

天竺國志卷之四
西域傳

一

西域傳



ブラジル農業研究協力プロジェクト 研究報告書(その2)

JICA LIBRARY



1025224[5]

1981年12月

国際協力事業団
農業開発協力部

国際協力事業団	
受入 月日 '84. 3.15	703
登録No. 00242	86.7
	ADT

あ い さ つ

ブラジル農業研究協力プロジェクトは、ブラジル中央部一帯の高原台地に広がる1億8千万haに及ぶセラードと称される半乾燥地のうち、開発可能な5千万haの農業開発計画の指針となる農業生産技術の開発を目的として昭和52年9月30日に締結された協定により、5カ年間の協力を実施中であります。

現在まで、各研究分野に第一次長期専門家桜井義郎団長以下6名、第二次長期専門家尾形保団長以下6名及び短期専門家8名を派遣してきました。

本報告書は、短期専門家8名の研究報告をとりまとめたものです。先に印刷した第一次長期専門家の研究報告書(1981年1月、農開技・JR・81-24)とあわせ広く御利用いただければ幸いです。

最後に、セラード地帯の厳しい生活条件及び貧困な研究環境のなかで、このようなりっぱな研究成果をまとめられた8名の短期専門家及びその受入れに尽力された第一次、第二次の長期専門家に対し深甚なる謝意を表するとともに、本プロジェクトの実施にご支援いただいた外務省・農林水産省関係各位、在ブラジル日本大使館等在ブラジル関係機関並びにブラジル政府関係各位に対して厚くお礼申し上げます。

昭和56年12月

国際協力事業団

農業開発協力部長

村田稔尚

は じ め に

伯国で「セラード地帯」と称せられる景観の土地は180万Km²にも達し、実に日本の国土の約4.9倍の広さである。この中で現在の調査で経済的な農業生産が可能とされている面積は5,000万haで、これまたわが国の耕地面積の約10倍にも達する。このように広大なセラードの組織的開発が始ったのは近々この10年足らずで、未だその緒についたに過ぎないと云える。

「ブラジル農業研究協力事業」は、この広大で無限の可能性に富むセラードの農業開発に必要な技術確立のための研究を伯国に協力して行うものである。事業の主な内容は、日本からの専門家の派遣、研究用資材の供与、伯国人の日本での研修となっている。

専門家の派遣は任期約2ケ年半の長期と、1ケ年以内の短期の2種類に分けられている。後者のいわば「助ヶ人」的な立場で緊急必要な方法論の伝授や新しい問題発生への対応等で活躍されている。本報告は本事業開始時より55年度までの予算で派遣されたこれら短期専門家の研究成果の概要である。

これらの来伯専門家は、いずれもその専門部門でのベテランで、日本での研究活動においても中心的役割りを果されており、非常に多忙な条件の人達である。このため研究協力の在伯期間は1.5ヶ月ないし3ヶ月と著しく限られた短いものであった。しかしこの期間に、しかも研究環境や施設、資材等がかなり不良な条件にあったにもかかわらず、本報告に示されているように、それぞれ立派な成果をあげられた。しかもその研究活動や日常生活を通じて、現地の人々へ専門的知識の伝達や人間的交流が行われ、伯国側の高い評価と信頼感や親近感を得ている。

本報告の成果はいずれも今後のセラード農業開発のための礎石の一つとして、長く活用されることであろう。報告者各位の労苦に対し深甚の謝意を表したい。

昭和56年11月30日

ブラジル農業研究協力プロジェクト

団長 尾 形 保

昭和52年9月30日から昭和56年11月30日までに派遣された
短期専門家（農業研究分野のみ）一覧

分野	氏名	派遣期間	赴任時現職
植物生理	吉田武彦	1979.2.21 ～1979.5.30	農林水産省農業技術研究所 化学部作物栄養第1研究室
雑草防除	山本泰由	"	" 九州農業試験場 畑作部作物体系研究室
微量元素	石塚潤爾	1980.2.5 ～1980.4.4	" 農業技術研究所 化学部作物栄養第3研究室
農業気象	泊功	"	" 北海道農業試験場 農業物理部農業気象研究室
農業機械	塩谷哲夫	1980.2.5 ～1980.5.4	" 農事試験場 畑作部作業体系第2研究室
農業機械	中精一	1981.3.27 ～1981.5.10	" 農事試験場 畑作研究センター畑作機械化研究室
農業気象	堀江武	1981.3.27 ～1981.6.26	" 農業技術研究所 物理統計部気象科
農業経営	堀内一男	"	" 東北農業試験場 農業経営部経営第1研究室

目 次

はじめに	
1. セラードにおける作物の根の発育	1
吉田 武彦	
2. 作物根のアルミニウム障害	10
吉田 武彦	
3. セラードの耕地における雑草防除に関する基礎的研究	19
山本 泰由	
4. セラード土壤に生育する大豆の無機栄養におよぼす石灰および リン酸肥料施用の影響の解析	24
石塚 潤爾	
5. Reexamination of Analytical Methods for Al and Mo in Plant Material.	28
Junji ISHIZUKA	
6. Effects of Liming and Phosphorus Fertilization on Status of Mineral Nutrients in Soybean Plants Grown in the Cerrado Soil.	39
Junji ISHIZUKA	
7. Agrometeorological Research and its Measuring Technique ...	58
Isao TOMARI	
8. セラード(ブラジル)農業研究センターと農業気象研究について	62
泊 功	
9. セラード土壤における大豆の根系発達と耕起法について— —サン・ゴタルド調査報告	70
塩谷 哲夫	
10. Método de Arasão e o Desenvolvimento das Raízes de Soja no Solo de Cerrados. —Relatório de Pesquisa de São Gotardo—	76
Tetso SHIOYA	

11. セラード土壌における機械作業に伴なり土壌硬化と根系発達に関する研究	89
塩谷 哲夫	
Sergio Mauro Folle	
12. Avaliação da Compactação do Solo nos Campos dos Cerrados.	95
Tetsuo SHIOYA	
Sergio Mauro Folle	
13. ブラジルのセラード地帯における畑作農業について	119
塩谷 哲夫	
14. セラード地域における大豆栽培管理の機械化に関する研究	133
中 精 一	
15. ブラジル農業事情	147
中 精 一	
16. On Evapotranspiration Rates from An Irrigated Soybean Field in Cerrados as Measured by Energy Balance Method	149
Takeshi HORIE	
Arivaldo LUCHIARI Jr.	
17. Goal Programming Method の農業経営計画への適用	184
堀内 一 男	
Yoshihiko SUGAI	
Dante Daniel Scolari	
18. Programação Gol e Sua Aplicação á Administração Rural	195
Kazuo HORIUCHI	
Yoshihiko SUGAI	
Dante Daniel Scolari	

1. セラードにおける作物の根の発育

吉 田 武 彦

1. はじめに

1979年2月21日から3か月間、作物根の発育生理に関する短期専門家として、ブラジル農牧研究公社(EMBRAPA)所属のセラード農牧研究センター(CPAC)に派遣され、その間調査と試験を行なった。

E. Wagner 所長によると最初のオリエンテーションのさい、セラード地帯では作物根の発育がわるく、そのため veranico (雨季終期の小乾季) が起こればしばしば壊滅的な干ばつ害を受けるとの説明があったのち、その解決策を研究してほしい、と要請された。しかし、3か月の短期間では、全般的な研究はとうてい無理である、と意見を述べてCPAC側もそれを了承、同席したW. J. Goedert 副所長から、CPACとして当面最も必要としているのは、作物根の研究手法である、と補足説明があった。

日をあらためて行なわれたW. J. Goedert 副所長、E. Lobato 調整官との打合せの席上、私が提供しうる作物根の研究手法として、次の三つを示した。

- (1) モノリス法及び根箱法による作物根の分布・発育調査法
- (2) α -ナフチルアミン及びTTC法による根の活力調査法
- (3) アルミノン染色による根組織内におけるアルミニウムの組織化学的検出法

Goedert 副所長らは、ただちに同意し、共同研究者としてJosé Eurípidés da Silva 研究員を指名したのち、これらの手法を用いてほ場およびガラス室試験を実施してほしい、と要請した。それに対して、私は、残り2か月半では作物の生育には短かすぎて、明確な結論の得られる見込みのないこと、根の調査研究には多くの人手と時間がかかることから、ほ場試験は無理である、と主張したが、CPAC側は、途中打ち切りでも差支えない、試験補助の人手は保障する、と重ねて要請したので、その条件つきで了承した。

このような経過にもとづいて、帰国までの期間、研究手法の検討を行なうと同時に、da Silva 氏と共同して、ほ場試験及び根箱によるガラス室試験を実施した。

ほ場試験については、作物の初期生育の段階で帰国期日が到来したため、共同研究者のda Silva 氏に試験の継続と結果のとりまとめを依頼し、最終的な結果はまだ得られていない。

なお帰国に先立ち、CPAC側からセミナーの要請を受けたので、私は農業技術研究所で行なった「小麦のリン酸吸収と環境変化への対応」、da Silva 氏は前記の共同試験の中間報告の形で研究発表を行なった。

なお、CPACではda Silva氏らによる作物根の発育に関する研究チーム結成の動きがあるので、今後の研究成果を期待したい。

以上の事情から、CPAC滞在中に得られた結論は多いとはいえない。したがって、調査及び試験の結果をふまえながら、セラードにおける作物根の発育に関する考察を試みることにする。

2. セラードにおける作物根の分布と活性

セラード地帯では、土壤条件が劣悪なため、作物の根は一般に深く伸長できず、veranicoによって激しい干ばつ害を受ける、とされている。しかし、根の分布に関する具体的な調査はまだ乏しいので、CPACほ場で根の分布を調べてみた。

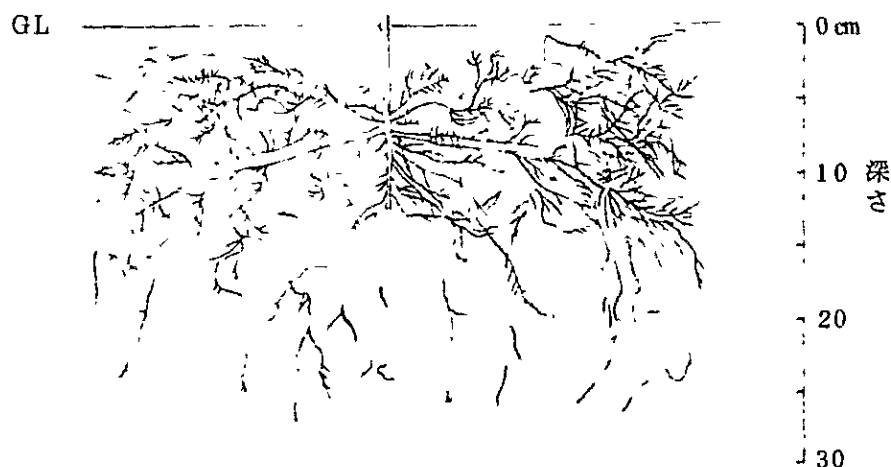


図1 セラード暗赤色ラトソルにおけるフェジヨンの根系分布

図1は、暗赤色ラトソル土壌(LVE)にヘクタールあたり苦土石灰4トン、リン酸1.6トンを深さ30cmまで施して土壌改良を行なったほ場に生育した、開花期のフェジヨン(Phaseolus vulgaris, 菜豆の一種)の根系を示したものである。改良モノリス式根系調査器の到着がおくれたため、深さ約1mの塹壕を掘って、厚さ約10cmの根系を含む土壌断面を採取し、根を水で丁寧に洗い出した。

図に見られるように、このフェジヨンは現在の段階で最高の土壌改良を施したほ場に生育したにもかかわらず、根の大部分は土壌表層15cm以内の浅い部分に集中しており、15cmより深い土層にはごくわずかししか伸長していない。かつ、岩田・川崎専門家が大豆について見いだしているように、フェジヨンでも主根の伸長が15cm以内で停止し、主根から生じた第一次側根のほとんどが水平に長く伸びているのが特徴である。そのため、作物の直下での根の分布は非常に密度が低い。なお、図の左右部分に見られる細根の密集した部位は、窒

素追肥を施した場所に対応している。

同様のことは1972～73年にCPACの暗赤色ラトソルで栽培したとうもろこしの根の深度別調査¹⁾でもうかがわれる。調査結果によれば、石灰施用量、施用深度にかかわらず、根の重量の50%以上が15cmまでの土層に、85%から90%以上が30cmまでの土層に分布している。ただし、細根の発生状況を示すと思われる単位容積の土壌あたりの根長総計は、石灰施用量と施用深度の増加に伴って、下層での分布状態が改善された。

このように、暗赤色ラトソル土壌における作物根の分布が一般にごく浅いのは事実であるが、次に問題になるのは根の質、つまり根の活力がどうであり、土壌の深度別に活力の高い根がどのように分布しているか、ということである。

根の活力測定法はいろいろあるが、根の活力という概念にあいまいさもあって、いずれも直接的なものではない。そこで簡便さの面から α -ナフチルアミンとTTC(トリフェニル・テトラゾリウム・クロライド)による着色物質の生成反応³⁾を用いて、実験を行なうことにした。数種の作物根を用いた予備試験の結果、セラードの作物はどちらの方法にも十分反応することが明らかになったので、根の活力測定を主眼にしたほ場試験を実施した。

表1 試験設計

苦土石灰	リン酸	作物及び品種	施肥
水準1 0.5 t/ha	水準1 P ₂ O ₅ 160Kg/ha	とうもろこし AG-259	N とうもろこし, フェジ ョン: 100Kg/ha
水準2 4.0 t/ha	水準2 P ₂ O ₅ 1400Kg/ha	大豆 UFV-1 フェジョン Rico-23	大豆: 10Kg/ha K ₂ O 60Kg/ha

試験設計は表1に示すとおりである。試験ほ場の土壌は暗赤色ラトソルの未耕土で、15×13mの区画を4区にわけ、苦土石灰とリン酸施用量各2段階を組合わせ、各区にとうもろこし、大豆、フェジョンを3月21日に播種した。各作物の品種は、石灰施用に対する反応の高いものを選定した。耕うん及び石灰、肥料の土壌混合は乗用小型ローターベータで行ない、予定では深さ15cmまで混入できるはずであったが、実測では8～10cmの土層に混合したにすぎなかった。

作物は3月28日に出芽したので、その後ほぼ2週間ごとに、4月10日、23日、5月7日の3回、各処理区からそれぞれの作物の根を約30cmの深さまで掘りとり、上層10cmまでと10cm以下の2層にわけて根を洗い出し、 α -ナフチルアミン及びTTCによる活力測定を行なった。

作物の生育時期別に根試料を採取したのは、根系の発達とともに根の単位重量あたりの活力はしだいに低下し、低下の様相がむしろ重要なため、上下の土層から別々に根を採取した

のは、石灰及び肥料の混入層位とそれ以下の土層における根の分布と根の活力を比較するためである。また、全体をつうじて α -ナフチルアミンとTTCによる活力測定を併用したのは、両者に対する反応が作物の種類、生育時期、環境条件で異なるので、セラードの具体的な条件で、それぞれの作物にどちらの方法が適しているかを比較検討する狙いをもっている。

