

No.	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	-	0,1	96	10	0,6	2,5	0,3	I.	84.6.4	C. Inera DF	Masakazu Takahashi

注) 土壌型 Lvd2 Latossolos

2) バレイショ生産地

No. 1はトウモロコシ作の跡地である。ここにアジャッテ種を乾期に栽培して、灌水が3日に1回で少し不足であったが、1ha当たり37tの収量であった。

No. 2の土地は、低地の泥炭地で、首都のブラジリアに野菜を供給する目的で創設された野菜生産団地であり、25年以上の野菜連作地である。2年おきにバレイショを栽培してきた。

乾期にアジャッテ種を栽培、毎日灌水し、その後水を控えて、1ha当たり69tを収穫した。土壌酸度は微酸性であったが、収穫されたイモにはソウカ病は無かった。Pが極めて高く、Caも高い。バレイショの多収穫にはCaは重要である。

第129表 生産畑

No	深 さ (cm)	p H		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC	V %
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	II		
1	0-20	4,8	-	3,6	-	50,0	0,28	1,1	0,3	0,1	5,7	7,5	23,1
2	0-20	6,5	-	6,5	-	411,0	0,60	10,5	0,9	0,0	2,5	14,5	83,0

No.	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	12,7	-	82	44	3,0	1,0	1,2	UF.	91. 12. 20	L. Bulhões GO	Yoshinori Ogata
2	36,3	-	59	39	6,0	30,0	0,6	UF.	91. 8. 26	C. Inera	Sumita

注) 土壌型 No. 1 Lvd2 Latossolos No. 2

トマト (Tomate)

サンパウロ州

1) トマト尻腐果発生土壌

トマト栽培農家の死活問題である尻腐果多発畑の土壌分析値は、第130表に示すとおりである。

これら4土壌の塩基置換容量は異なっており必ずしも比較できないが、ともかく尻腐果が発生した土壌で一つの傾向が見られる。即ちいずれもCa (カルシウム) 含量は、1,27 ~ 2,29 meq/100g と低く、土壌酸度はpH 3,90 ~ 5,12 と強酸性である。トマト植付けの予定地を分析して、このようなCaの分析値が出れば石灰施用を十分行わないと、まず尻腐果が出ると考えられる。品種としては、Migel Pereira種、Ozawa 2種は、尻腐果の発生しやすい品種であり、Kada種とAngela種は、尻腐果発生の出にくい品種であるが、それでも多発している。特にNo. 4のカップン・ポニート地方のOzawa 2種は着色の良い品種にもかかわらず、Mg (マグネシウム) 欠乏、あるいは他の微量要素の欠乏によるものか、成熟しても果実は赤くならず黄色になった。

第130表 トマト・サンタクルース種の尻腐果多発畑

No.	pH KCl	Mo %	meq/100g				リン酸 吸収係数	石 灰 必要量	備 考 (年月、場所、品種名、尻腐果発生程度)
			PO ₄ ⁻⁻⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺			
1	5,12	1,81	0,04	0,35	2,29	1,23	400	1,8	1972.8 Sao José do Pardo SP Kada種 10% M. Pereira種 95%
2	4,30	5,24	0,06	0,23	2,18	1,16	1120	12,4	1973.1 Apiaí SP Kada種 尻腐果多発
3	3,9	5,92	0,14	0,20	1,27	0,26	660	9,6	1975.4 Apiaí SP Angela種 50% 以上発生

No.	pH KCl	Mo %	meq/100g				リン酸 吸収係数	石 灰 必要量	備 考 (年月、場所、品種名、尻腐果発生程度)
			PO ₄ ³⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
4	4,12	4,48	0,05	0,06	1,27	0,18	740	9,3	1975.4 Capão Bonito. SP Ozawa 2種 尻腐果多発

注) 1) 分析所: CAC-OC

2) 石灰必要量(Calagem): ton/ha/15cm, pHを6,5~6,8にする為の石灰量

3) リン酸吸収係数(Fix. P₂O₅): 土 100lgr が吸収したリン酸のmg数

4) 以下この注は同じ故省略する。

2) トマトのMg (マグネシウム) 欠乏症発生土壌

生育中期のトマト・カダ種で葉が内側に巻き、また下葉の葉脈の間が黄色くなり、Mg (マグネシウム) 欠乏症と思われるので土壌分析を行なった結果は、第131表に示すとおりである。強酸性土壌で極めてMg含量が低い。

第131表 トマトのMg (マグネシウム) 欠乏症発生土壌

No.	pH KCl	Mo %	meq/100g				リン酸 吸収係数	石 灰 必要量	備 考 (年月、場所、品種名)
			PO ₄ ³⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
1	3,92	7,40	0,20	0,25	0,99	0,17	620	8,6	1973.1 Apiaí SP Kada 種

注) 1) Mg (マグネシウム) 欠乏土壌は、Mg 0,5meq/100g (MgO 10mg/100g) 以下である。

ただし、K(カリ) が異常に多ければMgがもっと高くても欠乏症が発生する。

3) トマトの生育健全土壌 (1973年)

トマト栽培視察中に出合った生育の良い、健全なトマト畑の土壌分析値は、第132表に示すとおりである。

アピアイ地方とリベイロン・ブランコ地方は、聖南西の海岸山脈の山岳地帯であり、サンパウロ市からは316kmの地点にある。一方タンパウ地方は聖北西の波状地の地形でサンパウロ市からは、261kmの地点にある。アピアイ地方とタンパウ地方間の距離は500km以上ありながらトマトの生育は同様に良かった。土壌の化学的性質はほぼ似ている。

第132表 トマト生育健全土壌

No.	pH KCl	Mo %	meq/100g				リン酸 吸収係数	石 灰 必要量	備 考 (年月、場所、品種名)
			PO ₄ ³⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
1	5,31	4,54	0,13	0,52	8,41	2,88	780	5,9	1973.1 Apiaí SP 品種名不明
2	5,27	3,18	0,28	0,28	6,46	1,15	700	5,1	1973.1 Ribeirão Branco SP Kada 種
3	5,12	2,76	0,12	0,55	6,71	1,43	760	8,4	1973.4 Tambau SP 品種名不明 (テラロシア土壌)

注) 1) 第130表参照

4) アピアイ地方のトマト生育健全土壌 (1992年)

アピアイ地方でサンタ・クララ種のトマト生育健全土壌の分析値は、第133表に示すとおりである。S (イオウ) を除く大量、微量要素共に豊富に含有している。特に石灰施用しなくともトマトの生育が良好なのが観察された。この土地は赤味の強い暗紫色をしており、トマトは30度以上の傾斜面に植えられている。土壌は玄武岩 (Basalto) を母岩とし肥沃性を有しており、アピアイ地方にはこのタイプの土壌が点在している。

第133表 アピアイ地方のトマト生育健全土壌

No	深 さ (cm)	p H		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC	V %
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H		
1	0-20	5,7	-	3,6	-	16,0	0,22	7,0	2,5	-	3,4	13,1	74,0
2	0-20	5,0	-	4,2	-	11,0	0,28	5,1	1,4	-	5,8	12,6	54,0

No.	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	4,0	-	139	515	8,0	19,0	0,6	UF.	92. 11. 27	Apiai SP	Donizeti B. Barbosa
2	4,0	-	92	402	16,0	10,0	0,6	UF.	92. 12. 1	Apiai SP	Enio A. Copeti

注) 土壌型 Tre3 Terra Roxas Estruturadas

5) トマト病害と微量要素施用

(1) 発生状況

パライーナ地方は、サン・ジョゼー・ドス・カンポス市とカラグアトゥーバ市の中間に位置し、サンパウロ市から東方129kmの海岸山脈中の山岳地帯で標高635mである。この山岳地帯でトマトは、15度程度の傾斜面に栽培されている。

トマトには各種の病害があるが、当地は気温の変化が大きく、夏季冷涼地であるが高温にもなり、トマト病害のエキ病、輪紋病の発生が多い。

(2) 分析診断

土壌分析値の第134表によると、酸性土壌でCa含量は低く、Cu、Zn、B等の微量要素欠乏土壌である。微量要素は生体反応を促進する酵素の働きを助ける作用があり、微量要素が欠乏すれば、トマトの生理活性度と免疫力は低下し、病気に対する抵抗力は減少し、気温の少しの変化にも耐えずにトマトは病害に罹ることになる。

(3) 対策方法

土壌にはドロマイト (Calcário Dolomítico) を1ha当たり4,5t施用し、N-P₂O₅-K₂O (316-613-481kg/ha) を元肥、追肥の合計として施用した。1haに12,500株(2本植/株)を定植した。その内の5,000株に微量要素を施用し、対照区の7,500株には微量要素を施用しなかった。微量要素として、1ha当たりZn 7,8kg、B 2,9kg、Cu 0,9kgをそれぞれSulfato de Zinco、Ulexita、Sulfato de Cobreの形態で、土壌改良剤リブミンを5,000株当たり500kgと混合して施用した。微量要素区には100lの水にMolibdato de Sódioを100gr溶かして、定植20日後に葉面散布した。

使用品種はサンタ・クルースのSanta Clara種である。1993年1月20日に紙鉢に播種、2月10日に定植した。

(4) 結果

耕作者からトマトに病害が発生したと報告があり、3月25日にトマト畑を視察した。トマトは3段目の開花始めで、第一段果房はピンポン大であった。視察、調査したところ微量要素無施用の対照区7,500株のトマトは下葉二枚に輪紋病 (*Alternaria solani*) の発病が見られ、新葉部にエキ病 (*Phytophthora infestans*) の被害が認められた。隣接した微量要素施用区では草丈と生育は、対照区に比べ10~20%高いのが観察され、病害発生の徴候は殆ど認められなかった。この一週間後激しい降雹があり、収穫は皆無に近い状態になった。4月26日視察したところ、微量要素施用区は対照区に比べ生育の旺盛さは続いていた。

(5) 留意点

微量要素の肥料としては、吸湿性の高い製品や製品の濃度の高低等を良く確かめて、出来れば堆肥やその他の有機物肥料と混合して土壌施用するのが望ましい。

第134表 トマト病害と微量要素施用

No	深さ (cm)	pH		NO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC	V %
		CaCl ₂	H ₂ O		mei	res	K	Ca	Mg	Al	II		
1	0-20	4,7	5,3	3,1	3,0	6,0	0,16	2,3	1,2	0,4	4,3	8,4	43,7

No.	ppm							分析所	分析日	場所	耕作者
	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	25,2	5,1	201	15	0,4	2,3	0,19	I.	92.12.4	Paraibuna SP	Mario S.V.Freitas

注) 土壌型 分析所: I = ICASA

6) トマトの生育障害と葉分析

(1) 発生状況

イタペーバ地方は、サンパウロ市南西318kmに位置する、農牧、植林業地帯である。農業としてはトウモロコシ、インゲンマメ、バレイショ、トマト、加工用イチゴ栽培がある。ここで述べるトマトは、ハウス栽培のトマトで5月15日播種し、20日苗を定植後37日が経過した。使用品種はSanta Clara 5300種で、ハウス畑は低位泥炭地である。三段果房まで順調に生育し、1mの草丈になって四段目開花始めの上葉は薄く、軟く、萎縮し、葉色は薄くなり、葉脈間は黄色化し、葉の周囲は焼けた症状になり、着果数が少なくなってきた。この時点(1993.7.12)でイタペーバ市の農業普及所のElio Plens 技師より相談を受けた。その生育障害葉の分析値は、第135表に示すとおりである。

(2) 分析診断

トマト葉分析値の評価の第136表によると、第135表に示されるトマト葉では、葉内Ca含量の低いことが診断される。Ca(カルシウム)は移動性のわるい要素であるから、吸収量が少ないと葉の先端に近いところが黄白色となって伸びが止まり、しだいに褐色になって周辺部が枯死する。

(3) 対策方法

土壌には消石灰を一株当たり100gr土中に施用、灌水する。100 lの水に生理活性剤(Aminon-25)100mlを加用し、生石灰(Calvirgem)100gr、ホウ酸100grを加え良く攪拌して3日間隔で二回連続葉面散布しその後は、7日間隔で同じものを継続散布するよう連絡した。

(4) 結果

消石灰の土壌施用、生石灰の葉面散布後、一週間後の新葉は正常し始めた。果実の着果状態も正常化し、葉は厚く、硬くなり、病害抵抗性を強くした。その後トマトは完全に正常化されたと報告をうけた。そこで7月26日視察、調査したところ生理障害葉の上部の葉は正常に生育をしており、着果も正常であるのが確認された。その後収穫は3ヵ月間に及んだ。

(5) 留意点

葉分析値では、B(ホウ素)欠乏ではないが、B(ホウ素)はCa(カルシウム)の吸収と移動を助けるので、生石灰とホウ酸を混用した。アミノ酸系生理活性剤の加用はキレート作用と光合成促進効果を期待して加用した。酸性土壌ではMo(モリブデン)欠乏が起こる可能性が高いので、生育中に一度100 lの水にMolibdato de Sódioを100gr加用して葉面散布するのを勧める。

第135表 トマト Ca(カルシウム)不足葉

%						ppm								
N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Mn	Fe	Cu	Al	Na	Co	Mo
3,76	0,32	4,25	2,15	0,95	0,56	195,6	47,6	135,0	115,0	28,5	125,0	255,0	77,5	2,41

注) 分析所: IBRA 分析日: 1993.7.10 場所: Itapeva SP 耕作者: Aroudo Chubek

第136表 トマト葉分析値の評価

評価	%					
	N	P	K	Ca	Mg	S
低い	< 3,00	< 0,20	< 2,00	< 2,00	< 0,20	< 0,10
中位	3,00 ~ 3,90	0,20 ~ 0,39	2,00 ~ 2,90	2,00 ~ 2,90	0,20 ~ 0,39	0,10 ~ 0,19
適正值	4,00 ~ 6,00	0,40 ~ 0,80	3,00 ~ 5,00	3,00 ~ 4,00	0,40 ~ 0,90	0,20 ~ 0,25

評価	ppm								
	B	Zn	Mn	Fe	Cu	Al	Na	Co	Mo
低い	< 15	< 15	< 30	< 60	< 5	-	-	-	< 0,30
中位	15 ~ 29	15 ~ 29	30 ~ 49	60 ~ 99	5 ~ 7	-	-	-	0,30 ~ 0,50
適正值	30 ~ 100	30 ~ 100	50 ~ 100	100 ~ 300	8 ~ 15	-	-	-	0,60 ~ 1,00

注) ABC da Análise de Solos Folhas 1992 E. MALAVOLTA による。

7) 各種要素不足土壤

(1) 発生状況

耕作者は、以前いたコンシヤル地方と同じ肥培管理法でトマト栽培をしてきたが、茎葉は病害に罹病しやすく、果実は着色不良で、光沢なく低品質であり、従って低収量でもあり、営農を続けることが困難な状況になってきた。

(2) 分析診断

地形は極めて緩やかな波状地でトマト耕作作業の容易な土地である。土壤分析値は、第137表に示すとおりである。砂質土で、有機物、塩基含量が少なく、酸性土壤で、CECが低く、S (イオウ)、Fe (鉄)、Cu (銅)、Zn (亜鉛) が低い。多量、微量両要素が不足しており慣行施肥量では不十分である。疾病的要素不足土壤であると診断した。

(3) 対策方法

酸性土壤改良と塩基補給のために、1ha当たり苦土石灰 (Calcário Dolomítico) 3tと消石灰2tを施用した。1ha当たり $N-P_2O_5-K_2O$ (360-320-480kg) を元肥と追肥の合計とした。この他に、1ha当たり、熔リンBZ 1.250kg、硫酸マグネシウム (Sulfato de Magnésio) 125kg施用、そして微量元素として、成分でZn 7,2kg、B 2,2kg、Cu 1,25kg、Fe 21,2kg、施用形態としてはSilicato de Zinco、Borax、Sulfato de Cobre、Sulfato de Ferroso等を、土壤改良剤リブミン 1.250kgと元肥と混合施用した。定植後30日目に、モリブデン酸ソーダー 1ha当たり 500grを500 lの水に溶かし葉面散布した。生理活性剤 (Aminon-25) 0,1%を農薬と混合散布した。

使用品種名はサンタ・クルース・Angela5100種。播種日 1990.5.30、定植日 1990.6.29。栽培時期は低温期、乾期である。1ha当たり 12.500株 (1株2本植) であった。昨年の1.000株当たり収量は200箱 (1ha当たり 55t、1箱=22kg) に対し、今回の目標収量は、1.000株当たり 250箱 (1ha当たり 69t) に設定した。今作は2ha合計 25.000株、栽培した。

(4) 結果

トマトの茎は太くならず、葉は余り大きくならず、葉の病害は少なく、農薬の経費は例年の30%ぐらいになった。果実は大きくなり、固く、色艶も良かったので市場では高値で取引された。

収穫始め 1990.9.30、収穫終 1990.11.30であった。収穫量は1.000株当たり、市場用 240箱、加工用 68箱、計 308箱で、1ha当たり 84,7tの収穫量であった。

(5) 留意点

石灰肥料、微量元素の十分な施用は基本的なものである。有機物含量が低いので堆肥の施用、緑肥の導入が必要である。乾期作トマトであるので鶏糞の利用や砂地でもあるので敷草も土壤湿度を保つのに役立つので勧められる。

第137表 各種要素不足土壌

No	深 さ (cm)	p H		MO %	P ppm		mcq/ 100ml					CEC	V %
		CaCl ₂	H ₂ O		me	res	K	Ca	Mg	Al	H		
1	0-20	5,1	5,7	1,2	25,5	-	0,08	1,3	0,4	-	2,5	4,3	41,5

No.	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	5,5	2,0	9	18	0,7	2,8	0,3	L.	89.4.18	Casa Branca SP	Fumio Nirome

注) 土壌型

8) Al (アルミニウム) 含量の高い土壌

(1) 発生状況

グアピアラ地方 (標高 900m) はパラナビアカーバ海岸山脈中にあり、サンパウロ市から南西へ 256km 地点にある。夏季の涼しさを利用して、8月～11月に播種、12月～6月に収穫され、年間 1,000ha が栽培されるサンパウロ州の重要なトマト生産地帯である。トマト栽培は土壌病害回避の面から、森林である新地を開いて栽培してきたが、環境保護の立場から森林伐採は厳しく取り締まられており、土壌条件が悪くても栽培せざるを得ないのが実情である。この土地は周囲を山に囲まれた低地に広がった低位泥炭土壌である。Al (アルミニウム) は根の伸長を阻害し、酸度も強くてトマト栽培には不適当な土壌である。

(2) 分析診断

この土地の分析値は、第138表に示すとおりである。極めて Al (アルミニウム) 含量が高く、強酸性土壌で、塩基含量も低く、S (イオウ)、Mn (マンガン)、Zn (亜鉛) 含量が低い。特異的に B (ホウ素) 含量が高い。

Al (アルミニウム) の害作用である根の伸長阻害は 0,5meq/100ml (45ppm) で起こるとされており、この土壌はその10倍の数値である。従ってこの土壌でのトマト栽培は、Al (アルミニウム) の害をどう克服するかが重要点になる。

(3) 対策方法

Al (アルミニウム) 害の無害化、酸性土壌改良、塩基補給のために、ドロマイト (Calcário Dolomítico) 8t/ha と消石灰 2t/ha を施用した。1ha 当たり N-P₂O₅-K₂O (288-585-440kg/ha) を元肥と追肥の合計とした。この他に 1ha 当たり硫酸苦土肥料 (硫マグ = Sulfato de Magnésio) 225kg 施用、そして微量元素として、成分で Mn 7,8kg、Zn 7,8kg をそれぞれ、Sulfato de Manganés, Sulfato de Zinco の形態でリブミン 1,050kg と混合施用した。モリブデン酸ソーダを定植後 30 日目に 1ha 当たり 500g を 500 l の水に溶かし葉面散布した。生理活性剤 (Aminon-25) 0,1% 液を農薬と毎週混合散布した。使用品種名 サンタ・クルース・Santa Clara 種。播種日 1990.10.15～11.20。ベレット種子を使い、苗は仮植して育苗し、35 日苗を定植した。栽培時期は雨期である。1ha に 15,000 株 (1 株 1 本植)、栽培本数 10 万本、栽培面積 (6,67ha) である。

(4) 対策方法

1991.1.9 に畑を訪問した。生育は順調で下葉の巻き込みも殆どなく、葉は厚みがあり明るい緑色であった。グアピアラ地方ではこの時期としては、最上位の収穫が実現された。

1,000 株に 300 箱 (1 箱 22kg) の収穫量であり、1ha 当たり 99t の収量であった。

(5) 留意点

石灰施用については、Al (アルミニウム) 害の無害化、酸度矯正、塩基補給の 3 点を考慮し、微量元素の種類と施用量は土壌分析値により決定されるべきである。微量元素の葉面散布は有効と考えられる。雨期作低湿地栽培トマトであり、排水溝の構築が根群の伸長には必要である。

第138表 Al (アルミニウム) 含量の高い土壌

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC	V %
		CaCl ₂	H ₂ O		mei	res	K	Ca	Mg	Al	H		
1	0-20	4,3	-	9,4	-	15,0	0,08	0,2	0,1	5,2	9,8	15,4	3,0

No.	ppm							分析所	分析日	場所	耕作者
	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	2,0	-	55	2	1,0	1,0	5,4	U.F.	90.7.17	Guapiara SP	Sanpachiro Fukuti

注) 土壌型

サンタ・カタリーナ州カッサドール地方

1) 石灰施用によるFe (鉄) とMn (マンガン) の土壌分析値への影響

カッサドール地方のトマト栽培は、10～11月に播種し、2～3月に収穫するのでサンパウロ州のアピアイ、グアピアラ地方のトマトの出荷と競合することになる。カッサドール地方は、標高920m、南緯27度に位置し、ブドウ、リンゴ、ニンニクの産地でもある。春作にはトウモロコシ、秋作には小麦を栽培する。新地にはAl (アルミニウム) 含量が高く、Ca (カルシウム)、Mg (マグネシウム) 含量が低いので、新地にニンニクを栽培する時には、1ha当たり炭カル (Calcário Calcítico) を10～25t投入して酸性土壌を矯正する。トマト栽培のために分析されたカッサドール地方の土壌分析値をCa含量順に並べたものは、第139表に示すとおりである。Fe値と(Ca+Mg)の関係、Mn値と(Ca+Mg)の関係は、第5図と第6図に示すとおりである。畑への石灰施用量の増加により、土壌中の(Ca+Mg)の分析値は増大する。そして土壌中のFe (鉄) の分析値は減少し、Mn (マンガン) のそれは増加する。

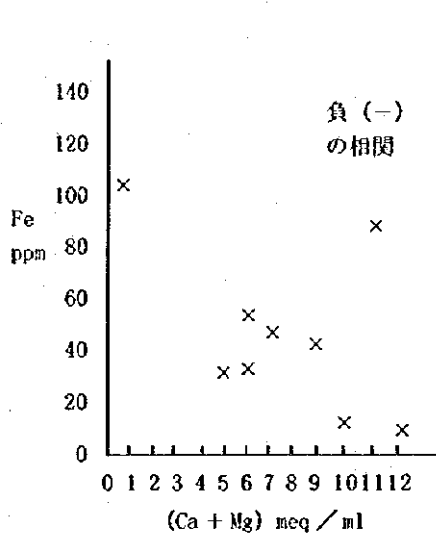
即ち(Ca+Mg)とFe (鉄) は負(-)の相関関係があり、(Ca+Mg)とMn (マンガン) は正(+)の相関関係がある。このことは石灰施用の増加により、土壌中のFe (鉄) は不溶性に変化し分析値は減少するが、Mn (マンガン) については、石灰中にMn (マンガン) が不純物として存在するので土壌中のMn (マンガン) の分析値が高まると推定される。このように石灰が継続的に毎作施用されるとFe (鉄) とMn (マンガン) の増減にも影響するので施肥法には重要な意味を持つので土壌分析の際には微量元素の分析も一緒に行ない、総合的な診断をすべきである。石灰肥料の施用を続けると貧栄養土であってもCa (カルシウム) とMg (マグネシウム) は高くなり、Fe (鉄) は低く、Mn (マンガン) の高い分析値を示し、この地方ではテラ・ロシア類似の土壌に変化していくと考えられる。

第139表 カッサドール地方

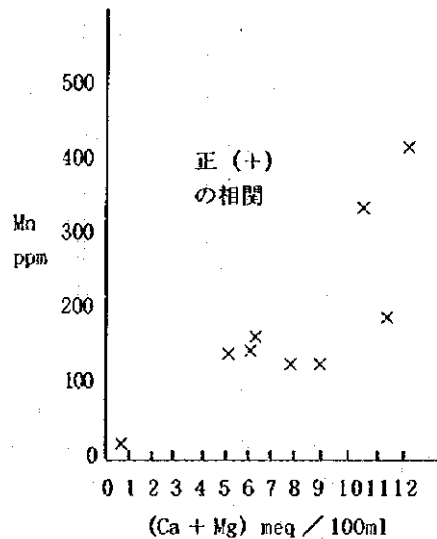
No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CTC
		CaCl ₂	H ₂ O		mei	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	3,9	4,5	4,5	5,9	-	0,11	0,2	0,1	2,7	20,1	23,2
2	0-20	4,6	5,2	2,8	1,0	-	0,17	3,5	2,0	0,3	4,9	10,9
3	0-20	5,6	5,8	3,1	2,3	-	0,39	4,5	2,0	0,0	3,1	10,0
4	0-20	5,1	-	4,2	-	33,0	0,28	4,5	2,7	0,0	4,2	11,7
5	0-20	4,5	5,2	4,4	2,6	1,0	0,27	5,0	1,4	0,2	7,0	13,9
6	0-20	5,4	-	4,2	-	7,0	0,14	5,0	4,0	0,0	3,8	12,9
7	0-20	4,9	5,5	2,9	1,0	-	0,39	7,9	2,4	0,1	5,7	16,6
8	0-20	4,4	5,0	3,2	4,3	-	0,25	9,2	2,6	0,9	5,5	18,5
9	0-20	5,1	5,7	3,3	1,0	-	0,48	10,0	2,0	0,0	4,2	16,7

No.	V %	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	1,8	21,4	3,0	102	13	3,2	1,2	0,1	L.	89.5. 8	Guçador SC	Urildo Dalbasco
2	52,0	17,4	6,0	31	126	4,1	2,6	0,2	L.	89.6. 9	Guçador SC	Vilson Carvatti
3	68,8	3,1	6,0	57	139	6,1	5,9	0,1	L.	89.5. 8	Guçador SC	Valter A. Zanella
4	64,0	16,3	-	47	113	14,0	23,0	0,5	U.F.	91.6.11	Guçador SC	V. Scascapinelli
5	48,1	38,9	17,0	33	167	2,9	3,3	0,4	L.	89.6. 9	Guçador SC	Moacir Scolaro
6	71,0	9,3	-	42	122	9,0	3,0	0,4	U.F.	91.6.11	Guçador SC	Hedio J. Baseggio
7	64,6	17,4	14,0	9	360	5,2	13,9	0,4	L.	89.4.21	Arro. Trinta SC	Laurindo Favarin
8	65,1	27,7	14,0	84	175	7,6	5,4	0,1	L.	90.4. 9	S. Vellozo SC	Valter Zanella
9	74,6	3,1	10,0	6	417	3,4	14,7	0,9	L.	89.4.21	Arro. Trinta SC	Natalino Civiero

注) 土壤型 Rhl Solos litólicos



第5図 Feと(Ca + Mg)の関係



第6図 Mnと(Ca + Mg)の関係

タマネギ (Cebola)

サンパウロ州

1) タマネギ生育不良地と良好地

タマネギが生育不良、または球の肥大が遅い畑の土壤分析値は、第140表に示すとおりである。また同じ畑内でタマネギの生育が良好であり、正常だと思われた畑の土壤分析値は、第141表に示すとおりである。これらの土壤分析値よりタマネギ栽培では、Ca (カルシウム) が3 meq/100gでは少なく、6~8 meq/100g程度が望ましいと考えられる。

第140表 タマネギ生育不良地

No.	pH KCl	Mo %	meq/100g				リン酸 吸収係数	石 灰 必要量	備 考 (年月、場所、品種名)
			PO ₄ ⁻⁻⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺			
1	6,12	2,52	0,04	0,25	3,14	2,36	660	2,5	1970.2 Bragança Paulista SP Baia Performe 種
2	4,89	2,96	2,19	0,46	3,29	1,63	336	3,9	1970.6 Bragança Paulista SP Baia do Cêdo 種
3	5,20	2,64	0,64	0,29	3,12	1,58	502	2,5	1970.6 Bragança Paulista SP Baia do Cêdo 種

注) 第130表参照 土壤型 耕作者: Agrofiora S.A.

第141表 タマネギ生育良好地

No.	pH KCl	Mo %	meq/100g				リン酸 吸収係数	石 灰 必要量	備 考 (年月、場所、品種名)
			PO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺			
1	6,12	1,90	1,51	0,22	8,30	4,56	520	1,8	1970.2 Bragança Paulista SP Baia Periforme 種
2	5,58	2,64	2,94	0,34	6,84	2,41	526	2,0	1970.6 Bragança Paulista SP Baia do Cêdo 種

注) 第130表参照 土壤型 耕作者: Agroflora S.A.

