e Doenças	Ana Primavesi	1990
24	16º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras	IBC	1990
25	Fertilidade do Solo e Adubação	Bernardo Van Raij	1991
26	Micronutrientes na Agricultura	Potafos-CNPq	1991
27	Calagem e Adubação	Flora Osaki	1991
28	Encontro sobre Matéria Orgânica do Solo (problema e Solução)	Guerrini - UNESP	1992
29	Manejo Ecológico de Pastagem	Ana Primavesi	1992
30	Classes Gerais de Solos do Brasil	J.B. de Oliveira et al	1992
31	ABC da Análise de Solos e Folhas	E.MALAVOLTA	1992
32	2º Seminário sobre o uso do gesso na agricultura	IBRAFOS	1992
33	Nutrição e Adubação de Holtaliças	Potafos	1993
34	Manual de classificação de Solos do Brasil	H.D. Prado	1993
35	Fertilizantes Organominerais	E.J. Kiehl	1993
36	Nutrição Mineral e Adubabão do Cafeeiro	E.Malavolta	1993
37	Fertilizantes Orgânicos	E.J. Kiehl	1993
38	Fertilizantes e Seu Impacto Ambiental	E.Malavolta	1994
39	Holticultura brasileira 13(2) nov/95	SOB	1995
40	Boletim Técnico 100 2ª Edição	IAC	1996

文 献

1	ライオン・バックマン土壌学	三井進午ら訳	1950
2	熱帯農業	熱帯農業研究会	1958
3	土壌検定と肥料試験	烏云松	1958
4	植物概論	湯浅明	1958
5	果樹の栄養生理	小林章	1958
6	土壌と植生	青木茂一	1958
7	新栽培作物の理論体系	大井上康	1959
8	肥料と施肥の新技術	農林省肥料課監修	1959
9	農林地質学	佐伯秀章	1959
10	牧草講座 1・2	三井計夫、西山太平	1960
11	土壌学の基礎と応用	山根一郎	1960
12	肥料学概論	奥田東	1960
13	蔬菜の肥培	山崎青哉	1960
14	図説・土の科学	烏居松	1961
15	土壌肥料全編	農林省振興局研究部監修	1962
16	地学入門	井尻正二、新堀友行編著	1963
17	作物病害図説	北島博、梶原敏宏共著	1963
18	畑地かんがい	山崎不二夫・長谷川新一編	1964
19	植物病理学総論	平井篤造	1966
20	野菜の栄養診断と施肥	前田正雄	1966
21	ブラジルの日系農家	佳山良正編 兵庫農科大学	1967
22	野菜の栄養生理と施肥技術	杉山直儀編著	1968
23	水稻の栄養生理	石塚嘉明・田中明	1969
24	蔬菜総論	杉山直儀	1969
25	植物生理学大要	田口亮平	1970
26	土壌と肥料	竹中商会	1973
27	植物栄養学大要	熊沢喜久雄	1974
28	野菜の生育診断	加藤徹	1975
29	新植物生殖生理学	加藤幸雄・志佐誠	1975
30	温室ビニールハウス園芸ハンドブック	横木清太郎・神谷員一	1975
31	解明化学	渡辺慶一	1975
32	作物の要素欠乏・過剰症	前田正男編	1977
33	土の微生物	土壌微生物研究会編	1981
34	薬用植物栽培全科	藤田早苗之助	1981
35	植物の生命と微量元素 (M. Ja シュコーリニク著)	藤原彰夫監修・原田竹治訳	1982
36	作物栄養の基礎知識	高橋英一	1982
37	施肥の基礎と応用	長谷川奎治	1982
38	土壌分析値の見方	岸本晟 (国際協力事業団)	1983
39	土づくりと施肥の手引き	兵庫県農林水産部	1983
40	ブラジル農業ハンドブックー蔬菜雑作編ー	国際協力事業団	1984

41	酸性土壌とその農業利用	田中明編	1984
42	光と植物生育	稲田勝美編著	1984
43	みどりの大地	トメアスー開拓50周年祭典委員会	1985
44	セラード農業の発展を考える	尾形保 (アグロナッセンテ)	1985
45	わかりやすいバイオテクノロジー	三位正幸ほか著	1985
46	土を知る	中嶋常	1985
47	野菜の要素欠乏と過剰症	渡辺和彦監修	1986
48	施肥の理論と応用 C. W. COOKE 著	山田芳雄訳	1986
49	ブラジル農業ハンドブックー果樹編ー	国際協力事業団	1987
50	農業技術体系	農文協	1987
51	土といのち	中嶋常	1987
52	沈黙の春 レイチェルカーソン著	青樹築一訳	1987
53	地域農業技術ハンドブック	兵庫県農林水産部	1988
54	セラードの土壌 Wenceslau J. Goedert 編	国際協力事業団	1989
55	天然の食卓をつくる本	高木亜由子	1990
56	切り花・鉢物	化学工業日報社	1990
57	土壌診断法	三好洋	1991
58	酸性土壌と作物生育	橋本武	1992
59	土壌微生物の基礎知識	西尾道徳	1992
60	はじめに土ありき	中嶋常	1992
61	私の環境貢献	吉田昭彦	1993
62	新実用ビタミン栄養学 (James Scala 著)	荒川信彦・大塚恵監訳	1995

JICA