さきに述べたように、本ほ場試験は任期終了時にまだ終了せず、共同研究者のJosé Euripides da Silva氏によって継続されているので、最終的なデータは得られていない。そこで、ここには作物の生育初期におけるごく定性的な観察結果だけを述べるにとどめる。したがって、最終的には結論が動くかもしれない。なお、本試験の結果は、da Silva氏がとりまとめ、私と協議のうえ考察して発表することになっている。

第2回の試料採取、すなわち播種後約1か月までは、とうもろこし、大豆、フェジョンとも、低石灰低リン酸から高石灰高リン酸までの各区をつうじて、地上部の生育にはほとんど差異が見られなかった。第3回試料採取時には、低石灰低リン酸区の生育がその他の処理区の作物に比べて、やや遅れを示し始めた。

一方、根の発育は石灰及びリン酸施用量の増加により、著しく改善され、とくに10 cmまでの上層における根量の増加は顕著であった。しかし、土壌改良の効果はほとんど上層に局限され、とくに大豆、フェジョンのまめ科作物では、10 cmより深くの下層への根の伸長は、各処理区をつうじてごくわずかであった。これに対して、とうもろこしは、どの処理区でもかなりの量の根が下層にまで到達しており、まめ科作物の根に比べて耐酸性の強いことがうかがわれた。

根の活力の測定結果では、石灰及びリン酸の効果がやはり現われており、かつ石灰とリン酸ではリン酸のほうがより効果が高いように思われた。根の活力測定において興味深いのは、大豆、フェジョンでは、下層への根の伸長が悪いばかりでなく、活力もまた低かったことである。したがって、セラード地帯の大豆、フェジョンなどのまめ科作物については、根の圧倒的部分が深さ10～15 cmの土壌表層に分布するというだけにとどまらず、それを上回る比率で活力の強い根が浅い層に集中していることになる。しかも、石灰・リン酸の大量施用で土壌改良を行なったところでもそうであるという事実は、かなり重大である。とうもろこしについては、今のところ断言はできないが、さきに引用したCPACほ場での試験結果¹⁾から見て、まめ科作物ほど極端でないにせよ、同様の可能性は否定できない。

以上の調査と試験で明らかになった作物根と根の活力の表層集中は、次の簡単な計算からしても、セラードの作物の耐乾性を著しく低下させることは明らかである。

G. Ranzani⁴⁾によれば、セラードの土壌の有効水分保持能力は低く、土層1 cmあたり1.5 mm以下であるという。いま、根の分布域を表層15 cmとし、土壌の有効水分保持能力として前記の値を採用すれば、根域における水分貯留量は17.5 mmとなる。作物の蒸発散量を1日

あたり6 mmと想定すれば、この水分貯留量は3日分にしか当たらない。一方、42年間におけるveranicoの襲来頻度は表2のようである。⁵⁾

表2 veranicoの頻度(42年平均)

無降水期間(日)	頻度
8	3回/年
10	2回/年
13	1回/年
18	2回/7年
22	1回/7年

したがって、現状では、たとえ土壌改良が行なわれたにしても、干ばつの被害はとうてい回避できず、灌漑に頼る様かはないであろう。もし、根の分布域を深さ30 cmまで倍加できれば、水分貯留量は35 mmになり、それだけで約6日間、毛管上昇による水分補給を考慮すれば1週間ないし10日間はしのげると考えられる。

根の分布域を深くするためには、根の分布及び根の活力が石灰・リン酸による土壌改良に敏感に反応することから見て、深耕による土壌改良の深度を深くするのが最も有効と思われる。CPACでも30 cmまでの深耕試験は数多く行なわれているが、根の分布調査やほ場試験のさいの実測から、ローターベータで現実に計画深度までの耕起が行なわれたかどうか、多少疑問が残る。実際の耕起深度は計画の半分程度であろう。その意味では、ブラウによる深耕を考慮する必要がある。

同時に、土壌の有効水分保持能力を高める対策として、セラードの条件では困難はあろうが、土壌に対する有機物の補給、とくに作物の葉桿類の利用をはかるのが望ましい。

最後に、ガラス室で実施した根箱試験について触れる。この試験は、ほ場試験と同じ設計にもとづき、石灰及びリン酸量を土壌の重量あたりに換算して施し、4月6日にとりもろこし、大豆、フェジョンを播種して始めたのであるが、発芽後約10日目に石灰多量区の作物の葉に典型的な鉄欠乏症が出現して、失敗に終わった。参考のため、その土壌のpHを測定したところ、pH 6.3であった。この試験は失敗ではあったが、一面では示唆に富んでいる。第一に、同一の条件にしたにもかかわらず、ほ場試験で出現しなかった鉄欠乏症が根箱で現われたこと、第二に、セラードでも石灰の過用による鉄欠乏の可能性を示したことである。

ヘクタールあたり4トンという同一の石灰施用量で、根箱試験だけに土壌pHの上昇に起因する鉄欠乏が現われた原因は、土壌と石灰の混合程度の違いにあると考えられる。つまり、根箱試験では両者を完全に混合したうえ、充填したのに対し、ほ場では表面に散布した石灰をローターベータで混入したために、土壌中における石灰の分布は、かなり不均一であった。したがって、土壌pHでも顕著なモザイク構造が存在したと推定され、そのために各作物は鉄欠乏をまぬがれたのであろう。

一般に石灰、リン酸による土壌改良のさいには、これらの資材を土壌と均一に混合することを追求する傾向が強いが、混合が均一になるほど鉄欠乏を誘発する危険もなしとしない。その点からすれば、石灰、リン酸のある程度の不均一分布は、作物の生育にはかえって好条

件かもしれないが、施用位置に関する研究が望まれる。とくにブラウによる深耕では、改良資材の分布が不均一になると予想されるので、実用的にも重要ではないだろうか。

3. 作物根の発育とアルミニウム毒性

全体的にブラジルでは、ラトソル等の酸性土壌における作物の不良生育の原因をアルミニウムの毒性によると割り切って考える風潮が強い。これは、サンパウロ大学のセラード生態学研究の中心であるM. G. Ferris やR. Goodland のアルミニウム毒性硬化形態説⁶⁾ アメリカのノースカロライナ大学の熱帯土壌研究グループ、とくにP. A. Sánchez の考え方²⁾の影響が強いためのものである。事実、CPACでも多くの研究者は、作物の生育や根の発育の不良な原因が土壌の交換性アルミニウムの毒作用によると信じて疑わないふしがあったし、CPACの研究年報でもアルミニウムの毒性によって研究結果を説明している例が非常に多い。たしかに、アルミニウム毒性説は有力な学説ではあるけれども、若干の疑問もなしとしないので、ここに批判的な考察を試みることにしたい。

まず土壌の交換性アルミニウムの量であるが、CPAC研究年報⁷⁾に記載された、CPACの代表的な土壌2種における値を表3に示した。

ただし、CPACでは、直接交換性アルミニウムは定量しておらず、ここに示された値は置換酸度に相当するものを全量アルミニウムによると仮定した数値である。そこで、帰国後持ち帰った同種の土壌についてYuan⁸⁾の方法で置換酸度と交換性アルミニウムを別個に測定してみた。また、土壌のばん土性及びリン酸固定力の目安として、リン酸吸収係数の測定も行なった。その結果は表4に示すとおりである。表3と表4の比較から、IN Kcl の1

表3 CPACの土壌の化学的性質(CPAC, 1976)

土 壤	層 位 (cm)	PH (水1:1)	交 換 性 カ チ オ ン (me/100g 土 壤)		
			Al	Ca + Mg	K
暗赤色ラトソル (LVE)	0~10	4.9	1.9	0.4	0.01
	10~30	4.8	2.0	0.2	0.05
	35~70	4.9	1.6	0.2	0.03
	70~150	5.0	1.5	0.2	0.01
黄赤色ラトソル (LVA)	0~20	5.0	0.4	0.05	0.06
	20~40	4.9	0.07	0.03	0.03
	100~120	5.6	0.01	0.03	0.01

表4 CPA Cの土壤の化学的性質(吉田, 1979)

土 壤	層 位	PH			置換酸度 [*] (me/100g乾土)	交換性Al ⁺ (me/100g乾土)	リン酸 吸収係数
		水(1:1)	水(1:25)	KcL			
暗赤色ラトソル (LVE)	0~10 ^{cm}	4.0	4.1	4.1	1.89	1.46	7.70
	50~70	4.4	4.4	4.1	2.33	1.95	6.10
黄赤色ラトソル (LVA)	0~10	4.3	4.4	4.2	1.56	1.25	11.20
	10~20	4.1	4.2	4.2	1.36	0.97	10.60
	20~	4.6	4.6	4.7	0.26	0.06	9.50

* 繰返し5回抽出の合計

回抽出による置換酸度をただちに交換性アルミニウムとする方法にはやはり疑問が残る。IN KcL抽出を5回繰返して得られた置換酸度は、全体としてかなり高い値を与えること、交換性アルミニウムは置換酸度の70~80パーセントに相当するが、LVAの下層土のように、30パーセントにも満たない例も見られること、がその根拠である。

測定方法の違いはさておいて、得られた交換性アルミニウムの値がそれほど高いかということ、表5に示す日本の草原土壤の例⁹⁾に比較しても、そう高いとは思われない。

また、交換性アルミニウムが第一の原因だとすると、LVEよりもLVAで作物の根の伸長、収量がよいはずであるが、現実には逆である。

次に、セラードの土壤深層への根の伸長を阻害する要因が交換性アルミニウムの毒性である、との考え方であるが、Foy¹⁰⁾のこのような典型的なアルミニウム害を受けた根は、CPACほ場では見いだせなかった。

根の伸長阻害にアルミニウムが関与するという直接的な根拠の一つは、CPACにおいて、ノースカロライナ大学チームが流動水耕装置を用いて行なった、アルミニウムに対するとりもろこし、稲、フェノンの品種間差異に関する試験¹¹⁾である。しかし、研究年報の記載でも、アルミニウムの吸収移動特性とともに、耐性品種のリン酸吸収同化力の高さを認めている。

一方、私がCPAC滞在中に行

表5 日本の草原土壤の置換酸度と交換性アルミニウム
(吉田・中館, 1964)

土 壤	層位	置換酸度 (me/100g乾土)	交換性Al (me/100g乾土)
沢内 ワラビ、ンバ草原	A	8.15	7.99
	B	3.60	3.48
岩崎 ンバ草原	A	6.20	5.98
竜ヶ森 シバ草原	A	2.40	2.30
	B	0.12	0.08

なった、根組織中のアルミニウム分布の組織化学的検出では、時間の制約上予備実験にとどめざるをえなかったが、とうもろこし、大豆、フェジョンとも、根組織中にアルミニウムが検出され、とうもろこしでは細胞核に、大豆、フェジョンでは内皮組織周辺に多いように見受けられた。しかし、組織の形態異常は認められなかった。

以上のことから、セラードの土壌における作物根の発育が不良な原因は、交換性アルミニウムにあるとは、まだ断定できず、なお明確ではないと考える。土壌改良の具体的対策の確立とともに、根の発育不良の原因の追求においても、今後の研究の発展を期待したい。

付記 帰国後に行った第2章の実験では、作物根の発育障害の一次的な原因が、土壌中の遊離アルミニウムであるとの結果が得られた。

謝辞 CPAC在任中、日本チームの研究員各位及び小林調整員には非常にお世話になった。とくに岩田、川崎両専門家は、根の発育に関連した仕事をされている関係で、調査にあたってはつねに共同して当たられ、討論をつうじて貴重な示唆を与えられた。同時にCPAC側の研究者、とくに共同研究者のJosé Euripides da Silva氏は献身的に共同研究に従事してくれたし、W.J.Goedert 副所長、E.Lobato調整官は試験の実施に援助を惜しまれなかった。また、いちいち名前は挙げられないが、実験及びほ場担当のテクニシャン、ほ場作業員の皆さんからは多大の援助を得た。これらの人びとに厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) CPAC (1976) Relatório Técnico Anual, pp 41
- 2) Sánchez, P.A. (1977) Advances in the Management of Oxisols and Ultisols in Tropical South America, in Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, pp. 535
- 3) 吉田武彦 (1966) 根の活力測定法, 日本土壌肥科学雑誌, 37, 63
- 4) Ranzani, G. (1972) ブラジル・セラードの土壌, セラードに関するシンポジウムⅢ, pp. 31, 熱帯農業研究センター資料 Ⅲ 38, 1977
- 5) CPAC (1976) Relatório Técnico Anual, pp. 23
- 6) Goodland, R. (1972) セラードにおける養分欠乏とアルミニウム, セラードに関するシンポジウムⅢ, pp. 57, 熱帯農業研究センター資料 Ⅲ 38, 1977
- 7) CPAC (1976) Relatório Técnico Anual, pp. 21
- 8) Yuan, T.L. (1959) Determination of exchangeable hydrogen in soils by a titration method, Soil Sci., 88, 164
- 9) 吉田稔・中館興一 (1964) 置換酸度を構成する酸性物質の分別と酸度の要因となる有機酸の存在について, 日本土壌肥科学雑誌, 35, 133

- 10) Foy, C. D. (1974) Effects of Aluminum on Plant Growth, in the Plant Root and Its Environment, pp. 601, University Press of Virginia, Charlottesville.
- 11) C P A C (1976) Relatório Técnico Anual, pp. 46

2. 作物根のアルミニウム障害

吉田 武彦

ブラジルには、中央高原を中心にして、セラード (cerrado) と総称されるサバンナ景観の広大な地域が広がっている。セラードは赤道から南回帰線に至る地方に分布し、面積は約1億8,000万ヘクタール、全ブラジル国土の4分の1に達するが、大部分が極度に溶脱を受け、かつ pH 5 以下の強酸性土壌で覆われているために、これまで農業不適地として放置され、わずかに雨季に生育する野草を利用した粗放な肉牛の放牧に利用されるにすぎなかった。

しかし、最近になってセラードの農業開発が国家的事業として推進されるようになり、新設のセラード農牧研究センターが中心となって、セラードに作物を導入し、高収量をあげるための研究が活発に行われている。

作物生産をあげる上で、セラード土壌の最大の問題点は、強い酸性と養分欠乏である。事実、現在までのセラード農牧研究センターの試験によっても、石灰施用によって酸性を矯正し、過りん酸の大量投与とあわせた土壌改良を行ったうえで、適切な施肥をすれば、トウモロコシ、ダイズ、サイトウ (フェジョン)、陸稲などの作物が高収量で収穫できることが明らかにされている。しかし、この場合にも、作物の根が浅くしか張らず (10~15 cm)、そのため、作付期間の雨季の末期にしばしば襲来する、veranico と称する 1~3 週間の小乾期に、壊滅的な干ばつの被害を受けるのが、重大な問題になっている。未改良、あるいは改良不十分な土壌では、作物根の発達も、もちろん非常に悪い。