2) 土壌中和資材の選択

ピエダデー地方(標高781m)は山岳地帯のタマネギ生産地で、サンパウロ市から南西へ99km地点にある。さらになだらかになりながらピラル・ド・スール、カッポン・ボニート(標高705m)へと続いている。当地方のタマネギ栽培計画地の土壌分析値は、第142表に示すとおりである。土壌中のCa(カルシウム)とMg(マグネシウム)比は3:1程度が作物栽培に相当とされているが、これらの分析値からは、ピエダデー地区は2:1、ピラル・ド・スール地区は3:1、カッポン・ボニート地区は5:1になっている。このCa(カルシウム)とMg(マグネシウム)比率の差はどうして起きたのであろうか。それは施用されてきた中和資材の質の差であり、ピエダデーの耕作者は苦土石灰(Calcário Dolomítico CaO 25-30%、MgO 13-20%)を施用し、ピラル・ド・スールとカッポン・ボニートの耕作者はマグネサイト(Calcário Magnesiano CaO 31-39%、MgO 6-12%)かカルサイト(Calcário Calcítico CaO 40-45%、MgO 1-5%)を施用してきたと考えられる。従ってピエダデーの耕作者は苦土石灰から他の石灰肥料に変えるべきであるとする。

第142表 聖南西地方のタマネギ栽培地

No	深 さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		mei	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1-1	0-20	5,7	6,2	1,8	87,6	-	0,59	4,5	2,3	0,0	2,2	9,6
1-2	20-40	5,7	6,2	1,3	76,0	-	0,44	3,7	2,4	0,0	2,8	9,4
2-1	0-20	5,7	6,3	1,6	93,0	-	0,59	5,0	2,5	0,0	2,5	10,6
2-2	20-40	5,8	6,4	0,8	60,0	-	0,44	4,1	1,9	0,0	2,2	8,7
3	0-20	4,8	5,2	0,1	51,9	29,2	0,40	3,0	0,9	0,1	4,6	9,0
4	0-20	5,2	5,8	3,4	70,8	87,9	0,77	4,3	1,7	0,0	2,8	9,6
5	0-20	5,5	6,1	4,4	69,2	67,7	0,80	5,5	2,6	0,0	2,5	11,4
6	0-20	5,0	5,8	2,2	58,6	45,8	0,35	4,2	0,8	0,2	2,9	8,4
7	0-20	5,4	6,2	2,2	60,0	96,7	0,35	3,9	0,8	0,0	2,2	7,8
8	0-20	5,8	6,5	2,1	80,0	108,3	0,30	4,5	1,0	0,0	1,6	7,4

No.	V %	ppm							分析所	分析日	場 所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1-1	76,7	11,8	11,0	63	47	1,6	4,7	0,1	L.	90. 6.27	Piedade SP	Suguru Miyake
1-2	69,8	20,0	7,0	86	28	1,4	4,6	0,3	L.	90. 6.27	Piedade SP	Suguru Miyake
2-1	76,0	61,0	13,0	71	48	2,7	4,0	0,1	L.	90. 6.27	Piedade SP	Itaru Miyake
2-2	74,2	85,3	10,0	75	26	1,9	4,2	0,1	L.	90. 6.27	Piedade SP	Itaru Miyake
3	47,8	21,4	11,0	97	61	1,3	5,9	0,1	L.	90. 7.19	P. do Sul SP	Anival V. Moraes
4	70,7	12,5	23,0	126	114	0,1	5,3	0,3	L.	90. 11.16	P. do Sul SP	Amauri A. Moraes
5	78,1	14,9	27,0	132	188	6,3	9,3	0,4	L.	90. 11.16	P. do Sul SP	Amauri A. Moraes
6	63,3	30,1	20,0	71	222	1,1	3,3	0,3	L.	91. 6.26	C. Bonito SP	Mitiaki Yao
7	69,7	16,1	5,0	71	21	1,5	4,4	0,1	L.	92. 5.12	C. Bonito SP	Edson Yao
8	78,4	26,7	5,0	62	20	1,2	4,6	0,2	L.	93. 5.21	C. Bonito SP	Edson Yao

注) 土壤型

3) タマネギ葉黄色化土壤

タマネギ (Baia Periforme 種) セット栽培でセット植付け後 45 日目、6 枚葉の新葉が黄色に変化した。黄色化の激しい地点の土壤分析値は、第 142 表に示すとおりである。土壤中の Fe (鉄) と Mn (マンガン) の比は、3 : 1 が良いとされている。ところが土壤分析値から計算すると、 $Fe : Mn = 86 : 215 = 0,4 : 1,0$ になり、Fe (鉄) は極めて低いといえる。Fe (鉄) は欠乏すると葉が黄白化する。この場合は Mn (マンガン) 過剰による Fe (鉄) 欠乏症と推定される。

対策方法としては、Fe (鉄) は Ca (カルシウム) と同じように作物体内で最も移動性のわるい要素であり、欠乏症状は常に新しい葉に現れる。Fe (鉄) 欠乏と Mn (マンガン) 欠乏は、症状が似ているので見分けにくい。しかし、Fe (鉄) 欠乏は新葉が全体的に白味がかってくるのに Mn (マンガン) 欠乏は葉脈間が薄緑になるので注意すれば区別できる。出ている症状が Fe (鉄) 欠乏であるかどうかを確かめるには、欠乏症の出ている葉に硫酸第一鉄 ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) の 0,1% 液をスプレーするか、筆で塗ってみて、液がついた部分が 2~3 日目に緑色をとりもどしたら、これは Fe (鉄) 欠乏と診断して良い。Ca (カルシウム) が土壤中にあると Fe (鉄) の吸収が抑えられ、P (リンサン)、Mn (マンガン)、Zn (亜鉛)、Cu (銅) なども Fe (鉄) の吸収と体内移動を阻害している。有機物施用や緑肥を導入して土壤中有機物含量が高まると、CTC (塩基置換容量) が高くなり、土壤は酸性化し Fe (鉄) は有効化されるし、また過度な土壤乾燥を防ぎ Fe (鉄) の吸収を良くする。石灰質肥料を過剰施用せず、必要に応じて硫酸第一鉄を露地野菜には 0,2~1,0 液を、ハウス野菜には 0,2% 液をそれぞれ午後 4 時以後太陽の光りが弱くなった時に散布する。土壤施用は 1 ha 当たり 50~60kg の硫酸第一鉄を土壤改良剤等と混合施用する。

第 143 表 タマネギ葉黄色化土壤

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		me	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	6,1	6,6	2,9	40,0	111,1	0,79	6,2	1,3	0,0	2,2	19,5

No.	V %	ppm							分析所	分析日	場所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	79,0	43,1	11,0	86	215	4,9	10,1	0,3	L.	90.12.3	P. do Sul SP	Amauri A. Moraes

注) 1) 土壤型 2) P. do Sul = Pilar do sul (サンパウロ市より南西へ 138Km)

4) タマネギ・セット栽培の微量要素不足地

(1) 発生状況

セット栽培 (Bulbinho 栽培) は、貯蔵されていた仔球を夏の 2 月に植付けタマネギの端境期の秋から冬の低温期 5~7 月に収穫することを目的に栽培される。植え付けて収穫まで短期間であるため、初期の生育を旺盛にすることが大切である。しかし生育中の茎葉に露菌病 (Peronospora d. Casp)、黒斑病 (Alternaria p. Cif) や炭疽病 (Colletotrichum c. Vogl.) 等の病害に犯される危険が高い。また生育途中に大切な茎葉の先端が枯死したり、葉が半ばから折れ曲がったりする生育障害があり、低温期に肥大させねばならず、生産性を上げることは容易ではない。

(2) 分析診断

生育障害を克服して生産性を上げるには、第 144 表からは微量要素である Cu (銅)、Zn (亜鉛)、B (ホウ素) の不足を補給することが重要であると診断する。Cu (銅) 欠乏では葉が折れ曲がるし、Zn (亜鉛) の欠乏は生理作用の活力低下を起し水分や養分の吸収を悪くさせ生産性を低下させる。B (ホウ素) 欠乏は根の伸長を阻害し、作物体内での Ca (カルシウム) 欠乏を誘引し、病害抵抗性が弱る。

(3) 対策方法

石灰施用はしない。N-P₂O₅-K₂O (210-250-184kg/ha) を元肥、追肥の合計として施用した。1ha 当たり成分にして Cu 1,25kg、Zn 3,75kg、B 1,1kg をそれぞれ Sulfato de cobre, Sulfato de Zinco, Bórax の形態で、土壤改良剤リブミン 1.280kg と混合施用した。定植 40 日後、1ha 当たり Molibdato de Sódio 500gr を 500 l の水に溶かして葉面散布

した。生理活性剤 (Aminon-25) 0,1%液を、14日間隔で農薬と混合散布した。使用品種は、Baia Periforme Super Precoce 種である。植付けは1990年2月20～26日、植付け面積は3 haである。散水灌漑を行なった。

(4) 結果

生育は順調に進み、葉先端の枯死は殆ど発生せず、葉は艶のある緑色であり、生育途中の葉の病害も極少なく、収穫日は6月5日である。球の肥大は正常で、球の品質は良い。収穫量は普通作で1ha当たり26tのところ、今回は36tの収穫があった。なによりも生育中の茎葉の健康度が良かったことが特筆される。

(5) 留意点

タマネギの養分吸収最盛期は収穫60日前からの30日間であり、追肥の適期を逸しないことが重要である。土壌水分管理、タマネギ球の肥大と競合する雑草管理は大切である。微量要素の施用効果は高いと考えられる。

第144表 タマネギ・セツト栽培の微量要素不足地

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	20	6,0	6,7	2,1	20,3	-	0,22	5,0	2,2	0,0	2,0	9,5

No.	V %	p p m								分析所	分析日	場 所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B					
1	78,5	20,7	7,0	172	36	0,9	3,5	0,1	L.	89.12.21	S. M. Arcanjo SP	Tetsuya Sadasue	

注) 1) 土壌型 2) S. M. Arcanjo = Sao Miguel Alcanjo (サンパウロ市より南西へ 176km)

リオ・グランデ・ド・スール州

1) タマネギ採種地

バジェー地方はウルグアイ国境に接し、ポルト・アレグレ市から西南へ330kmの距離である。標高212mの地形はなだらかな草原地帯である。降霜日数は65日、降雨量1.414mm、平均最低気温12,5度、平均最高気温23,6度、平均気温17,7度で、採種期に高温乾燥し、花芽分化に低温を要求するタマネギ、ニンジン等の採種が行なわれている。

土壌は玄武岩を母岩としておりタマネギ採種他の土壌分析値は、第145表に示すとおりである。有機物含量、Ca、Mg、の数値は高いが、ほぼS、Zn、Bは低い。

第145表 バジェー地方のタマネギ採種地

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC	V %
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H		
1	0-20	4,8	5,9	4,8	1,0	-	0,25	18,6	6,3	0,2	7,0	32,4	77,6
2	0-20	4,5	5,1	4,5	1,0	-	0,20	3,5	2,2	1,4	3,8	11,1	53,2
3	0-20	4,9	5,8	2,8	1,0	-	0,53	6,0	5,1	0,3	2,2	14,1	82,3
4	0-20	5,0	5,9	4,8	1,0	-	0,13	7,7	2,4	0,4	4,8	15,4	66,3

No.	p p m								分析所	分析日	場 所	耕作者
	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B					
1	6,3	12,7	57	15	0,4	3,4	0,4	I.	84.9.6	Bagé RS	Sidnei	
2	4,4	11,0	118	26	1,2	1,6	0,1	I.	84.2.16	Sao Gabriel RS	Sementes Gimenes	
3	3,8	13,9	104	43	1,1	1,5	0,1	I.	84.2.16	Sao Gabriel RS	Sementes Gimenes	
4	0,6	13,7	97	41	1,2	9,3	0,3	I.	84.2.16	Sao Gabriel RS	Sementes Gimenes	

注) I= ICASA 土壌型

イチゴ (Morango)

サンパウロ州

1) イチゴ黒花病 (Flor Preta) の発生地と正常地

サンパウロ市から西へ20kmのサンターナ・ド・パラナイーバに耕作者はイチゴを栽培した。1993年3月に0,8haカンピネイロ種を植え付けた。ところが、2番花から、黒花病 (Flor Preta) が増えて全体の50%にも達した。そこで、特に多く黒花病の出た畑の地点と、常に正常に収穫出来た地点の土壌分析値は、第146表と第147表に示すとおりである。この分析値から、黒花病発生地は、(Ca = 2,6meq / 100ml) であり、正常地は、(Ca = 6,2meq / 100ml) とCaの差が大きい。ジャポチカバル農大のカステラネ教授は、水耕栽培の試験より黒花病はCa欠乏による生理障害としている。

第146表 イチゴ黒花病の発生地

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	4,9	-	1,7	-	109	0,21	2,6	0,9	0,2	4,0	7,9

No.	V %	ppm								分析所	分析日	場所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B					
1	47,0	41	-	103	124	7,0	8,0	0,7	UF.	93.8.27	S.Paranaiba SP	Rafael C.Fiho	

注) 土壌型

第147表 イチゴ正常地

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	5,3	-	1,1	-	54	0,21	6,2	4,5	0,0	2,8	13,7

No.	V %	ppm								分析所	分析日	場所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B					
1	80,0	49	-	59	88	8,0	5,0	1,0	UF.	93.8.27	S.Paranaiba SP	Rafael C.Fiho	

注) 土壌型

2) 黒花病 (Flor Preta) の発生畑

1ha当たり苦土石灰 (Calcário Dolomítico) 35t、堆肥10t、N-P₂O₅-K₂O (280-1.120-560kg) を元肥、追肥の合計として施用して、第148表の土地に、イチゴのカンピネイロ種を91年3月に定植した。ところが、黒花病が発生して殆ど収穫が出来なかった。イチゴの黒花病は病気ではなく、トマトの尻腐果と同じく、作物体内のCa不足による生理障害と考え、土壌中Caが(4,8meq / 100ml) では黒花病防止にはまだ低い。そして高い土壌中KがCaの吸収を抑制して、Ca欠乏の黒花病を発生させると考える。

第148表 イチゴ黒花病の発生畑

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	4,8	5,6	2,3	40,0	12,1	0,64	4,8	1,3	0,0	4,2	10,9

No.	V %	ppm								分析所	分析日	場所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B					
1	61,6	16,1	7,0	69,2	43,5	6,4	5,9	0,1	L.	90.8.3	Piedade SP	Makoto Fujita	

注) 土壌型

3) イチゴ黒花病が発生しなかった畑 (事例1)

第149表の畑に1ha当たり炭カル (Calcário Calcítico) を6.000kg施用し、デスクハローで土と混和して、90日後の土壌分析値の第150表ではCaが3,6から7,3へと上昇している。この土地に1ha当たりN-342kg, P₂O₅-120kg, K₂O-209kg施用して、グアラニー種を植え付けたが黒花病の発生は見られなかった。

第149表 石灰施用前の土壌分析値 (事例1)

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	6,0	-	1,2	-	122	0,36	3,6	1,5	0,0	1,8	7,3

No	V %	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	75	11	-	128	21	2,0	5,0	1,0	UF.	93.9.2	Piedade SP	Mariko Ogino

注) 土壌型

第150表 石灰施用後の土壌分析値 (事例1)

No	深さ (cm)	p H		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	6,7	-	1,7	-	210	0,36	7,3	1,8	0,0	1,3	10,8

No	V %	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	88	6,1	-	-	-	-	-	-	I.P.	94.3.4	Piedade SP	Mariko Ogino

注) 土壌型 I.P. = Ind. Mineradora Pagliato Ltda

4) イチゴ黒花病が発生しなかった畑 (事例2)

第151表の畑に1ha当たり炭カル (Calcário Calcítico) を4.000kg施用し、デスクハローで土と混和して90日後、この土地に1ha当たりN-342kg, P₂O₅-430kg, K₂O-448kg, Zn-9kg, B-2kg, Mn-7,5kg, Cu-1,75kg (施用形態は、Sulfato de Zinco, Ulexita, Sulfato de Manganês, Sulfato de Cobre) を元肥として施用後7日目に採土した土壌分析値は、第152表に示すとおりである。Caが4,5から8,3へと上昇している。そしてこの畑に、ドーバー種、女峰種、カンピネイロ種を植え付けたが、殆ど黒花病は発生しなかった。

第151表 石灰施用前の土壌分析値 (事例2)

No	深さ (cm)	p H		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	5,7	-	3,1	-	67	0,13	4,5	2,5	0,0	2,2	9,3

No	V %	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	76	10	-	11	1,0	0,2	0,9	0,9	C.	94.10.6	Piedade SP	Makoto Fujita

注) 土壌型 C: CERQA

第152表 石灰施用・施肥後の土壌分析値 (事例2)

No	深さ (cm)	p H		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	5,6	6,3	3,3	72	135	0,95	8,3	1,7	0,0	1,7	12,7

No	V %	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	87	100	12	197	27,6	5,6	9,7	0,3	U.	95.3.27	Piedade SP	Makoto Fujita

注) 土壌型 U: Unithal

ミナス・ジェライス州

1) 南部ミナス・ジェライスのイチゴ生産地

サンパウロ市とペロ・オリゾンテ市を結ぶ、フェルナン・ジラス街道のサンパウロ州に接する、エスチーバ地方は、サンパウロ市北東180kmに位置し、標高800mの河川低地や山岳地イチゴ生産地帯がある。イチゴ生産地の土壌分析値は、第153表に示すとおりである。これらの分析値は石灰資材を投入前のものであるが、この地帯のイチゴに黒花病 (Flor Preta) の発生が多いことから、石灰肥料を十分に施用すべきであろう。微量元素ではZn、Bが低い。特にB (ホウ素) はCa (カルシウム) の吸収と作物体内でのCaの移動を助けるので、黒花病がCa不足による生理障害と考えられることからBの施用は大切である。

第153表 南部ミナス・ジェライスのイチゴ生産地

No	深 さ (cm)	p H		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		mei	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	4,1	-	6,5	-	10,0	0,09	0,3	0,1	1,7	10,4	12,6
2	0-20	4,1	4,8	3,2	2,3	14,9	0,17	0,4	0,2	0,6	5,8	7,2
3	0-20	4,4	5,1	2,9	2,6	3,5	0,26	1,2	0,6	0,4	5,4	7,7
4	0-20	4,5	5,3	1,9	26,0	75,9	0,39	1,9	0,9	0,0	4,2	7,1
5	0-20	5,0	5,7	2,1	11,0	22,0	0,19	2,2	1,0	0,0	3,4	6,8
6	0-20	5,1	5,7	2,3	27,6	70,5	0,27	2,5	0,5	0,0	2,8	6,1
7	0-20	4,9	5,6	3,4	33,3	106,3	0,40	3,1	0,8	0,1	3,3	7,7
8	0-20	5,2	5,9	2,6	19,3	32,9	0,60	3,4	0,8	0,0	3,1	7,9
9	0-20	4,7	5,4	7,0	33,3	48,2	0,18	4,4	1,0	0,4	5,4	11,4
10	0-20	5,0	5,7	2,4	96,9	384,6	0,83	4,7	1,3	0,0	3,1	9,9
11	0-20	5,1	5,7	4,0	50,0	112,0	0,44	5,0	1,3	0,0	3,8	10,5
12	0-20	5,1	6,0	1,9	96,9	200,8	0,49	5,1	1,3	0,0	2,8	9,7

No	V %	p p m							分析所	分析日	場 所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	4,0	9	-	90	2	1,0	2,0	1,3	UF.	92. 1. 2	Cambuí MG	Pedro F. Pereira
2	10,7	24	15	137	15	2,6	1,3	0,1	L.	90.12.12	Estiva MG	José C. Pereira
3	26,2	27	7	200	39	1,1	1,7	0,1	L.	90.10.20	Estiva MG	Clementi M. Dorges
4	40,8	134	7	97	24	1,6	4,2	0,1	L.	90.12.27	Estiva MG	Benedito N. Pereira
5	50,0	33	3	78	12	2,5	4,1	0,2	L.	90.11. 5	P. Alegre MG	Sebastião R. Tosta
6	53,8	100	8	174	14	2,6	2,1	0,1	L.	91. 1.14	Estiva MG	S. L. Andrade
7	55,9	233	14	130	66	2,8	4,6	0,2	L.	91. 1.14	Estiva MG	Rodorfo F. Xavier
8	60,8	176	8	94	60	0,6	3,6	0,4	L.	91. 1.14	Estiva MG	E. M. Pereira
9	49,1	52	9	49	44	1,3	6,1	0,1	L.	90.12.12	Estiva MG	Abilio R. Pereira
10	68,8	94	49	72	65	2,2	15,8	0,3	L.	90.12.12	Estiva MG	Amadeu X. Pereira
11	63,9	48	11	145	88	2,0	7,2	0,1	L.	90.10.20	Estiva MG	Lazaro M. Pereira
12	71,1	146	6	64	63	1,7	6,8	0,3	L.	90.12.27	Estiva MG	Pedro N. Pereira

注) 土壌型

葉・根・果菜類

パラ州

アマゾン川下流・グアマ植民地

1) 冠水地のキャベツ栽培

日本の兵庫農科大学（現神戸大学農学部）は、1965年にブラジルに農業調査団を派遣した。その調査結果によると第154表の非冠水地の土壌に比べて、第155表の冠水地の土壌分析値は、川が運んできた成分は土壌酸度を改良し、有機物含量、P（リンサン）、Ca（カルシウム）、Mg（マグネシウム）を高めており、他の微量要素成分も高いと推察される。

グアマ植民地の日本人移民は、定期的に冠水する所を選び、乾期に耕作しキャベツを栽培して、水路48km、陸路75kmを費やしてベレン市に出荷している。冠水地は非冠水地に比べて肥沃な土壌であるので病虫害が少なく、優良品を出荷できる。このように河川の氾濫は、各種の肥料成分を運んできたので無肥料栽培を可能にした。

第154表 グアマ植民地の非冠水地（農林省指令40農政B 第132号により輸入許可土壌）

No	深さ (cm)	pH		MO %	Total N %	C/N	P ppm		meq/100mg					CEC	V %
		KCl	H ₂ O				meli	res	K	Ca	Mg	Al	H		
1	0-20	3,6	4,8	0,8	0,07	7,2	-	1,0	-	3,4	0,2	-	-	17,6	-

No	Argila %	分析所	分析日	場所	耕作者
1	88,8	H.	1965.	Guama PA	

注) 1) 土壌型 2) H=兵庫農科大学 3) ブラジルの日系農家 兵庫農科大学 1967 84頁による。

第155表 グアマ植民地の冠水地（農林省指令40農政B 第132号により輸入許可土壌）

No	深さ (cm)	pH		MO %	Total N %	C/N	P ppm		meq/100mg					CEC	V %
		KCl	H ₂ O				meli	res	K	Ca	Mg	Al	H		
1	0-20	4,1	5,8	1,8	0,11	9,4	-	89,0	-	7,0	4,4	-	-	13,0	-

No	Argila %	分析所	分析日	場所	耕作者
1	62,8	H.	1965.	Guama PA	-

注) 1) 土壌型 2) H=兵庫農科大学 3) ブラジルの日系農家 兵庫農科大学 1967 84頁による。

サンパウロ州

1) サンパウロ市近郊野菜生産地

レタス、キャベツ、ハクサイ、ブロッコリー、ニンジン、ナス、キュウリ等を生産しているシッポー地方は、サンパウロ市から南西40kmにあり、海岸山脈中の山地の緩い傾斜地の野菜生産畑の土壌分析値は、第156表に示すとおりである。全般的に酸性土壌で、有機物含量が少なく、Zn（亜鉛）、B（ホウ素）が低い。

第156表 サンパウロ市近郊野菜生産地

No	深さ (cm)	pH		NO %	P ppm		meq/100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	4,4	5,0	1,5	1,0	-	0,27	1,0	0,7	1,0	3,7	6,7
2	0-20	4,6	5,1	2,6	1,0	-	0,18	1,9	0,8	0,5	3,7	7,1
3	0-20	4,8	-	1,9	-	76,3	0,34	2,9	0,7	0,4	4,8	9,2
4	0-20	4,9	5,5	2,5	1,0	-	0,29	3,0	1,2	0,1	3,0	7,6
5	0-20	4,9	-	2,3	-	98,5	0,46	3,6	0,6	0,2	4,5	9,4

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
6	0-20	4,7	5,2	0,8	40,8	-	1,09	4,5	1,9	0,0	2,8	10,4
7	0-20	5,3	-	2,1	-	177,8	0,32	4,7	0,5	0,2	3,9	9,6
8	0-20	5,5	-	2,7	-	404,2	0,43	6,7	1,1	0,1	2,9	11,2

No	V %	ppm							分析所	分析日	場所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	29,4	1,4	8,0	177	14	0,7	0,6	0,50	L.	89.6.5	Cipó SP	Shigetake Tsuruta
2	40,5	0,1	9,0	171	20	0,7	2,7	0,70	L.	89.6.5	Cipó SP	Shigetake Tsuruta
3	43,1	351	7,3	148	20	1,4	1,0	0,04	IB.	89.8.9	Parelheiros SP	Hideo Kimura
4	58,9	3,7	8,0	191	25	1,0	2,5	0,6	L.	89.6.5	Cipó SP	Shigetake Tsuruta
5	49,7	51,2	5,7	120	25	1,6	1,9	0,04	IB.	89.8.9	Parelheiros SP	Hideo Kimura
6	72,4	18,0	14,0	109	30	0,8	4,2	0,30	L.	89.6.5	Cipó SP	Shigetake Tsuruta
7	57,9	79,1	11,8	91	17	1,2	2,5	0,02	IB.	89.8.9	Parelheiros SP	Hideo Kimura
8	73,5	39,8	14,7	98	27	1,3	4,9	0,02	IB.	89.8.9	Parelheiros SP	Hideo Kimura

注) 土壌型 IB=IBRA

2) 有機野菜生産畑

耕作者はブラジル有機農法のパイオニアの一人であり、サンパウロ市西方45kmのコチア郡で平飼い養鶏を行ない、その鶏糞を肥料として施用し、有機、無農薬で多種類の葉・根・果菜類の生産、販売、そして有機農法の普及活動を行なっている。畑には毎作オガクズ入鶏糞を1㎡に当初には、2kg(1haに20t)施用し、その後は1㎡に1kg施用してきた。第157表は15年間、第158表は20年間、有機野菜を連作してきた畑の土壌分析値である。20年連作地はCa(カルシウム)値が15年連作地より高い。両者ともB(ホウ素)が低いのみで、他の成分は極めて高くなっているが、成分間バランスが良いのか野菜類は良く出来ている。この土壌分析値からは、鶏糞には殆ど総ての肥料成分が含まれていて重要な肥料資材であると考えられる。ブラジル近郊のセラード地帯のコーヒー栽培者が、1,000km以上も離れた遠距離から鶏糞を運んで熱心にコーヒー園に施用しているのを見聞したが、これらの土壌分析値からもそれが十分納得出来る。

第157表 15年間鶏糞施用の有機野菜畑

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	5,8	6,5	4,5	850	1.550	0,95	10,3	3,0	0,0	1,6	15,9

No	V %	ppm							分析所	分析日	場所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	89,9	28,2	26,5	66,4	47,5	1,4	30,5	0,4	U.	95.8.4	Cotia SP	Yoshio Tsuzuki

注) 土壌型

第158表 20年間鶏糞施用の有機野菜畑

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	5,9	6,5	4,6	800	1.525	0,90	12,7	2,8	0,0	1,6	18,0

No	V %	ppm							分析所	分析日	場所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B				
1	91,1	18,0	21,0	61,7	40,6	1,0	24,5	0,3	U.	95.8.4	Cotia SP	Yoshio Tsuzuki

注) 土壌型

3) 疲れた土地 (テラ・カンサーダ)

サンパウロ市から南西70kmのイビウーナ地方はサンパウロ州の重要な野菜生産地帯である。この地方では新しい低位泥炭地を開墾して、石灰施用して酸性を矯正し、レタスを10年間ほど連作すると次第にテラ・カンサーダ (Terra cansada = 疲れた土地) になり、レタスの生育は不良になり、良品が収穫出来なくなることが多い。このようなレタス主体10年間連作畑で、野菜の生育の異なる地点の土壌分析値は、第159表に示すとおりである。もし仮にレタスを10年間連作すれば、土地整地も含め生育周期を90日間として、1年間に4作栽培し、10年間で40作栽培出来ることになる。

もしも毎作開拓初期と同じような多い施肥量を継続するとすれば、当然肥料成分は蓄積してくることになる。しかも本来的に泥炭地にはCu (銅) が欠乏しており、Fe (鉄) も欠乏している。第159表のNo.1はレタスやニンジンの生育が良い。何時も土に湿り気のある傾斜地の下方の低い地点の分析値で、No.2は傾斜地上方の高地で乾燥気味の地点の分析値で生育不良であり、塩基過剰と診断出来る。客土により土壌中の肥料濃度を下げるのも一法である。基本的には土壌分析値を活用して塩基過剰土壌にならないようにすべきである。微量要素のFe (鉄) とCu (銅) は土壌施用すべきである。

第159表 レタス主体10年間の連作畑 (疲れた土地=テラ・カンサーダ)

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	5,6	6,0	16,0	97,7	-	0,40	16,7	4,6	0,1	1,2	23,0
2	0-20	5,9	6,5	8,4	106,5	-	0,79	21,1	6,3	0,2	1,1	29,5

No	V %	p p m								分析所	分析日	場所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B					
1	94,3	68,5	73,7	31	18	0,4	12,4	2,0	L.	85.11.29	Ibiuna SP	Atsushi Oda	
2	95,6	51,0	75,9	18	22	0,4	9,5	2,1	L.	85.11.29	Ibiuna SP	Atsushi Oda	

注) 土壌型

サンパウロ市から南西45km地点のバルジェン・グランデ・パウリスタ地方の低位泥炭地で葉根菜類を20年間連作してきた畑の土壌分析値は、第160表に示すとおりである。この耕作者はこの分析により、肥料成分の蓄積と過剰施肥が理解されたので、その後は化学肥料は全くやらず鶏糞のみで、葉根菜を栽培し始めており良結果を得ている。

第160表 葉・根菜20年間連作畑 (疲れた土地=テラ・カンサーダ)