セラード土壌における作物根の発達不良は、土壌酸性にもとづく遊離アルミニウムによる障害が原因であると、一般に信じられているが、この土壌は同時に、極度のリン酸欠乏土壌でもあり、両者の区別が困難で、証明は必ずしも十分でない。

そこで、セラード土壌における作物根の発育障害の原因を明らかにするために、代表的な土壌である暗赤色ラトソル (LVE) 及び黄赤色ラトソル (LVA) の未耕土に、トウモロコシ及びダイズを播種し、無施肥で生育させ、発芽後 2 週間目の根の発育を調べた。無肥料栽培の幼植物を用いたのは、土壌アルミニウムの効果とリン酸欠乏の効果を分離するためで、生育が種子の貯蔵養分に依存する初期には、リン酸欠乏の影響が消去できるからである。それと併行して、 Al^{3+} の濃度を変えた培養液で水耕栽培を行い、両者の根の発育状態を比較するとともに、根の切片を作って、根組織内のアルミニウムの組織化学的検出を行った。なお、実験に先立って、供試土壌につき、若干の分析をした。

(注) 本報告は昭和 54 年度農業技術研究所作物栄養科報告書に発表したものである。

材料及び方法

(1) 土 壤

供試した土壤は、セラード農牧研究センターの構内で採取した暗赤色ラトソル2種及び黄赤色ラトソルの未耕地土壤で、分析結果は表1のとおりである。分析値のうち、粒度分布とCECの測定は、土壤第2科の千葉守男氏をわずらわした。

表1 セラードの土壤の物理、化学的性質

土 壤	暗赤色ラトソル (セラード)		暗赤色ラトソル (セラトン)		黄赤色ラトソル (カンボ・スージ)		
	0 - 10	50 - 70	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	25 -
深 さ (cm)							
水 分 (%)	3.8	4.2	3.4	7.2	4.8	6.0	4.5
真 比 重	2.68	2.69	2.67	2.71	2.58	2.58	2.64
粒度分布 (%)							
粗 砂	14.2	11.7	11.9	10.6	6.14	4.40	3.92
細 砂	18.1	27.8	16.6	18.8	9.76	9.44	9.31
ソ ー ル	7.50	8.25	7.25	7.75	9.00	10.5	5.50
粘 土	48.8	41.8	55.8	54.0	60.5	58.3	65.5
pH (H ₂ O)	4.21	4.50	5.00	4.52	4.53	4.27	4.70
pH (KCl)	4.14	4.08	4.16	4.09	4.22	4.27	4.85
置換酸度 (me)	1.89	2.39	1.61	1.95	1.58	1.36	0.26
交換性Al (me)	1.46	1.95	1.22	1.49	1.25	0.97	0.06
リン酸吸収係数	774	610	866	859	1120	1060	948
CEC (me)	9.31		10.8		11.3		6.39

表1の分析値には、CPACの分析値とかなり異なるものがあるが、それについて少し説明を加えておく必要がある。

まず、粒度分布については、われわれの値のほうがCPACの分析値に比べて、砂で低く、粘土で高い。その違いは、われわれの値がカルゴン処理と超音波処理を併用して、完全分散をはかったのに対し、ブラジルでは超音波処理を行っていないためである。われわれの場合も、カルゴン処理だけでは、CPACの分析値に近い値を得ている。

第二に、置換酸度と交換性アルミニウムである。われわれは、土壤を1NKClで繰返し5回抽出し、各回の抽出液ごとに酸度及びNaF添加法による交換性アルミニウムを測定し、それぞれの合計値を採用した。一方、ブラジルの一般法では、土壤を1回INN₄Clで浸出し、そのさいの滴定酸度が全量交換性アルミニウムに由来すると仮定して、計算する。したがって、置換酸度の値は現われず、また交換性アルミニウムを直接測定しない、という差異がある。

第三に、CECについては、ブラジルでは、前記のNH₄Cl浸出液を滴定後、カルシウム、マグネシウム及びカリウムを定量し、滴定酸度(交換性アルミニウム)をあわせた合計値をCECとしている。したがって、当然われわれのSchollenberger法によるCECに比べて、非常に低い値となる。

これらの方法上の差異は、ブラジル側の土壌分析値を読む上でも、留意しなければならない点である。

(2) 土壌栽培

実験に用いたのは、前記の土壌試料のうち、セラードから採取した暗赤色ラトノルの表土、黄赤色ラトノルの表土と2.5 cm以下の下層土の3種類である。黄赤色ラトノルの下層土は、強酸性にもかかわらず、交換性アルミニウムが非常に低いことに興味を持って使用した。なお対照土壌としては、中性ではあるがリン酸に乏しい西ヶ原心土を用いた。

100 mlのビーカーに、以上4種の土壌をほぼ同容量になるようにとり、それぞれの土壌がほ場要水量、すなわち両ラトノルでは含水比30%、西ヶ原心土では66%になるように蒸留水を加えた。こうして準備した土壌の一系列には、それぞれトウモロコシ(品種ゴールデンクロスバンタム)種子2粒ずつを、他の系列にはダイズ(品種キタムスメ)2粒ずつを播種し、無施肥で生育させた。栽培は25℃のガラス室で行い、水分の損失は、毎日秤量して補った。発芽後2週間目に、根をていねいに洗い出して、観察に供した。

(3) 水耕栽培

濃度が0、 10^{-5} M (Al 0.28 ppm)、 10^{-4} M (Al 2.8 ppm)になるように、 $AlCl_3$ を水に溶かした液を作り、最終濃度がそれぞれ 10^{-4} M及び 10^{-6} Mになるように $CaCl_2$ と H_3BO_3 を加えた後、pHを4.6~4.7に調整して、培養液とした。

これらの培養液を100 mlの三角フラスコに入れ、あらかじめ蒸留水で発芽させたトウモロコシ及びダイズを1本植えて移植し、25℃のガラス室で2週間栽培した。培養液の組成及びpHの変化を最小限にするため、液は毎日更新した。実験は2連で行った。

(4) アルミニウムの組織化学的検出

組織化学的処理には、採取したトウモロコシ及びダイズの切片を用いた。生体試料は徒手で切片を作り、固定試料はホルマリン・アルコール・酢酸で固定後、パラフィン包埋して、マイクローム連続切片とした。いずれの切片も、スライドガラス上で1%チオグリコール酸を滴下して、鉄を還元し、次に0.2%アルミニウム・アルコール溶液をよく浸透させた後、pH 4.8の酢酸ナトリウム緩衝液を落として、加熱して反応、発色させた上、軽く水洗して鏡検した。

なお、パラフィン切片については、ヘマトキシリン・サフラニン染色標本、ピロニン・メチルグリーンによる核酸染色標本をも作成した。

結果及び論議

(1) 根の発育

発芽2週間後における土壌栽培及び水耕栽培したトウモロコシ、ダイズの根の発育状態は、

写真1～2, 及び写真3～4に示すとおりである。

土壤栽培の場合, 対照の西ヶ原土壤に比べて, トウモロコシ, ダイズとも, 暗赤色ラトソル, 黄赤色ラトソルに生育した植物の根は発育が劣り, とくに暗赤色ラトソル表土及び黄赤色ラトソル下層土では, 根が著しい発育障害を受けていることがわかる。

黄赤色ラトソル表土に生育したトウモロコシの根の伸長は, それほど阻害されていないように見られるが, 暗赤色ラトソル表土の植物とともに, この区では伸長中の根が土壤表面に現われる現象を示し, また葉の先端が褐変, 枯死して, 明らかに障害を受けたことが認められる。ダイズでは, 根が土壤表面に現われる現象は見られなかったが, 黄赤色ラトソルの表土及び下層土に生育した植物に, 葉の先端の褐変が見られ, やはり障害の存在を示唆している。

トウモロコシ, ダイズともに, ラトソル土壤における根の発育障害の特徴は, 根の伸長不良とともに, 分枝根が太くて短く, 全体として櫛状の外観を呈することである。

一方, 写真3及び4に示すアルミニウム・イオンを含んだ培養液における根の障害でも, 根の伸長不良とともに, アルミニウム障害の特有症状とされる櫛状の分枝根の発生が観察され, 典型的な事例は写真5及び6に示すとおりである。また, トウモロコシ, ダイズとも, アルミニウムを添加した区において, 葉の先端が褐変する現象が見られた。

このように, 外見的観察からは, 根の発育障害と葉の先端の褐変という点で, 土壤及び水耕栽培の作物に, 非常によく似た症状が現われ, したがって, ラトソル土壤における根の発育障害の第一の原因が遊離のアルミニウム・イオンによることが推定される。

しかしながら, 土壤分析による交換性アルミニウム含量と根の発育障害の程度が, 平行関係にあるとは必ずしもいえず, とくに交換性アルミニウムのきわめて低い黄赤色ラトソル下層土で, 著しい根の障害が見られたことは, 土壤中でのアルミニウムの存在形態, あるいはアルミニウム以外の障害要因の存在など, 今後の検討を必要とする。

(2) アルミニウムの組織内分布

土壤栽培したトウモロコシ及びダイズ幼植物の根の切片について, アルミノン法でアルミニウムの組織内分布を見た結果を, 写真7～10, 写真11～14に示す。

トウモロコシの場合, 対照の西ヶ原土壤に生育した植物では, 根組織内にほとんどアルミニウムが検出されないのに対し, 暗赤色ラトソル及び黄赤色ラトソルに育てたものは, いずれも多量のアルミニウムが検出された。組織の中では, 皮層と中心柱の篩部に多く, とくに分枝根の原基には大量のアルミニウムの集積が認められる。

一方, ダイズでは, 西ヶ原心土区の根にアルミニウムが検出されないのは同様であるが, ラトソル土壤に生育した植物の根組織におけるアルミニウム集積は, 皮層よりも中心柱, とくに形成層の篩部に多いのがトウモロコシと異なる点である。しかし, 分枝根原基に多量の

アルミニウムが集積するのは、同じであった。

トウモロコシ、ダイズのいずれにおいても、細胞内でアルミニウムが集積するのは核であり、文献資料の結果と一致する。

土壌栽培したトウモロコシ及びダイズの根組織内のアルミニウム分布をまとめると、表2のようになる。

表2 アルミノン染色による根組織内のアルミニウム分布

土 壌		表 皮	皮 膚		内 皮	中 心 柱		
			外 皮	柔細胞		形成層	篩 部	木 部
ト ウ モ ロ コ シ	西ヶ原心土(対照)	-	±	±	-		±	-
	暗赤色ラトソル表土	+	+	卅	+		卅	+
	黄赤色ラトソル表土	+	+	卅	+		卅	+
	黄赤色ラトソル心土	+	±	+	+		卅	+
ダ イ ズ	西ヶ原心土(対照)	-	-	-	-	-	±	-
	暗赤色ラトソル表土	卅	+	+	卅	卅	卅	+
	黄赤色ラトソル表土	+	+	-	卅	卅	卅	+
	黄赤色ラトソル心土	+	±	-	+	卅	卅	+

比較のため、アルミニウムを加えて水耕栽培したトウモロコシ及びダイズの根組織におけるアルミニウム分布を写真15～16及び17～18に示す。水耕の場合は、アルミニウムの集積が表皮に多く認められるほかは、上記の特徴はすべて土壌栽培と同様であった。

なお、パラフィン切片については、アルミニウムのほか、ピロニン・メチルグリーン染色によって、核酸の組織内分布も検討したが、アルミニウムの集積によって核酸が減少するという観察結果は得られなかった。

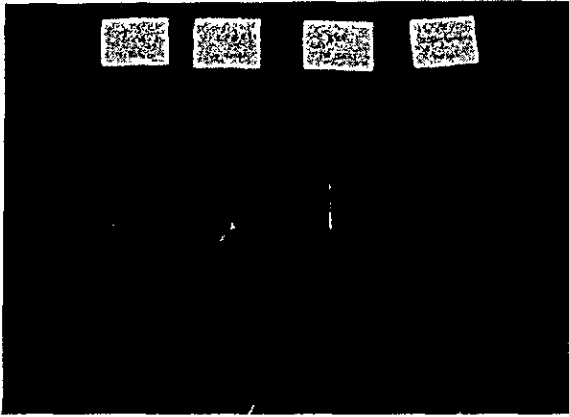


写真1. 発芽後2週間目における
トウモロコシの根の発育

右から 西ヶ原心土(対照)
暗赤色ラトソル表土
黄赤色ラトソル表土
黄赤色ラトソルト質土

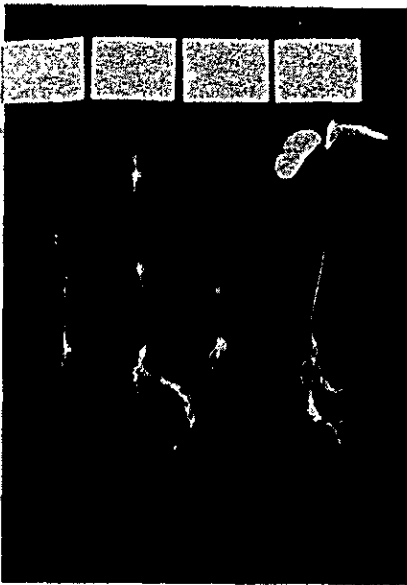


写真2. 発芽後2週間目
におけるタイフ
の根の発育

右から
西ヶ原心土(対照)
暗赤色ラトソル表土
黄赤色ラトソル表土
黄赤色ラトソルト質土

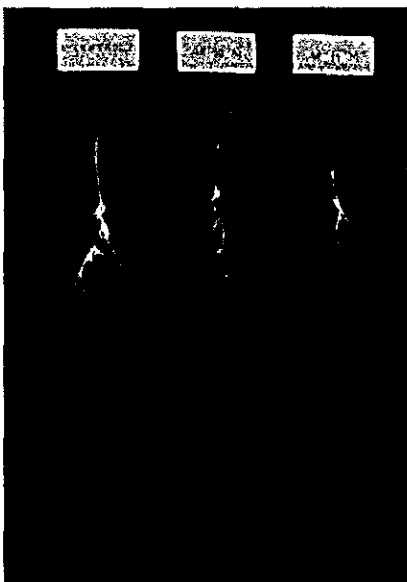


写真3. 発芽後2週間目におけ
る水耕トウモロコシの
根のアルミニウム障害
右から
Al 0, 10⁻⁵, 10⁻⁴M Al

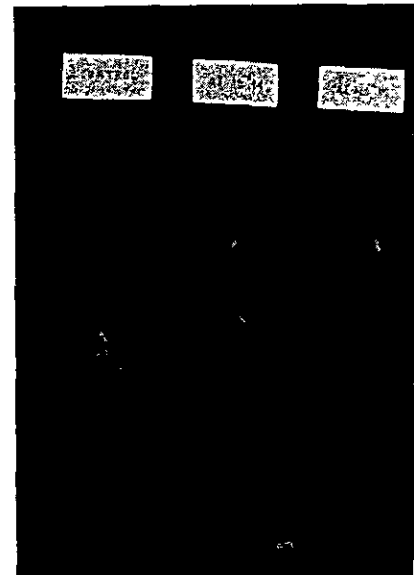


写真4. 発芽後2週間目における水耕ダ
イズの根のアルミニウム障害
左から Al 0, 10⁻⁵, 10⁻⁴M Al

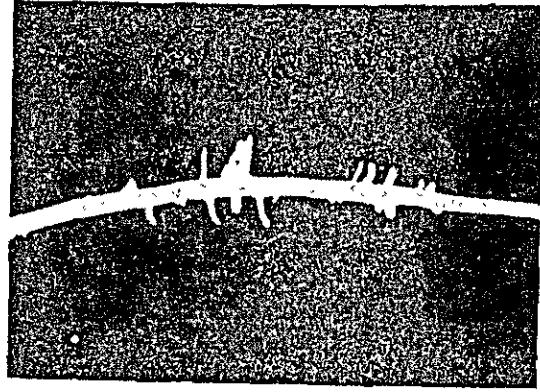


写真5. Al 10⁻⁶Mにおけるトウモロコシの節状分枝根

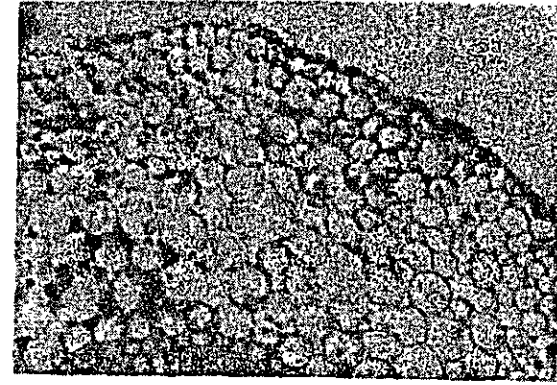


写真8 トウモロコシ根組織内のアルミニウム分布(暗赤色ラトソル表土)