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq/ 100ml					CEC
		CaCl ₂	H ₂ O		meli	res	K	Ca	Mg	Al	H	
1	0-20	6,3	-	6,6	-	705,4	0,47	13,9	4,2	0,0	2,6	21,5
2	0-20	6,5	-	6,7	-	954,9	0,57	14,8	4,1	0,0	2,0	21,6

No	V %	p p m								分析所	分析日	場所	耕作者
		S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B					
1	87,3	43,5	26,0	15	22	0,3	7,0	1,2	IB.	89.9.14	V.G.Pta. SP	Naoyuki Nakashima	
2	90,1	11,1	32,5	10	23	0,3	7,8	1,0	IB.	89.9.14	V.G.Pta. SP	Naoyuki Nakashima	

注) 1) 土壌型 2) 場所 V.G.Pta = Vargem Grande Paulista

2. 施肥改善に対する考え方

1) 分析診断に基づく畑土壌の塩基補給

(1) 塩基置換容量と適正飽和度

作物生産の安定と向上を目指すには、地力維持と増進が大切である。地力では、土壌中の養分、特に塩基が過不足なく補給され、塩基組成（塩基バランス）が適正値内にある必要がある。畑土壌の塩基バランスについての適正塩基飽和度は土壌の塩基置換容量（CEC = CTC）の違いによって異なることが考えられる。また都市近郊野菜栽培地帯では、多肥による肥料（塩基）過剰や成分間の不均衡（アンバランス）等の問題も生じており、土壌診断上重要である。日本の関東土壌保全担当者はこれらについて連絡試験を実施して、それらを総合して第161表のような適正値を得た。このように塩基置換容量が小となるに伴って適正塩基飽和度は高くなるが、塩基への影響は一様ではなく、塩基置換容量に伴って高くなるのはCa（カルシウム）であり、Mg（マグネシウム）、K（カリ）は、ほぼ一定となっている。塩基置換容量が小の場合、飽和度を満たしても不足するのはCa（カルシウム）であることがわかる。これは供試作物の殆どが野菜であり、野菜の多くが好石灰植物で、石灰要求度が高いためではないかと、推定される。

第161表 塩基置換容量と適正飽和度

塩基置換容量 (meq/100g)	塩基飽和度 V %	塩基飽和度 (%)		
		Ca	Mg	K
10 以下	170 ~ 100	150 ~ 80	16	6
10 ~ 20	100 ~ 80	80 ~ 60	16	6
20 以上	80 ~ 75	60 ~ 50	16	6

注) 1) 農業および園芸 第63巻 第1号 (1988年) pg42による

2) 塩基飽和度、Ca飽和度：前が容量小、後が容量大の場合の該当値

(2) 塩基組成適正値幅と作物間差異

塩基飽和度の影響は作物の種類によっても異なる。各県によって試験法が異なるので種間差異を明らかにすることは難しいが、それらを概括すると、第162表のようになる。これによるとレタス、ホウレンソウは適正値幅が狭く塩基組成の変化の影響に敏感であり、小麦、トウモロコシ、大豆等は影響を受けにくい。養分吸収については、塩基間の拮抗作用があるので、適正値幅が広く影響を受けにくい作物でも、第161表に基づいた土壌管理をするのが望ましい。なお作物や品種によってはCa、Mg、Kの適正比や要素の要求度がこれと異なるものもあるので各作物、品種の吸収特性に適合した管理をする必要がある。

第162表 塩基組成適正値幅の作物間差異

塩基組成適正値幅	作物名
小	レタス、ホウレンソウ
中	キュウリ、トマト、ハクサイ、ダイコン、パレイショ
大	ニンジン、キャベツ、コカブ、小麦、トウモロコシ、大豆

注) 農業及び園芸 第63巻 第1号 (1988年) pg42による

(3) 野菜の最高収量と塩基組成飽和度

日本の広島県では、CEC（塩基置換容量）12.2meq/100gの土地を供試して、野菜の適正塩基組成を試験して、最高収量を得るために適正な塩基組成は、第163表であると結論された。これは、CECが41meq/100gの土壌で実施された他の試験結果とも一致しており、CECの大きさに関係なく適応出来るものと思われる。

第163表 野菜の最高収量を得るための塩基組成飽和度

塩基	飽和度 %
Ca	55 ~ 70
Mg	20 ~ 30
K	8 ~ 15

注) 農業及び園芸 1986 10 pg85による

次に土壌の種類と適正塩基飽和度を知るためにCECが異なる3種の土壌、すなわち崗岩系粗粒質土壌(4 meq)、洪積土壌(10, 3meq)、腐植質火山灰土壌(42, 2meq)を使い、露地で塩基割合(meq比)をCa12、Mg2、K1とし、塩基飽和度(V%)を70%、100%、130%の3処理とした。その結果、CEC 4, 3meqの土壌では、過飽和の130%で最高収量となり、CEC 10, 3の土壌では100%前後が適正と考えられ、42, 2meqの土壌では70~100%の間が適正と考えられる。この結果から塩基置換容量と野菜の適正塩基含量試算として第164表が得られる。これによると、CECの大きな土壌に比べるとCECの小さな土壌は、V%は大きくても土壌中の野菜が必要とする塩基含量が少ないことが分かる。

第164表 塩基置換容量と野菜の適正塩基含量試算

塩基置換容量 CEC(meq/100g)	塩基飽和度 V %	mg/100g		
		CaO	MgO	K ₂ O
5	130	146	17	21
10	100	224	26	33
40	80	718	73	106

注) 農業及び園芸 1986 10 pg85による

(4) 露地とハウス野菜畑との塩基含量の実態

広島県の現地の露地とハウス野菜畑の塩基含量の実態は、第165表に示すとおりである。このように現地の野菜畑においてもCECの小さい土壌の飽和度は高く、CECの大きい土壌は比較的低くなっている。そして露地ではCECが7以下と小さい圃場で、ハウスでは全体的に、塩基飽和度が高すぎる傾向にある。そして塩基組成(バランス)は、試験で得られた適正值に比べると、Ca(カルシウム)割合の大きい土壌が多かった。

第165表 広島県の露地とハウス野菜畑の塩基含量の実態(後俊孝、原田昭彦 1986)

畑	塩基置換容量 CEC (meq/100g)	調査点数	塩基飽和度 (%)			V% 合計	塩基組成 (%)			対象作物
			Ca	Mg	K		Ca	Mg	K	
露地	< 7	17	174	17	9	200	87	9	4	ハクサイ、キャベツ
	7 - 14	18	80	12	8	100	80	12	8	キュウリ、ニンジン
	14 - 20	3	55	11	2	68	81	16	3	トマト、パレイン
	> 20	4	50	10	5	65	77	15	8	スイカ
ハウス	< 7	10	281	33	9	323	87	10	3	オレソウ、キュウリ
	7 - 14	50	110	26	10	146	76	18	6	トマト
	14 - 20	54	84	19	8	111	76	17	7	
	> 20	71	75	16	8	99	76	16	8	

注) 農業及び園芸 1986 10 pg 85による

(5) ブラジルに應用可能な広島県の野菜畑の土壌診断基準

広島県農試の試験結果に基づき、広島県の野菜における土壌診断基準は、第166表に示すとく定めた。

ブラジルの農業技術書(Boletim Técnico 100 1996)では野菜の適正塩基飽和度は、ほぼ一律80%にしている。ところがブラジルで栽培される野菜畑の土壌のCEC(CTC)は15以下が多く、時には5以下でも野菜を栽培することから、第166表を参考にして著者は野菜のCaとMgの土壌中含量を目標にして、塩基飽和度を100前後にして、石灰施用量を算出して、実際にトマト栽培で良結果を得ている。ただし塩基飽和度を100%以上にすれば、土壌pHが高くなることにより、微量要素の不溶化が考えられるので、有機物と微量要素施用を十分に考慮に入れる必要がある。このように広島県の野菜畑の土壌診断基準はブラジルにも応用可能と考えられるし、更にブラジルの条件に合わせて発展させることが出来る。

第166表 広島県の野菜畑の土壌診断基準 (化学性) (後俊孝、原田昭彦 1986)

項 目	野 菜 畑		
	砂質土	壤・粘質土	腐植質火山灰土
pH (H ₂ O)	6.0 ~ 7.0	6.0 ~ 6.5	6.0 ~ 6.5
EC(1,5) (mS/cm)	0.3 ~ 0.6	0.5 ~ 1.0	0.7 ~ 1.4
塩基飽和度 V (%)	100 ~ 130	70 ~ 100	60 ~ 80
Ca/Mg	2.4 ~ 6	2.4 ~ 6	2.4 ~ 6
Ca/K	4 ~ 8	4 ~ 8	4 ~ 8
Mg/K	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2
置換性K (K ₂ Omg/100g)以上	15	15	15
Truog リン酸/有効リン酸(P ₂ O ₅ /100g)	20 ~ 60	20 ~ 60	20 ~ 60
塩基置換容量(CEC)/(meq) *	3 ~ 6	7 ~ 20	20 ~ 30

注) 1) 農業及び園芸 1986 10 pg85 による

2) *塩基置換容量は目標値ではなく、各土壌の現状値を示す

2) 畑作物に対する施肥設計

(1) 作物による養分の吸収割合の違い

合理的な施肥法を確立するためには、養分吸収を基礎にした研究が大切であるが、畑作物は栽培される環境によって、養分吸収が著しく異なるから、いまから紹介する研究も、同じ作物でも相当の違いがみられるが、これはやむをえない。

各種の研究成績をみても、例えば野菜では全般的にK(カリ)吸収量が多いことが目立っている。日本の関東東山農試では多くの野菜から各養分の吸収の比率を平均し、麦、花と比較したのが第167表である。麦では、N(チッソ)の吸収が最高で、K₂O(カリ)、やCaO(カルシウム)比率が低いのだが、野菜では、これらが著しく高くなっている。花では更にK₂O(カリ)、MgO(マグネシウム)吸収比率の高い傾向がある。このことは畑作物の施肥では大いに考えてゆかねばならぬことであろう。

第167表 N(チッソ)を100とした時の他の養分の吸収割合

作物	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
麦	100	35	66	21	15
野菜	100	32	134	80	17
花	100	30~40	150	50~100	30

注) 1) 野菜の栄養診断と施肥 1966 pg117 とハイテク花づくり 1990 pg 205 による

(2) 作物の養分吸収量

日本の北海道における試験例からの養分吸収量とその収量に対する比率は、第168表に示すとおりである。

ブラジルで栽培されている重要作物の養分吸収量と収量は第169表に示すとおりである。

第168表 作物の養分吸収量とその収量に対する比率 (北海道における試験例の概略値)

作物	1 ha 当たり収量(t)		1 ha 当たり吸収量 (Kg)					乾燥収量1t生産の必要養分量(Kg)					収穫部分
	収穫物	乾燥重	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	
大豆	3,50	2,98	280	49	175	150	46	94	16	59	50	15	子実
インゲンマメ	1,95	1,66	80	22	77	88	40	48	13	46	53	24	"
トウモロコシ	7,25	6,16	165	76	241	53	28	27	12	39	9	5	"
稲	5,17	4,39	127	67	142	21	25	29	15	32	5	6	玄米
小麦	4,40	3,83	152	53	168	28	18	40	14	44	7	5	子実
パレイショ	45,00	11,30	140	54	284	68	32	12	5	25	6	3	塊茎
トマト	82,00	7,80	235	61	411	232	51	30	8	53	30	7	果実
タマネギ	46,50	5,06	90	36	119	51	15	18	7	24	10	3	鱗茎

注) 農業技術体系 農山漁村文化協会-技術 339 (欠測値のある場合は他資料から推定した) による

第169表 ブラジルで栽培されている重要作物の収穫物1t当たりの養分吸収量と1ha 当たり収量

作物	N	P	K	Ca	Mg	S	収量 (t/ha)
大豆	60,6	5,2	18,7	1,9	2,2	3,2	2,5
インゲンマメ	36,4	4,0	15,3	3,1	2,6	5,4	0,9~1,8
トウモロコシ	22,6	4,7	6,5	0,1	1,8	2,1	3~4
稲(初)	12,4	2,2	4,4	1,0	1,0	1,4	3,5~7,5(すい)、1~3(りく)
小麦	25,0	5,0	4,0	1,0	3,0	1,6	2~3,5(かん)、1~1,5(むか)
砂糖キビ	1,3	0,08	1,1	0,13	0,19	0,12	100→80→60
精選コーヒー	16,7	1,0	15,0	2,7	1,5	1,3	1,5~2,0
バレイショ	2,0	0,12	2,5	0,07	0,07	0,07	18~30
綿	22,3	3,0	18,4	8,4	3,7	7,7	1,55~2,8 (核付)
柑橘	3,1	0,28	2,4	0,85	0,2	0,24	24~40
煙草葉	39,0	6,7	45,0	12,3	30,7	10,0	0,6~0,8

- 注) 1) Potafos INFORMAÇÕES AGRONÓMICAS No. 67 SET/94と Boletim 200 Campinas. SP. 1987 IACによる
 2) 稲(すい) = 水稲、(りく) = 陸稲、小麦(かん) = 灌漑、(むか) = 無灌漑
 砂糖キビ 初年度100t、2年目80t、3年目60t
 3) 換算法: $P \times 2,29 = P_2O_5$ $K \times 1,2 = K_2O$ $Ca \times 1,4 = CaO$ $Mg \times 1,66 = MgO$

(3) 大豆施肥設計例

目標収量を得るための土壌分析値に基づく勧告施肥量は、第170表に示すとおりであり、大豆栽培計画地(マット・グロッソ州のセラード土壌)の土壌分析値は、第171表に示すとおりである。1ha当たり目標収量を3,0~3,4に設定すると、大豆は空中N(チッソ)を固定、利用するので、この土壌に対する施肥設計例は、第172表に示すとおりである。

第170表 目標収量を得るための土壌分析値に基づく勧告施肥量

目標収量 (t/ha)	土壌 分析値	P resina, ppm				K ⁺ meq / 100ml			
		0-6	7-15	16-40	> 40	0-0,07	0,08-0,15	0,16-0,30	> 30
		P ₂ O ₅ (Kg/ha)				K ₂ O (Kg/ha)			
1,5-1,9		50	40	30	20	60	40	20	0
2,0-2,4		60	50	40	20	70	50	30	20
2,5-2,9		80	60	40	20	70	50	50	20
3,0-3,4		90	70	50	30	80	60	50	30
3,5-4,0		*	80	50	40	80	60	60	40

注) BOLETIM TÉCNICO 100 1996 (Campinas SP)

第171表 大豆栽培計画地(マット・グロッソ州セラード土壌)

No	深さ (cm)	pH		MO %	P ppm		meq / 100ml					CEC	V %
		CaCl ₂	H ₂ O		mei	res	K*	Ca	Mg	Al	H		
1	0-15	5,9	5,2	2,7	7,5	22,8	0,11	2,4	1,2	0	3,7	7,4	50,2

No	ppm						
	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B
1	11,0	-	63	7,0	0,4	1,3	0,33

第172表 施肥設計例（元肥と追肥の合計）

肥料名	施肥量 (Kg/ha)	成分量(Kg/ha)						
		P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn	B	S
過磷酸石灰	300,0	54	-	-	-	-	-	36
塩化加里	100,0	-	60	-	-	-	-	-
硫酸亜鉛 (mono Zn 35%)	4,3	-	-	1,5	-	-	-	-
硫酸銅 (Cu 25%)	2,0	-	-	-	0,5	-	-	-
硫酸マンガン (Mn 25%)	2,4	-	-	-	-	0,6	-	-
ホウ砂 (B 11%)	2,3	-	-	-	-	-	0,25	-
施肥量合計	411,0	54	60	1,5	0,5	0,6	0,25	36

注) 1) 1 ha 当たり 1t の炭カル(Calcário Calcítico) を施用する。 2) N (チッソ) 肥料は施用しない。

3) 1 ha に蒔く大豆種子にモリブデン酸ソーダ 50g (Mo 19,5g) と硫酸コバルト 20g (Co 4,4g) を混合施用し、播種する。

3) 土壌診断と処方

作物生産に当たってはまずこれから植えようとしている土地を化学分析するのは、そこから出来るだけ多くの情報を読み取り施肥改善に役立てるためである。土壌診断するにあたっては、考え方を次ぎのように整理した。

生育不良については、2つの場合がある。

(1) 肥料成分不足の場合

カルシウム不足によるトマトの尻腐果発生土壌、マグネシウム欠乏症発生土壌、微量元素欠乏による病害発生土壌等の肥料成分不足による作物生育不良の状態をいう。

(2) 肥料成分過剰の場合

(1)の場合とは反対に K₂O (カリ)、P₂O₅ (リン酸)、CaO (カルシウム) MgO (マグネシウム) 等の肥料成分の過剰、これには拮抗作用による必要成分の吸収抑制も含まれる。このように過剰障害による生育不良の状態がある。これは過去の施肥習慣の結果によるので、その畑の施肥経歴が問われることになる。

生育の正常かつ、健全な畑の土壌分析値を見ると、各成分に過不足がなく、しかも肥料成分間のバランス (塩基組成) は良く、しかも有機物含量と、微量元素含量の高いことが考えられる。

以上のような野菜の生育状態とその土壌分析値及び参考文献から各成分について次ぎのように考えて、土壌診断と処方—サンパロ市近郊を中心とした露地野菜の場合—として一覧表にまとめたのが、第173表である。

(I) 欠乏症の出る分析値

(II) 健全土壌の分析値

(III) 無肥料で野菜が出来る分析値

(IV) 過剰害が出る分析値

なお Ca と Mg の当量比、Mg と K の当量比、リン酸吸収係数、微量元素の解説も付け加えた。1 ha の耕作土量は、土の比重を 1 とし、15cm の深さでは、1.500t になる。そしてこの 1.500t の耕作土中の有効態成分量 (kg/ha) は、計算により表中に示した。野菜や他作物の 1 ha 当たり養分吸収量とこの有効態成分量を比較すると、健全なる土壌中には養分吸収量が、数倍、又はそれ以上の養分が土壌中に保有されているといえる。

第173表 土壌診断と処方—サンパウロ市近郊を中心とした露地野菜の場合

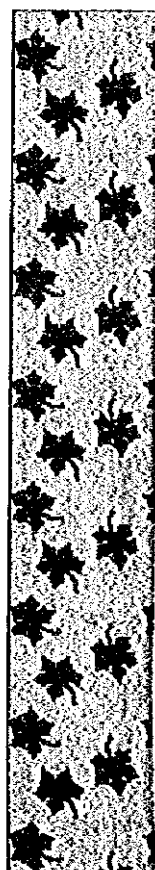
pH(H ₂ O) (土壌酸度)	< 5,0 6,0 ~ 6,5 > 7,0	強酸性でAl(アルミウム)害とMo(モリブデン)の欠乏症が出る可能性がある。 この間が健全土壌の分析値 Fe、Cu、Mn、Znなどの有効性が減少し、作物に吸収されないようになる。		
M.O (有機物)	< 1,5(%) > 2,5	低い ①野菜では3,0~5,0(%)が好適である。 高い ②C(N) × 1,724=M.O(%) ③M.O(%) × 0,05 = 全N(チカ)量 全N(チカ) × 2(%) = 作物が利用できるN(チカ)量である。		
P resina(ppm) (有効態リン酸)	22 44 (P ₂ O ₅ として) 155 873	→ 5,0(mg/100g) これ以下では欠乏症の出る可能性がある。 野菜ではこれ以上必要 この間が健全土壌分析値 これだけの含量があれば有機肥料成分の無施用で野菜ができる。 これ以上は過剰害が出る可能性がある。	→ 75(Kg/ha) → 150 → 533 → 3,000	
K ⁺ (置換態カリ) (meq/100g) 細土中	0,17 0,32 (K ₂ Oとして) 0,60	→ 8,0(mg/100g) これ以下では欠乏症の出る可能性がある。 この間が健全土壌分析値 これだけの含量があれば有機肥料成分の無施用で野菜が出来る可能性がある。	→ 120(Kg/ha) → 227 → 425	
Ca ⁺⁺ (置換態石灰) (meq/100g) 細土中	2,00 5,00 (CaOとして) → 200,0 10,71 17,86	→ 56,0(mg/100g) この数字ではトマトで尻腐果の出る可能性がある。 パレタでは病害が出るのでこの程度でよい。(注:Caは土壌酸度との関係があり、Caの量よりも土壌pHの影響が大きいこともある) 健全土壌の分析値 これだけの含量があれば石灰肥料の無施用で野菜が出来る。 これ以上は過剰害がでる可能性がある。	→ 840(Kg/ha) → 2,100 → 3,000 → 4,500 → 7,500	(1 ha作土を1,500cmとして、1 ha当たり有効態成分量) (K ₂ Oとして) (CaOとして)
Mg ⁺⁺ (置換態マグネシウム) (meq/100g) 細土中	0,59 1,25 (MgOとして) 1,75	→ 10,0(mg/100g) これ以下では欠乏症の出る可能性がある。 この間が健全土壌分析値 これだけの含量があれば有機肥料の無施用で野菜が出来る。 (Mgの過剰害の出る分析値の報告が文献にない。)	→ 150(Kg/ha) → 375 → 525	(MgOとして)
Ca/Mg(当量比)	4~8			
Mg/K(当量比)	2以上			
Fix P ₂ O ₅ (リン酸吸収係数)	> 300 600 ~ 750 >1,200	非常に低い 中 非常に高い		
微量要素	Fe Mn Cu Zn B	欠乏値 < 20(ppm) < 5 < 0,5 < 5 < 0,3	適性値 50(ppm) 10 3 10 3	過剰値 > 200(ppm) > 35 > 5 > 40 > 8

文 献

1. Boletim 200	IAC	1987
2. Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS No.56	Potafos	1991
3. INFORMAÇÕES ECONOMICAS SP V 23 n11	IEA	1993
4. INFORMAÇÕES ECONOMICAS SP V 26 n12	IEA	1996
5. SOB INFORMA VOL.13 :2	SOB	1991
6. ブラジル史	アンドウ・ゼンパチ	1956
7. 南米銀行 20 年史	南米銀行	1960
8. 野菜の栄養診断と施肥	杉山直儀編著	1968
9. 農業及び園芸	養賢堂	1986
10. 農業及び園芸	養賢堂	1988
11. 農業技術体系	農文協	1987
12. ハイテク花づくり	化学工業日報社	1990
13. CAC-CC ブラジル情報	CAC-CC	1993
14. 農業情報誌	JICA	1994
15. ブラジルにおける農牧林業の生産流通状況 (1992 ~ 1993)	JICA	1994
16. ブラジル薬用植物事典	橋本悟郎	1996

肥培管理技術の手引書

—資料編—



はじめに

本手引書は、土壌・肥倍管理技術に必要な基礎知識、およびブラジルの改善技術に役立つ参考文献を収集・整理したものである。この資料を基に技術指導をした結果、不良農地の改善が出来、農作物の生産性が向上したという体験を著者は持っている。そこで実際の生産活動をおこなっている農家の方が、ブラジルにおける耕地土壌の生産力を維持・向上していく技術指導書として実際に役立て、活用して頂ければ幸いです。

1998年3月

著者

1. 作物に必要な六条件と土壌

1) 六条件とは？

作物生産の技術的要点は、作物生育の六要素である。光、温度、空気、水分、養分、有害因子の無いことの六つの要素を十分満足させることである。この内の光以外は、土壌と重要な関係を持っている。第1表に作物に必要な六条件の内容を記す。

第1表 作物の生育に必要な六条件

1. 光	炭酸同化作用エネルギー 光周律（開花現象を調節）
2. 空気 O ₂ 酸素 CO ₂ 炭酸ガス N ₂ チッソ	呼吸作用 炭素同化作用 チッソ固定作用（空中チッソの利用）
3. 水	体の構成材料 有機物の原料 物質の運搬者
4. 温度	あらゆる反応に関係
5. 養分	N、P、K、その他
6. 有害物質の無いこと	硫化水素、鉍毒 Al（アルミニウム）＝酸性

出所：土壌学の基礎と応用 1960 pg 16

農業のもっとも大きな特色は、緑色植物に特有な光合成によって太陽のエネルギーを利用して空気中のCO₂（二酸化炭素）と根から吸収されたH₂O（水）から、有機物（炭水化物）を合成することである。

さて、作物に対する土壌の役割は3つ考えられる。その1つは作物体を支える場を与えることにより、光、空気、養分等を受けることを可能にする役目。その2は作物の根の健康を維持するための環境の場を提供する。その3は養分と水分の供給と『貯蔵庫』の役目がある。下記に土壌と作物に関する項目について説明する。

2) 適正な土壌環境とは？

(1) 根の深度と生産性

作物は、作物体を支え、養水分を吸収するための根に対して土壌の深さが必要で、作物の根は土壌が許容すれば、1～2 mまで達する。根の深達度は、物理的、科学的障害、例えば緻密な層、小石の層、有害物、地下水の水位等によって制限を受ける。この内地下水を適正に排水することは可能である。第2表に土壌有効深度と生産性との一般的な関係を記すが土壌有効深度は生産性に大切である。

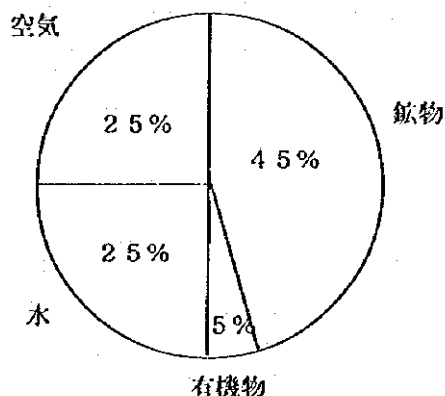
第2表 土壌有効深度 × 生産性

作物に利用される土壌の深さ (cm)	生産性指数 (%)
30	35
60	60
60	75
90	85
120	95
180	100

出所：Manual de Fertilidade do Solo 1989 pg 31

(2) 作物生育と土壌の組成

第1図に作物の生育に良好な土壌の組成を示す。



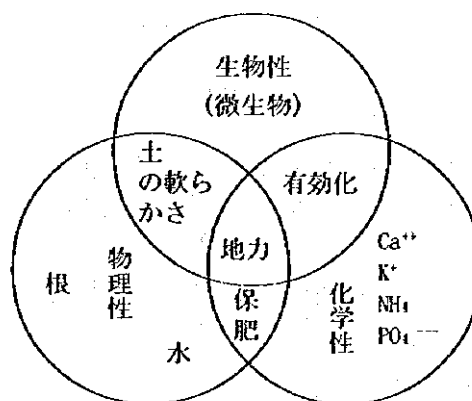
作物の生育に良好な土壌の組成は、土壌中で鉱物45%、空気25%、水25%、有機物5%で構成されている。

第1図 作物生育に良好な土壌の組成

出所: Matéria Orgânica do Solo 1992 pg 8

(3) 地力

根の生育圏である土壌は根が十分に発育し、盛んな活動が出来るような環境でなければならないし、農作物生産に必要な肥料成分の供給が円滑になされるような有効成分を豊富に含んでいなければならない。これらを具備している土壌が地力の高い土壌といわれるものである。地力とは化学性と物理性と生物性の働きを総合したものである。(第2図)



第2図 地力の三要素

出所: 土壌診断法 1992 pg 33

地力のある土壌とは堆肥の供給と輪作、緑肥栽培等による土壌中有機物含量の高まりによって招来される。土作りにおいて有機物の供給の大切な理由はここにある。

地力の高い土壌では、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=二酸化炭素)が多量に放出されて光合成の原料供給源の一部となっている。この他に、微生物の活動により微生物の呼吸熱が放出されて地温の上昇を促し、低温期には根群の活動を盛んにする。

ブラジル南部で近年増加しているハウス栽培においては、特に土壌微生物の働きが生産の向上に役立っている。さらにバランスのとれた種々の微生物の増加は、土壌病害の増加を抑制し、作物の健全な発育の根源となっている。地力維持、増進をおろそかにして、化学肥料や農薬に頼って作物栽培を行なえば、わずかの管理の間違いで農業生産の大きな低下を招くことになる。

又どんなに地力があっても地下水位が高いところでは、過湿により生産力が低下するので総合的判断を農業者は要求されることになる。

土地の生産力は施肥条件によっても支配されるが、たとえ作物に対する肥料成分が十分あるとしても、その土地の物理性（通水性、通気性、保水性）が悪く、隙間の量が少なく、土壌空気の更新速度が小さく、 O_2 （酸素）が十分、根に補給されない場合には根の呼吸作用が妨げられる結果、養水分の吸収が行なわれなくなる。従って施肥に際しては、単に化学性である肥料成分の供給のみを考えず、同時に土地の物理性、生物性（微生物活動）の重要性をも留意する必要がある。

(4) 塩基置換容量 (CEC = CTC) と有機物

塩基置換容量は土壌の保肥力であり、この数字の大きいほど多くの肥料成分を貯蔵出来る大切な数字である。土壌中では粘土鉱物、酸化物そして有機物等が総合的に塩基置換容量に役立っている。第3表では、有機物 (M.O) は粘土鉱物に比べて極めて少ないにもかかわらず、粘土鉱物の約10倍の塩基置換容量 (CTC) を上昇させる力を持っていることが示されている。土壌中の有機物 (M.O) 含量を高めることの重要性が理解できる。

第3表 サンパウロ州土壌の各種表土の粘土と有機物 (M.O) に由来する塩基置換容量 (CTC) Raiji 1966

土地の略記	深さ cm	粘土 %	有機物 (M.O)	CTC		有機物 (M.O) に由来する
				M.O	Total	CTC
				meq/100g		%
PVIs	0-6	5	0,78	2,2	3,2	69
Pml	0-15	6	0,60	2,1	3,3	64
PIIn	0-14	12	2,52	8,2	10,0	82
Pc	0-16	19	2,40	6,0	7,4	81
PV	0-12	13	1,40	2,7	3,7	73
TE	0-15	64	4,51	15,0	24,4	61
LR	0-18	59	4,51	16,1	28,9	56
LEa	0-17	24	1,21	2,9	3,9	74

出所: Fertilidade do Solo e Adubação 1991 pg 40

第4表にも塩基置換容量 (CTC) に対する粘土と有機物の効果を示す。土壌 No. 1 と No. 2 とを比べると、有機物 (M.O.) 含量の増加は塩基置換容量を高め、土壌 No. 2 と No. 3 から粘土含量の増大も塩基置換容量を高めることがみとめられる。

第4表 塩基置換容量 (CTC) に対する粘土と有機物の効果

土壌 No.	pH	M.O. %	粘土 %	CTC (pH 7,0) me%
1	4,9	0,3	5	1,9
2	6,6	3,2	5	10,4
3	4,5	3,1	25	17,7

出所: Manejo Ecológico do Solo 1981 pg 125

参考までに第5表に粘土の種類と土壌 pH と塩基置換容量 (CTC) との関係を示す。即ち土壌 pH の変化に応じて、塩基置換容量 (CTC) も変わる。カオリナイトでは、pH 2,5~6 では4であるが、pH 7,0 になると10に上がる。モンモリロナイトではそれぞれ95から100に上がる。

第5表 カオリナイトとモンモリロナイトの塩基置換容量 (CTC) RUSSEL me/100g

粘土	pH 2,5~6,0	pH 7,0
カオリナイト	4	10
モンモリロナイト	95	100

出所: 土壌学の基礎と応用 1960 59

(5) 土壌通気と団粒構造

知作物の根は主として土壌空気中の O_2 (酸素) を消費して、炭水化物からエネルギーを得て、根群を更に拡大して土壌中の養水分を吸収して地上部を生育させている。根からは CO_2 (炭酸ガス) を出している。そして作物の根が消費して少なくなった土壌中の O_2 (酸素) は、大気中から土壌中の CO_2 (炭酸ガス) とガス交換されることによって供給される。こ

のガス交換速度は土壌中の隙間（スキマ）の多い方が早くなる。隙間の多いためには、土壌粒子が単粒構造であるより、団粒構造の方が有利である。団粒構造とは粒状の土壌粒子が腐植や石灰で膠着されて多孔質の直径1～10mmの小粒をなすもので、通気、通水性が良好であると共に、水分をよく保持する。

土壌中の小さい隙間は水の保有場所となり、大きい隙間は水と空気の通路になる。従って作物の生育が良好であるためには、土を常に団粒構造に保つことが大切である。

第6表 作物と団粒量

作物名と栽培年数	水に安定な団粒 (0, 25mm 以上%)
クローバー 3年	35
綿1年、クローバー 2年	27
綿2年、クローバー 1年	17
綿3年	9
ルーサン 3年	20
ルーサン 6年	30
牧草地	79

出所：肥科学概論 1960 pg 93

(6) 作物根と団粒化

根の生長量の大きい牧草である豆科牧草は土の団粒化を促すが、禾本科植物は一般的に破壊的で、綿、サトウダイコン等は特に悪影響があるとされている。同一の土に各種の作物を栽培した場合の団粒量の相違の一例を第6表に示す。

(7) 土壌微生物と団粒生成

作物栽培において有機物施用は土壌の団粒形成と増加に対して有効な手段である。その効果は有機物分解の結果、生成する粘質物の他に、有機物施用により増える菌類（カビ）の菌糸そのものが直接土壌粒子の結合に役立つことも考えられる。カビ類の方がバクテリア類に比べはるかに団粒の生成力が高い。第7表によってそれが理解できる。

第7表 微生物と団粒

接種した微生物の種類		接種後 2ann 以上 となった団粒の%
カビ類	無接種	0,0
	ペニシリウム	68,1
	フザリウム	69,7
	黒カビ	43,4
バクテリア類	カニングハメラ	53,1
	バクテリアウム・メガテリウ	7,3
	バクテリアウム・ラジオバクター	19,3
	リソビウム・アルニ	4,9

出所：肥科学概論 1960 pg 94

(8) 土壌微生物と要素

西尾によれば、一般的な畑では1ha当たり7トンの土壌微生物が存在する。(水分を除いた乾燥物重量に換算すると1,4トン) しかも生物の体には養分元素が濃縮され、N(チッソ)分は100kg/haある。生体重量で7トンの土壌微生物の中で、ダニ、トビムシ、ミミズなどの土壌動物は通常5%以下、約20%～25%が細菌、70～75%が菌類（カビ）である。第8表に土壌微生物の平均成分を示す。

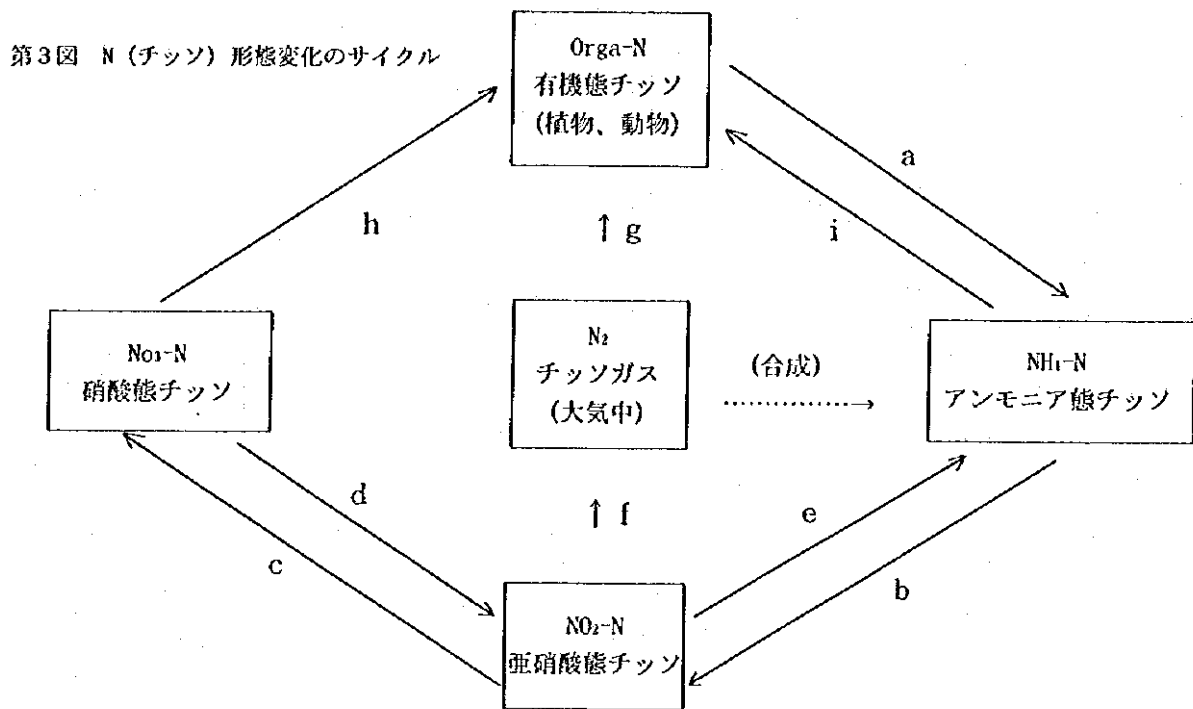
第8表 土壌微生物の平均成分

要素	乾物当たり%
N(チッソ)	10,0
P ₂ O ₅ (リンサン)	2,5
K ₂ O(カリ)	0,6
CaO(石灰)	0,6

出所：肥科学概論 1960 pg 146

(9) 土壤微生物とN (チツ) の循環

N (チツ) は空気中の80%近くを占めているが、このN (チツ) は気体で、作物には殆ど利用されない。このチツソガス (N_2) は安定で、他の物質と反応しにくい。ある種の微生物の働きもしくは高電圧、高温などの条件下 (たとえば雷) の化学変化によって化合し生成することがある。自然界におけるN (チツ) の形態変化は第3図のとおりである。このほかに肥料の合成など人為的な働きが加わって、四つの形態のあいだで変化をしている。これらN (チツ) 化合物のうち、植物に利用されやすいのは、h, iの動きのとおり、アンモニア態チツと硝酸態チツの二つである。これらの形態変化には土壤微生物の働きが大きく関与している。



a	アンモニア化成作用 (分解) タンパク質 (動植物体) → アミノ酸 → NH_4-N	大部分の有機栄養微生物
b, c	硝酸化成作用 $NH_4-N \rightarrow NO_2-N \rightarrow NO_3-N$	亜硝酸菌、硝酸菌 (硝化菌)
d, e	硝酸還元作用 $NO_3-N \rightarrow NO_2-N \rightarrow NH_4-N$	有機栄養生物
d, f	脱窒作用 $NO_3-N \rightarrow NO_2-N \rightarrow N_2$	脱窒菌 (Pseudomonas sp, Thiobacillus sp.)
g	チツソ固定作用 $N_2 \rightarrow$ タンパク質 (動植物体)	独立チツソ固定菌 (Azotobacter) 共生チツソ固定菌 (根粒菌) らん藻類
h, i	有機化作用 $NO_3-N, NH_4-N \rightarrow$ タンパク質 (動植物体)	大部分の有機栄養生物 (植物吸収、摂食)

出所: 土壤診断法 1991 Pg 205

(10) 土壤微生物活動と土壤 pH

土壤は微生物の宝庫であって、あらゆる微生物が動的平衡を保ちながら活動をしている。これらの微生物活動と土壤 pH との関係は大きく、例えば繊維分解菌の細菌、放線菌は中性を好むが、糸状菌(カビ)は酸性を好み、両者は全く対照的である。第9表に土壤 pH と繊維素分解微生物との関係を示す。

第9表 土壤 pH と繊維素分解微生物

土 壤	処 理	土壤 1gr 中の微生物 (× 10 ³)		
		細 菌	放線菌	糸状菌
無石灰 pH 5.1 酸性土	対照区	3.900	1.260	116
	N	3.900	1.260	116
	繊維素	3.600	600	160
	N+繊維素	2.480	400	4.800
石 灰 pH 6.5 中性土	対照区	7.700	2.760	25
	N	7.700	2.760	25
	繊維素	17.400	2.200	47
	N+繊維素	47.000	3.200	290

出所：WAKSMAN, 酸性土壤と作物生育、1992 pg 39

中性土壤においては、有機物は主として細菌によって分解される。細菌の大きさは、糸状菌に比べて極めて小さく、このため、有機物の分解によって無機化されたN(チッソ)が菌体に取り込まれる(有機化される)量は、中性土壤では少ない。この結果、中性土壤では無機化量が多くなり、N(チッソ)肥効は速効的になる。これに反し酸性土壤では、有機物の分解が主として菌体の大きい糸状菌おこなわれるため、無機化N(チッソ)の有機化は大となり、肥効は遅効的になる。

第10表にN(チッソ)化合物の変化に関する細菌と pH との関係を示す。これらの細菌は殆ど中性から弱アルカリ性を好む。これらのことから、土壤中における微生物活動を旺盛にするためにも土壤酸性を中和する必要がある。

第10表 N(チッソ)化合物の変化に関する細菌と pH

菌	pH		
	最 適	下 限	上 限
硝化菌	7.1	5.0	10.0
亜硝酸菌	7.8	-	-
独立N(チッソ)固定菌	7.5 ~ 7.7	-	-
硝酸還元菌	7.0 ~ 8.2	5.2	9.8

出所：WAKSMAN, 酸性土壤と作物生育、1992 pg 39

2. 作物に必要な必須要素と重要要素

1) 多量要素と微量要素

(1) 多量要素

元素は化学でいう物質のもとで二つ以上の物質に分けることの出来ぬ物質をいい、要素とは植物、作物の生育に必要な元素をいう。植物に含まれる元素は50種以上もあるが、その中で植物の生育に必要で欠くことのできない必須元素は現在ところ16種とされている。これは今後、増加すると考えられている。作物が吸収する必須元素には多量、微量要素があり、形態と必要量は第11表に示すとおりである。

第11表 植物の必須元素の吸収形態と必要量の比較

	化学記号-元素	植物に吸収される形態	対乾物 %	対乾物 ppm
多量要素	1. C (炭素)	CO ₂	45	450.000
	2. O (酸素)	CO ₂	45	450.000
	3. H (水素)	H ₂ O	6	60.000
	4. N (チッソ)	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	1,5	15.000
	5. K (カリウム)	K ⁺	1,0	10.000
	6. Ca (カルシウム)	Ca ²⁺	0,5	5.000
	7. Mg (マグネシウム)	Mg ²⁺	0,2	2.000
	8. P (リン)	H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₂ PO ₄ ²⁻	0,2	2.000
	9. S (イオウ)	SO ₄ ²⁻	0,1	1.000
微量要素	10. Cl (塩素)	Cl ⁻	0,01	100
	11. Fe (鉄)	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	0,01	100
	12. Mn (マンガン)	Mn ²⁺	0,005	50
	13. B (ホウ素)	H ₃ BO ₃	0,002	20
	14. Zn (亜鉛)	Zn ²⁺	0,002	20
	15. Cu (銅)	Cu ⁺ , Cu ²⁺	0,0006	6
	16. Mo (モリブデン)	Mo O ₄ ²⁻	0,00001	0,1

出所: Staut. 作物栄養の基礎知識 1982. pg 183

植物を焼くと乾物の約10%の灰が残る。この灰の成分は、Na、K、Ca、Mg、Al、Cl、P、S、Siなどが主体であるが、Fe、Mn、Zn、Cu、Mo、Co (コバルト)、B、Se (セレン)なども含まれる。これらは、植物の生育になくてはならない要素であり、必須元素と呼んでいる。現在、高等植物の必須元素は、上表に示す多量要素9元素、微量要素7元素が認められている。これらのうちC、H、Oは空気と水から、残りの13要素は土から供給される。

大豆の要素吸収量を参考のために記すと第12表のとおりである。

第12表 大豆 (豆3t + 他の部分5t = 合計8t) (乾燥重)

要素	Kg/ha	(%)	要素	Kg/ha	(%)	要素	Kg/ha	(%)
C (炭素)	3.500	43,7	N	320		B	100	
H (水素)	450	5,6	P	30		Cl	10.000	
O (酸素)	3.300	41,3	K	110		Cu	100	
			Ca	80		Fe	1.700	
	7.250	90,6(%)	Mg	35		Mn	600	
			S	25		Mo	10	
			Outros(*)	138		Zn	200	
						Co	5	
				738	9,2(%)			
							12.715	0,2(%)

(*) Al (アルミニウム)、Si (ケイツ)、Na (ナトリウム) 等

出所: Elemento de Nutrição Mineral de Plantas 1980 pg 11

大豆にとって多量要素 (N、P、K、Ca、Mg、S) は1ha当たり、20~30kgから数百kgの量が必要であり、その他の微量要素は1ha当たり、数grから数百grの範囲の量が必要である。ブラジルの土壌は (B、Cu、Fe、Mn、Mo、Zn) などの微量要素が一般的に不足している。とくに大豆にとって必要な微量要素はCoとClである。Coは、マメ科植物が空気中のN (チッソ)

を固定する根粒菌の栄養に必須であるといわれている。Clは、作物が必要とするよりも多くのClが雨や肥料中の副成分として通常供給されているのでとくに補給の必要はない。

(2) 微量要素

微量要素が大多数の植物体内酵素の成分をなしているという発見が、微量要素の生理的意義の理解に大きな役割を演じ、微量要素を生物学の一つの大問題に転化させた。微量要素は生命の根本原理であることがはっきりした。なぜなら物質の合成および変化の諸過程はほとんどすべて酵素の援助によって実現され、その酵素の成分に微量要素が入っており、現在分かっている酵素、約1,000種の約3分の1の酵素を金属が活性化するとされている。

(a) 植物体中の微量要素の働き

植物体中の微量要素の働きは第13表に示すとおりである。

第13表 植物体中の微量要素の働き

要素	役 割
B	細胞膜の形成 水、Caの吸収と移動 炭水化物の運搬 リグニンとセルローゼの合成 核酸とタンパク合成 Caと共同で、花粉粒の発芽、花粉管の伸長、稔性の向上、雄性不稔の低下、種子の充実
Cl	光合成に関与、気孔の開閉
Co	ホルモンのコントロール (アブサイシン酸、エチレン)、N ₂ の生物固定
Cu	フェノールとリグニン化の代謝 花粉粒の形成と稔性 N ₂ の固定と根粒への働き 病気への抵抗力増加 葉緑素の構成成分として光合成に関与
Fe	葉緑素形成に関与 N ₂ 固定 タンパクの合成 呼吸作用
Mn	病気への抵抗力の増加 葉緑素の形成に作用—光合成に関与 N代謝 タンパクの合成 呼吸作用
Mo	ホルモンのコントロール 花粉粒の形成 タンパクと核酸の代謝 Feの吸収と運搬 NO ₃ -N (硝酸態チツ) 還元酵素 空中N ₂ 固定 ビタミンCの生成に関与
	Zn (亜鉛)、Cu (銅)、Ni (ニッケル) などの重金属の過剰害を軽減 植物体内のリン酸の有機化

Zn	細胞を大きくし、増殖する 花粉粒の稔性 トリプトファンの合成 アミドの形成 タンパクの合成 呼吸に関与
----	--

出所: Avaliação do Estado Nutricional das Plantas 1989 pg 35 ~ 41

Fertilizantes e seu Impacto Ambiental 1991 pg 6 ~ 7

作物の要素欠乏・過剰症 1977 pg 104 ~ 166

(b) Cl (塩素)

Cl (塩素) は一番最後に確認された微量必須要素である。地殻には Cl は 0.15% 含まれている。海水には 1.9% 含まれている。植物体には乾物重で 0.1% から 1% までの巾がある。

Cl (塩素) の植物体内の役割を下記に列記する。

- 1 光合成の O_2 (酸素) の発生に伴う反応を Mn (マンガン) と触媒することである。
- 2 K、Ca、Mg、等の運搬を助ける。
- 3 細胞中の水分の移動—水分ストレスになった場合に細胞中の Cl の集積は植物体中の水分移動と保持を助ける。
- 4 気孔の開閉 K (カリ) と共に働く。
- 5 N の硝酸化作用を抑制する。
- 6 多くの Fungo (菌類) による葉と根の病気を抑制する。
- 7 生殖生長を助ける。小麦では Cl の適量により穂を形成し、Cl 欠の小麦より早く発芽を完全にする。

土壤中 Cl 含有率水準への小麦の反応は第 14 表に示すとおりである。

第 14 表 土壤中 Cl 含有率水準への小麦の反応

カテゴリー	土壤中 Cl 含有量 (60cm) (kg/ha)	生長量への 反応 %	平均 (反応) *	
			特に反応した畑 (kg/ha)	全体として (kg/ha)
低	0 - 34	69	336	269
中	35 - 67	31	424	175
高	> 67	-	20	-

* 1982 ~ 1986 36 カ所を基礎として。

South Dakota

出所: Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS No. 60 DEZ/92 Pg 4

研究によると海岸から 8km の所には雨で Cl (塩素) は 100kg/ha/年供給された。しかし海から 160km 離れると、20kg/ha/年に減る。

Cl 欠乏が出る時の植物の含有量は 100ppm 前後とされている。塩類集積が起こっていない普通の土壌の平均的な Cl 含量は 100ppm 前後であり、そこに生育している植物の Cl 含量は 2,000ppm 程度である。

本谷氏は稲の生育後期に Cl (塩素) が適度にあると、N の過剰吸収を抑え、K、Ca、Mg、 SiO_2 などの吸収が良くなり、そのため稔実が順調に行われることを明らかにしている。ハウレンソウは KCl を与えた方が K_2SO_4 を与えたより外観が良くなる。セルリーは塩安や塩化カリを施すと香りとタンパクの質が良くなる。

Cl の供給源を次ぎにする。

Cl の供給源	Cl (%)
KCl	47
NH_4Cl	66
$CaCl_2$	65
$MgCl_2$	74

(c) 作物体内のアミノ酸含量とCl (塩素)

Clの有無によるキャベツとハナヤサイの遊離アミノ酸の作物体内の含有率は第15表に示すとおりである。一般的にClが不足すると作物体内の遊離アミノ酸含量が高まる。遊離アミノ酸含量の少ない方が健全葉であり、タンパク合成されない遊離アミノ酸が作物体内に増加することは病虫害に犯されやすいことを意味している。

第15表 Clの有無によるキャベツとハナヤサイの遊離アミノ酸含有率

FRENEY et alli (1959)

アミノ酸	キャベツ		ハナヤサイ	
	+ Cl	- Cl	+ Cl	- Cl
	ppm / 新鮮重			
アルギニン	< 1	113 ***	29	115 ***
プロリン	3	150 **	32	227 ***
メチオニーナ	< 1	29 **	< 3	27 **
グルタミン	99	359 ***	146	494 **
アスパラギン	36	124 ***	111	230 **
Acido Pipecólico	9	29	9	40 **
グリシーナ	15	36 *	24	35
バリーナ	21	49 *	39	92 ***
レウシーナ	18	41	20	66 **
セリーナ	63	138 ***	86	189 **
B-アラニーナ	71	154 *	109	210
エタノラミーナ	19	41	33	85 ***
スレオニーナ	32	67	50	86 **
A.Raminobutiria	43	62	59	69
グルタミン酸	116	163	149	162
アスパラギン酸	54	44	60	64

* 10% 水準で有為差

** 5% 水準で有為差

*** 1% 水準で有為差

出所: Potafos Micronutrientes na Agricultura 1991 Pg313

(d) 微量要素欠乏と病気発生との関係

ある種の微量要素の欠乏は病気との関係が深く、その関係は第16表に示すとおりである。

第16表 微量要素欠乏と病気発生との関係

要素	作物	病原	要素	作物	病原	
B	大麦	Erysiphae graminis	Mo	砂糖キビ	Helminthosporium sacchari	
	小麦	Puccinia triticina		からす麦	Bacteria 病全般	
		P. glumarum		トマト	TMV	
	ヒマワリ	Erysiphae cichoracearum		Zn	バレイショ	Phytophthora infestans
	ビート	Phoma betae			アルファファ	病害全般
	十字花科	Plasmodiophora bassicae			ゴム	Oidium heveae
	ハナヤサイ	Botrytis SP.		Zn	かんきつ	Phytophthora SP.
トマト		PVX	Tylenchylus semipenetrans			
エンドウ	Alternaria colhioides	Zn	バレイショ	Phytophthora infestans		
Cu	P. triticina		イネ	Pyricularia oryzae		
Mn	マメ類	Rhizoctonia solani	ソルゴ	Sphacelotheca sorghi		

出所: Avaliação do Estado Nutricional das Plantas 1989 pg 58

Potafos INFORMAÇÕES AGRONÓMICAS No. 75 SET/96 Pg 2

ブラジルの土壌で現れる微量要素欠乏頻度は、B (ホウ素)、Zn (亜鉛) が一番多く、続いてCu (銅)、Mn (マンガン)、Fe (鉄)、Mo (モリブデン) の順である。

(e) 微量要素源

主な微量要素源は第17表に示すとおりである。

第17表 主な微量要素源

要素	製品名	化学式	含有率 (%)	水に溶ける (gr/l)
B	Bórax	-Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	11	20
	Ácido Bórico	-H ₃ BO ₃	17	63
	Ulexita	-NaCaB ₅ O ₉ · 8H ₂ O	8	溶けない
Cl	Cloreto de Sódio	-NaCl	59	-
	Cloreto de Potássio	-KCl	52	-
Co	Cloreto de Cobalto	-CoCl ₂ · 2H ₂ O	35	-
	Sulfato de Cobalto	-CoSO ₄ · 7H ₂ O	22	600
Cu	Sulfato de Cobre	-CuSO ₄ · 5H ₂ O	25	316
	Óxido de Cobre	-CuO	75	溶けない
	Oxicloreto de Cobre	-3Cu(OH) ₂ CuCl ₂	56 - 68	-
Fe	Sulfato Ferroso	-FeSO ₄ · 7H ₂ O	19	156
	Férrico	-Fe ₂ (SO ₄) ₃ · 4H ₂ O	23	-
Mn	Sulfato Manganoso	-MnSO ₄ · 3H ₂ O	26 - 28	742
	Óxido Manganoso	-MnO	41 - 68	溶けない
Mo	Molibdato de Sódio	-Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	39	552
	Molibdato de Amônio	-(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	54	430
	Trióxido de Molibdênio	-MoO ₃	66	-
Na	Cloreto de Sódio	-NaCl	39	-
	Salitre do Chile	-NaNO ₃	26	-
	Salitre Potássio	-NaNO ₃ · KNO ₃	18	-
Zn	Sulfato de Zinco Monohidratado	-ZnSO ₄ · H ₂ O	35	-
	Sulfato de Zinco Heptahidratado	-ZnSO ₄ · 7H ₂ O	23	965
	Óxido de Zinco	-ZnO	20 - 78	溶けない

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 101-102
MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA 1991 pg 394

(f) 微量要素施用法

微量要素施用法は第18表に示すとおりである。

第18表 微量要素欠乏対策に用いる化学薬品の特徴と施用基準量

成分名	化学薬品名	化学式	成分含有率 (%)	葉面散布		土壌施用
				(%)	(水 1t/ha)	(Kg/ha)
B (ホウ素)	ホウ砂	-Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	11	0,3	500	10 ~ 15
	ホウ酸	-H ₃ BO ₃	17	0,3	500	3 ~ 10
Cu (銅)	硫酸銅	-CuSO ₄ · 5H ₂ O	25	0,2 ~ 0,4	1.000	10 ~ 20
Fe (鉄)	硫酸第二鉄	-Fe ₂ (SO ₄) ₃ · 7H ₂ O	20	2,0	500	50 ~ 60
Mn (マンガン)	硫酸マンガン	-MnSO ₄ · 4H ₂ O	23 - 28	0,3	500	50
				(生石灰 0,3% 加用)		
Mo (モリブデン)	モリブデン酸アンモン	-(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 2H ₂ O	54	0,05	500	-
	モリブデン酸ソーダー	-Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	39	0,05	500	-
Zn (亜鉛)	硫酸亜鉛	-ZnSO ₄ · 7H ₂ O	22	0,3	1.000	20 ~ 30
				(生石灰 0,3% 加用)		

出所: MANUAL DE ADUBAÇÃO FOLIAR 1975
施肥の基礎と応用 1982 pg150
作物の要素欠乏・過剰症 1977

(g) 葉面散布と吸収時間

葉面散布された要素の吸収時間は第19表に示すとおりである。

第19表 葉面散布された要素の吸収時間

要素	50%吸収される時間
N	1/2 - 2 時間
P	5 - 10 日
K	10 - 24 時間
Ca	10 - 91 時間
Mg	10 - 24 時間
S	5 - 10 日
Cl	1 - 4 日
Fe	10 - 20 日
Mn	1 - 2 日
Mo	10 - 20 日
Zn	1 - 2 日

出所: ABC DA ADUBAÇÃO 1989 pg 162

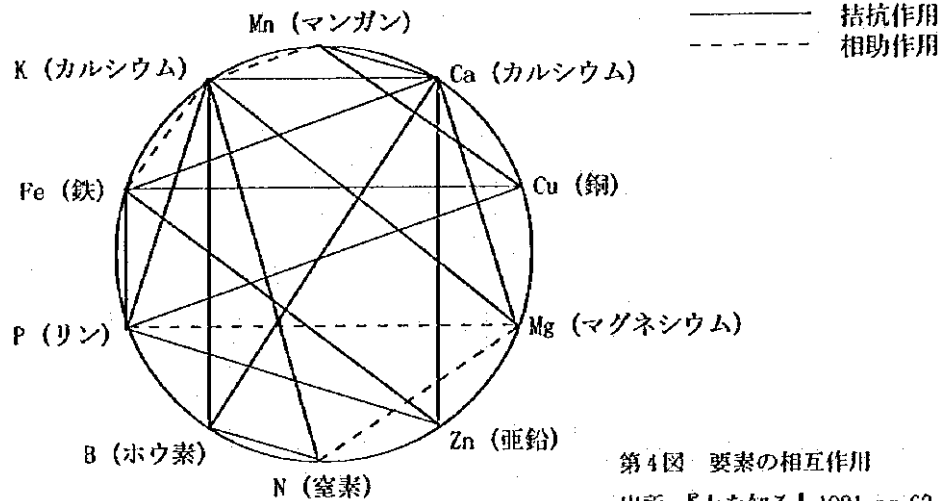
(h) 要素の相互作用

土壌中のCa (カルシウム)、Mg (マグネシウム)、K (カリ) は、互いに吸収を抑制しあう性質がある。これを拮抗作用という。

- ・ Mg・Kの増加 → Caの吸収抑制
- ・ Kの増加 → Mgの吸収抑制
- ・ Ca・Mgの増加 → Kの吸収抑制

このため、土壌中の肥料要素のアンバランスは、種々の生理障害を生ずる原因になる。

ところがある肥料要素の作用が、他の肥料要素のために強化されることがある。これを相助作用といい、第4図に示すとおりである。



(i) ブラジルの微量元素施用勧告

試験場、大学、研究機関、普及所その他の試験を基礎にして、公的にブラジルの各州では施肥の勧告を行なっている。一般に微量元素欠乏の予防と矯正は作物、必要量、施用法 (予防×治療)、そして作業の効率を考えて、1~3の方法

をとっている。

- 1、種子処理 --大豆やインゲンマメの Co と Mo による処理
- 2、土壌施用 --条施、植付け穴への施肥。生育中に追肥として（土壌と混和する、又はしない）
例：B綿
B, Znコーヒー
Zn.....稲とトウモロコシ
- 3、葉面散布 -- B, Cu, Mn, Zn.....コーヒー
B, Mn, Znかんきつ