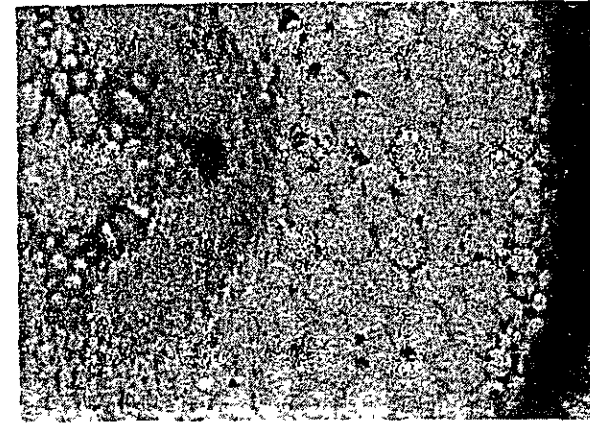


写真11. ギズ根組織内のアルミニウム分布(西ヶ原心土)

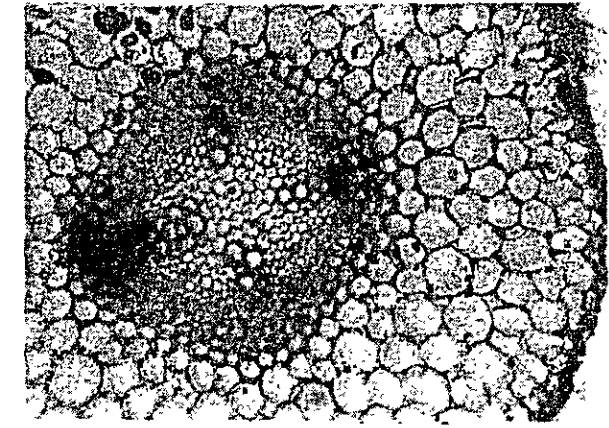


写真14. タイプ根組織内のアルミニウム分布(黄赤色ラトソル表土)

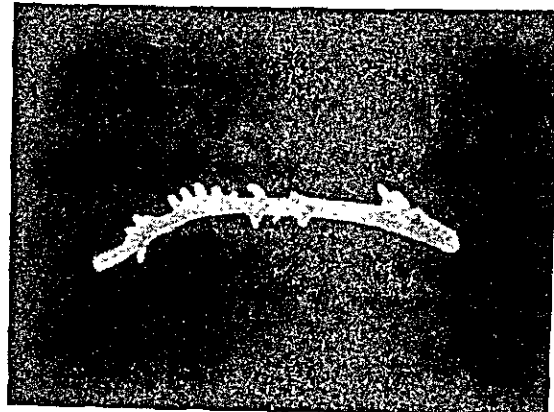


写真6. Al 10⁻⁶Mにおけるタイブの節状分枝根

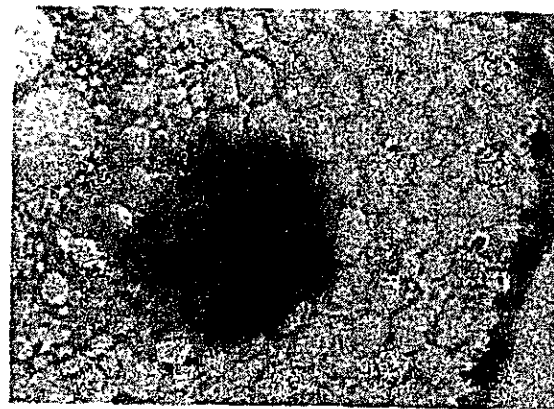


写真9 トウモロコシ根組織内のアルミニウム分布(黄赤色ラトソル表土)

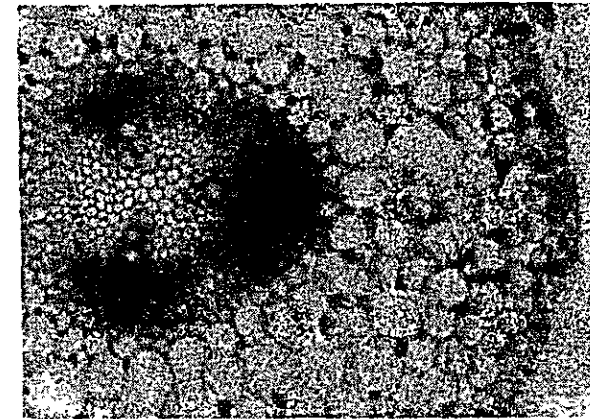


写真12. タイブ根組織内のアルミニウム分布(暗赤色ラトソル表土)

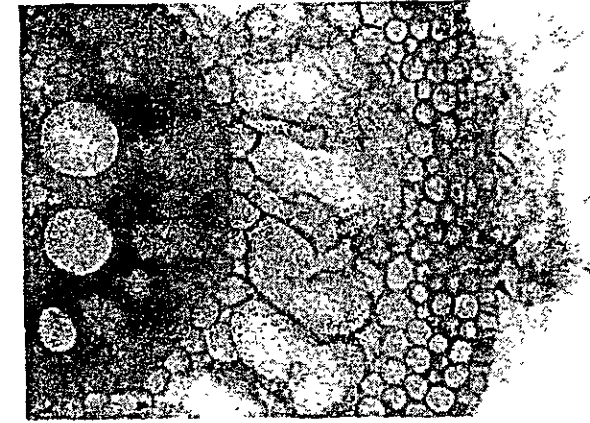


写真15. 水耕トウモロコシの根組織内のアルミニウム分布(Al 10⁻⁶M)

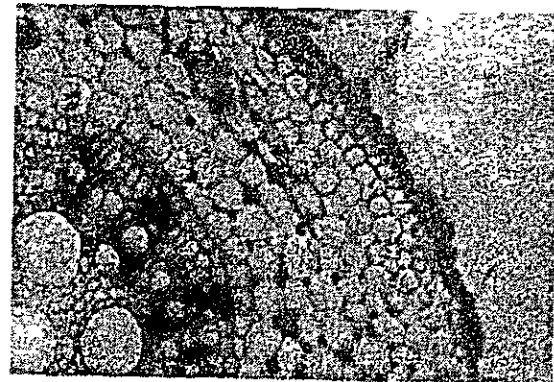


写真7 トウモロコシ根組織内のアルミニウム分布(西ヶ原心土)

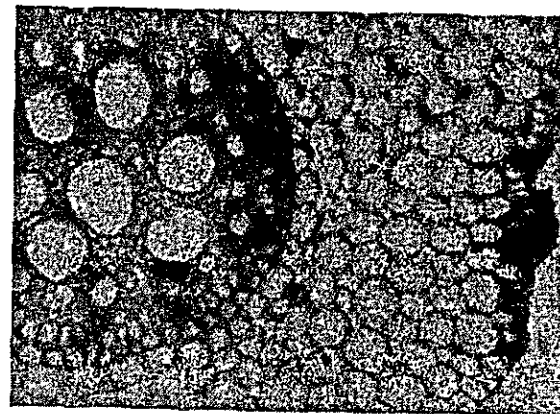


写真10 トウモロコシ根組織内のアルミニウム分布
(黄赤色ラトソル表土)

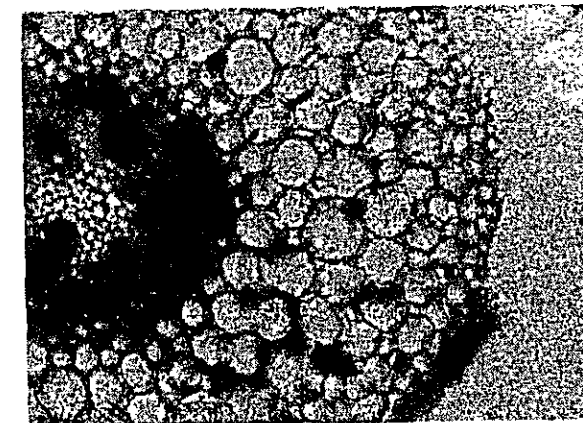


写真13. タイブ根組織内のアルミニウム分布(黄赤色ラトソル表土)

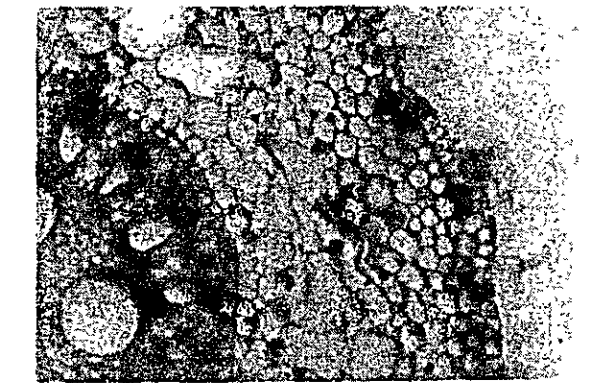


写真16. 水耕トウモロコシの根組織内のアルミニウム分布(Al 10⁻⁶M)

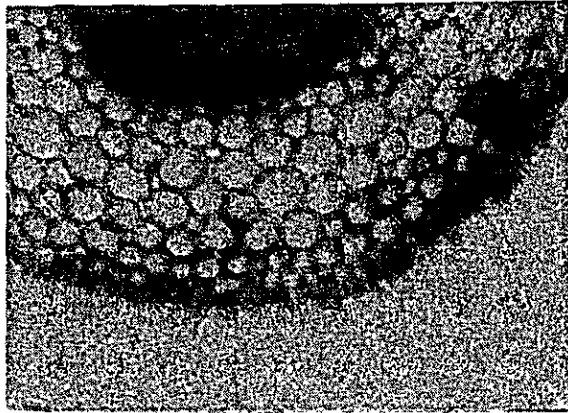


写真17. オ柑タイプの根組織内のアルミニウム分布 (Al 10^{-5} M)

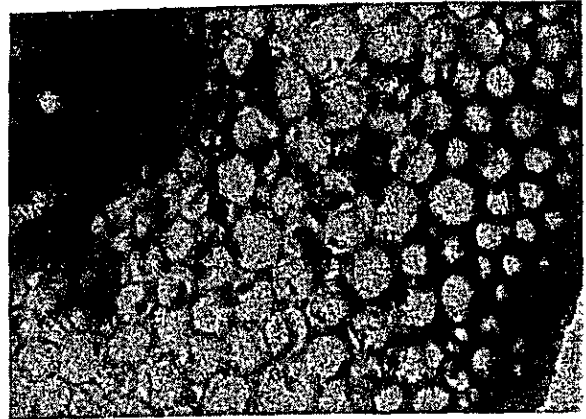


写真18. 水耕ダイズの根組織内のアルミニウム分布 (Al 10^{-4} M)

結 論

実験の結果から得られる結論は、次のとおりである。

- (1) 未改良のブラジル・セラード土壌を用いて、トウモロコシ及びダイズを栽培したところ、いずれも根の発育が障害を受け、とくに暗赤色ラトソル表土、黄赤色ラトソル下層土で著しかった。発育障害の特徴は、根の伸長阻害と筒形の分岐根発生である。
- (2) これらの土壌に生育した作物の根の組織には、アルミニウムが集積することが認められた。ただし、トウモロコシでは皮層に、ダイズでは中心柱の諸組織に多く集積する。細胞内におけるアルミニウムの主要な集積部位は核である。
- (3) 土壌栽培における観察結果を、水耕栽培によるトウモロコシ及びダイズ根の発育障害と比較したところ、外部形態ならびに根組織内のアルミニウム分布の両者で、著しい類似性が見られた。したがって、暗赤色ラトソル及び黄赤色ラトソルにおける作物根の発育障害の主要な原因は、土壌中のアルミニウム・イオンと認められる。
- (4) しかし、土壌分析による交換性アルミニウム含量と、根障害の発生程度とは必ずしも一致せず、さらに今後の検討が必要である。

3. セラードの耕地における雑草防除に関する基礎的研究

九州農業試験場畑作部作付体系研究室 山本 泰由

派遣期間 昭和54年2月18日より昭和54年5月22日まで

派遣場所 ブラジル国 セラード農業研究センター

- 内 容
1. セラード耕地の雑草調査
 2. 主要雑草の発芽特性に関する試験

1. セラード耕地の雑草調査

雑草防除を合理的に行うには、どのような雑草が生えているかを調査し、防除の対象となる主要草種を摘出する必要がある。そこで、セラード農業研究センター(CPAC)の圃場の雑草調査を行った。調査は1979年3月上旬より4月下旬の間に行い、雑草採集後さく葉し、ブラジリア大学の分類専門家に同定を依頼した。その結果60余種の雑草を確認できたが、一部には不明のものがあつた。

CPACの圃場の雑草

Gramineae イネ科

- 1 *Aristida adcencionis*
- 2 *Brachiaria plantaginea*
- 3 *Cenchrus echinatus*
- 4 *Digitalia horizontalis*
- 5 *Echinochloa* sp ?
- 6 *Eleusine indica*
- 7 *Eragrostis ciliaris*
- 8 *Melinis minutiflora*
- 9 *Paspalum* sp ?
- 10 *Pennisetum setosum*
- 11 *Rhynchelytrum repens*
- 12 *Setaria geniculata*

Compositae キク科

- 13 *Acanthospermum australe*
- 14 *Ageratum conyzoides*

- 15 *Bidens pilosa*
 16 *Emilia sonchifolia*
 17 *Erigeron sumatrensis* ?
 18 *Galinsoga parviflora* ?
 19 *Gnaphalium* sp ?
 20 *Porophyllum ruderale*
 21 *Sonchus oleraceus*
- Amaranthaceae ヒユ科
- 22 *Alternanthera brasiliana*
 23 *Amaranthus deflexus*
 24 A. *retroflexus*
 25 A. *spinosus*
- Rubiaceae アカネ科
- 26 *Borreria alata* ?
 27 B. sp I ?
 28 B. sp II ?
 29 B. sp III ?
 30 B. sp IV ?
 31 *Richardia brasiliensis*
 32 R. sp ?
 33 Rubiaceae I ?
 34 Rubiaceae II ?
- Euphorbiaceae トウダイグサ科
- 35 *Croton* sp I ?
 36 C. sp II ?
 37 *Euphorbia hirta* ?
 38 E. *prunifolia*
- Portulacaceae スベリヒユ科
- 39 *Portulaca oleracea*
- Solanaceae ナス科
- 40 *Solanum nigrum*
- Leguminosae マメ科
- 41 *Aeschynomene selloi*

- 42 *Desmodium canum*
 Polygalaceae ヒメヘギ科
 43 *Polygala paniculata*
 Labiatae シソ科
 44 *Leonotis nepetaefolia*
 45 *Leonurus sibiricus*
 46 Labiatae I ?
 47 Labiatae II ?
 Cruciferae アブラナ科
 48 *Lepidium virginicum*
 49 L. sp ?
 Malvaceae アオイ科
 50 Malvaceae ?
 51 *Sida rhombifolia* ?
 52 S. sp I ?
 53 S. sp II ?
 Verbenaceae クマソウ科
 54 *Lantana camara* ?
 55 *Stachytarpheta polyura* ?
 Convolvulaceae ヒルガオ科
 56 *Ipomoea aristolochiaefolia*
 Sterculiaceae アオギリ科
 57 Sterculiaceae ?
 Cyperaceae カヤツリグサ科
 58 Cyperaceae ?
 Commelinaceae ツユクサ科
 59 *Commelina robusta* ?
 60 C. *virginica* ?