ブラジルの州別微量要素施用の公的勧告は第 20 表に示すとおりである。

第 20 表 ブラジルの州別微量要素施用の公的勧告

州	作物 (微量要素)
アラゴアス	パイナップル、ソルゴ、陸稲、トウモロコシ (Fe)、コーヒー (B)、砂糖キビ (Cu, Zn) 柑橘 (B, Cu, Mn, Mo, Zn)
バイア	コーヒー (B, Zn)、砂糖キビ (B, Cu, Zn)、柑橘 (B, Mn, Zn)、ハナヤサイ、キャベツ、パパイヤ (B)、 キャッサバ (Zn)、ブドウ (B, Mn, Zn)
セアラ	ニンニク (B, Zn)、ビート、十字花科 (B)、コーヒー (B, Zn)、柑橘、インゲンマメ、大豆、トマト (Mo) 野菜と果物一般 (Cu)、柑橘、ハヤサイ、キャベツ (Mo)
ゴヤス	レタス、綿、バレイショ、タマネギ、ユウカリ、ピーマン、トマト (B, Zn)、ニンジン、パパイヤ、 アメリカ松、キャベツ、小麦 (B)、陸稲、バナナ、キャッサバ、トウモロコシ、牧草、キュウリ、 大豆、ソルゴ (Zn)、インゲンマメ (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn)、ゴム (B, Cu, Zn)
マラニオン	パイナップル、ソルゴ、陸稲 (Fe)、ビート、ハナヤサイ (B)、コーヒー (B, Cu, Zn)、野菜 (Cu) インゲンマメ (Mo)、トウモロコシ (Fe, Zn)、大豆 (Zn)
ミナスジェリス	綿、ニンニク、グラジオラス、バラ、トマト (B)、陸稲、キャッサバ、ヒマ、トウモロコシ、 ペカン、ソルゴ (Zn)、水稻 (Si?)、コーヒー (B, Cu, Zn)、柑橘 (B, Mn, Zn)、ハナヤサイ (B, Mo)、 大豆 (Mn)、カーネーション (Li?)、キク、ユウカリ、小麦、果樹一般 (B, Zn)、牧草 (B, Mo, Zn)
ペルナンブーコ	パイナップル、陸稲、トウモロコシ、ソルゴ、(Fe)、コーヒー (B, Cu, Zn)、砂糖キビ (B, Cu)、 柑橘、インゲンマメ、大豆、トマト (Mn)、野菜一般 (B)
パラナ	コーヒー (B, Zn)
リオデジャネイロ	ニンニク (B, Zn)、ブロッコリ、葉キャベツ (B, Mo)、コーヒー (B, Cu, Zn)、砂糖キビ (B, Cu, Zn)、 ヤシ (Cl?)、インゲンマメ (Mo)、バラ (B, Fe)
リオグーランド・ドウス・サントス	アルファファ (B)、ブロッコリ、葉キャベツ、キャベツ (B, Mo)、柑橘、ペカン (Mn, Zn)
サンパウロ	リンゴ、ナシ (B, Zn)、大豆 (Mo) 綿、レタス、アルメイロン、シコリア、エスカローラ、ブロッコリ、ハナヤサイ、キャベツ (B) 陸稲、バナナ、キャッサバ、トウモロコシ (Zn)、ニンニク、コーヒー、パパイヤ (B, Zn) 柑橘 (B, Mn, Zn)、エンドウ (B, Mo)、サヤインゲン、オクラ (Mo)、牧草 (B, Cu, Mo, Zn)

出所：FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 96

(j) 要素の葉中濃度と生育、生産量、品質の関係

要素が葉中に集積するに従って生ずる作物体の反応は第 21 表に示すとおりである。葉分析値から適正値を判定して処置する必要がある。

第21表 微量元素の葉中濃度と生育、生産量、品質の関係

要素の集積度	過剰	生産の低下、目で見える過剰障害の症状がある。	→ 過剰害の始まる水準
	ぜいたく吸収	成育は良いが、微量元素の集積、他要素との相互関係がある。	
	葉分良好状態	良生育、高生産、良品質	
	弱い欠乏	見た目には欠乏症状はないが、施肥効果あり。	→ 生産反応限界
	強い欠乏	目に見える欠乏症状があり、施肥、葉面散布の効果あり。	→ 症状の出る限界

出所：MICRONUTRIENTES NA AGLICULTURA 1991 pg 300

(k) 作物の微量元素欠乏の原因

ブラジルで栽培される作物の微量元素の欠乏症発生の主な原因は第22表に示すとおりである。一般的には気候条件による。又は石灰施用による過度のpHの上昇による、有効性の低下である。

第22表 ブラジルで栽培される作物の微量元素の欠乏症発生の主な原因

要素	要因	要素	要因
B	土壤中の欠乏 (有機物含量の少ないこと) 強酸性 流亡 乾燥	Mn	土壤中の欠乏 過剰石灰施用 有機物含量の多いこと 施肥リンサン (P ₂ O ₅) 過剰
Cu	土壤中の欠乏 過剰石灰施用 有機物含量の多いこと	Mo	土壤の酸性 過剰 SO ₄ リンサン (P ₂ O ₅) の不足
Fe	酸性土壤 過剰石灰施用 有機物含量の多いこと、過湿 作物の種類と品種	Zn	土壤中の欠乏 過剰石灰施用 リンサン (P ₂ O ₅) の過剰

出所：ERTILIZANTES E SEUS IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg93

(l) 葉中微量元素の判定基準

一般的な葉中微量元素の判定基準を示すのは、難しいが一つの基準は第23表に示すとおりである。

第23表 葉中微量元素含量の欠乏・適正・過剰の判定基準 Jones, Jr 1972

要素	成葉中濃度 (ppm)		
	欠乏	適正	過剰
B	< 15	20 - 100)	200
Cu	< 4	5 - 20)	20
Fe	< 50	50 - 250)	1,000 *
Mn	< 20	200 - 500)	500
Mo	< 0,1	0,2 - 0,5 **)	100 **
Zn	< 20	25 - 150)	400

* Ondino C.B. の示唆。 ** ADRIANO (1986)

出所：MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA 1991 pg301

一般的に考えられている各種作物の葉中微量元素の適正濃度は第24表に示すとおりである。

第24表 各種作物の一般的に考えられている葉中微量元素の適正濃度 (ppm)

作物	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
稲	40 - 70	10 - 20	200 - 300	100 - 150	?	25 - 35
トウモロコシ	15 - 20	6 - 20	50 - 250	50 - 150	0, 15 - 0, 20	15 - 50
小麦	20	9 - 18	-	16 - 18	0, 10 - 0, 50	20 - 40
ユーカリ	40 - 50	8 - 10	150 - 200	100 - 600	0, 50 - 1, 00	40 - 60
アメリカ松	20 - 30	5 - 8	50 - 100	200 - 300	0, 10 - 0, 30	34 - 40
ココア	30 - 40	10 - 15	150 - 200	150 - 200	0, 50 - 1, 00	50 - 70
コーヒー	50 - 50	10 - 14	100 - 130	80 - 100	0, 10 - 0, 15	15 - 20
綿	20 - 30	30 - 40	60 - 80	20 - 40	1, 00 - 2, 00	10 - 15
牧草-カホン科*	15 - 30	3 - 15	100 - 200	80 - 300	0, 11 - 1, 00	20 - 50
牧草-マメ科**	25 - 80	5 - 10	100 - 700	60 - 250	0, 10 - 0, 80	15 - 35
パイナップル	30 - 40	9 - 12	100 - 200	50 - 200	-	10 - 15
バナナ	10 - 25	6 - 30	80 - 360	200 - 2000	-	20 - 50
柑 橘	40 - 100	5 - 6	60 - 120	25 - 100	0, 10 - 1, 00	25 - 100
トマト	50 - 70	10 - 15	500 - 700	250 - 400	0, 30 - 0, 50	60 - 70
インゲンマメ	30 - 60	10 - 20	100 - 450	30 - 300	?	20 - 100
大豆	21 - 55	10 - 30	50 - 350	20 - 100	?	20 - 50
砂糖キビ	15 - 50	8 - 10	80 - 200	50 - 200	0, 15 - 0, 30	25 - 50
キャッサバ	30 - 60	6 - 10	120 - 140	50 - 120	?	30 - 60

* カホン科-3種

**マメ科-4種

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 94

(m) 野菜とMo (モリブデン) の施用効果

日本では1955年初めて、大根でMoの施用効果が確認された。沖積砂壌土を用いて、ポットで各種野菜に対するMoの施用効果を調べた。その結果、12種類の野菜のうち8種類に明らかな施用効果がみられた。この場合著しい施用効果がみられた作物でも、無施用区にはMoの欠乏症徴候は殆どみられなかった。

施用効果の大きかったものは、ダイコン、ゴボウ、タマネギ、ハウレンソウなどで、とくに根菜類では地上部への影響はほとんど現れなかったのに、肥大根に顕著な効果があらわれた。

各種野菜に対するMo (モリブデン) の施用効果は第25表に示すとおりである。

このように栽培期間中は、地上部の生育に全く差が現れず、施用効果をほとんど期待できないような状態であったが、収穫のため肥大根の調査を行なったところ、驚くほどの効果であった。すなわち肥大根については60~80%におよぶ増収効果が認められた。

第25表 各種野菜に対するMo (モリブデン) の施用効果 (嶋田永生ら1959)

野菜	部位	無施用区を100とした時の比数
1. トマト	全	128
2. サヤインゲン	茎葉	101
サヤインゲン	莢	151
3. ナス	茎葉	101
ナス	果実	131
4. ダイコン	葉	102
ダイコン	根	136
5. キャベツ	全	100
6. カブ	葉	114
カブ	根	100
7. ゴボウ	葉	113
ゴボウ	根	157
8. エンドウ	茎葉	95
エンドウ	莢	104
9. ハナヤサイ	全	109
10. レタス	全	97
11. ハウレンソウ	全	173
12. タマネギ	茎葉	114
タマネギ	球	187

1/2000のワーグナーポット 1区5連

N (硝安施用) 成分 2gr, Mo 6mg

出所: 農業および園芸 第46 1971 1号 pg 270

(n) 野菜の過湿障害と Mn (マンガン)

嶋田ら (1956.57) は、木曾川沖積砂壤土の野菜畑の生産力低下の原因を調べた中で、ネギやホウレンソウが過湿時に著しく萎縮する症状を知った。その植物体の分析結果によると、体内に著しく多量の Fe (鉄) が吸収されており、Mn (マンガン) 含量が低かった。この結果をもとにして試験した成績は第 26 表に示すとおりである。

第 26 表 土壌湿度と肥料処理とネギの生育 (嶋田永生ら 1957)

土壌水分	肥料処理	全重		最大葉長 (cm)	体内無機成分		Fe/Mn
		(g)	比数		Mn ppm	Fe ppm	
普通状態	1. 無処理	328,0	131	51,8	81,3	151,5	1,86
	2. Mn 施用	327,0	130	52,1	93,2	155,0	1,66
	3. Mo 施用	356,3	142	54,2	90,7	150,8	1,66
	4. Ca 施用	316,6	126	53,8	31,2	146,9	4,71
	5. Ca, Mn 施用	313,3	125	55,5	37,2	147,2	3,96
	6. Ca, Mo 施用	310,1	124	52,0	35,6	149,3	4,19
過湿状態	1. 無処理	250,6	100	40,5	75,3	243,4	3,23
	2. Mn 施用	309,6	124	45,6	100,3	226,8	2,26
	3. Mo 施用	293,8	117	40,9	81,1	236,4	2,91
	4. Ca 施用	284,9	114	46,0	45,7	164,2	3,59
	5. Ca, Mn 施用	349,5	139	49,0	59,9	162,4	2,71
	6. Ca, Mo 施用	280,6	112	48,0	50,1	160,8	3,21
L.S.D		0,05	36,9	-	4,75	-	-
		0,01	49,9	-	6,38	-	-

出所：農業および園芸 第 46 第 1 号 1971 pg 272

第 26 表の試験結果によると、過湿時に Mn, Ca + Mn 施用により生育が顕著に良好となった。体内無機成分の分析値から見て、過湿により Fe / Mn 比が増大することの原因によりネギの生育が不良になると考えられる。

また老朽畑地のホウレンソウに見られる黄化萎縮症は、Fe (鉄) と Mn (マンガン) との拮抗作用 (互いに張り合う作用) による一種の Mn (マンガン) 欠乏と考えられている。

すなわち同症状は降雨の多い過湿時に激しく、かつ pH 5,0 以下の畑に多発するが、そのような条件で土壌中の Fe (Mn も同様) が大量に可溶化し、まず Fe が吸収されるために、Mn の吸収が抑えられるものとみられる。葉の Fe 含有率 (Fe₂O₃ ppm) は正常株平均 219 に対し、発生株 405、また別の試料では Fe が正常株 198 ~ 239、発生株 417 ~ 490 である。

またマンガン含有率 (MnO ppm) では、正常株 165 ~ 173、発生株 97 ~ 106 である。このようなホウレンソウ黄化萎縮の初期に Mn を葉面散布することにより生育が良好となる。

大豆のマンガン欠乏については、土壌有機物が少ないと、塩基置換容量 (CTC) が低くなり、土壌の緩衝作用が低くなり、石灰施用で土壌 pH が上昇し、有効態 2 価の Mn²⁺ が不溶性の 4 価の Mn⁴⁺ となり、大豆の Mn (マンガン) 欠乏を助長すると考えられている。

Mn (マンガン) 欠乏対策としては、それが土壌の高 pH による場合は、葉面散布が効果的で、硫酸マンガン (Mn, SO₄, 4H₂O, Mn 約 24,7%) を 0,2 ~ 0,4% で葉面散布する。また土壌中マンガン欠乏の場合には、硫酸マンガンを 50 ~ 100kg / ha 土壌施用する。

(o) 綿と B (ホウ素)

土壌と葉分析値から綿植付け時に施用する B (ホウ素) の勧告値は第 27 表に示すとおりである。

土壌に一度に多量の微量要素を施用すると、作物に障害が現れるものであるが、なかでも B (ホウ素) は他の微量要素に比べ、障害の現れ方が激しいものである。土壌中に B (ホウ素) が過剰に存在すると過剰症状は発芽当初に最も現れや

すい。野菜のダイコンでは貝割葉が黄変する。インゲンマメでは双葉の周辺が黄褐色化する。

B (ホウ素) は下層土への移動が認められる。例えば表層 15cm までに Bórax (ホウ砂) 施用した土と混合し、放置したところ、1 年後には約 10% の B (ホウ素) が表層に残っておるのみで、残り 90% は下層土に移動、流亡した成績がある。

第 27 表 土壌と葉分析値から綿植付け時に施用する B (ホウ素) の勧告値

Nelson, M. D. S 1994

	B		勧告値 B Kg/ha
	土 壌 *	葉 **	
	mg/dm ³ (ppm)	mg/Kg (ppm)	
極低い	< 0,2	< 20	1,0 - 1,2
低い	0,2 - 0,4	20 - 35	0,8 - 1,0
中	0,4 - 0,6	35 - 50	0,5 - 0,8
高い	> 0,6	> 50	0

* 熱水で抽出 ** 開花時第 5 位葉の分析

出所: O Agrônomo, Campinas Vol 46 p27-30 1994 INFORMAÇÕES AGRONÓMICAS

(p) アボガドと微量元素

アボガドに対する微量元素施用勧告は第 28 表に示すとおりである。土壌施用では他の肥料と混合して施用する。葉面散布は、不注意な葉害を避けるために、生育期に行なうべきである。

第 28 表 アボガドへの微量元素の土壌施用と葉面散布 (製品・量・濃度) campos 1985

土壌施用		葉面散布	
製品名	施用量 (Kg/ha)	製品名	施用量 (gr/100lt)
Bórax	10,0	展着剤	-
Sulfato de cobre	10,0	Ácido bórico	35
Sulfato de ferro	12,0	Sulfato de cobre	300
Sulfato de manganês	12,0	Sulfato de ferro	300
Molibdato de sódio ou amônio	0,1	Sulfato de manganês	300
Sulfato de zinco	20,0	Molibdato de sódio ou amônio	2
		Sulfato de Zinco	700

出所: MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA 1991 pg 587

(q) 稲と微量元素

稲に対する微量元素の土壌と葉面散布施用量は第 29 表に示すとおりである。モリブデンについては施用前に土壌 pH を測定することが大切である。モリブデン欠乏は土壌 pH の低さに原因している場合がある。この場合は土壌酸性矯正することにより Mo (モリブデン) の有効量を増加できる。

第 29 表 稲に対する微量元素の土壌と葉面散布施用量 (Morel, P. B. Marta, C. F. 1995)

要素	肥料、化学式、成分含量	土壌施用量 (Kg/ha)	葉面散布量 (Kg/500lt)
Boro (ホウ素)	Bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O-10,6%B)	10 - 15	1 - 2
Cobre (銅)	Sulfato de cobre (CuSO ₄ · 5H ₂ O-26%Cu)	20 - 25	1 - 2
Ferro (鉄)	Sulfato ferroso (FeSO ₄ · 7H ₂ O-20%Fe)	-	5 - 8
Manganês (マンガン)	Sulfato de manganês (MnSO ₄ · 4H ₂ O-27%Mn)	-	1 - 2
Molibdênio (モリブデン)	Molibato de amônio [(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O-54%Mo]	0,5 - 1,0	0,25 - 0,5
Zinco (亜鉛)	Sulfato de Zinco (ZnSO ₄ · 7H ₂ O-23%Zn)	20 - 30	1 - 2,5

出所: Potafos ARQUIVO DO AGRÔNOMO - No9 pg 5 JUNHO/95

(r) コーヒー樹への土壌中微量元素判定基準

サンパウロ州のコーヒー樹への土壌中微量元素の判定基準は、第 30 表に示すとおりである。

第30表 サンパウロ州のコーヒー樹への土壤中微量元素の判定基準 (COSTA ら 1884)

要素	欠 乏	中 低	適 正	高 い (ppm)
B	< 0,3	0,3 - 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
Cu	< 0,5	0,5 - 1,5	1,5 - 2,0	> 2,0
Fe	< 20,0	20 - 30	30 - 200	> 200
Mn	< 5,0	5 - 10	10 - 130	> 130
Zn	< 4,0	4 - 6	6 - 40	> 40

出所: MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA 1991 pg512

マラボルタ氏はコーヒー樹への微量元素の『良』土壌の一試案として第31表を発表した。

第31表 コーヒー樹への微量元素の『良』土壌の一試案 (MALAVOLTA 1986)

要 素	矯正幅 (ppm)	要 素	矯正幅 (ppm)
B	0,2 - 0,6	Mn	5,0 - 10,0
Cu	1,0 - 3,0	Mo	0,1 - 0,2
Fe	40,0 - 60,0	Zn	1,0 - 2,0

出所: MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA 1991 pg514

(s) コーヒー樹へのZn(亜鉛)の葉面散布

ブラジルではZn(亜鉛)の葉よりの吸収を高めるために溶液に尿素を加える傾向がある。しかし第32表の結果より、溶液に尿素を混ぜるよりKCl(塩化カリ)を混ぜる方がよりZn(亜鉛)の吸収には有効である。

第32表 コーヒー苗によるZn(亜鉛)の葉面吸収 (RENATA. A. B 未発表)

処 理	Zn (ppm)	N (%)	K (%)
TO = 展着剤 + H ₃ BO ₃ + 酸塩化銅	11 B *	2,9 A	2,3 A
TO + ZnSO ₄ · 7H ₂ O	28 B	2,7 A	2,3 A
TO + ZnSO ₄ · 7H ₂ O + 尿素	32 B	2,7 A	2,0 A
TO + ZnSO ₄ · 7H ₂ O + KCl	120 A	2,7 A	2,1 A
TO + ZnSO ₄ · 7H ₂ O + 尿素 + KCl	107 A	2,9 A	2,2 A
CV %	14		

* Tukey(0,05) A-高い B-低い

	(%)
溶液: ZnSO ₄ · 7H ₂ O (硫酸亜鉛)	0,5
H ₃ BO ₃ (ホウ酸)	0,3
Oxicloreto de cobre (酸塩化銅) 50%	1,0
尿素	1,0
Extravon (展着剤)	0,05

出所: Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS No. 46 pg1 JUNHO/89

結論としては

- 1、ホウ酸、酸塩化銅、展着剤の混用の時、尿素は葉からのZn(亜鉛)吸収に効果が無い。
- 2、尿素はコーヒーの葉面散布による亜鉛欠乏症の矯正には加えるべきでない。
- 3、溶液に塩化カリが混合されると、約5倍のZn(亜鉛)の吸収率が高まり、極めて重要である。
- 4、コーヒーの微量元素の葉面散布には、ただホウ素、亜鉛のみに限定されるべきで、KCl(塩化カリ)をZn(亜鉛)の吸収を助けるとして混合されるべきである。
- 5、溶液の経済的、しかも効果的濃度は第33表に示すとおりである。

第33表 コーヒー樹への経済的・効果的濃度

製 品	100lt の水
1. H ₃ BO ₃ (ホウ酸)	300 (gr)
2. ZnSO ₄ · 7H ₂ O (硫酸亜鉛)	500
3. KCl (塩化カリ)	500
4. Oxicloreto de cobre (酸塩化銅) 50% (銹病のコントロールのみに使用)	1.000
5. Estravon (展着剤)	50(ml)

(t) コーヒー樹の葉中の Zn (亜鉛) と Cu (銅) の拮抗作用

コーヒー樹に Zn (亜鉛) 供給のために、葉面散布の溶液に ZnSO₄ (硫酸亜鉛)、そして KCl と Ox.Cu を混入した時の葉中の Zn (亜鉛) と Cu (銅) の拮抗作用は第34表に示すとおりである。

第34表 KCl と Ox.Cu の有無によるコーヒー葉の Zn (亜鉛) の葉中濃度 (Cordeiro, A. T. 1990)

処 理			最高葉中 Zn		葉中 Zn (100ppm)
ZnSO ₄	KCl	Ox.Cu *	時間	含有率	時間
	%		(h)	(ppm)	(h)
0,40	0,40	0,0	27	226	1,1
0,40	0,40	0,8	110	215	5,6
0,40	0,73	0,0	36	263	0,9
0,40	0,73	0,8	72	205	3,4

* Ox.Cu (Oxicloreto de cobre=酸塩化銅)

出所: 16° Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras NOV/1990 pg34

コーヒー葉による Zn (亜鉛) の吸収は、コーヒー葉の Zn (亜鉛) 適正濃度である 100ppm に達するのに、KCl (塩化カリ) が混入されると約 1 時間で達するが、Ox.Cu (酸塩化銅) が混入されると、約 4 時間かかる。即ち Zn と Cu の拮抗作用により、Cu は Zn の吸収を抑制する。又 KCl が混入されると、Zn (亜鉛) の最高含有率になるのに 27 ~ 36 時間かかるが、Ox.Cu (酸塩化銅) が混入されると 72 ~ 110 時間かかり、約 3 倍の時間がかかることになる。従って、Ox.Cu (酸塩化銅) の混入はコーヒー葉の銹病のコントロールが必要としたときのみ許容されるべきである。

(u) 大豆と微量元素

ブラジルで栽培される大豆は、世界的需要の増大を反映して主としてブラジル中央高原のセラード地帯での面積拡大が著しいが、パラナ州ロンドリーナ市にある大豆研究所 (EMBRAPA) では、1996 年の文書として『1996/97 農年のブラジル中央地域の大豆栽培に対する技術勧告』を行なった。それが第35表である。

第35表 ブラジル中央地域 (セラード) で栽培される大豆への微量元素施用量勧告

Zn	--	4,0 ~ 6,0	Kg/ha
B	--	0,5 ~ 1,0	Kg/ha
Cu	--	0,5 ~ 2,0	Kg/ha
Mn	--	2,5 ~ 6,0	Kg/ha
Mo	--	50 ~ 250	gr/ha
Co	--	50 ~ 250	gr/ha

出所: EMBRAPA Soja documento, 96 pg 50

Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS No. 75 SET/96 pg 7

セラード地帯で栽培される大豆の欠乏症の予防のために第41表の微量元素の施用量を勧告する。これらの微量元素は水溶性、又は水に不溶性の肥料であれ指示された施用量を全面に施用すること。この微量元素勧告の残効性は 5 年間はある。いずれかの微量元素を再施用する時は、判定手段として葉分析を行なうことを勧める。大豆生産者が採用している植付け溝への微量元素の施用では、勧告値の 1/4 を 4 年間続けて施用すること。

Mo と Co の施用は種子処理を勧める。Mo の 12 ~ 5gr / ha、Co の 1 ~ 5 gr / ha である。

Mn (マンガン) 欠乏については肉眼で判定できる場合には、Mn の 350gr / ha (1,5kg の MnSO₄) を 200lt の水に溶かし 0,5% の尿素と一緒に散布することを勧める。この葉面散布は大豆では Mn 以外の要素については勧められない。それはい

くつかの州で多く試験の結果、生産性を向上しなかったためである。

(v) インゲンマメと Mo (モリブデン)

ミナス・ジェライス州の2カ所において、インゲンマメ (Phaseolus Vulgaris L. cv. Ouro) を使って N (チツソ) と Mo (モリブデン) 施用の効果を見た。N (チツソ) 源としては、硫酸で (元肥 20kg/ha、追肥 20kg/ha) として与えた。Mo 源としては、モリブデン酸アンモンで (Mo 0 と 20gr/ha) を使用した。Mo は水に溶かし発芽後 25 日目に散布した。リン酸はすべて同じように施用した。その結果は、第36表に示すとおりである。Mo 施用は N 肥料の追肥に相当する役割を果たした。

第36表 インゲンマメに対する Mo (モリブデン) の施用効果 (VIEIRA, C. ら 1992)

処理 No.	N		Mo の 施用量 (gr/ha)	生産量 (kg/ha)		葉中N 濃度 (kg/ha)		葉 色	
	元 肥	追 肥		ピソージャ*	ボンチ・ノバ*	ピソージャ	ボンチ・ノバ	ピソージャ	ボンチ・ノバ
1.	0	0	0	683	1.395	3,1	3,2	黄緑	緑黄緑
2.	20	0	0	1.019	1.387	2,8	3,7	黄緑	黄緑
3.	0	20	0	1.134	1.320	3,8	4,3	黄緑	淡緑-黄緑
4.	20	20	0	1.475	1.543	3,6	4,3	黄緑	淡緑-黄緑
5.	0	0	20	2.071	1.367	4,4	4,5	濃緑	緑 - 濃緑
6.	20	0	20	2.582	2.021	5,5	4,9	濃緑	淡緑-濃緑
7.	0	20	20	2.341	1.978	4,4	5,0	濃緑	濃緑
8.	20	20	20	2.437	2.245	5,0	5,0	濃緑	濃緑
CV(%)				16,3	26,1	9,0	12,1		

* ミナス・ジェライス州のピソージャ地区とボンチ・ノバ地区での試験

出所: Revista de Agricultura Piracocaba 67 (2) 117-23 1992

Potafos INFORMAÇÕES AGRONÓMICAS No. 61-MARÇO/93

(w) 牧草組織と微量要素

微量要素を草地土壌へ施用するか、又は葉面散布して牧草の植物学的組成を改善することに関して非常に重要なデータがあり、第5図に示すとおりである。この際、マメ科植物の総量は増加し、それに関連して、マメ科もイネ科も植物のタンパク質含量を増加するため、単位面積当たりタンパク質の総収量も増加した。

その他の科に属する牧草	27%	22%	22%	25%	14%	17%
マメ科牧草	18	30	25	26	39	33
イネ科牧草	55	48	53	49	47	50
	対 照 区	Mo 区	Zn 区	B 区	Mo + Zn 区	B + Zn 区

第5図 微量要素の葉面散布が自然草地の牧草の組成に及ぼす影響 (Korjakina V. f. 1963)

注: 数字-牧草全量に対する各成分量の% (風乾重) 出所: 植物の生命と微量元素 1982 pg407

(x) 微量元素と耐乾性

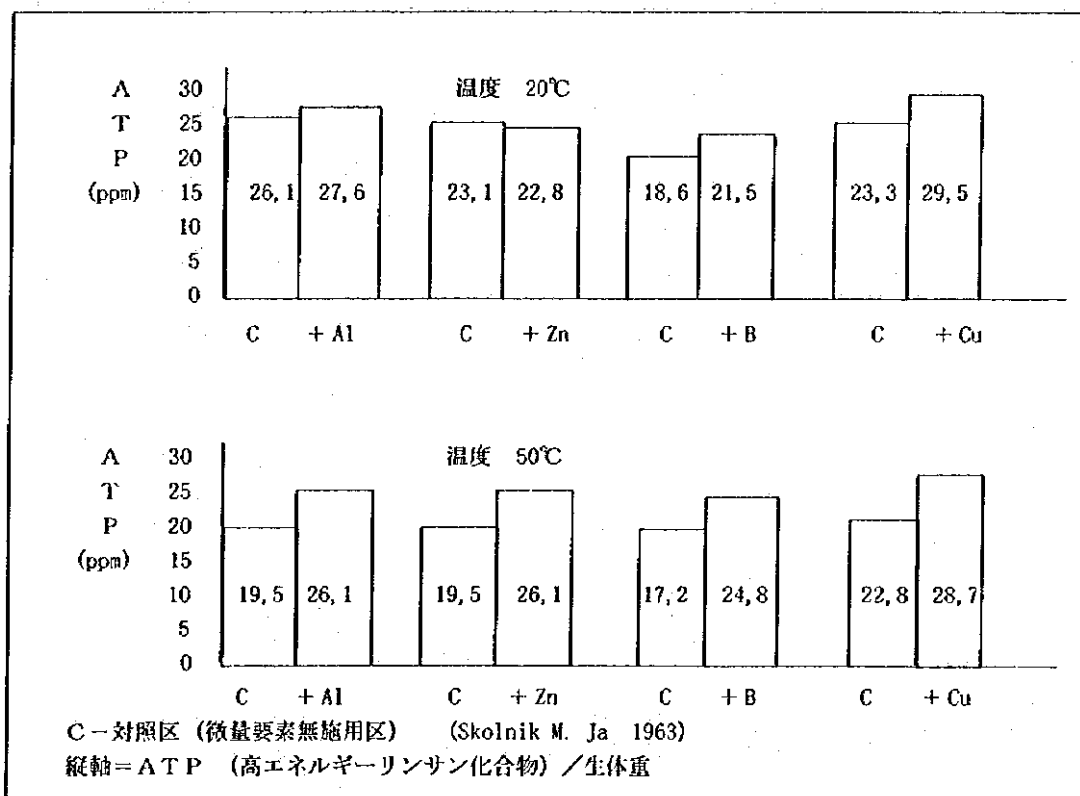
一連のソ連の研究において、Cu、Zn、Mn、Co、Moおよび特にAlは、植物の耐乾性に好影響を与えることが発見された。微量元素が耐乾性に最も強い影響を及ぼすのは、早魃が植物発育上の（給水的）臨界期—花粉四分子の形成期—と一致する場合である。植物の耐乾性を高める微量元素の能力は実際に利用された。

微量元素は、まず第一にAl、CoおよびCuの塩類溶液を種子に噴霧することにより、コムギとオオムギの耐乾性を高める方法が提案され、ソ連の乾燥地帯—オレンブルグとサラトフ州—で公認になった（Skolnik M. Jaら1970）。

(y) 微量元素と低・高温に対する抵抗性

オレンジにおいて微量元素のZn、Mn、が低温に対して抵抗性を高めることが確認されている。また微量元素はタンパク質の合成を比較的高いレベルに維持し、植物で早魃と高温が作用する時に保護の役割を果たす、アスコルビン酸、プロリン、アミドおよび核の含量を増加させる。

その他、微量元素は高温の影響を受けて低下するATP（高エネルギーリンサン化合物）含量をかなり高いレベルに維持する。ヒマワリの葉のATP含量におよぼす温度別の微量元素の影響は第6図に示すとおりである。即ちAl、Zn、B、Cuを与えることによりATP含量が高まり、低温、高温に抵抗性を高めることになる。



第6図 ヒマワリの葉のATP含量におよぼす微量元素の影響

出所：植物の生命と微量元素 1982 pg 437

植物のZn（亜鉛）要求は高温条件で増大するし、照明の強度によってもZnの要求は大幅に変動する。例えば果樹のZn不足は日光の良く当る側に、一番頻発することが立証されている。このようにZn（亜鉛）欠乏は日射の強い時、あるいは南面の側に発生しやすいが、これは強日射のもとで、Zn（亜鉛）要求力が高まり、体内にその蓄積を増す反面、Zn（亜鉛）の転流が少なくなるためといわれる。

(ロゼット)病は主として高温地方に見られる。

なおZn要求を一層大きく支配するのは、植物の無機栄養である。すなわち土壤中や植物中にP含量が高い際にZn要求は高まるが、それ以外に多量のKまたはNを土壤へ施用する際にも、類似の現象が観察される。いずれにしてもZnが不足する際には、植物に一連の極めて重要な生理的過程の攪乱が観察される。

2) その他の重要要素 (Na, SiO₂, Co)

微量元素は前述の7元素であるとされているが、今後研究方法の進歩により追加される可能性があり、いまでも必須元素として提案されているもの、また必須でないが、添加することによって、植物の生育が良好になる元素や有害な元素もあり、それらについて解説する。

(1) Na (ナトリウム)

(a) 植物のNa反応と分類

Harmer P.M. ら (1953) は、KとNaのバランスにおいて作物の特徴を次ぎの4群に分けている。

- (1) K不足の際にNaを必要とする作物群 (ルーサン、オオムギ、エンドウ、トマト、メキャベツ、ニンジン)
- (2) K不足の際にNaの必要を少し感ずる作物群 (トウモロコシ、アカクロパー、レクス、タマネギ、パレイショ)
- (3) Kの量が十分ある際にNaの必要を少し感ずる作物群 (若干のアブラナ科作物、コムギ、エンドウ)
- (4) Kの量が十分ある際にNaの必要を強く必要とする作物群 (セルリー、ビート、カブ、サトウダイコン)

Lehr J.J. (1941) によると、サトウダイコンのNa欠乏は、暗緑色の葉を密生し、その葉身はしばしば天候の暑い時にまくれあがり、暗褐色のネクロシス状斑点を生ずると報告している。

Inleri (1955) によると、ワタの砂耕および水耕栽培では、Ca不足が甚大な被害一葉の発病 (ゴマ萎凋病) を引き起こして綿実の形成を攪乱するが、この症状はNaを培養液1 lt 当たり10mg 当量添加することにより、回避出来ると報告している。また、Kレベルの低い土壤へのNa添加は綿実の形成を4~40%増加させると報告している。

Woolley Y.T. (1957) によると、トマトは少量のNaを施用する際に収量が大幅に増加すると報告している。

(b) Na施用の事例

作物のNa, Kの吸収量は第37表に示すとおりである。英国におけるサトウダイコンに対するNaを含む施肥基準は第38表に示すとおりである。

第37表 作物のNa, K吸収量 (RUSSEL 1956)

作物	Na Kg/ha	K Kg/ha	Na / K
コムギ	2,2	26,8	0,08
エンバク	4,5	42,8	0,11
ソラマメ	1,9	62,4	0,03
牧草	7,6	47,4	0,16
赤クロパー	4,3	77,4	0,06
パレイショ	3,1	71,1	0,04
カブ	20,4	138,3	0,15
マンゴールド	98,7	279,7	0,35

出所: 農業技術大系 4 1987 pg 187

第38表 英国におけるサトウダイコンに対する施肥基準 (Cooke 1972)

	Kg/ha		Kg/ha
N	125	K	83
P	28	Na	151

注: NaはNaNO₃ (チリ硝石)、NaCl (食塩) (KCl + NaCl) カイニット あるいはNa含有複合肥料で施用。

出所: 農業技術大系 4 1987 pg 187

(2) Si (ケイ素)

Si (ケイ素) は通常SiO₂ (ケイ酸) として示される。SiO₂は、植物体内に比較的少量に存在する成分で、特にカホン科植物に多く含まれる。灰分の大部分はSiO₂である。

(a) 水稲と SiO₂ (ケイ酸)

堆肥が水稲の SiO₂ (ケイ酸) 含量に及ぼす影響については、第39表に示すとおりである。水稲のケイ酸含量は、土壤、灌漑水、施肥によって異なるが、堆肥施用によっても異なる。

第39表 水稲と SiO₂ (ケイ酸) 含量 (戸刈・山崎)

		灰分%	SiO ₂ %	SiO ₂ — × 100 灰分	施肥量 Kg/ha
硫安 連用区	初がら	12,8	10,7	83,6	硫安 375
	葉部	9,8	6,0	61,2	過石 292
	茎部	6,3	3,2	47,2	灰 1.100
堆肥 連用区	初がら	19,0	17,0	89,4	堆肥 26.000
	葉部	18,6	14,6	78,6	硫安 82
	茎部	10,6	6,2	59,0	

出所：肥科学概論 1960 pg 61

水稲中のケイ酸含は、NやP₂含量に比べると著しく多く、今泉吉郎 (1960) によると、水稲のケイ酸吸収量は1 ha当たり 550~1.380kgであり、約73%は土壤から、残り27%はカンガイ水から供給されているとしている。又ケイ酸施用の効果があるか否かの判定基準については、第40表のように整理している。

第40表 水稲に対するケイ酸石灰施用の要否判定基準 (今泉)

ケイ酸石灰施用の効果	ワラの SiO ₂ (ケイ酸) 含量	土の有効 SiO ₂ (ケイ酸) 含量*
顕著に期待される	< 11 %	< 10,5 mg
期待される	11 - 13 %	10,5 - 13 mg
ほとんど期待されない	> 13 %	> 13 mg

* pH4の酢酸緩衝液を使って土を45℃で5時間浸出して可溶部分の SiO₂ を比色定量し風乾土100grに換算する。

出所：今泉吉郎 肥科学概論 1960 pg61

即ち水稲ではワラ中のケイ酸が11%以下の時、ケイ酸施用の効果が期待される。日本ではケイ酸石灰施用による水稲の増収率は平均9%である。

畑作物のケイ酸吸収は、第41表に示すように、カホン科では、4,86~15,23%、マメ科では0,48~1,26%であり、明らかに前者が多い特徴を示す。逆にCaO (石灰) は、カホン科に比べてマメ科が多い特徴を示す。

第41表 同一畑に栽培された作物の無機成分 (%) (小田切 1956)

作物	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂	SiO ₂ /N
	チッソ	リンサン	カリ	石灰	苦土	ケイ酸	
陸稲 (カホン科)	1,05	0,11	2,60	0,48	0,17	15,23	14,5
ホトトギス (カホン科)	2,85	0,66	6,83	0,70	0,16	4,86	1,7
アジサイ (マメ科)	2,89	0,58	5,71	3,84	0,11	1,26	0,4
大豆 (マメ科)	0,59	0,11	1,14	1,09	0,20	0,48	0,8

出所：植物栄養学大要 1974 pg 138

SiO₂ (ケイ酸) は土壤の主成分としてどこにでも豊富に存在し、多量にあっても、植物に過剰障害を起こさせることはない。溶成リン肥の2%クエン酸可溶成分は、P₂O₅ - 18%、CaO - 26%、MgO - 14%、SiO₂ - 25%であり、かなりのケイ酸を含む。この溶成リン肥の水稲に対する施用効果は、第42表に示すとおりで、初収量は明らかに増加する。またワラ中の SiO₂%含量は増加する。

第42表 水稲に対する溶成リン肥中のSiO₂の効果 (中川 1960)

		収量指数			SiO ₂ (%)	
		1949	1950	1951	1951	比数
秣	無リン酸	107	100	76	1,82	107
	過石	104	78	70	1,15	68
	溶リン	100	100	100	1,70	100
ワ	無リン酸	129	103	91	6,65	88
	過石	106	84	83	4,44	59
ラ	溶リン	100	100	100	7,55	100

注：鉢栽培 N、P₂O₅、K₂O を各1,5gr 施用3年連作
出所：中川、肥科学概論 1960 pg 277 による

水稲はSiO₂(ケイ酸)を積極吸収する。日本では毎年かなりの量のケイ酸肥料(ケイ酸カルシウム)が施用されている。水稲におけるケイ酸施肥のおもな効果は、受光態勢の改善、倒伏抵抗性向上および耐病性の向上の3つであるが、これらはいずれもN(チッソ)肥料の多量施用という条件が関係している。また水稲ではケイ酸施用の有無により葉からの蒸散量が変化する。葉からの蒸散量とは、水稲標準区の施用区が100とすると、無施用区は133であり、かなり抑制される。

(b) 野菜とSiO₂(ケイ酸)

トマトが正常かつ良好な生育をするときのSiO₂(ケイ酸)含量は、0,5%程度と低い。したがってトマトに対するケイ酸肥料の施用効果は大きくはない。しかし、SiO₂(ケイ酸)のトマトに対する生理的意義は大きく、SiO₂(ケイ酸)が欠乏した場合、オシベ(雄ずい)の退化や花粉稔性の低下が起こり、開花しても受精しないことが多い。トマトの生育に対するSiO₂(ケイ酸)の効果は、第43表に示すとおりである。

第43表 トマトの生育に対するSiO₂(ケイ酸)の効果 (供給時間)

SiO ₂ (ケイ酸)施用	前期 +	前期 +	前期 -	前期 -
	後期 +	後期 -	後期 +	後期 -
茎長 (cm)	108	53	88	45
根長 (cm)	63	54	59	55
地上部乾物重 (g)	46,2	37,9	32,5	24,3
根部乾物重 (g)	6,7	7,4	3,7	3,5
果実新鮮重 (g)	168	70	0	0
ケイ酸 % 葉	0,40	0,04	0,26	0,02
根	0,68	0,02	0,63	0,02

注：品種—米寿 培養液：Shive およびRobins液 + 施用 —無施用
出所：三宅、高橋、作物栄養の基礎知識 1982 pg 235

キュウリのウドンコ病防止に対するSiO₂(ケイ酸)の効果は第44表に示すとおりである。キュウリのウドンコ病を防ぐには、葉中SiO₂(ケイ酸)含量を相当高く維持する必要がある。

第44表 キュウリのウドンコ病防止に対するSiO₂(ケイ酸)の効果

培養液中のSiO ₂ 濃度 (ppm)		0	5	20	50	100
葉中のSiO ₂ 含量 (対乾物%)		0,09	0,13	0,71	2,18	3,23
ウドンコ病 コ斑 数	葉位 1 (先端)	3	2	1	1	0
	2	4	2	2	1	0
	3	3	4	2	1	0
	4	1	3	2	0	0
	5	2	2	1	1	0

注：一枚の葉身の病斑密度—0無・1小・2中・3大・4甚大
出所：三宅、高橋、作物栄養の基礎知識 1982 pg 237

植物に吸収されるSi(ケイ素)は組織を硬くする働きがある。特にカホン科のワラはSi(ケイ素)が多く含まれる。温帯の小麦でも1 ha当たり約120kgのSiO₂(ケイ酸)を吸収し、森林土壌は落葉によりSiO₂(ケイ酸)を1 ha当たり250kg土壌に還元する。ところで熱帯土壌中のSi(ケイ素)は溶けやすく、pH5.5以下の土壌で流亡しやすい。PRIMAVESIによれば100grの土壌当たり50mgの水溶性のSi(ケイ素)があり、弱い有機酸には600mgものSi(ケイ素)が溶出するという。

日本ではケイ酸肥料(ケイ酸カルシウム)は製鉄業における副産物である鉍滓(こうさい)を利用している。含有すべき主成分の最小量は可溶性ケイ酸20.0%以上である。

玄米150kg生産するためにはイネは約30kgのSiO₂(ケイ酸)を吸収する。このSiO₂(ケイ酸)は鉍さいケイサン肥料(ケイカル)として約100kgに相当する。一般的な施肥量は1 ha当たり1,200~2,000kgが適当である。ケイカルの施用時間は全量元肥とする。ケイカルの連用について、日本の静岡県調査では、農家の平均的な施肥量の(600~900kg/ha)の程度では2~4年間連用しないと土壌中の有効ケイ酸量が十分な量に達しない。

(3) Co(コバルト)

Coは、高等植物に必須であるが、その生理作用について不明な点が多い。Coの働きは、根粒バクテリアを増殖し、N固定能を高めることが知られている。

以上述べてきたNa(ナトリウム)、Si(ケイ素)、Co(コバルト)の他、植物の生育に関係の深い元素としては、Ni(ニッケル)、Ti(チタン)、Se(セレン)、V(バナジウム)、As(ヒ素)、I(ヨウ素)などがある。このうちAs(ヒ素)は自然界に広く分布している元素で、植物体中にも検出されるが、植生上は有害なものと考えられている。

3. 生産力阻害要因と作物の耐性

1) 土壌反応（酸性強度）に対する耐性

酸性土壌で生育が比較的良い作物を耐酸性が強く、生育が悪い作物を耐酸性が弱いとするのが耐酸性の定義である。

各種作物の耐酸性の強弱は、第45表に示すとおりである。しかし耐酸性という概念は極めて漠然としたもので、本質的には、作物間には酸性土壌の生育阻害要因のそれぞれについて耐性に差があり、それらの組み合わせの結果として、特定の酸性土壌に対する耐性の差異が現れるのである。

第45表 各作物の耐酸性

強	イネ、エンバク、ライムギ、ソバ、パイナップル、チャ、クランベリー、オーチャードグラス、トールフェスク、イタリアンライグラス、トールオートグラス、バードフットトレフォイル、ハギ、パーミュダグラス、モラッセグラス、マイルズロトノニス、スタイロ
強～中	コムギ、トウモロコシ、ヒエ、キビ、ダイコン、ルタバガ、ウィーピングラブグラス、バヒアグラス、セントロ
中	ダイズ、インゲン、ソラマメ、ハクサイ、シソ、メドウフェスク、リードカナリー、アルサイクローパー、シロクローパー、ラジノクローパー、バンゴラグラス、カラードギニアグラス、ギニアグラス、ダリスグラス、グリーンリーフデスマデイム、クズ
中～弱	タマネギ、アスパラガス、エンドウ、キャベツ、カラシナ、コマツナ、トマト、ニンジン、シュンギク、アカクローパー、クリムソンクローパー、レンガ、ローズグラス、グリーンパニック
弱	オオムギ、ソルガム、ミズナ、ヘチマ、ビート、ハウレンソウ、ナス、トウガラシ、レタス、ゴボウ、ワタ、アルファルファ、プッフエルグラス

文献省略

出所：酸性土壌とその農業利用 1984 pg 224

自動 pH 調節装置を用いた田中らの各種作物の低 pH 耐性の実験結果は、第46表に示すとおりである。この表に示される低 pH 自体に対する耐性は、第45表に示した耐酸性とは必ずしも一致しないが、ビート、ハウレンソウ、キャベツ、シュンギク、トマトで耐酸性が弱い原因の一つに、低 pH 耐性が弱いことも関与していると考えることが出来よう。

第46表 各種作物の低 pH 耐性（田中、早川、1974）

強	トウモロコシ、イネ、コムギ、ライムギ、オオムギ、ソルガム、ダイズ、インゲン、アズキ、ソラマメ、トウガラシ、シソ、レタス、アスパラガス、メドウフェスク、リードカナリーグラス、チモシー、トールフェスク、アルサイクローパー
中	エンバク、ヒエ、エンドウ、ダイコン、ミズナ、コマツナ、ルタバガ、ハクサイ、ナス、ニンジン、ヘチマ、キュウリ、タマネギ、パセリ、アルファルファ、イタリアンライグラス、オーチャードグラス、シロクローパー、クリムソンクローパー
弱	キャベツ、カラシナ、タイナ、カブ、トマト、シュンギク、ゴボウ、セロリー、ハウレンソウ

出所：酸性土壌とその農業利用 1984 pg225

2) 塩基過不足に対する耐性

標準的な塩基濃度の培養液における生育量に対する 0, 05mM Ca 区、0, 05mM Mg 区、0, 05 および 0, 2mM 区の生育量の指数によって判定した。各種作物の低 Ca、低 Mg 耐性、低 K 耐性は第47表に示すとおりである。ただしキャッサバのみはより低濃度で実施された研究結果を引用している。

イネは特にどの塩基に対する耐性も強い。これに対してナス科ほどの塩基に対する耐性も弱く、アブラナ科の作物は低 Ca 耐性、低 K 耐性が弱い一方で、低 Mg 耐性は強い。マメ科作物の耐性は統一的に見ることが出来ない。

キャッサバは低塩基土壌でも比較的良好に生育する作物として良く知られている。

第47表 各種作物の低Ca、低Mg、低K、耐性

作物	低Ca耐性	低Mg耐性	低K耐性	作物	低Ca耐性	低Mg耐性	低K耐性
イネ	強	強	強	エンドウ	中	弱	強
コムギ	中	中	—	トマト	弱	弱	弱
エンバク	—	強	強	ナス	弱	弱	—
トウモロコシ	中	中	強	キャベツ	弱	強	中
ソバ	強	強	弱	ダイコン	弱	強	弱
ダイズ	中	中	中	ハクサイ	—	強	弱
アズキ	強	強	中	キャッサバ	最強	—	強

文献省略 出所：酸性土壌とその農業利用 1984 pg235

3) 微量要素過不足に対する耐性

Zn (亜鉛)、Cu (銅)、B (ホウ素)、Mo (モリブデン) の供給が少ない土壌あるいは培養液に対する耐性についてのこれまでの研究結果をとりまとめたものが第48表である。一般的に見てイネ科の作物は低B・低Mo耐性がともに強く、アブラナ科の作物には低B・低Mo耐性がともに弱いものが多いとみることができるが、ほかの科ではどの微量要素に対する耐性も、統一的に見ることは困難である。

第48表 各種作物の低Zn、低Cu、低B、および低Mo耐性

種名	低Zn耐性	低Cu耐性	低B耐性	低Mo耐性	種名	低Zn耐性	低Cu耐性	低B耐性	低Mo耐性
イネ	弱～中	強(弱*)	強	強	トマト	中	中	弱～中	弱～中
コムギ	中～強	弱	強	強	ナス	強	—	弱	—
オオムギ	中～強	弱～中	強	強	パレイショ	中	中～強	強	中～強
ライムギ	強	強	強	強	トウガラシ	強	中	—	弱
エンバク	強	弱～中	強	強	タバコ	—	弱	中	弱
トウモロコシ	弱	中	強	強	レタス	—	弱～中	弱～中	弱
ソルガム	中	—	—	強	ヒマワリ	強	—	弱	—
ブーゲンビリア	—	—	強	—	ニンジン	強	弱	弱～中	中～強
ブーゲンビリア	—	—	強	—	セロリ	強	中	弱	強
スダングラス	—	弱	—	—	アスパラガス	強	強	弱	強
ダイズ	弱～中	強	中～強	中	タマネギ	中	弱	中	—
カウピー	—	—	—	強	キュウリ	中	中	強	—
インゲン	弱	強	中	強	ビート	中	弱～中	弱	弱～名
エンドウ	強	強	強	中～強	納豆	—	弱	中	弱
ソラマメ	弱	強	強	強	キャベツ	弱	中～強	弱～中	弱～中
Lima beans	弱	—	強	—	ハクサイ	中	強	強	—
ルーピン	—	強	—	強	カブ	—	中	弱	弱
アブラナ	中～強	弱	弱	弱～中	ダイコン	—	中	弱	中
アブラナ	中	—	弱	弱	ルタバガ	—	—	弱	—
アブラナ	—	—	弱	—	アマ	弱	—	強	—
アブラナ	—	—	弱	強	ハクサイ	弱	弱	—	—
アブラナ	—	—	弱	弱					

文献省略 *報告者によって意見が分かれている。

出所：酸性土壌とその農業利用 1984 pg 238

4) Al (アルミニウム) に対する耐性

作物の高Al耐性の種間差について、水耕培養法で得られた多くの研究結果をまとめると第49表の通りである。即ち培地のAlに対する耐性はイネやキャッサバは強く、オオムギやビートで弱い。高Al耐性の強弱と第45表に示した耐酸性の強弱とはある程度一致する。

第49表 各種作物の高AI耐性

強	イネ、シソ、ソラマメ、クランベリー、キャッサバ、チャ、パーミュダグラス、モラッセスグラス
強～中	エンバク、トウモロコシ、キビ、ダイズ、ソバ、ギニアグラス
中	ライムギ、インゲン、エンドウ、キャベツ、ハクサイ、ゴボウ、ナス
中～弱	コムギ、ソルガム、ダイコン、カブ、トマト、トウガラシ、キュウリ
弱	オオムギ、タマネギ、アスパラガス、カラシナ、コマツナ、タイナ、ミズナ、チシャ、レタス、セロリ、シュンギク、ニンジン、パセリ、ビート、ホウレンソウ、ワタ、アルファルファ、ブッフエルグラス

文献省略

出所：酸性土壌とその農業利用 1984 pg 226

5) Mn (マンガン) に対する耐性

水耕培養法で、30%以上の地上部乾物重低下をもたらした最低のMn濃度は第50表に示すとおりである。この表から判断すると、高Mn耐性はハギ、オオムギ、バレイショなどで特に弱いと見ることができ、生育低下をもたらす最低のMn濃度が、10ppm以下の作物は、53種中12種あり、大部分の作物は20ppm以上であって、100ppmでもほぼ正常に生育する作物も存在する。

第50表 水耕条件で30%以上の地上部乾物重低下をもたらした最低のMn濃度

種名	ppm Mn
ハギ	1
オオムギ	4
バレイショ	5
ダイズ、カウピー、アルファルファ	10
レタス	16
Stylosanthes humilis, Macroptilium lathyroides	20
ミズナ、タイナ、ルタバガ、カブ、ダイコン、キュウリ、トマト、ニンジン	30
ビート	64
カラシナ、コマツナ、ハクサイ、キャベツ、シュンギク、インゲン、アズキ、ゴボウ、アカクローバ	100
イネ、トウモロコシ、コムギ、エンバク、ソラマメ、シソ、アスパラガス、タマネギ、セロリ	100ppm でも正常
トウガラシ、ホウレンソウ、オーチャドグラス、トールオートグラス、リードカナリーグラス	
イタリアンライグラス、アルサイククローバ	
クランベリー	1,000ppm でも正常

文献省略 出所：酸性土壌とその農業利用 1984 pg 231

6) P (リン) に対する耐性

水培養用法により、pH5.0～6.2の範囲内で実施した研究報告をまとめて、各種作物の低P耐性(倍地の低P濃度に対する耐性)を比較すると、第51表のようになる。例えば、イネは0.05ppmPで正常な生育をするのに対し、トマトが正常に生育するためには0.2ppmPを必要とする。

第51表 各種作物の低P耐性

強	イネ、トウモロコシ、ソルガム、アズキ、キャベツ
中	コムギ、オオムギ、ダイズ、インゲン、バレイショ
弱	エンドウ、トマト、ビート、レタス、ワタ

文献省略

出所：酸性土壌とその農業利用 1984 pg 233

作物の種によって低P耐性が異なる重要な原因としては、(1)低P濃度倍地からのP吸収能、(2)植物体の低P含有率に対する耐性、および(3)生育期間の3要因をあげることが出来る。

作物が個体当たりに見て強いP吸収能を保持するためには、単位根当たりP吸収能が強いことも重要であるが、土壌溶液のP濃度は、他の多量必須元素の濃度と比較して著しく低濃度であるために、個体当たりの全根長あるいは根の全表面積が大きいことの重要性は、他の元素吸収におけるより、きわだって大きい(Nye et al. 1965)。根に菌根(mycorrhiza)を形成した場合に、低P土壌からのP吸収が増加し、生育も改善される(Powell 1980)が、菌根の形成は、ちょうど根長が増加した場合と同じ効果をP吸収にもたらすものであろう。

4. 阻害要因の改善対策

1) 酸性強度（反応）の改善

(1) 土壌 pH（酸性の強度因子）

(a) pH の測り方

圃場、特に畑圃場では、そのままの状態でも pH を正確に測定することが理想的であるが、これは困難である。このため土壌を採取し、これに水を加えて、懸濁液を作り、これを直接測定するか、又は 1N KCl、0.01M CaCl₂ を加えて測定する。

pH (H₂O) … 土壌 pH の実体に近いものと考えられ、植物の生育に直接影響する pH は pH (H₂O) であり、植物、土壌微生物活動などに対しては、pH (H₂O) の測定が有意義であると考えられている。

pH (KCl) … pH (KCl) は酸性の強さというよりむしろ、酸性の量に関係する値と考える方が妥当であろう。pH (KCl) で測定される H⁺ は置換性の H および Al、特に後者に由来するものが大部分である。この pH (KCl) は土壌改良のための石灰量を求めるための値を得るのが目的である。pH (KCl) は一般の土では、pH (H₂O) 測定値より 1.0 前後低い、この差が 0.5 以下である場合は、塩類濃度が高くなっており、差が 0.5 以下になると急に EC は上昇し、特に 0.3 以下になると、作物に害を与える塩類濃度になっている可能性が極めて大きいので注意を要する。

pH (CaCl₂) … 希釈、電解質による影響がほとんど無く、圃場の土壌溶液に匹敵している。このため植生ならびに土壌微生物活動などのため pH 測定法として好適であろうとしている。通常 pH (CaCl₂) は pH (H₂O) より 0.5 前後低い値を示す。

(b) 土壌 pH の見方

pH が 1 つ小さくなることは、H⁺ 濃度が 10 倍になることである。この置換性の H⁺ が酸性の本体である。酸性土壌の改良を論ずる場合は、土壌酸性をその量の面からとらえることが必要である。土壌 pH の見方は第 52 表に示すとおりである。

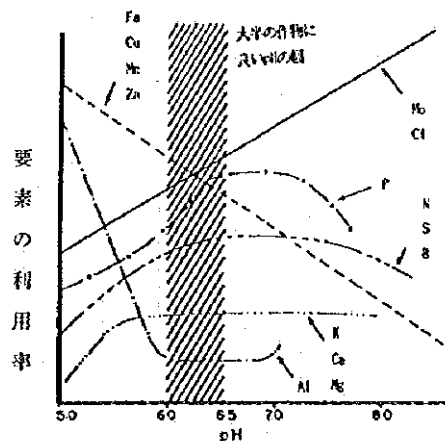
第 52 表 土壌 pH の見方

pH	酸度の表しかた
4.5 以下	超強酸性
4.5 - 5.0	甚強酸性
5.1 - 5.5	強酸性
5.6 - 6.0	中酸性
6.1 - 6.5	弱酸性
6.7 - 7.3	中性（厳密には pH7 が中性）
7.4 - 8.0	中アルカリ性
8.1 - 9.0	強アルカリ性
9.1 以上	甚強アルカリ

出所：土壌検定と肥料試験 1958 pg 77

(c) pH と要素と作物

第 7 図に土壌 pH と要素の利用率の関係を示す。実用的にはブラジルで栽培される作物の殆どは、pH 6.0 ~ 6.5 の間に適していると考えられている。酸性土壌への石灰施用の効果は作物への殆どの必須要素の利用率を高めることである。各微量元素の利用率の好適 pH の幅は、第 53 表に示すとおりである。作物の適正 pH の幅は、第 54 表に示すとおりである。



第 7 図 土壌 pH と要素の利用率

出所：Manual de Fertilidade do Solo 1989 pg 42

第53表 各微量元素の利用率の好適pHの幅

最高利用率のためのpHの幅	微量元素
5,0 ~ 7,0	B
5,0 ~ 7,0	Cu
4,0 ~ 6,5	Fe
5,0 ~ 6,5	Mn
7,0 ~ 8,5	Mo
5,0 ~ 7,0	Zn