上記のCPACの雑草調査結果から次のものが防除上重要な草種となると思われる。

- | | |
|-----------------------------------|-------------|
| 1. <i>Cenchrus echinatus</i> | イネ科一年草 |
| 2. <i>Digitalis horizontalis</i> | イネ科一年草 |
| 3. <i>Pennisetum setosum</i> | イネ科多年草 |
| 4. <i>Acanthospermum australe</i> | キク科一年生のほふく草 |

5. <i>Bidens pilosa</i>	キク科一年草, 日本名コセンダングサ
6. <i>Emilia sonchifolia</i>	キク科一年草
7. <i>Amaranthus</i> 属	ヒユ科一年草
8. <i>Lepidium virginicum</i>	アブラナ科一～二年草
9. <i>Borreria alata</i>	アカネ科多年生草本
10. <i>Richardia brasiliensis</i>	アカネ科多年生草本
11. <i>Portulaca oleracea</i>	スベリヒユ科一年草, 日本名スベリヒユ
12. <i>Solanum nigrum</i>	ナス科一～二年生草, 日本名イヌホウズキ

これらの雑草はいずれもブラジル既耕地の有害雑草であり, セラード耕地特有のものではない。したがって, 今後セラードの畑地化が進むにともないより多くの既耕地有害雑草が侵入してくると思われる。

2. 主要雑草の発芽特性に関する試験

多くの雑草種子は休眠を持っており, 結実後土中に落下しても発芽してこない。休眠の保持は雑草にとって種の維持に都合のよい特性であるが, 防除側からみると甚だやっかいな問題である。そこで, 主要7草種を供試してよく成熟した種子の採種直後の休眠の有無, 室内凡乾燥貯蔵, 埋土貯蔵した種子の発芽の推移を調査した。

試験方法

1) 供試雑草

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| ① <i>Eleusine indica</i> | ② <i>Cenchrus echinatus</i> |
| ③ <i>Digitalis horizontalis</i> | ④ <i>Acanthospermum australe</i> |
| ⑤ <i>Bidens pilosa</i> | ⑥ <i>Emilia sonchifolia</i> |
| ⑦ <i>Solanum nigrum</i> | |

いずれの種子も1979年3月下旬採種した。

2) 貯蔵条件

- ① 室内凡乾貯蔵
- ② 自然条件下の土中10cm貯蔵(4月9日より貯蔵)

3) 発芽試験の時期

- ① 1979年4月9日(凡乾貯蔵のみ), ②5月9日, ③7月23日, ④9月24日,
- ⑤11月24日

4) 発芽条件

直径9cmのシャーレを使用, 土壤水分最大容水量の70%, 室内散光下, 30日間。

試験結果

採種直後種子の発芽率を表に示した。Bidens pilosa, Emilia sonchifolia, Solanum nigrum は比較的発芽が多く、休眠は浅いものと思われる。実際に Bidens pilosa, Emilia sonchifolia は圃場において落下した種子が発芽しているのが観察された。Solanum nigrum は本試験では果実の中から種子を取り出して行ったが、圃場では果実の中に入ったまま落下する。予備試験で果実に入ったまま発芽試験を行ったところほとんど発芽しなかったことや、落下した果実からの発芽が圃場で観察できなかったことから、果実が種子の発芽を抑制していることが推察された。Eleusine indica, Cenchrus echinatus, Digitalia horizontalis は前3草種に比べると発芽は少なかったが、11~30%発芽したことから休眠はそれほど深くないと思われる。また、Acanthospermum australe はまったく発芽せず、最も休眠が深いといえる。

本試験は時間の都合で休眠の有無を調査したにすぎなかったが、今後、長期派遣専門家の泉山氏に継続していただくことになっている。

表 採種直後種子の発芽率

種 名	発 芽 率 (%)
Eleusine indica	29
Cenchrus echinatus	11
Digitalia horizontalis	30
Acanthospermum australe	0
Bidens pilosa	42
Emilia sonchifolia	45
Solanum nigrum	41

最後に3か月間の印象から二三述べてみます。

セラードの雑草は作物種子の夾雑物として既耕地の雑草種子が持ちこまれ、これが増殖し畑地化して3年目頃より多くなるといわれている。そこでまず①雑草侵入経路を断ち切ること、②侵入した雑草の増殖抑制に心がけること、③熟畑化にともなって今後雑草群落は変化していくことが予想されるので、既耕地でなされている防除法をそのまま持ちこむ以外に、変遷過程にある状況を十分考慮した防除法の検討が必要であると思われる。

本研究の推進について種々のご配慮をいただいた日本、ブラジル国の関係者の皆様に御礼申し上げます。

4. セラード土壌に生育する大豆の無機栄養におよぼす石灰およびリン酸肥料施用の影響の解析

農業技術研究所 化学部

作物栄養科 石塚潤爾

セラード土壌は強度の風化を受けた土壌で酸性が強く、置換態アルミ含量が高く、肥沃度が低いと言われている。したがって、作物の生育を確保するためには、石灰の施用による酸性の矯正と多量のリン酸施用が必須条件となっている。Lobato らは石灰の施用とリン酸施肥の効果を検討し、その施用法と施用量についての基準を示した。このような土壌改良によって農業生産は増大するが、前述のようにセラード土壌は風化が進み、各種の必須元素に乏しい土壌であるため、特定の元素については欠乏状態に落ち入りやすいと見なければならぬ。そこで筆者らは、圃場に生育する大豆の無機栄養とくに微量要素栄養におよぼす石灰およびリン酸施用の影響を解析しようとした。

実験方法

〔分析材料〕

セラード農業研究所の実験圃場 (Dark Red Latosol) で下記の処理を加えて栽培された大豆を2月21日 (1980) にサンプリングし、水道水で洗浄、葉、莖、根に分けて、60℃で乾燥し、粉碎して分析材料とした。

試験区の設定

		リン酸施用量 (P ₂ O ₅)		
		160 Kg/ha	778 Kg/ha	1374 Kg/ha
石灰施用量 (Kg/ha)	0.5	C ₁ P ₁	C ₁ P ₂	C ₁ P ₃
	1.5	C ₂ P ₁	C ₂ P ₂	C ₂ P ₃
	4.5	C ₃ P ₁	C ₃ P ₂	C ₃ P ₃

石灰とリン酸肥料は1975に施用された。窒素は播種時とその3週間後、開花期の3回に分けて60 Kg/ha (尿素) を施用し、加里は播種時に30 Kg/ha (K₂O, KOI として) 施用した。

供試品種は VX 5 - 2 8 1.5

Lo 7 5 - 2 7 6 0

Lo 7 5 - 1 2 3 7 で、1979年11月28日～12月3日にかけて播種した。

〔分析法〕

乾燥粉碎試料をホトプレート上で硫酸と過酸化水素を加えて分解し、その分解液について、Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, を島津UV-201A型原子吸光光度計で測定、Pはリンモリブデン酸比色法で、Alはアルミノン比色法、Moはジチオール比色法で測定した。AlとMoの測定法については、あらかじめ検討し、現場で適用できる方法を確立した。その詳細は別添の英文報告書に記載した。

〔生育量〕

おおよその生育状況を知るために、主茎長を測定した。3月3日 開花終期

実験結果ならびに考察

Fig. 1. に示したように石灰とリン酸施用により生育は改善された。両者の効果を比較すると、石灰よりもリン酸施用の効果が顕著である。品種間には明瞭な差異は認められなかった。各種無機成分の測定結果をTable 1～10に示した。

Ca, Mg: Ca濃度 (Table 1) は石灰、リン酸施用量の増大にともなって上昇したが、Mg濃度 (Table 2) については、石灰施用により上昇傾向は認められたが、リン酸施用の影響は明らかでなかった。

Fe: 葉と茎のFe濃度 (Table 3) には石灰およびリン酸施用によって低下する傾向が認められたが、根のFe濃度は土壌の汚染があったためか、異常に高く、一定の傾向も認められなかった。正常な作物のFe濃度は50～200と考えられており、Table 3の数値は多少高目ではあるが、自然条件下で生育した大豆で、Fe毒性が発現したとの報告がないので、これらの数値が有害なレベルを超えているか否かは判断できない。

Zn: Zn欠乏症は葉身濃度が20ppm以下になると発現するケースが多いと言われており、正常なレベルは25～150ppmとされている。

Table 4の葉のZn濃度は50～150ppmで正常なレベルと認められるが、石灰とリン酸施用の効果は明らかでない。しかし、茎と根のZn濃度は、石灰とリン酸の施用によって明らかに低下している。いわゆる“リン誘導亜鉛欠乏”は古くから知られているが、この生理障害はリン酸の多量施用とそれに伴う難溶性P-Zn複合体の生成に関連があると考えられている。しかし、Table 4の結果はそのような機作によると考えるより、むしろ、リン酸を施用することによって生育量が著しく大きくなり、その結果としてZnが希釈された

と見る方が妥当である。Zn 濃度におよぼす石灰施用の効果も明瞭に現われている。重金属元素の吸収が土壌 pH の上昇によって低下する現象は共通的に認められているが、この場合も、Ca の供給量の増大や酸性矯正の効果としての生育の増大があり、作物体内の Zn が稀釈されたと見た方がよい。このような稀釈効果の現われること自体は土壌の Zn 供給能が低いことを示しておると見なければならず、セラード土壌における農業生産が増大した場合、Zn 欠乏が現われやすいことを示すものである。

Cu : Cu 濃度の正常値は 5 ~ 20 ppm で、4 ppm 以下では欠乏症が出やすいと言われているが、Table 5 の Cu 濃度は正常値の範囲に入っている。Cu 濃度におよぼす石灰およびリン酸施用の影響は明瞭でない。

Mn : Mn 濃度 (Table 6) には石灰施用によって低下する傾向が認められるが、リン酸施用による影響は葉では認められない。茎と根ではリン酸施用量の増大によって低下の傾向が認められる。Mn の欠乏症は 20 ppm 以下、過剰症は 500 ppm 以上で現われやすいと言われているので、Table 6 の値は正常値と見ることができる。

P : 当然のことであるが、リン酸施用によって P 濃度 (Table 7) は上昇したが、石灰施用による影響は明らかでなかった。

Mo : Mo 欠乏は通常 0.1 ppm 以下で起こるとされているが、自然条件下で過剰症の現われる濃度は明らかにされていない。Table 8 に示した Mo 濃度には品種と部位によって、大きな較差があり、各処理の影響も統一的ではない。すなわち、4 t/ha の石灰施用区内では、Mo 濃度はリン酸施用量の増大とともに増大する傾向が認められるが、0.5 t と 1.5 t/ha の場合には逆の傾向が認められた。

石灰施用の影響を知るために、C₁ C₂ C₃ 各処理の平均値を算出したところ、一部の例外を除き、C₁、C₂ 処理の各部位の Mo 濃度は約 0.2 ppm であったが、C₃ 処理の葉、茎、根の Mo 濃度は各々 0.46、1.03、0.75 ppm であった。この結果から、石灰施用によって土壌の Mo 供給量が増大すると推定することが出来るが、その機作は明らかでない。

以上の実験を補足するため、種子分析を行った。一般的には、作物の栄養状態を知るために種子を分析することは稀であるが、幼植物の Mo 供給量を推定するためには有意義である。また筆者の実験によると、大豆では登熟にもなって、茎葉に蓄積されていた Mo が再移動し、大部分子実を集積することが明らかになっている。したがって、子実を分析することによって、土壌の Mo 供給能を推定することが可能である。そこで、ほぼ同様の設計にもとずき、Speher らによって栽培された大豆の子実の Mo 含量を定量し、Table 9 に示した。これによると石灰無施用区の子実の Mo 濃度は 0.02 ~ 0.08 ppm、施用区では 3 ~ 7 ppm で、大きな差が認められる。この結果から、石灰施用による Mo 吸収量の増大は、pH の上昇や土壌中の Ca 濃度の上昇のためと考えるより、石灰に微量の Mo が含まれていたためと

考えた方がより合理的であると思われる。

Al: 葉と茎の Al 濃度 (Table 10) は石灰とリン酸の施用によって低下している。石灰とリン酸施用の効果を比較するため、各々の処理の平均値を求め、Fig 2 に示したが、これによるとリン酸施用の効果が、石灰施用の効果より大きいと見ることができる。根については土壌の附着のおそれがあったので考察から除外した。作物の生育と Al 濃度との間には負の相関関係が見られ、Al 吸収が生育抑制の大きな要因となっていることが示された。Fig 3 に葉および茎の Al 濃度と茎長との相関関係を示したが、これによると、茎の濃度との相関がより密接であることが分かる。Al 毒性の生理学的機作は明らかにされていないが、或る種の要素、例えば P, Mg, Ca 等の吸収や転流の阻害と関連があるとの仮説が提案されている。本実験では、Table 2 に示した Mg 濃度が Al 濃度の上昇によって顕著な低下を示しており、Al 毒性の生理的機作との関連をうかがわせている。

要 約

セラード土壌に生育する大豆の無機栄養におよぼす石灰およびリン酸施用の影響を明らかにするため、各々 3 段階の石灰およびリン酸の施用量を組合せた設計で栽培された大豆圃場からサンプリングし、Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, P, Mo, Al 濃度を測定した。その結果を次のように取りまとめた。

1. 作物生育は石灰およびリン酸施用によって改善された。
2. 各無機要素の濃度に対する石灰およびリン酸施用の影響を取りまとめると次のようになる。

	石灰施用	リン酸施用
Ca	上昇	上昇
Mg	上昇	-
Fe	低下	低下
Zn	低下	低下
Cu	-	-
Mn	低下	-
P	-	上昇
Mo	上昇	石灰が少ない場合 低下 " 多い " 上昇
Al	低下	低下

明らかな傾向が振められない場合を - で示した。

3. Al 濃度と生育との間には負の相関が認められた。

Table 1 ~ 10, Fig 1 ~ 3 は英文報告書(6)に記載したものと同一である。
p 51 ~ p 57 までを参照のこと。

5 REEXAMINATION OF ANALYTICAL METHODS FOR
Al AND Mo IN PLANT MATERIAL

March 20 1980

by

Junji Ishizuka* and Manoel Vicente de Mesquita Filho

* National Institute of Agricultural Sciences (Japan).

Final report

Junji Ishizuka

April 2, 1980

Reexamination of analytical methods for Al and Mo in plant material.

a. Aluminum

According to "Saibai Shokubutsu Bunseki Sokuteiho", analytical method for Al was carried out and the following points were checked.

Results

1. Heating time

The reaction mixture should be heated for 6 min.

2. Time course of discoloring

The rate of discoloring was very high up to 60 min after color development and was decreased with increasing of time. The rate 120 min after color development was less than 1% per hour. Therefore, it was concluded that the absorbance should be measured 120 minutes after color developments.

3. Recovery of Al added to plant material

Average recoveries were 97 - 99%, and thus it was concluded that this method was applicable for analysing Al concentration in soybean plant material.

From the facts shown above, it was decided to use the method described in the other sheets in detail.

b. Molybdenum

According to annual report of division of plant nutrition (NIAS), dithiol colorimetric method was examined.

The results of recovery test showed that the modified method was applicable to analysis for Mo in plant material.

The method was described in the other sheets in detail.

This work was described in the other sheets in detail.

Acknowledgment

The author stayed in Brasilia from Feb. 7 to April 2, 1980, and worked on the subjects described above. This work was greatly assisted by continued efforts of M.V. Mesquita. During his stay, the received guidance and encouragement from Dr. W.S. Gardner and got close relationship with all members of CPAC, especially Dr. L. Wagner. This work could not have been performed without a special discussion with the Japanese experts. He would like to thank all of them.

A. Analysis for Al in plant material

Aluminon is a kind of pigment which easily dissolves into water and shows weak acidity. Under weak acid or neutral condition, it combines with a trace amount of aluminium and develops red color. Every aluminon colorimetric method has the disadvantage that the Al-aluminon complex is unstable. Some researchers intend to improve the method. Authors carried out reexamination of Al analysis according to "Saibai Shokubutsu Bunseki Sokuteiho" (2) and checked the following points

1. Heating time;
2. Time course of discoloring;
3. Recovery of Al added to plant material.

Heating Time

Color development of aluminon-Al complex is promoted by heating. Excessive heating may result in discoloring. In order to investigate the relation between heating time and color intensity, the volumetric flasks containing the reaction mixture were put into boiling water for 2, 4, 6, 8, 10 and 15 min, and the absorbances were measured 120 min after the heating began. From the results shown in Table 1, it is concluded that the reaction mixture should be heated for 6 min.

Time course of discoloring

1 g of the standard sample of soybean was ashed in a muffle furnace and extracted with 50 ml of N HCl. Mixtures of 5 ml of the extract and the reagents were heated for 6 min, and the changes in color intensities were investigated.

As shown in Fig. 1., the rate of discoloring is very high up to 60 min after color development and is decreased with increasing of time. The rate 120 min after color development is less than 1 percent per hour. Therefore, it is concluded that the absorbance should be measured 120 minutes after color development.

Recovery Test

In order to check the recovery of Al added to a standard sample of soybean, authors determined Al concentrations in samples, to which were added 1 mg of Al or not.

From the results shown in Fig. 2 and Table 2, the average recoveries are 97 ~ 99%, and thus it is concluded that this method is applicable for analyzing Al concentration in soybean plant material.

From the facts described above, it was decided to use the following method:

Reagent

1. 0.2% aluminon solution (in distilled water)
2. 1% mercaptoacetic acid solution (in distilled water)
3. 20% ammonium acetate buffer pH 4.8
4. Al standard solution

2 ml of Al stock solution (1000 ppm) is transferred to 1 liter-volumetric flask and made up to volume with distilled water.

Procedure

Put 1 g of dried ground sample into a 30 ml pyrex beaker and ash in a muffle furnace at 500°C for 5 hours. After cooling, transfer 5 ml of 5N HCl or 5N H₂SO₄ to the beaker and boil for 2 min on a hot plate. Transfer the extract to 50 ml - volumetric flask, make up to volume and shake. Put 1 ml of the sample solution into a 50 ml-volumetric flask, add 10 ml of ammonium acetate buffer, 20 ml of distilled water and 1 ml of mercaptoacetic acid solution and shake. Heat in boiling water for 6 min, and make up to volume with distilled water. Measure absorbance at 520 nm and compare with the absorbances of Al standard.

Prepare each Al standard by placing the amount of 2 ppm solution and water indicated below, 1 ml of 5N HCl or 5N H₂SO₄, 10 ml of ammonium acetate buffer and 1 ml of mercaptoacetic acid solution in a 50 ml volumetric flask.

Al standard µg/50ml	Al solution ml (2 ppm)	distilled water ml
0	0	30
4	2	28
8	4	26
12	6	24
16	8	22
20	10	20
30	15	15

B. Analysis for Mo in plant material

Mo in plant material was analyzed routinely with the dithiol method by one of the authors in Japan. However, the experimental conditions in CPAC (water, reagents and instruments etc.) might possibly differ from NIAS⁽¹⁾ in Japan. In particular, 50 ml-volumetric flask had to be used in place of separating funnels due to a careless oversight by one of the authors and the method was modified as follows:

Reagents

1. dithiol reagent: Transfer 1 ml of dithiol to a brown colored bottle containing 500 ml of 0.5N NaOH solution warmed to about 30°C. Agitate using glass rod. When most of dithiol is dissolved, add mercaptoacetic acid until a slight precipitation appears. Store the bottle in a refrigerator.
 2. 50% sulfuric acid (V/V)
 3. ferric ammonium sulfate solution: Dissolve 9.1 g of $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ in 100 ml of 2% H_2SO_4 solution.
 4. 50% tartaric acid (W/V)
 5. 50% potassium iodide solution (W/V)
 6. 50% ascorbic acid solution
 7. 10% thiourea solution
- reagents 5, 6, 7 should be prepared just before the determination.

8. Mo standard solution (1 ppm): Dilute the stock solution (1000 ppm) to 1 ppm with distilled water.

Procedure

Put 1 - 5 g of dried ground plant material into a 30 ml-pyrex beaker. Ash in a muffle furnace at 500°C for 5 hours. After cooling, transfer about 2 ml of distilled water and 10 ml of 50% sulfuric acid to the beaker. Boil on a hot plate for 3 min. Transfer the extract to a 50 ml-volumetric flask and add distilled water until the volume of solution reaches about 30 ml. Transfer 0.3 ml of ferric ammonium sulfate solution and 0.3 ml of KI solution to each flask. Shake occasionally for 10 - 15 minutes. Add 4 - 5 drops of ascorbic acid solution. The brown color disappear completely. Transfer 0.3 ml of tartaric acid solution and 2 ml of thiourea solution, mix, and add 4 ml of dithiol reagents. Stopper and shake vigorously and then let stand for 30 minutes. Then transfer 5 ml of isoamyl acetate to the flask. Shake vigorously and let stand for 20 minutes. Add distilled water until the interface between the water and the isoamyl acetate reaches to the neck of flask. Transfer the isoamyl acetate phase to a centrifuge tube with a pipette and centrifuge at 2000 r.p.m. for 20 minutes. Measure the absorbance of the isoamyl acetate layer at 680 nm and compare with the absorbance of the Mo standard.

Prepare each of the Mo standards by placing the amount of 1 ppm solution and water indicated below and 10 ml of 50% H₂SO₄ in a 50 ml-volumetric flask.

Mo standard µg/50ml	Mo solution (1 ppm) ml	Water ml
0	0	20
2	2	18
4	4	16
6	6	14
8	8	12
10	10	10

Recovery Test

In order to confirm that the modified method is applicable to estimate Mo concentration in plant material, the recovery was examined. The calibration curve shown in Fig. 5 seems to be almost linear. The average recovery summarized in Table 3 is 99% and almost complete. Therefore, the authors conclude that the method described above is suitable to determine Mo concentration in plants.

Reference

- 1) ANNUAL Report of the National Institute of Agricultural Sciences.
Division of Plant Nutrition. Tokyo, 1972.
- 2) HIRAMINE, J. Aluminium. In: Saibai Shokubutsu Bunseki Sokuteiho.
Tokyo, Yokendo, 1976. p. 146-8.

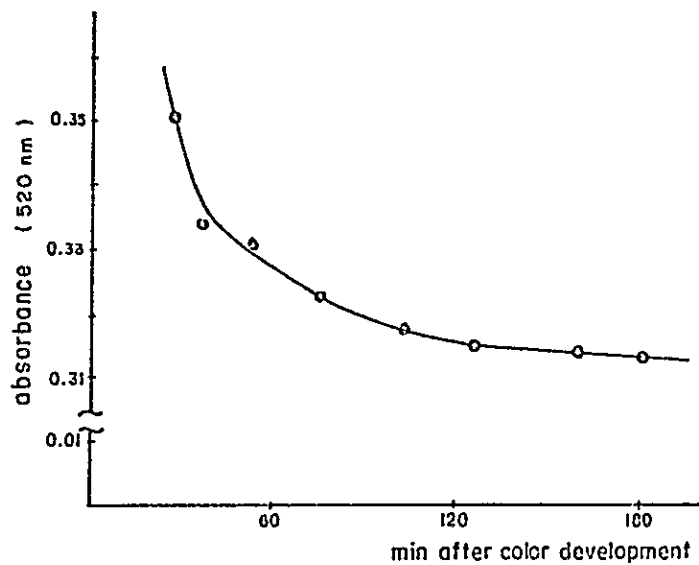


Fig. 1. Relation between color intensity of aluminum-Al complex and time after color development.

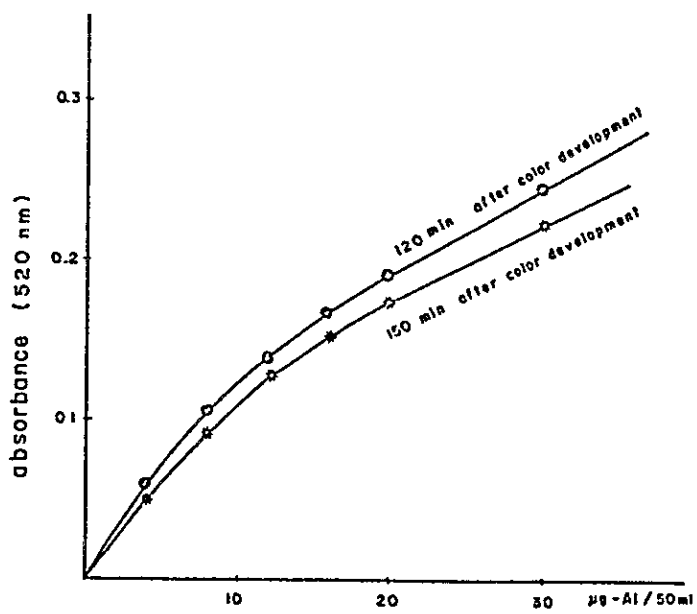


Fig. 2. Calibration curve

Table 1. Relation between color intensity and heating time

No. of measure	heating time (mn)						
		2	4	6	8	10	15
		absorbance (520 nm)					
1		0.195	0.199	0.201	0.203	0.200	0.195
2		0.192	0.193	0.201	0.202	0.189	0.203
	average	0.194	0.196	0.203	0.203	0.195	0.199

Table 2. Results of recovery test (Al)

No. of measure	Concentration of Al (mg/g) at 520 nm				
	Standard sample		Standard sample + 1 mg of Al		
	120 min.*	150 min.*	120 min.*	150 min.*	
1	1.34	1.30	2.29	2.28	
2	1.28	1.29	2.28	2.26	
3	1.32	1.28	2.29	2.31	
4	1.30	1.35	2.25	2.27	
5	1.29	1.24	2.28	2.27	
	average	1.31	1.29	2.28	2.28
	C.V. (%)	1.6	2.7	0.7	0.8

* Time after color development

Recovery

120 min.* 2.28 - 1.31 = 0.97 97%

150 min.* 2.28 - 1.29 = 0.99 99%

Table 3. Result of recovery test (Mo)

No. of measure	Content of Mo g/2g at 680 nm	
	Standard sample	Standard sample + 6 g of Mo
1	0.26	6.14
2	0.28	6.24
3	0.22	6.18
4	0.22	6.19
5	0.27	6.20
average	0.25	6.19

Recovery

$$6.19 - 0.25 = 5.94 \quad 5.94 \div 6.00 \times 100 = 0.99\%$$

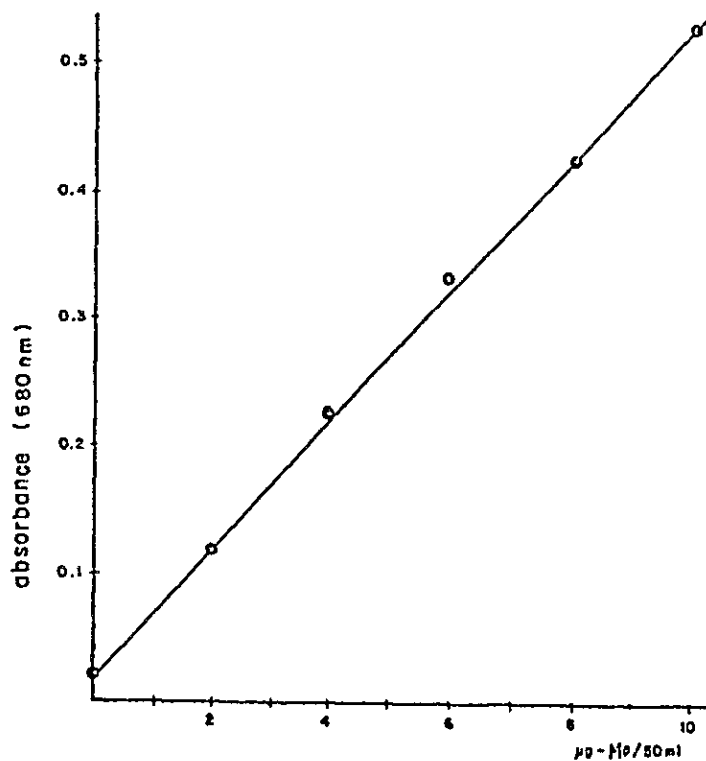


Fig. 3. Calibration curve (Mo)

6 EFFECTS OF LIMING AND PHOSPHORUS FERTILIZATION
ON STATUS OF MINERAL NUTRIENTS IN SOYBEAN PLANTS
GROWN IN THE CERRADO SOIL.