出所: Manual de Fertilidade do Solo 1989 pg101

第54表 作物の適正pHの幅

5,0 - 6,0	6,0 - 6,5	6,5 - 7,0
バレイショ	ベルムーダ草	アルファファ
サツマイモ	トウモロコシ	クローバ
スイカ	綿	
稲	ソルゴ	
	落花生	
	大豆	
	小麦	
	インゲンマメ	
	コーヒー	

出所: Manual de Fertilidade do Solo 1989 pg43

(d) 石灰岩粉末施用の勧告

リオ・グランデ・ド・スール州とサンタ・カタリーナ州での石灰岩粉末施用による、作物別の目標値の勧告pH(H₂O)は第55表に示すとおりである。

第55表 石灰岩粉末施用の勧告 pH(H₂O)

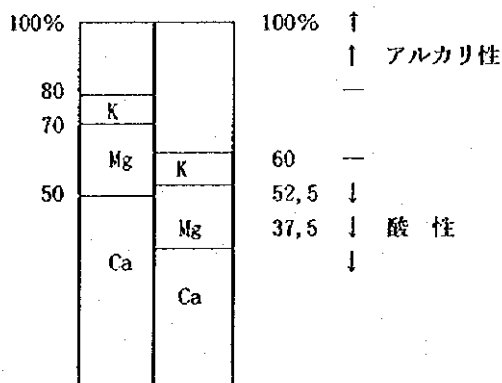
pH(H ₂ O) と石灰岩粉末施用	作物
施用を勧めない	水稻(土壌次第でCaとMgの給源としては施用する。) マテ茶、キャッサバ
目標 pH(H ₂ O) 5,5	バレイショ、パイナップル、アカシア、ネグラ、ブラカチンガ、ユーカリ、アメリカ松、
目標 pH(H ₂ O) 6,0	カボチャ、レタス、ニンニク、サツマイモ、ビート、ブロッコリ、タマネギ、ニンジン、シコリア、ハナヤサイ、エンドウ、スイカ、メロン、イチゴ、キュウリ、ピーマン、二十日大根、キャベツ、トマト アボガド、アンズ、バナナ、カキ、柑橘、リンゴ、ブドウ、マルメロ ペカン、ナシ、タバコ、エンバク、小麦、大麦、ヒエ、キビ、マメ科牧草 落花生、ナタネ、トウモロコシ、陸稲、インゲンマメ、大豆、ソルゴ 砂糖キビ、ヒマワリ、亜麻
目標 pH(H ₂ O) 6,5	アルファファ、アスパラガス

出所: Boletim Técnico No. 1 Anda Acidez do Solo e Calagem 1988 pg10

(e) 畑の酸性度と塩基飽和度(V)との関係

塩基飽和度(V)と土壌酸度との関係は第8図に示すとおりである。

畑の酸性度と塩基飽和度(V%)との関係は第56表に示すとおりである。



第56表 畑の酸性度と塩基飽和度(V%)との関係

酸性度	pH(CaCl ₂)	塩基飽和度	V %
超強酸性 (最高)	4,3 まで	最低	0 - 25
強酸性 (高)	4,4 - 5,0	低	26 - 50
中酸性 (中)	5,1 - 5,5	中	51 - 70
低酸性 (低)	5,6 - 6,0	高	71 - 90
最低酸性 (最低)	6,0 以上	最高	90 以上

出所: Boletim 100 2ª edição IAC 1996 pg 10

第8図 塩基飽和度(V)と土壌酸度との関係

出所: 施肥の基礎と応用 1982 pg 84

土壌粒子は陰 (-) イオンに帯電しており、これに陽 (+) イオンが土壌粒子に引き付けられて、その周囲を取り巻いている。このことを土壌粒子が陽 (+) イオンを吸着しているという。吸着されている主な陽 (+) イオンとしては、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 H^+ 、 Al^{3+} などがある。

全体の陽 (+) イオンのうち、塩基イオンで占められている%を塩基飽和度 (V%) といい、 H^+ 、 Al^{3+} で占められている%を塩基不飽和度という。

陽 (+) イオンの土壌粒子への吸着され易さは一般に次ぎのようである。 $Al^{3+} > H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ = Na^+$ 。

作物が生育する場合の理想的な塩基組成を知ることは、土壌改良の目安となるために大切であるが、Bearら (1945) によれば、作物がもっとも良く生育すると考えられている塩基組成は、土壌の飽和度に対し、Ca65%、Mg10%、K5%の80%の塩基のバランスのとれた塩基飽和度であるという。そして残りの20%を NH_4^+ (アンモニア) が占めている状態というのである。これらの最適組成は、作物の種類においても多少異なるであろうが、土壌改良のおよその目標とすることはできよう。

(2) 酸性化の要因とその対策

(a) 土壌の酸性化の原因

熱帯、亜熱帯、温帯すべてを含め、雨量が多いと塩基 (K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) の流亡が激しく、土壌は酸性、強酸性になるが、畑地ではしばしば石灰が施用されるのに、なぜ土壌は酸性化するのであろうか。

それは次ぎのような理由が考えられる。

(1) 雨水による酸性化

雨水と灌漑水により、この中に含まれている H^+ (水素イオン) によって土壌中の置換性塩基 (K 、 Mg 、 Na) などが浸出され H^+ (水素イオン) が置換侵入する。

(2) 作物の塩基吸収による酸性化

作物の根そのものが養分として、 K (カリ)、 Ca (カルシウム)、 Mg (マグネシウム) を吸収し、 H^+ (水素イオン) を土壌に戻す。

(3) 施肥による酸性化

酸性肥料の使用—硫酸、尿素、硝酸、 $MAP - NH_4H_2PO_4$ 、 $DAP - (NH_4)_2H_2PO_4$

(4) 土壌侵食による酸性化

土壌侵食 (エロージョン) により土壌耕作部が流失し、塩基が乏しく相対的に H^+ (水素イオン) の多い下層土を残す。

(b) 石灰施用の理由

土壌に石灰施用するのは、下記の改善を目的にしたものである。

(1) 土壌酸性の矯正、 Al (アルミニウム) の中和、過剰 Mn 、過剰 Fe の不溶化。

(2) 作物に必要な Ca (カルシウム) と Mg (マグネシウム) の供給。

(3) 施用した肥料成分の利用率の増加。

(4) 酸性肥料による酸性化の中和。

(5) 土壌中微生物の活性化。

(a) 微生物による土壌中有機物の無機化 (分解)。

(b) マメ科植物 (インゲンマメ、大豆、落花生等) の根粒菌による空中 N (窒素) の固定。

作物を生産するために、 N 、 P 、 K 、 Ca 、 Mg 、 S の6つの多量要素が必要であり、これらの要素中、 Ca は3番目、 Mg は4番目に相当する重要要素である。 Ca と Mg を供給する最も安価な資材は石灰岩粉である。

(c) 土壌の酸性 (pH) 矯正と肥料の利用率

作物の肥料成分吸収効率は第57表に示すように、土壌pHによって異なる。すなわち、土壌pHと吸収効率の関係は以

下のように整理される。

- (1) 強酸性土壌 (pH4.5 ~ 5.0) においては、N、P、Kの肥料成分は30~50%しか利用されない。
- (2) 反対に矯正土壌 (pH6.0 ~ 6.5) においては、施用した肥料成分の100%が利用される。
- (3) このことは、石灰による土壌改良が肥培管理上重要な意義を持つことを示している。

第57表 土壌酸性 (pH) による作物の主要要素の吸収%の
変異の評価 (PNFCA, 1974: ENBRAPA1980)

要素	pH					
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
N	20	50	75	100	100	100
P	30	32	40	50	100	100
K	30	35	70	90	100	100
S	40	80	100	100	100	100
Ca	20	40	50	67	83	100
Mg	20	40	50	70	80	100
平均	27	46	64	79	93	100

出所: Manel R. Guilherme-Calagem-1993 pg 4

(d) 酸性肥料の中和法

肥料の酸性は石灰岩粉末施用で中和される。それは使用された1t当たりの肥料に対して決っている。肥料の酸性度に対するアルカリ性相当量は第58表に示すとおりである。

第58表 肥料の酸性度に対するアルカリ性相当量

肥料 (1 t)	N %	石灰岩粉末 (CaCO ₃) (Kg)*
硫酸 Sulfato de Amônio	21,0	- 1.100
尿素 Uréia	45,0	- 840
硝酸カルシウム Nitrocalcio	27,0	- 260
硝酸 Nitrato de Amônio	34,0	- 620
リン酸一アンモニウム Fosfato Monoamônico(MAP)	14,0	- 650
リン酸二アンモニウム Fosfato Diamônico (DAP)	18,0	- 700
硝酸石灰 Nitrato de Cálcio	15,5	+ 200
硝酸加里 Nitrato de Potássio	13,0	+ 260
硝酸ソーダ Nitrato de Sódio (チリ硝石 Salitre chile)	16,0	+ 290
石灰チツソ Calcocianamida	22,0	+ 630

* - CaCO₃ 量に相当する酸性反応
+ CaCO₃ 量に相当するアルカリ反応

出所: Manual de Química Agrícola 1981 pg 89

例えば1tの尿素有施用すれば、その尿素有酸性を中和するために、840kgの石灰岩粉末が必要とされる。ところが硝酸石灰を施用すれば、石灰岩粉末にして200kg施用されることになり土壌を酸性化しない。

(e) 土壌の酸性と土壌微生物 (根粒菌) の活性化

- (1) 有機物は特にN、S、Bの大事な供給源であるが、作物の根に吸収されるためには、微生物によって無機化されなければならない。
- (2) マメ科作物による空中Nの固定は根粒菌によってであり、その根粒菌は土壌中に存在する。
1例を示すと、1haの大豆は300kgのN(チツソ)を必要とする。もし尿素有それを供給すれば、667kgを施用せねばならない。土壌の酸性が矯正されておりさえすれば、大豆は空气中のNを固定することができる。

(f) 石灰岩粉末の反応力

ブラジル農務省は1986.6.12の公示において、石灰岩の粉末度により反応力を設定した。(第59表)。

第59表からは、次ぎのことが分かる。

- (1) 網篩10(2mm)を通らない石灰岩粉末(粗いもの)を施用しても土壌中で反応しない。

- (2) 網篩 20 (0, 84mm) ~ 10 (2mm) を通るものは、土壤中で 1,000kg 中 200kg が反応する。
- (3) 網篩 50 (0, 30mm) 20 (0, 84mm) を通るものは、土壤中で 1,000kg 中 600kg が反応する。
- (4) 網篩 50 (0, 30mm) を通るものは、土壤中石灰岩粉末は、1,000kg 中 1,000kg が反応する。

第 59 表 石灰岩の粉末度と反応力との関係

粉末度	反応力 (%)
網篩 10 を通らない	0
網篩 10 ~ 20	20
網篩 20 ~ 50	60
網篩 50 を通る	100

(g) 石灰岩粉末の相対的中和能総量 (PRNT)

PRNT は石灰岩粉末の中和能 (PN) と反応力 (RE) で決る。

$$PRNT = \frac{PN \times RE}{100}$$

PN は石灰岩石と同じく、最終の粉末製品における CaO、MgO の化学組成によって決る。

RE は石灰岩石の粉末度と直接関係している。

結論すれば、最も良く反応する石灰岩粉末が、PRNT が高いのである。

(h) 土壤中の Ca / Mg 比のバランス

石灰岩粉末は MgO の含有%により、カルサイト、マグネサイト、ドロマイトとして分類される (第 60 表)。

右記の 3 種の石灰岩のうち、どれが施用されるべきかを考えるべきである。

KUPPER (1981)、VITTI (1984) によると多くの作物は、土壌から Ca と Mg を吸収する割合は、Ca3 ~ 5 : Mg1 である。

ところでサンパウロ州の土壌分析のサンプル数 81,000 の統計によると、80% の土壌で Ca2 : Mg1 以下を示した。それは長期間にわたり、無差別に土壌中の Ca : Mg のバランスを考慮せず、ドロマイトを使用してきたことによる。第 61 表によるとサンパウロ州の農業者がドロマイト施用を行なってきた、土壌中の Ca : Mg のバランスを崩していると観察される。

第 60 表 MgO 濃度による石灰岩の分類

石灰岩の種類	MgO (%)
カルサイト Calcítico	0 ~ 5
マグネサイト Magnesiano	6 ~ 12
ドロマイト Dolomítico	12 以上

この土壌中の Ca : Mg のバランスの乱れは、作物の生産性に影響を与えている。サンパウロ州の各地で酸度矯正されているが、生産性が目標値に達しないということが起きている。この問題の解決は、使用される石灰岩粉末が土壌中の Ca / Mg 比を 3 ~ 5 に維持できるように土壌分析値が示すものを決定することによって可能である。

第 61 表 サンパウロ州で使用されるドロマイトと土壌分析値

CaO* :	MgO** :	比 数		meq / 土壌		土壌中の比数	
		CaO :	MgO	Ca :	Mg	Ca :	Mg
24 :	17	1,4 :	1	0,42 :	0,42	1,0 :	1
28 :	20	1,4 :	1	0,50 :	0,50	1,0 :	1
30 :	20	1,5 :	1	0,53 :	0,50	1,1 :	1
35 :	20	1,7 :	1	0,62 :	0,50	1,2 :	1
37 :	13	2,8 :	1	0,66 :	0,32	2,1 :	1

* CaO 560Kg = 土壌中 1meq/Ca

** MgO 402Kg = 土壌中 1meq/Mg

出所 : Manoel R. Guilherme - Calagem - 1993 pg7

(i) 石灰岩粉末の施用量

石灰岩粉末施用量を、算出、決定するには、土壌分析値が必要である。土壌分析値は畑の土壌を代表していなければ

ならない。一年生作物、あるいは永年生作物を植え付ける前に、土壌の見本は多くの作物の吸収根の深さである0~30cmから採土すべきである。

N.C (石灰岩粉末の必要量) の算出は次式で行なう。

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

N.C = 1ha 当たり必要石灰岩粉末量 (t / ha)

T = K + Ca + Mg + (H + Al) (土壌分析値より)

V₁ = 塩基飽和度% (K + Ca + Mg)

V₂ = 石灰施用により達した塩基飽和度 (作物による、一般的には60~80%)

PRNT = 石灰岩粉末の相対的中和能総量 (石灰質資材の全中和相対力)

P = 深さの要因

= 1.....石灰を0~20cmの深さに施用

= 1.5.....石灰を0~30cmの深さに施用

= 2.....石灰を0~40cmの深さに施用

計算 (例-1)

土壌分析値より

T = 8,13

V₁ = 36%

V₂ = 70%

P = 1 (0~20cm)

$$N.C = \frac{8,13 \times (70 - 36)}{85} \times 1 = 3,25$$

(1)85%のPRNTの石灰岩粉末使用の場合 : N.C = 3,25t

(2)45%のPRNTの石灰岩粉末使用の場合 : N.C = 6,14t

実用的には (1) の場合は石灰岩粉末が細かいと (PRNTが大きい)、施用量が少ない。

(2) の場合は石灰の運賃、置場、施用のコストが高くなることを意味する。

(j) 石灰施用の技術的勧告

石灰施用の技術的勧告は、石灰岩粉末のPRNT、土壌中のCa : Mg = 3~5 : 1の比率にするCaO含量、MgO含量を考慮することである。そのためにもまず、土壌中のCa meq / 100mlをMg meq / 100mlで除し、Ca / Mg比を知ることである。そして石灰施用量を前記の数式で算出する。

最後に期待のCa / Mg比に達するために、石灰岩粉末中のCaO、MgOの濃度を見て、使用する石灰の種類を選定する。第62表に石灰施用の勧告の1例を示す。

第62表 石灰施用の勧告の1例

作物	土壌中のCa / Mg比	石灰岩粉末施用量 (t/ha)	石灰岩のタイプ	土壌中Ca / Mg比の期待値
1. 大豆	2,3 : 1	3,0	カルサイト*	3,5 : 1
2. 大豆	3,6 : 1	1,5	ドロマイト**	3,1 : 1

* カルサイト CaO 48% MgO 4%

**ドロマイト CaO 37% MgO 13%

出所 : Manoel R. Guilherme - Calagem- 1993 pg9

(k) 石灰施用の留意点

石灰施用に当たっては次ぎの事項を再確認する。

- (1) 施用された肥料が作物により効率よく利用されるために、土壌中の pH は 6.0 ~ 6.5 に矯正される必要がある。
- (2) 石灰が効果をあげるためには水分と時間が必要である。

- (a) 水：土壌が乾燥していると石灰は効果をあげない。
- (b) 時間：土壌と気候が均一であれば、石灰の効果は石灰岩の粉末度に大きく依存する。

実用的には下記の2点に注意する必要がある。

- (1) 石灰岩粉末の“粗い製品”で PRNT (45 ~ 70%) は植え付ける 4 ~ 6 か月前に施用する。
- (2) 石灰岩粉末の“微細な製品”で PRNT80% 以上のものは、植え付けるか、播種前 1 ~ 2 か月前に施用する。

なお石灰岩粉末は施用された年に効果が出ず、次作物に効くということがいわれるが、これは低品質の石灰岩粉末を用いる時に起こりうる。

そこで実用的には次のように考えられる。

- (1) 石灰岩粉末の PRNT (45 ~ 70) の“粗い製品”はその効果をあらわすために何年もかかるので農業者は損をしていることになる。
- (2) PRNT80% 以上の微細な石灰岩粉末では、施用の年に効くだけでなく、次作に効果があるのはもちろん、土壌の管理法と関係するが 2 ~ 3 年は効果を持続する。

ところで石灰施用はいつ再び行なうべきかと言う問いがあるが、石灰施用は残効があるが、永久にはなくすぐに土地は酸性化するので、土壌分析を行ない必要性を示せば石灰施用を行なう。

- (3) 下層土の酸性の矯正：多くの作物の根系は酸性土壌では良く伸長しない。それは Al (アルミニウム) の過剰か Ca (カルシウム) の欠乏である。これらは一緒になって起こるのが普通である。土壌の深い所の石灰矯正について、Qiaggioら (1985) は、セラード赤色ラトソルで 6t/ha の石灰の施用で 30ヶ月後 50cm の深さのところ (Ca + Mg) が 0, 5meq/100cm³ の増加を示し、pH (H₂O) が 4, 6 から 5, 0 になったと報告している。

(1) 石灰岩粉末施用の実際

大切なことは下記の事柄である。

- (1) 石灰岩の粉末は水に溶けないので、石灰岩粉末の粒子と土壌粒子が良く接触することが大切であり、石灰と土壌が良く混和されることである。
- (2) 土壌層中の石灰の降下は極めて遅い。
- (3) 作物の根は Al があり、Ca のない所には伸長しない。作物の根が伸長しなければ、肥料が利用されず、生産性は低くなる。

(m) 植付け前施用

石灰岩粉末は、山地に全面散布されるべきである。土壌とよく混和されるために、施用石灰の半量は耕起前に施し、半量はハローをかける前に施用すべきである。

作物は根で養分を吸収するが、作物の口に相当するものは根である。より深く土壌を矯正すれば、石灰施用の有効性を増加し、根系をより生長させ、肥料をより高く利用させ、乾燥に耐えさせて、より高い生産性を達成できる。

第63表のサンパウロ州立カンピーナス農試により得られた結果によると、トウモロコシでは 30cm の深さの土に石灰が混和されると、12cm

に混和されるよりも 26 俵/ha も多収であった。

第63表 トウモロコシ生産における LE 土壌に石灰 (4t/ha) 施用の混和の深さによる効果

混和の深さ (cm)	生産 俵/ha	比 数	増 収 俵/ha
0 - 12	57	100	0
0 - 15	66	116	9
0 - 30	83	146	26

1 俵 = 60Kg LE : 暗紫色ラトソル

出所 : Manoel R. Guilherme - Calagem - 1993 pg11

(n) 永年作物の石灰施用

永年作物（コーヒー、柑橘等）の場合は下記の通り行なう。

(1) コーヒー園

施用石灰量の2/3は樹冠下に、枝の先30～40cmまで外に散布し、1/3を畦間に施用する。収穫のために落葉等を中央に集めたものを散らす前に石灰施用を行ない土と混合するのが良い。これ以外の時期は、除草時に土と混合しても良い。農業機械が入るところは、全面散布し樹冠下にも達し、コーヒーの根を害せぬように軽くハローをかけるのが良い。

(2) 果樹園や他の永年作物

全面施用し樹冠まで達し、軽くハローをかけるか、除草時に土と混和する。

(3) 砂糖キビの二番刈り

全面施用しハローによる土壌混和をする。

(4) 牧草地

雨期の初めの施肥の1～2か月前に、草を刈って低くして石灰岩粉末の“微細”なものを、追肥として全面施用しハロー（Grade）で土を攪拌する。短期間に良結果を得るためには石灰岩粉末と農業用石膏との混合施用を勧める。その割合は石灰岩粉末は70%で農業用石膏30%である。施用量は石灰岩粉末のPRNTによって算出される。酸性矯正資材の施用はリン酸肥料施用、あるいはチッソ施用の1～2か月前に行なうべきである。

2) 塩基過不足の改善

(1) 塩基（K, Ca）の過不足と生育障害

(a) (カリ) と作物の病害抵抗性

第64表によると土壌中のK（カリ）含量が低いと多くの植物で病害に対する抵抗性を減ずることがわかる。

第64表 病害の被害程度とN（チッソ）とK（カリ）の水準の効果（MARSCHNER, 1986）

病 菌	Nの水準		Kの水準	
	低	高	低	高
絶対的寄生菌				
さび病 (Puccinia spp)	1	3	4**	1*
ウドンコ病 (Erisiphe graminis)	1	3	4	1
条件的寄生菌				
斑点病 (Alternaria spp)	3	1	4	1
萎凋病 (Fusarium oxysporum)	3	1	4	1
細菌性斑点病 (Xanthomonas spp)	3	1	4	1

注：1*被害程度低い 4**被害程度高い

出所：Potafos INFORMAÇÕES AGRONÓMICAS No. 75 SET/96 ENCARTÉ TÉCNICO pg 7

綿やトマトではK（カリ）の土壌水準が低いため、Verticillium（萎凋病）に犯されることが確かめられている（MARSCHNER, 1986；PENNYPACKER, 1990）。しかしバナナでは土壌中のK（カリ）水準がCa（カルシウム）やMg（マグネシウム）に比べて極端に高いと、mal-do-panamá（Fusarium oxysporum f. sp = 萎凋病）を発病することが観察されている。このような土地では、K/Mg比が、健全土壌に比べて統計的に高かったことが確かめられている。

特殊なK（カリ）欠乏として、稲の青枯れがある。これは、稲の穂が出てから20日ごろの炭水化物の合成やデンプンが穂に最も良く蓄積されるころ1～2日で穂が青枯れ状態になってしまうのである。そして、根に近い茎が軟らかくなって倒伏する。これは、葉での炭水化物の合成や、葉から穂への炭水化物の移動のために、K（カリ）が動員され、根に近い茎がK（カリ）不足をおこし、水分膨圧（細胞での内壁を圧す内圧）を失ったものと推定されている。このようにK（カリ）は作物体内の水分調節の役目をしている。K（カリ）が不足すると、水分の蒸散が盛んになって萎凋するが、K（カリ）が充分あると、細胞の膨圧が保たれるので葉や茎が強健である。

K (カリ) は、炭水化物 (Carbohydrato = 作物の光合成産物) の合成に最も影響が大きいので、欠乏すると作物の伸長がおさえられ、子実や果実の収量が低下する。またイネ科の作物では稈 (わら) が軟弱となり、病虫害の抵抗性が弱くなる。

このように病菌が付着しやすくなるのは、K (カリ) が不足すると吸収された N (チッソ) がタンパクに合成されず、中間生成物のアミノ酸やアミドなどの非タンパク態 N (チッソ) が作物体内に集積するためである。

土壌中の K (カリ) 欠乏については、K (カリ) 吸収の多いキャベツ、パレイショ、ニンジン、タバコを連作すると、土壌中の K (カリ) が極端に吸収され、2 作目・3 作目にひどい K (カリ) 欠乏を起こすことがある。

また K (カリ) は N (チッソ)、Ca (カルシウム)、Mg (マグネシウム) などと拮抗 (きっこう = お互いに張り合う) 作用があるので、いちどに過剰に施さないことが大切である。

(b) K (カリ) と大豆の病虫害抵抗性

大豆の病虫害の被害に対する K (カリ) 施用の効果は第 65 表に示すとおりである。この結果によると種子の *Phomopsis* sp による種子被害と、Percevejo (カメムシ) の被害は、K₂O の 80kg / ha の施用で減少した。カメムシは発育中の子実から吸汁して、それを不稔や被害粒にして大豆に相当激甚な被害を与える。

第 65 表 大豆の病虫害の被害に対する K (カリ) 施用の効果 (BORKERT ら 1985、FRANÇA NETO ら 1985)

施用 K ₂ O (Kg/ha/年)	収 量 (Kg/ha)	乾燥種子重 (g/100 粒)	種子の被害 %	
			phomopsis sp	percevejo
0	692 c	10,2 d	19,4 c	11,4 b
40	2.765 b	13,0 c	13,3 b	8,8 ab
80	2.950 ab	14,8 b	1,3 a	5,1 a
120	3.100 a	15,3 ab	3,6 a	5,0 a
160	3.103 a	15,5 ab	2,5 a	5,5 a
200	2.939 a	15,8 a	3,5 a	4,9 a

出所: Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS No. 72 DEZ/95 pg2

(c) K (カリ) と大豆の緑茎・成熟遅延

サンパウロ州の北部、北東部は平均単収 2.400kg / ha の大豆産地である。この地方では 20 年来 (N-P₂O₅-K₂O = 0-18-6) を 350 / ha 施用してきた。ところがこの施用量では、K (カリ) 成分の必要量を補給出来ず、より多く土壌より持ち出すことになる。K (カリ) 成分は持ち出しになるが、P₂O₅ (リン酸) は残る。この関係は第 66 表に示すとおりである。

第 66 表 サンパウロ州の北・北東部での 1960 ~ 1986 年間の大豆の生産性と種子で 1 年間に持ち出される P₂O₅ と K₂O、そして施用量とのバランス (MASCARENHAS ら 1987)

期 間	生 産 (平均)		P ₂ O ₅ の年間バランス (Kg/ha)			K ₂ O の年間バランス (Kg/ha)		
	実 数 (Kg/ha)	比 数 (%)	施肥量	持出量*	差	施肥量	持出量*	差
1960 - 69	1.286	100	63**	15	+ 48	21	24	- 3
1970 - 79	1.643	128	63	20	+ 43	21	31	- 10
1980 - 86	2.400	187	63	29	+ 34	21	46	- 25

*持出量は BATAGLIA と MASCARENHAS 1977 の見積量 **施肥量は (N-P₂O₅-K₂O = 0-18-6) を 350/ha 施用

出所: O Agrônomo, Campinas SP. 40(1) 1988

K (カリ) 欠乏土壌では、大豆個体の 1/3 から上が着実しないとか、空莢やねじれ莢 (種子が発育しない)、又生育後期になっても茎が褐色にならず、緑茎を保っていたりするのが観察される。なお K (カリ) が充分与えられないと、最初の花が着花しないために、新しく開花するし、多くは緑茎と成熟遅延で、成熟期になっても葉が黄化、褐色化せず緑色葉を茎に保つことになる。これは Percevejo (カメムシ) の被害と似た症状である。

第67表にサンパウロ州での1985/86年の大豆生産地における、土壌分析値と緑茎・成熟遅延症状の発生状況と次年度にこれらの症状を改善するために採用された処理を示す。

第67表 サンパウロ州での1985/86年の大豆生産地における、土壌分析値と緑茎・成熟遅延症状の発生状況と次年度にこれらの症状を改善するために採用された処理 (MASCARENHAS ら 1987 IAC)

場所	年度	pH	MO	P	K	Ca	Mg	V	(Ca+Mg)	症状
		(CaCl ₂)	(%)	resina ppm	meq/100cm ³			%	K	
1. Ipuã	1985/86	5,3	3,9	65	0,16	3,4	1,1	52	28	正常
2. Ipuã	1985/86	5,4	3,4	53	0,13	3,3	0,8	52	31	正常
3. Ipuã	1985/86	5,3	2,1	34	0,05	2,3	0,9	36	64	緑茎
4. Guaira	1985/86	6,5	2,8	128	0,14	6,9	2,1	88	64	緑茎
5. Paraguaçu Paulista	1985/86	4,0	1,8	9	0,07	2,0	1,4	47	49	成熟時に緑茎 緑葉保持
処 理										
場所	年度	肥料	施肥 (Kg/ha)			生産 (Kg/ha)	症状			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O					
3. Ipuã	1986/87	石灰岩粉末施用 200Kg/ha (0-18-6)+45Kg K ₂ O を KCl で発芽後 35 日目追肥	元肥	-	36	12	2.700	正常		
			追肥	-	-	45				
			合計	-	36	57				
4. Guaira	1986/87	60Kg/ha K ₂ O を KCl で発芽後 35 日目追肥	元肥	-	-	-	3.000	正常		
			追肥	-	-	60				
			合計	-	-	60				
5. Paraguaçu Paulista	1986/87	石灰岩粉末無施用 300Kg/ha 0-20-10 元肥のみ	元肥	-	60	30	1.300	成熟時に緑茎 緑葉保持		
			追肥	-	-	-				
			合計	-	60	30				

注：使用品種は IAC-11

出所：O Agrônomo Campinas SP 40 pg 34~38

第67表から、1. Ipuã, 2. Ipuã では正常に生育したところで、(Ca + Mg / K) がそれぞれ 28 と 31 であった。ところが、3. Ipuã と 4. Guaira の (Ca + Mg / K) は 64 で収穫期になっても、茎が緑で成熟しない緑茎で、空実が多かった。5. Paraguaçu Paulista の (Ca + Mg / K) は 49 であって、緑茎・緑葉保持で成熟遅延の症状であった。