March 26, 1980

Manoel Vicente de Mesquita Filho and Junji Ishizuka^{*}

* Visiting Scientist from the National Institute of Agricultural
Sciences. 3-1-1, Kannondai. Yatabe-cho Ibaraki-ken - Japan.

Final report

Junji Ishizuka

April 2, 1980

Effects of liming and phosphorus fertilization on status of mineral nutrients in soybean plants grown in the cerrado soil.

In order to investigate the effects of liming and P-fertilization on the macro- and micronutrients absorption and their mobilities within the soybean plants grown in experimental field, concentrations of Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, P, Mo and Al were determined and the results were summarized as follows:

1. Plant growth

Liming and P-fertilization influenced beneficial effects on plant growth.

2. Ca

The concentrations were increased with increasing of both lime and P-application.

3. Mg

The concentrations were increased by liming, but effect of P was not clear.

4. Fe

The concentrations were decreased with increasing of liming and P-fertilization.

5. Zn

The concentrations in stems and roots were decreased by liming and P-fertilization, but in leave, their effects on Zn were not clear.

6. Cu

Liming and P-fertilization do not affect on Cu concentration.

7. Mn

The concentrations were decreased by liming and P-fertilization except in leaves, and the effects of P-fertilization were not clear.

8. P

P concentrations were increased with increasing of P-fertilization, however the effects of liming is obscure.

9. Mo

When 4^t/ha of lime was applied, the Mo concentrations were increased by P-fertilization. But when 1,5^t/ha and 0,5^t/ha of lime were applied, they were decreased. Liming was seem to increase the ability of soil to supply Mo.

10. Al

The concentrations were decreased by liming and P-fertilization. The plant growth negatively correlated with the Al concentration in leaves and stems.

This work was described in the other sheets in detail. ~

Acknowledgment.

The author stayed in Brasilia from Feb. 7 to April 2, 1980, and worked on the subjects described above. This work was greatly assisted by continued efforts of M.V. Mesquita. During his stay, the received guidance and encouragement from Dr. W.J. Goedert and got close relationship with all members of CPAC, especially Dr. E. Wagner. This work could not have been performed without helpfull discursssion with the Japanese experts. He would like to thank all of them.

INTRODUCTION

It is well known that the cerrado soils are weathered intensively, very poor in most of nutrients, particularly phosphorus (P), low in pH and high in exchangeable aluminum (Al) content. Therefore, liming and P-fertilization are essential practices. Lobato, E. and Goedert, W.J.⁽⁷⁾ researched on the effects of liming and P-fertilization on the productivity of the cerrado soils, and recommended the rates and methods of liming and P-application.

Plant growth depends on many factors. These factors include the ability of soil to supply nutrients, the rate of absorption, the mobility of the nutrients within the plants and the nutrients interactions. The authors are interested in changes in micronutrient status by fertilization. It is the purpose of this paper to point out the influences of liming and P-fertilization on macro- and micronutrient absorption and mobility within the soybean plant grown in experimental field.

MATERIALS AND METHODS

Sample: Samples of soybean plants were collected from the experimental field at the Cerrado Agricultural Research Center (CPAC/EMBRAPA) in a dark red latosol on Feb. 21, 1980 (flowering stage). The field experiment was designed as follows:

Liming t/ha	P-fertilization (P ₂ O ₅) ----- kg/ha -----		
	160	778	1374
0.5	C ₁ P ₁	C ₁ P ₂	C ₁ P ₃
1.5	C ₂ P ₁	C ₂ P ₂	C ₂ P ₃
4.5	C ₃ P ₁	C ₃ P ₂	C ₃ P ₃

Lime and P-fertilizer (Triple superphosphate) were applied

in 1975 at the rates described above. Banded application of 20 kg/ha N as Urea were made at planting, 3 weeks after planting and at the flowering stage. Potassium Chloride (30 kg/ha K_2O) was band-applied at planting.

The varieties of soybean were (1) VX5-281.5, (2) Lo75-2760 and (3) Lo75-1237, and were planted on Nov. 28 to Dec. 3, 1979.

The plants were washed with tap water and separated into leaves, stems (including branches and petioles) and roots, oven-dried at 60°C and ground.

Analytical method:

The dried, ground materials were digested with sulfuric acid and hydrogenperoxide on a hot plate.

The digested solutions were analyzed for Ca, Mg, Fe, Zn, Cu and Mn with the Shimadzu UV-201A Atomic absorption spectrophotometer, P by phosphomolybdate colorimetric method and Al by aluminon colorimetric method which was described in a previous paper⁽⁴⁾ in detail. The ground samples were ashed in a muffle furnace and analyzed for Mo by dithiol colorimetric method. The procedure was described in a previous paper⁽⁴⁾.

Plant heights (from ground level to shoot apex) were measured for estimation of plant growth on March 3, 1980.

RESULTS AND DISCUSSION

As shown in Fig. 1, both liming and P-fertilization influenced beneficial effects on plant growth. When comparing the former with the latter, however, it is evident that the effects of the former on plant growth is very weak. The difference of growth among the varieties is not clear.

Calcium and Magnesium: Results of analysis for nutrients are shown

in Table 1 - 10. Ca concentrations in leaves, stems and roots are increased with increasing levels of both lime and P-application (Table 1). Mg concentrations show the same tendency as Ca in relation to liming, but the effect of P-application on Mg status is not clear (Table 2).

Iron: Fe concentrations in leaves and stems are decreased with increasing of liming and P-applications (Table 3). Some samples of roots show extremely high concentrations of Fe probably due to soil contamination, so the data on roots are omitted. The sufficient range of Fe in soybean leaves is considered to be from 50 to 200⁽⁶⁾, but Fe toxicity has not been reported for soybean growing under natural condition. Therefore, it is not possible to decide whether the Fe concentrations in those samples exceed the toxic level.

Zinc (Zn): Zn deficiency occurs when the leaf concentration is less than 20 ppm in dry matter. The normal concentration is 25 to 150 ppm⁽⁶⁾. As shown in Table 4, Zn concentration in most of leaf sample is from 50 to 150 ppm and effects of liming and P-fertilization were not clear. But Zn concentration in stems and roots are decreased with increasing of liming and P-application. "P induced Zn deficiency" has been well known⁽⁸⁾. This disorder in plant growth commonly is considered to be associated with large application of P and the formation of less soluble complexes of P and Zn in the soil. But, it is reasonable to consider that decreases of Zn concentration caused by P-application to the cerrado soil are a simple dilution effect on Zn concentration in the plant owing to the growth response of P. The effect of liming on Zn concentration in soybean plants is also evident in Table 4. Uptake of heavy metals by plants is generally decreased with increasing of pH. But the relation between pH and availability of heavy metals is not simple under natural conditions. The phenomena mentioned above also may be a simple dilution effect owing to the growth response of liming or amendment of acidity. Appearance of these dilution effects shows that the ability of the

cerrado soil to supply Zn is not adequate and that Zn deficiency may very possibly occur when the productivity shall be increased in the future.

Copper (Cu): The normal range of Cu concentration in plant is about 5 to 20 ppm. When the Cu concentration in plants is less than 4 ppm in the dry matter, Cu deficiencies are likely to occur⁽⁶⁾. The Cu concentrations in Table 5 are the normal range. Liming and P-fertilization do not seem to affect Cu concentration in the soybean plants grown in the cerrado soil.

Manganese (Mn): As shown in Table 6, the Mn concentrations can be considered to decrease with increasing of liming. The effects of P-fertilization on the Mn concentrations in leaves is not clear, but the concentrations in stems and roots are decreased with P-fertilization. Mn deficiency generally occurs when Mn concentration in plants is less than 20 ppm. Levels in excess of 500 ppm are probably toxic for soybean plant⁽⁶⁾. Therefore, it should be considered that the Mn concentrations in Table 6 are at the normal level.

Phosphorus (P): The effect of liming on P-concentration is obscure in Table 7. P-concentration increased with increasing of P-fertilization.

Molybdenum (Mo): Mo deficiency usually occurs in most plants when the Mo concentration is less than 0.1 ppm in dry matter⁽⁶⁾. The toxicity levels have not been established under natural conditions. The varieties and plant parts differ widely in Mo concentration in Table 8, but they seem to be normal except for some samples of the C₂ treatment. The Mo concentrations in soybean plants receiving 4 t/ha of lime increase with increasing of P-fertilization. But when amounts of liming are equal to or less than 1.5 t/ha (C₁ and C₂

treatment), the Mo concentrations decreased with increasing of P-fertilization. It was reported that phosphorus enhanced the absorption and translocation of Mo⁽⁸⁾. Barshad⁽¹⁾ suggested that P may stimulate Mo uptake because of the formation of a complex phosphomolybdate anion absorbed more readily by plants. The effects of P-fertilization on the Mo concentration in the plants receiving 4 t/ha of lime (C₃ treatment) are consistent with Barshad's⁽¹⁾ interpretation, but the reverse effects of P-fertilization in the C₁ and C₂ treatments can not be understood.

In order to investigate the effects of liming on Mo concentration, the average Mo concentrations of C₁, C₂ and C₃ treatments were calculated. The average Mo concentration of the C₁ and C₂ treatment is about 0.2 ppm except in leaves of the C₂ treatment, while the average concentrations in leaves, stems and roots of C₃ treatment are 0.46, 1.03 and 0.75 ppm respectively. Therefore, it can be considered that liming increases the ability of soil to supply Mo. But it has been unsolved whether the effects of liming are caused by the increase in soil pH or by the increased supply of calcium within the limits of this experiment.

Supplemental experiment

Seed is usually not analysed to determine the nutrient status of crops. However, seed analysis is useful in determining the Mo supply for young soybean plants. According to an experiment by one of the authors, most of molybdenum contained in roots, stems and leaves moves to the pods and accumulates in seeds at ripening stage⁽⁵⁾. Therefore, the ability of the soil to supply Mo can be estimated by seed analysis.

In order to supplement the results described above, the seeds produced in the experimental field by Spehar and Izumiyama were analysed for Mo. From the results shown in Table 9 it is observed that the Mo concentration in the seeds produced in non-limed plots does not exceed 0.08 ppm, while the seeds produced in limed plots

show high concentrations of Mo (3 - 7 ppm). From the results, it is assumed that the lime may contain a trace amount of Mo, and that liming probably plays a role in micronutrient supply, in particular Mo. One of the authors is very interested in the relation among Mo concentration in seeds, nodulation and the rate of nitrogen fixation.

Aluminum (Al): Al concentration in leaves and stems is decreased by liming and P-fertilization as shown in Table 10. Average concentrations of Al in each treatment and each plant part are calculated for comparing the effects of liming and P-fertilization. From the results in Fig. 2, it is assumed that the effects of P-fertilization are more intensive than those of liming within the limits of this experiment. The roots are excluded from consideration because of the possibility of soil contamination. It is evident that plant growth negatively correlates with the Al concentration in both leaves and stems, and that the Al concentration is an important factor which inhibits the plant growth. Although correlation coefficients were not calculated, it seems that the Al concentration in stems is more negatively correlated with plant growth than that in leaves as shown in Fig. 3. The biochemical mechanism of Al toxicity is not exactly known, although it is assumed that Al toxicity appears to be closely associated with effects on uptake and translocation of some nutrients such as P, Ca and Mg^(1, 8). Clark, R.B. reported that low Mg might be an important response in plant sensitive to Al⁽¹⁾. The Mg concentrations in Table 2 seem to depend on the Al concentration shown in Table 10, however, the relation was not examined statistically.

In order to evaluate Al toxicity exactly, the relationships among plant growth, Al concentration, and concentration of mineral nutrients should be investigated.

SUMMARY

In order to investigate the effects of liming and P-fertilization on the macro- and micronutrients absorption and their mobilities within the soybean plants grown in experimental field, concentrations of Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, P, Mo and Al were determined and the results were summarized as follows:

1. Plant growth: Liming and P-fertilization influenced beneficial effects on plant growth.
2. Ca: The concentrations were increased with increasing of both lime and P-application.
3. Mg: The concentrations were increased by liming, but effect of P was not clear.
4. Fe: The concentrations were decreased with increasing of liming and P-fertilization.
5. Zn: The concentrations in stems and roots were decreased by liming and P-fertilization, but in leaves their effects on Zn were not clear.
6. Cu: Liming and P-fertilization do not affect on Cu concentration.
7. Mn: The concentrations were decreased by liming and P-fertilization except in leaves, and the effects of P-fertilization were not clear.
8. P: P concentrations were increased with increasing of P-fertilization however, the effects of liming is obscure.
9. Mo: When 4 t/ha of lime was applied, the Mo concentrations were

increased by P-fertilization. But when 1.5 t/ha and 0.5 t/ha of lime were applied, they were decreased. Liming was seem to increase the ability of soil to supply Mo.

10. Al: The concentrations were decreased by liming and P-fertilization. The plant growth negatively correlated with the Al concentration in leaves and stems.

REFERENCE

1. BARSHAD, I. Factors affecting the Mo content of pasture plants.
2. Effect of soluble phosphates, available nitrogen, and soluble sulfate. Soil Sci., 71:387-398, 1951.
2. CLARK, R.B. Effect of Al on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. Plant and Soil, 47:653-662. 1977.
3. FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factor in acid soils. II
Differential aluminum tolerance of plant species. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28:27-30, 1964.
4. ISHIZUKA, J. & MESQUITA FILHO, M.V.de. Re-examination of analytical methods for Al and Mo in plant material (in preparation).
5. ISHIZUKA, J. Personal notes. 1980.
6. JONES, Jr., J.B. Plant tissue analysis for micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. Micronutrients in Agriculture. Madison, Wis, SSSA, 1972. p. 319-45.
7. LOBATO, E. & GOEDERT, W.J. Increasing the productivity of Brazilian cerrado soils. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOIL ENVIRONMENT AND FERTILITY MANAGEMENT IN INTENSIVE AGRICULTURE, 1., Tokyo, 1977. Proceedings... Tokyo, Society of the Science of Soil and Manure, 1977. p. 462-471.
8. OLSON, S.R. Micronutrient Interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. Micronutrients in Agriculture. Madison, Wis, SSSA, 1972. p. 243-64.