そこでこの緑茎・成熟遅延症状を K (カリ) 欠乏と考えて、3. Ipuã と 4. Guaira に K₂O を元肥と追肥の合計、それぞれ 57kg / ha、60kg / ha 施用したところ、K (カリ) 欠乏症状の緑茎は正常化され収量も 2.700 ~ 3.000kg / ha の高い生産性が得られた。

5. Paraguaçu Paulista には、1 ha 当たり 1.643kg の大豆の持出量に相当する 30kg / ha の K₂O を元肥として施用したところ K (カリ) 欠乏症状は改善されず成熟時の緑茎・緑葉保持がつづいた。即ち K₂O の 30kg / ha の施用量では不足であり、収量も 1.300kg / ha と低かった。

(d) Ca (カルシウム) とトマト萎凋病

トマトの (*Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*) による萎凋病の被害と Ca (カルシウム) 欠乏についての試験結果は第68表に示すとおりである。

第68表 *Fusarium* 菌接種後、Ca の濃度の違いによる
トマト萎凋病の被害程度 (CORDEN, 1965)

Ca (ppm)	トマト植物汁液中の Ca の濃度 (ppm)	病気 (%)
0	73	100
50	219	92
200	380	80
1.000	1.081	9

出所：Potafos INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS No. 75

SET/96 ENCARTÉ TÉCNICO pg 11

第68表の結果によるとCa（カルシウム）の施用は萎凋病を抑制する。Ca（カルシウム）はトマトの細胞膜を保護していることによる。

トマトの細胞膜中の主成分はペクチン質であるが、Fusarium菌により生産される酵素によりペクチン質の分解を行なう。ところがこのペクチン質分解酵素の活性がCa（カルシウム）により抑制され、萎凋病の発生が少なくなる。

(e) Ca（カルシウム）とトマト尻腐果発生抑制

トマトの尻腐れは、収量と品質の低下を招く。ペルナンブーコ州のペトロリーナ（熱帯乾燥地）で、トマトの芯止り、加工用の5品種を用いて、Ca（カルシウム）の施用水準を変えて行なった試験成績結果は第69表に示すとおりである。供試した土壌は新地で、その分析値は第70表に示すとおりである。

第69表 トマト品種と土壌中Ca（カルシウム）水準と尻腐果発生率（CARDOSO, M. O 1995）

処 理	尻腐果発生率 (%)						平均
石灰	塩基飽和度%	Petomech2	IPA5	Agrocica Botu-13	Rossol	IPA-1	
石灰無施用	34,02	73,35	61,28	47,27	56,73	33,53	53,82a*
CaCO ₃	61,00	63,57	45,99	43,07	39,87	26,54	43,31b
CaCO ₃	83,00	53,93	38,33	30,79	22,15	10,74	30,58c
平均		64,28A**	48,53 B	40,38 B	39,58 B	23,60 C	-
CV (%) = 14,13							

Tukey 5% 水準で* **は有意である。

出所: Horticult. bras 13(2)、Novembro 1995 pg 172-174

石灰施用のV%の61%への調整はCaCO₃（炭カル）を1.075kg/haに施用した。V%の83%への調整はCaCO₃（炭カル）を2.150kg/haとMgCO₃をMgの1meq/100gになるまで加用した。

施肥は、(N 125kg/ha、P₂O₅ 150kg/ha、K₂O 150kg/ha)である。微量要素は一度着果終わりに(Zn 6% B 3,5% Mg4,5% Mn 0,8% Cu 0,3% Fe 0,5% S 4% Mo 0,2%)を20ltの水に40grと100grの尿素を加えて、葉面散布した。

第69表によると品種による尻腐果発生率が違う。即ち平均で、IPA-1が、23,60%に対してPetomechi 2では約3倍の64,28%であった。石灰施用では無施用区が、全品種平均で53,82%に対して、塩基飽和度83%区で30,58%に低下した。即ち石灰施用は、尻腐果発生抑制に効果があったが、尻腐果発生率をもっと低下させるために塩基飽和度を83%以上にする必要があろう。

第70表 供試土壌分析値

pH H ₂ O	4,90
M.O (%)	1,00
H ⁺ Al ³⁺	0,60
Ca ⁺	0,80
Mg ⁺	0,60
Na ⁺	0,10
K ⁺	0,24
S	1,65
Pppm	1,00
CTC	4,85
V (%)	34,02

(2) 農業用石膏の有用性

(a) 農業用石膏は実用的に農業にどう役立つか

Malavoltaは農業用石膏の効用を次ぎの如く述べている。

- (1) CaとSの給源
- (2) 根系環境を良くする
- (3) Na土壌の矯正
- (4) 土壌中の塩基を少なくする
- (5) 堆肥の発酵中のN（チッソ）の損失を少なくする

農業用石膏（CaSO₄・2H₂O）の標準的分析値は右記の如くである（MALAVOLTA 1981）。

湿度	-	17%
CaO	-	26%
S	-	15%
P ₂ O ₅	-	0,75%
SiO ₂ (不溶性)	-	1,26%
Fluoretos (f)	-	0,63%
R ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ + FeO ₃)	-	0,37%

農業用石膏の組成中 96.5% が $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ である。他の分析で、MAY と SWEENEY (1982) は微量元素として (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Na, Zn)、そして毒性として (Al, As, Cd, 他) もわずかに含んでいる。

S (イオウ) 給源としては、土壤中の S の低い土地には 30~40kg S/ha を供給するとして、農業用石膏を 200~270kg/ha 施用すればよい。

(b) コーヒーへの Ca (カルシウム) 供給源として

コーヒー樹は Ca (カルシウム) の要求量の高い作物である。そしてその高い生産性の畑は土壤中の Ca (カルシウム) の高い畑である場合が多い (MALAVOLTA ら 1979)。Ca (カルシウム) は要素中第 3 番目に多くコーヒー樹によって吸収される成分である。

近年コーヒー栽培を新しく始める地帯は、Ca (カルシウム) 含量が少なく、しかも必ずしも Ca (カルシウム) を充分補給されていない。しかも Ca (カルシウム) は流亡もし、侵食で失われる。

MALAVOLTA らは、コーヒーにおいて Ca (カルシウム) の土壤中の適正值として 4meq/100g を標準として、葉中濃度は 1.3~1.5% であるとした。そして南ミナス州のセラード土壤でコーヒー生産性と土壤中 Ca (カルシウム) 値の間に高い正の相関性があることを見出した。Ca (カルシウム) 4meq/100g でも好適であるが、土壤中 Ca (カルシウム) 含量が 6meq/100g で相対的生産性は 100 になったとしている。

Ca (カルシウム) の主な供給源は石灰岩粉末であるが、Ca (カルシウム) 要求量の高いコーヒー樹で、土壤 pH が高いか、既に適正值であり、Ca/Mg 比が低く (3 以下) のような場合は、Ca (カルシウム) 供給源として農業用石膏の施用ができる。

(c) S (イオウ) の供給源として

S (イオウ) 成分は作物が必要とする大量要素でありながら、養分としても肥料としても、コーヒー栽培では養分としての施用に対して注意も研究もあまりされていない。S (イオウ) について少ない知見の原因の一つは、たぶん分析法が少し困難なことにもよる。

コーヒー樹による S (イオウ) 成分の反応、施用効果の増大の原因は以下の如く考えられる (MALAVOLTA 1986)。

(1) ブラジル土壤は貧 S (イオウ) 土壤であるのと、強酸性で (自然条件下の主たる S の供給源である) 有機物の無機化の困難性によるブラジル土壤の貧 S (イオウ) 化、又土壤中の C/S (炭素/イオウ) 比の高い (> 200~300) の存在が S (イオウ) の有機化を促し、作物に対して供給される S (イオウ) が少なくなると思われる。

(2) 土壤中 S (イオウ) 成分の低いセラード地帯へのコーヒー樹の生産地拡大。

(3) 初期の高生産性 (初めには土壤中に S の蓄積がある) は S (イオウ) の高い畑外への持ち出しがある。

(4) 工業が燃料消費により、大気中に S (イオウ) を放出するがコーヒー地帯が遠隔地にあり、降雨による S (イオウ) の供給量が少ない。

(5) S (イオウ) 成分を含む、過リン酸石灰、硫酸といった伝統的肥料からそれを含まない尿素、重過石、リン安 (MAP, DAP) のような高濃度肥料の増加。

(6) S (イオウ) の供給源である有機物 (堆肥、厩肥、マモナ粕) の少ない施用。

MALAVOLTA (1991) によると、ブラジル土壤 (SP, MG, MS, GO の各州の 90,000 供試土壤より) は可給態 S (イオウ) 成分濃度の分析値は 66% が (< 5ppm S) -極めて低い、(6~10ppm S) -低いであった。

同じく MALAVOLTA は、主な作物の S (イオウ) の要求量は P (リン) と同じぐらいか、コーヒー、綿、インゲンマメや砂糖キビでは多いくらいであるとしている。

FREITAS ら (1972) はコーヒー樹に (MATÃO-SP で表土、C: 0.9%, S-SO₄: 3.0ppm, pH 5.00 赤色ラトソロ粘質土) の土地で試験した。毎年植付けから、0, 16.8, 33.6, 67.2, 134.5kg/ha の S (イオウ) を農業用石膏を用いて施用した。8年間の平均収穫コーヒー豆の量は第 71 表に示すとおりである。即ち 0kg S/ha の対照区の生産量に比べ、67.2kg S/ha は 82% の増収を示した。結論としては毎年 33.6kg~67.2kg S/ha を施用すればこの土地では充分であった。

第71表 S (イオウ) を農業用石膏で施用した場合の
コーヒー豆の収量 (8年間平均) (FREITAS ら 1972)

Sの施用量 (Kg/ha)	生産量 (Kg/ha)	比 数
0	1.315	100
16,8	2.079	155
33,6	2.386	177
67,2	2.446	182
134,5	2.214	165

出所: 2ª SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA
AGRICULTURA 1992 pg 181

(d) 根系環境と下層土の酸性改良

農業用石膏 (硫酸カルシウム = $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 利用は、ヨーロッパなどでは18世紀ごろから行なわれているが、この農業用石膏中のCa (カルシウム) の利点は石灰岩粉末に比べて、水溶性であり、浸透水と共に下層土まで浸透していくことである。しかも中性塩である。土壌への効果の主要点はCa (カルシウム) の補給にある。そしてAl (アルミニウム) 飽和度が低くなることである。第90表に示すように、農業用石膏の効果として下層土の酸性度が低下している。試験土壌は連邦直轄区 (DF) のセラードの暗赤色ラトソロである。

その第1の効果はトウモロコシの根系が深くなり、ペラニッコ (雨期中の乾燥期間) に下層土の水分を深くなった根系で吸収して乾燥に耐えることである。

第72表では、ST (重過リン酸石灰) で水溶性リン酸を43~45%含み、石膏は含まない。SS (過リン酸石灰) は水溶性リン酸18%、石膏60%、CaO 20%、S 12%が含まれており、その石膏の作用により下層土のpHが高まり、(Ca + Mg)が増加し、Alが減少し、Al飽和度が低下しており、SS中の石膏の影響は顕著で作物の根を深くし、土壌の養水分の利用を高め、深さ120cmまでも根が伸長している。

第72表 ST (重過石) とSS (過石) のセラード土壌におけるトウモロコシの根系に対する効果 (RITCHY ら 1980)

深さ cm	pH		Ca + Mg		Al		m *		根		水分	
	ST	SS	ST	SS	ST	SS	ST	SS	ST	SS	ST	SS
			meq/100mg				%				%	
0-15	5,4	5,1	3,4	1,9	0,03	0,31	1	14	有	有	13,6	16,6
15-30	5,0	4,7	2,1	1,3	0,29	0,56	12	30	有	有	18,1	19,9
30-45	4,6	4,7	0,8	1,4	0,71	0,37	47	21	有	有	20,2	21,7
45-60	4,1	4,8	0,5	1,5	0,78	0,20	61	12	有	有	22,7	20,6
60-75	4,0	4,5	0,4	1,1	0,65	0,23	62	17	無	有	23,6	20,8
75-90	4,2	4,6	0,2	0,8	0,54	0,18	73	18	無	有	24,3	23,3
90-105	4,2	4,3	0,1	0,5	0,40	0,14	80	22	無	有	25,0	23,2
105-120	4,2	4,4	0,1	0,5	0,28	0,04	74	8	無	有	25,3	24,1

* (m) Al 飽和度

出所: FERTILIDADE DO SOLO E ADUBAÇÃO 1991 pg 273

(e) 農業用石膏過用とMg (マグネシウム)・K (カリ) の流亡

農業用石膏の過用はMg (マグネシウム) とK (カリ) の流亡を引き起こす。農業用石膏の施用は下層土:20~40cmのCa飽和度が60%以下で、Al飽和度が20%以上の時に使用することを考えるべきである。農業用石膏の施用量は1,5t/ha以上は控えるべきである。

(f) 農業用石膏による鶏糞のN (チッソ) 損失の抑制

鶏糞のアンモニア態N (チッソ) の揮発を抑制する。過リン酸石灰 (SS) と農業用石膏 (GESS) の効果の評価は第73表に示すとおりである。

鶏糞の全N量の33%が30日間に揮発する。過リン酸石灰(SS)と農業用石膏(GESS)は鶏糞のN(チツ)の揮発による損失を少なくする効果はあった。過リン酸石灰(SS)は90%の損失を抑制した。しかしそのためには過リン酸石灰(SS)を鶏糞1tに175kg使用せねばならない。農業用石膏(GESS)はN揮発を50%少なくしたにとどまった。

第73表 N揮発抑制剤としての過リン酸石灰(SS)と農業用石膏(GESS)の量と有無による、鶏糞のアンモニアの揮発による損失(30日)(GLÓRIA, N. A. ら 1991)

処 理	施用量 (Kg / t)	Nの損失*		
		(mgN/200g 鶏糞中) 比数		**
対照区	0,0	822	100	a
SS	62,5	338	41	e
SS	125,0	135	16	d
SS	175,0	58	7	d
GESS	50,0	499	61	b
GESS	125,0	406	49	be
GESS	175,0	415	50	be

* 統計処理は30日間の蓄積量を基礎として行った。

** Duncan 5%水準で有意

(1) 対照区のNの損失を100とした。

出所: REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO CAMPINAS,

15(3):297-301:1991 INFORMAÇÃO AGRONÔMICA No. 59 SET/92

(g) 農業用石膏の施用法

MALAVOLTAとKLIEMANN(1985)は農業用石膏は、土壤中にCa(カルシウム)が少なく、下層土にAl(アルミニウム)が多い時に使用されるべきだと考えた。最良の施用標準が確立していない現在彼等は次のように提案している。

$Al^{3+}1meq / 100cm^3$ の土壤では2t/haの農業用石膏を使用。

$Ca^{2+}1meq / 100cm^3$ を土壤に増加させるために2t/haの農業用石膏を使用。

CFSEMG(1989)は土壤の組成による使用量を示した。

砂 土 (< 15%粘土) = 0,5t/ha

砂 壤 土 (15~35%粘土) = 1,0t/ha

埴 壤 土 (36~60%粘土) = 1,5t/ha

埴 土 (> 60%粘土) = 2,0t/ha

農業用石膏は酸度矯正のための石灰施用量の25~30%を施用量とする。石灰岩粉末は表層に作用し、農業用石膏は石灰岩粉末を代用しない。両者は互いに補足するものである。作物が植えられている時は、石灰岩粉末と農業用石膏を作物の下に、畦間に、全面に、あるいは条施してもよい。

定期的に土壤分析をして、その効果を調べるべきである。農業用石膏は可溶性故に土地の上に散布して、土と混和する必要がない。石灰岩粉末の施用は前もってやり土壤と混和した後、植付け時に農業用石膏を施用する。

3) 微量要素の改善

(1) 微量要素(Zn, Cu, B, Ni, Mn)と生育障害

(a) Cu(銅)とレタス

BOSCO J. (1996 UNESP-FCA)はレタスにおけるCu(銅)の欠乏・過剰の症状の知見を得るため、Cu(銅)の吸収の水準を知り、銅製剤の使用に注意を呼び起こすために、プラスチックでかこわれた条件下で試験を設置した。品種名Brisaの20日苗をHoagland液で栽培し、Cu(銅)レベルを、0, 0,02, 0,06, 0,18, 0,54, 1,62ppmと設定した。定植後21日目に収穫した。その結果、Cu(銅)の1,62ppmでは過剰害が現れた。小葉で、巻き、根は短くて、少ししか根ができなかった。

(b) Cu(銅)と水稻

水稻では過剰障害は、まず根に現れ、伸長障害が生じ、太く短い根が密生し、より高濃度では黄褐色となり、これ以

上の濃度で褐変枯死する。葉にはクロロシスが発生し、下葉より黄化枯死する。

培養液中のCu (銅) 濃度は1ppmまでは、水稻はほぼ健全に保たれるが、2ppm以上で過剰の害が現れる。5ppm以上でほとんど枯死する。この場合培養液中Cu (銅) 濃度の上昇は、根中のCu (銅) 濃度を著しく上昇させるが、地上部では根ほど著しくはなく、Cu (銅) は根に集積し、地上部への移行率は小さいことを示している。

培養液中Cu (銅) 濃度と茎葉と根のCu含有量は第74表に示すとおりである。

第74表 培養液中Cu濃度と水稻のCu含有量 (石塚・田中・1961)

培養液中Cu濃度 (ppm)	茎葉 (ppm)	根 (ppm)
0	5	4
0,05	23	298
0,5	31	462
1,0	71	638
5,0	98	1.714
10	101	6.562
50	1.471	19.285

出所：水稻の栄養生理 1969 pg181

日本では、足尾銅山からの排水が流入する水田を調べた結果、表土の全銅含量は90~694ppm、置換性銅(0,05 N-KCl)は16~227ppmの範囲であり、米代川流域の銅過剰田では、全銅が300~1600、置換性銅が10~700ppmであったと報告されている。(作物の要素欠乏と過剰症 1977 pg 157)

(c) 微量要素・重金属とコマツ菜

土壤中に重金属が過剰に存在したとき、植物の生育に関与している生物活性が阻害され植物に影響があるかどうかの知見が第75表である。即ち信濃川流域の沖積砂壌土(畑土壌)にCd、Cu、Ni、Znを濃度段階をかえて添加し、コマツ菜の幼植物を3週間わたって培養したときの植物の生育量と、同じ土壌での10日間の炭酸アンモニアの硝化能(NO₃-N生成化力)を比較した結果である。

第75表 重金属過剰土におけるコマツ菜の生育と硝化能 (茅野充男 1971)

重金属	添加濃度 (ppm)	生育量 * (g)	硝化能** (%)
対照区	0	1,4	38
Cu 銅	10	1,5	42
	30	0,8	40
	60	0,1	40
Ni ニッケル	3	1,4	38
	10	0,5	38
	30	0,1	40
Zn 亜鉛	10	1,7	38
	30	1,0	42
	60	0,5	36
Cd カドミウム	3	1,0	40
	10	0,3	38
	30	0,1	38

* コマツ菜幼植物の生体重

** 乾土 8gr にNH₄-N 1,6mg を添加し、10日間のNO₃-N生成量をもとに添加量Nに対する硝化割合を求めた。
(28℃に incubate)

第75表から明らかなようにコマツ菜の生育がほとんど停止してしまう重金属の高濃度区でも硝化能はほとんど影響されない。従って、この場合はコマツ菜にアンモニア肥料を施与しても重金属の存在で硝化が阻害されて、アンモニア障害が生ずることはなく、それよりも重金属の直接的な害作用が早くあらわれると考えてよい。しかし、硝化能以外の生物活性に及ぼす影響を更に検討してみないことには、土壌を媒体としたときの間接的障害の有無についてははっきりし

たことはいえない。

(d) Ni (ニッケル) と稲とインゲンマメ

Terra roxa estruturada (構造化デーラ・ロシア) 土壌でNi (ニッケル) 30ppmで処理された、稲とインゲンマメの植物体のNiの濃度は第76表に示すとおりである。

Ni (ニッケル) については稲とインゲンマメは同じような行動をあらわした。両作物共に種子に高い濃度のNiを蓄積した。

第76表 テーラ・ロシア土壌でNi30ppmで処理された稲とインゲンマメの植物体のNiの濃度(PICCIN 1990)

器 官	稲	インゲンマメ
	ppm	
根	141	189
茎	96	161
葉	66	96
種子	72	97

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 80

(2) 重金属 (Cd, Pb, As) と生育障害

(a) Cdと稲とインゲンマメ

Cd (カドミウム) の0,5ppmの溶液栽培された稲とインゲンマメの各器官の濃度は第77表に示すとおりである。

第77表 Cdの0,5ppmの溶液栽培された稲とインゲンマメの各器官の濃度(JURADO 1989 /ESALQ)

元素	p p m							
	根		茎		葉		種 子	
	稲	インゲンマメ	稲	インゲンマメ	稲	インゲンマメ	稲	インゲンマメ
Cd	202	46	139	0,5	172	2	44	1
Cu	2	4	2	3	1	8	1	13
Fe	156	302	54	78	152	330	3	149
Mn	9	30	10	5	38	22	18	11
Zn	11	25	5	16	9	26	9	33

出所: FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg 80

稲に比べて、インゲンマメはCdを少なく吸収し、種子に少ししか移動しなかった。このようにCdは他の重金属とは異なった動きを示した。

(b) レタスのCd (カドミウム) 吸収に対する堆肥施用の影響

食物連鎖に従って、土壌から根、作物、動物さらに人間へと場所を変えて重金属は濃縮されていく。汚染土壌での作物による重金属の吸収はたくさん研究されており、重金属の中でもCd (カドミウム) は注目を集めているものの一つである。このレタスの研究では、堆肥 (牛糞、カホン科ワラ) が混合されたCd (カドミウム) の吸収量を低下させたことを示す興味ある結果が得られた。

土壌中に施用されたCd (カドミウム) と堆肥の増量によるレタスの新鮮重と乾燥重は第78表に示すとおりである。

第78表 土壌中に施用されたCdと堆肥の増量によるレタスの新鮮重と乾燥重 (平均) (CANDIDO 1992)

堆 肥 (%)	土壌に加用されたCd (カドミウム) - ppm -					
	0			10		
	新鮮重 (g/個体)			乾燥重 (g/個体)		
0	3,0	4,0	10,0	0,6	0,6	2,0
15	42,0	55,0	66,0	4,0	5,0	4,0
30	73,0	96,0	91,0	6,0	7,0	6,0
45	117,0	100,0	117,0	9,0	8,0	7,0

出所: CANDIDO A. DA COSTA 1992 UFV Viçosa MG (使用品種名 - BR221)

Hortic. bras. 12(2) novembro/94 pg 136

Cd (カドミウム) はCd(NO₃)₂の形で、定植18日前に土壌と混合された。鉢は31tのプラスチック製で21tの土(土+堆肥)が詰められた。堆肥(%)が15%とは、その21tの15%が堆肥である。第67表からは加用されたCd(カドミウム)ではレタスの地上部の新鮮重を増加させた。

堆肥とCd(カドミウム)の加用量の違いによるレタスの地上部と根部のCdの濃度は第79表に示すとおりである。

第79表 堆肥とCdの加用量の違いによるレタスの地上部と根部のCdの平均濃度(CANDIDO 1992)

堆肥 (%)	土壌に加用されたCd(カドミウム) - ppm -					
	0			10		
	20			0		
地上部 (ppm)			根部 (ppm)			
0	tr	52	55	tr	87	174
15	tr	23	45	tr	20	72
30	tr	14	23	tr	12	40
45	tr	13	16	tr	13	34

tr = 痕跡 使用品種名 - BR221

出所: CANDIDO A. DA COSTA 1992 UFV Viçosa MG

Hortic. bras. 12(2) novembro/94 pg136

堆肥の加用はレタスの地上部と根部のCd(カドミウム)の濃度を低下させた。特に30%以上の堆肥の加用は、Cd(カドミウム)のレタスへの吸収濃度を少なくした。

土壌中置換性Cdの濃度は堆肥の加用の増大に従い、Cdと有機物が結び付き、複合物の作用者として効果を示し、レタスへのCd(カドミウム)の利用度を低下させた。

レタスはCd(カドミウム)の潜在吸収能を持っており、土壌中へのCd(カドミウム)の増量に従い、レタスによるCd(カドミウム)の吸収量が増加した。

試験されたレベルでは、過剰害がレタスには現れなかった。しかしながらCd(カドミウム)の汚染土壌で作物が栽培されると人間の健康への危険が起こり得る。

(c) Pb(鉛)と大麦

Pb(鉛)を土壌に加えることによる大麦の生育と体内及び土壌中の濃度(KEATON, C. M. 1937)の試験結果は第80表に示すとおりである。この結果によると、約6.000kg/haのPbは施用後3日目には抽出溶液に可溶性として3ppmと評価された。収穫時には土壌中の可溶性Pbは34%に低下していた。大麦の生育はPbの加用により悪影響を受けなかったが、Pbは根部に集積した。

第80表 Pb(鉛)の土壌加用による大麦の生育と体内及び土壌中の濃度(KEATON, C. M.)

土壌加用 Pb Kg/ha	植物体重 g/個体	植物体中のPb		土壌中可溶性Pb	
		地上部	根部	植付時	収穫時
		ppm			
0	5,6	traço	4,7	traço	traço
111 ①	7,2	0,71	143,1	0,16	0,02
222 ①	5,8	0,74	286,4	0,33	0,02
334 ①	6,7	1,19	190,6	0,33	0,05
445 ①	5,4	1,90	214,8	1,75	0,12
928 ①	5,4	2,39	573,8	2,25	0,20
1.856 ①	7,0	1,67	334,8	2,45	0,39
3.712 ②	6,8	2,39	526,3	2,89	0,47
5.568 ②	5,7	2,86	751,4	3,23	1,11

traços = 痕跡 ① = Pb(NO₃)₂ ② = PbCO₃

出所: 1937. FERTILIZANTES E SEU IMPACTO AMBIENTAL 1994 pg63 による

(d) 重金属とバレイショ

この項目は、1984年の7月1日から6日までスイス連邦、インターラーケンにおいて開催された第9回ヨーロッパ・バレイショ研究会の総会で、C. D. VAN LOON・K. MULLERらにより発表されたものの一部である。

多くの重金属は土壤中に本来存在しているが、それは必ずしも人間、動物、植物に有害な濃度で存在するわけではない。ところが、大気汚染、汚泥のような販売肥料の施用によって、土壤中の濃度は相対的に高くなってきている。

As、Cd、Pb、Hgの総ての元素は植物の生育には必要としないが、概ね有害である。

土壤中の重金属含量とバレイショ塊茎中の濃度との関係については、ここでは単に4つの例を述べることにする。

一般に重金属の植物への可給度は小さく、それに関与する土壌因子は、たとえば、pH、腐植、粘土含量である。

塊茎中の重金属含量はおおむね茎や葉中よりも低い。De HAANとLUBBERS(1983)は、塊茎中の重金属含量は茎や葉中よりも7~20倍低いことを見つけたが、Cu(銅)のみは、1.5~4倍と差異が小さかった。

僅かの国で、土壌中や植物中の許容値が設定されている。

ヨーロッパ共同市場(EC)の土壌中の重金属の許容値とドイツ連邦保健省のバレイショについて設定された許容値は第81表に示すとおりである。

第81表 ヨーロッパ共同市場(EC)の土壌中の重金属の許容値 (De HAANとLUBBERS, 1983)と、ドイツ連邦保健省のバレイショの許容値(ANON, 1979)

元 素	土壌中の許容値 (乾物重 ppm)		バレイショの許容値 (ppm)	
	適正值	最高値	新鮮物当り	乾物当り *
As	-	-	0,1	0,45
Cd	1	3	0,1	0,45
Hg	2	-	0,02	0,09
Pb	50	100	0,2	0,9

* 塊茎中の乾物重を22,5%として算出

出所：農業および園芸 第60巻 第5号 (1985) pg 40

第82表には、非汚染土壌におけるバレイショの重金属含量を要約して示した。この中間値と最大値は、オランダの代表的土壌型と地形に分布する96のバレイショ畑からの塊茎を集計したものである。

総ての第82表の値は、第81表に示したバレイショの許容値よりも小さい。

第82表 オランダの96のバレイショ畑の塊茎中のAs、Cd、Hg、Pb含量 (de HAANとLUBBERS, 1983を引用したGOORによる) (ppm 乾物中)

含 量	As	Cd	Hg	Pb
中間値	0,052	0,112	0,012	0,12
最大値	0,172	0,360	0,068	0,36

出所：農業および園芸 第50巻 第5号 (1985) pg 40

(1) As (ヒ素)

ヒ素化合物は、除草剤として2~3の国で使われ、土壌に蓄積している。MACLEANとLANGILL(1981)は、以前にヒ素が施用された土壌で生産されたバレイショの皮中に、対照の畑のそれより、かなり多くのヒ素を検出した。(第83表)皮をむいた塊茎中のヒ素含量は、平均して、オランダで、バレイショ乾物に適用されている許容値である0,45ppmと同程度かやや高い(ANON 1981)。

両畑土壌の皮を剥いた塊茎(肉)にはヒ素含量に差が認められなかった。バレイショの肉の部分は皮よりもヒ素含量が少なかった。

第83表 ヒ素施用畑と無施用畑における土壌、バレイショの皮および肉中のヒ素の平均値と限界値(乾物mg/kg) (MACLEAN LANGILL, 1981)

項 目	ヒ素施用畑	ヒ素無施用畑
土 壌	38,70 (15 ~ 80)	9,63 (2 ~ 17)
バレイショの皮	0,82 (0,35 ~ 1,46)	0,45 (0,28 ~ 0,76)
バレイショの肉	0,45 (0,20 ~ 0,68)	0,49 (0,04 ~ 1,00)

出所：農業および園芸 第60巻 第5号 (1985) pg 40