TABLE 1 - Ca concentration (%)

Treatment	Part Variety*	Leaf			Stem			Root		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
C ₁	P ₁	0.30	0.29	0.25	0.35	0.38	0.29	0.17	0.19	0.29
	P ₂	0.36	0.46	0.40	0.46	0.58	0.60	0.25	0.35	0.40
	P ₃	0.65	0.72	0.51	0.63	0.58	0.78	0.43	0.31	0.57
C ₂	P ₁	0.31	0.50	0.50	0.45	0.45	0.53	0.32	0.35	0.37
	P ₂	0.42	0.74	0.53	0.36	0.71	0.49	0.46	0.38	0.44
	P ₃	0.38	0.75	0.61	0.48	0.64	0.61	0.37	0.37	0.44
C ₃	P ₁	0.56	0.79	0.75	0.42	0.83	0.62	0.54	0.43	0.60
	P ₂	0.68	0.73	0.91	0.44	0.77	0.78	0.41	0.46	0.49
	P ₃	0.84	1.14	0.97	0.64	0.94	0.79	0.49	0.45	0.52

TABLE 2 - Mg concentration (%)

Treatment	Part Variety*	Leaf			Stem			Root		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
C ₁	P ₁	0.16	0.17	0.15	0.13	0.12	0.09	0.08	0.06	0.09
	P ₂	0.16	0.18	0.18	0.17	0.23	0.21	0.12	0.22	0.13
	P ₃	0.18	0.16	0.17	0.21	0.23	0.20	0.21	0.21	0.23
C ₂	P ₁	0.28	0.32	0.31	0.17	0.22	0.24	0.09	0.20	0.17
	P ₂	0.30	0.28	0.23	0.24	0.36	0.24	0.21	0.35	0.27
	P ₃	0.17	0.21	0.23	0.20	0.26	0.33	0.12	0.28	0.23
C ₃	P ₁	0.41	0.47	0.40	0.26	0.49	0.36	0.27	0.33	0.34
	P ₂	0.38	0.31	0.36	0.36	0.44	0.45	0.28	0.34	0.41
	P ₃	0.43	0.41	0.34	0.43	0.59	0.53	0.30	0.49	0.49

* Variety 1..VX5-281.5, 2..Lo75-2760, 3.. Lo75-1237

TABLE 3 - Fe concentration (ppm)

Treatment	Variety*	Leaf			Stem			Root		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
C ₁	P ₁	589	542	338	>1000	>1000	690			
	P ₂	328	452	338	514	380	766			
	P ₃	240	278	221	461	176	322			
C ₂	P ₁	497	282	278	>1000	347	676			
	P ₂	286	306	476	329	274	204			
	P ₃	219	289	215	434	244	153			
C ₃	P ₁	314	494	273	428	>1000	546			
	P ₂	199	604	177	125	>1000	324			
	P ₃	275	298	269	401	448	236			

TABLE 4 - Zn concentration (ppm)

Treatment	Variety*	Leaf			Stem			Root		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
C ₁	P ₁	85.0	86.9	103.3	62.3	60.0	75.5	134.7	74.9	120.8
	P ₂	74.6	99.4	86.0	37.0	33.3	49.9	59.4	65.8	82.4
	P ₃	85.4	153.1	99.2	28.3	44.3	38.3	59.4	57.4	71.6
C ₂	P ₁	89.9	112.7	86.3	91.9	37.2	42.5	113.3	106.4	83.2
	P ₂	78.2	132.2	86.0	26.1	36.4	24.7	49.5	68.6	45.5
	P ₃	78.3	190.4	87.3	29.2	39.3	25.1	80.2	121.8	54.5
C ₃	P ₁	54.4	67.7	62.5	22.0	46.2	28.6	82.4	54.1	71.6
	P ₂	46.8	80.2	61.5	11.3	27.1	18.0	31.7	86.0	29.3
	P ₃	46.7	63.3	59.3	15.1	23.2	16.7	51.7	42.9	38.3

* Variety 1..VX5-281.5, 2..Lo75-2760, 3.. Lo75-1237

TABLE 5 - Cu concentration (ppm)

Part Variety*		Leaf			Stem			Root		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Treatment		1	2	3	1	2	3	1	2	3
C ₁	P ₁	11.0	8.9	11.8	5.6	5.0	5.7	12.3	8.3	9.3
	P ₂	7.3	10.6	10.1	4.9	6.3	6.2	6.1	8.9	8.2
	P ₃	9.0	8.6	8.7	5.5	5.9	5.1	8.1	6.4	7.2
C ₂	P ₁	7.8	10.0	8.8	4.7	5.7	5.5	12.4	11.9	8.8
	P ₂	6.1	8.6	11.8	4.8	5.9	6.5	6.9	8.8	7.7
	P ₃	5.9	11.1	8.4	4.0	6.6	5.6	8.7	10.3	6.5
C ₃	P ₁	8.1	9.6	10.0	5.1	7.3	6.4	13.2	11.3	12.2
	P ₂	6.9	10.1	8.2	4.8	7.3	5.9	6.8	11.0	8.4
	P ₃	7.6	6.9	6.9	5.3	5.5	5.0	6.4	8.7	7.4

TABLE 6 - Mn concentration (ppm)

Part Variety*		Leaf			Stem			Root		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Treatment		1	2	3	1	2	3	1	2	3
C ₁	P ₁	133	162	125	147	165	157	59	60	72
	P ₂	128	150	121	84	70	108	27	39	93
	P ₃	108	196	141	56	77	77	33	29	46
C ₂	P ₁	80	83	76	105	36	67	39	35	28
	P ₂	50	86	85	26	36	37	18	20	30
	P ₃	122	164	92	76	49	39	33	34	20
C ₃	P ₁	38	65	45	17	41	24	23	19	22
	P ₂	33	60	33	11	24	13	9	22	9
	P ₃	36	48	38	14	19	13	13	17	11

* Variety 1..VX5-281.5, 2..Lo75-2760, 3.. Lo75-1237

TABLE 7 - concentration of P (%)

Treatment	Part Variety*	Leaf			Stem			Root		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
C ₁	P ₁	0.21	0.17	0.24	0.08	0.08	0.08	0.12	0.07	0.08
	P ₂	0.18	0.23	0.23	0.10	0.12	0.11	0.07	0.09	0.09
	P ₃	0.28	0.28	0.23	0.13	0.14	0.09	0.10	0.06	0.08
C ₂	P ₁	0.15	0.17	0.15	0.06	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07
	P ₂	0.12	0.19	0.20	0.07	0.09	0.08	0.06	0.08	0.06
	P ₃	0.16	0.27	0.24	0.09	0.11	0.10	0.11	0.10	0.07
C ₃	P ₁	0.14	0.17	0.16	0.06	0.09	0.07	0.08	0.09	0.08
	P ₂	0.21	0.23	0.25	0.07	0.13	0.11	0.06	0.10	0.08
	P ₃	0.31	0.32	0.32	0.13	0.19	0.11	0.08	0.11	0.13

TABLE 8 - concentration of Mo (ppm)

Treatment	Part Variety*	Leaf			Stem			Root		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
C ₁	P ₁	0.20	0.45	0.10	0.49	0.13	0.23	0.17	0.29	0.22
	P ₂	0.15	0.40	0.08	0.17	0.09	0.20	0.29	0.17	0.10
	P ₃	0.14	0.06	0.05	0.20	0.10	0.13	0.17	0.28	0.13
C ₂	P ₁	0.34	0.07	0.06	0.29	0.36	0.49	0.07	0.20	0.16
	P ₂	0.11	0.06	0.05	0.24	0.21	0.17	0.19	0.23	0.19
	P ₃	0.06	0.08	0.05	0.14	0.08	0.15	0.32	0.23	0.21
C ₃	P ₁	0.06	0.10	0.14	0.73	0.33	0.19	0.55	0.22	0.31
	P ₂	0.23	0.25	0.58	1.16	0.29	1.34	0.37	0.42	1.13
	P ₃	1.38	0.60	0.81	2.42	1.50	1.29	1.10	0.98	1.68

* Variety 1..VK5-281.5, 2..1o75-2760, 3., 1o75-1237

TABLE 9 - Effects of liming and P-fertilization on Mo concentration in soybean grain.

Liming t/ha	P-fertilization kg/ha (P_2O_5)		
	50	200	350
	ppm	ppm	ppm
0	0.08	0.03	0.02
3	4.35	3.26	4.03
6	7.02	5.04	4.82

Variety: IAC-2

TABLE 10 - concentration of Al (ppm)

Treatment	Part Variety*	Leaf			Stem			Root		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
C ₁	P ₁	615	780	425	1230	1040	790	4825	2950	3825
	P ₂	480	560	405	980	500	665	1625	2715	1827
	P ₃	385	365	360	520	300	460	2500	2410	2635
C ₂	P ₁	540	380	480	1065	435	625	3075	3720	4235
	P ₂	340	395	355	350	515	370	1300	2865	1273
	P ₃	300	380	270	165	150	280	3030	2920	1356
C ₃	P ₁	340	640	290	515	1250	435	3135	2515	3120
	P ₂	290	585	250	265	775	415	2575	2730	2510
	P ₃	230	350	256	415	350	350	2350	2450	1750

* Variety 1..VX5-281.5, 2..Lo75-2760, 3.. Lo75-1237

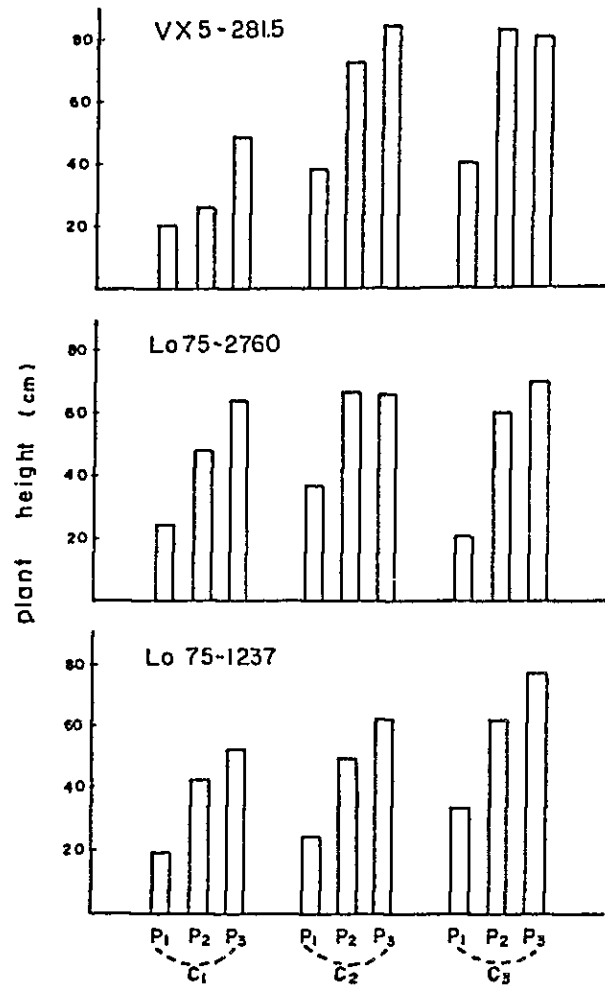


Fig.1. Effects of liming and P- fertilization on plant growth
(march 3, 1980)

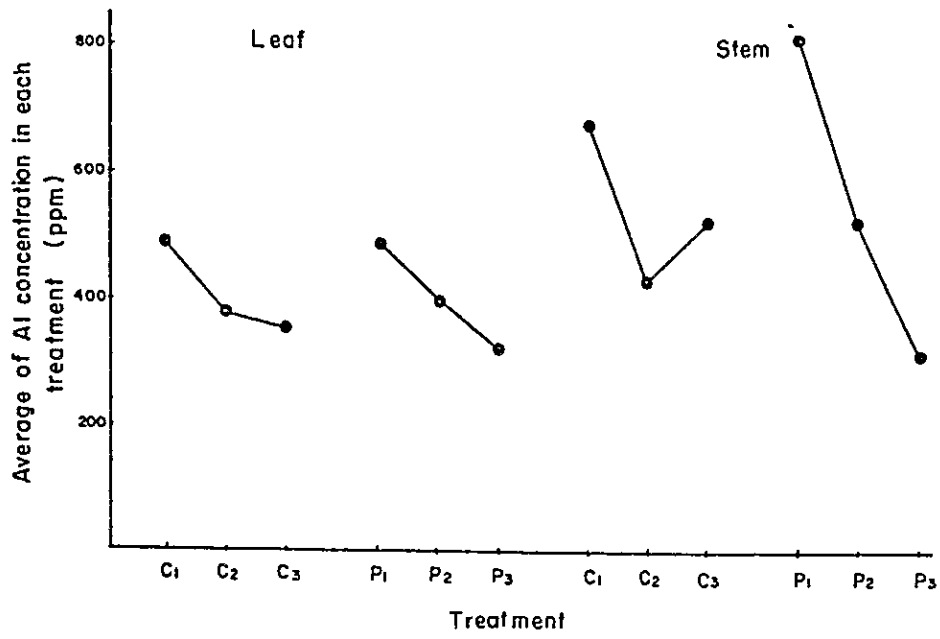


Fig. 2. Effects of liming and phosphorous fertilization on Al concentrations in leaves and stems of soybean plants

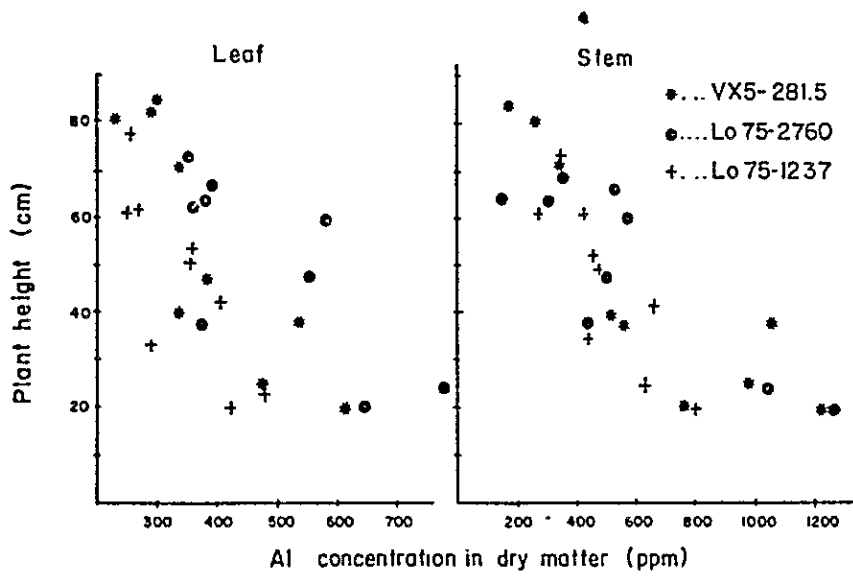


Fig. 3. Relation between plant growth and Al concentration

7. AGROMETEOROLOGICAL RESEARCH AND ITS MEASURING TECHNIQUE

Isao TOMARI

During my stay in CPAC, Brazil, from February 7 to March 31, 1980, the above agrometeorological research was carried out to establish a method of energy balance measurement in rice and corn field in the periods of the short dry spell (veranico) during the rainy season.

This research was a part of the programs of soil-plant-climate project which have been carried out since CPAC established. The calculation method of energy balance in rice field was discussed with the members of the project and an experiment was conducted.

The diary of my research activities and their results are summarized as follows:

1. Diary of research activities

.1st week (February 7 - 8)

a) general visit

.2nd week (February 11-15)

a) general visit to Agrometeorology Section (laboratory and fields)

b) instruments-check, mounting and operation of automatic weathers station

c) meeting with soil-water-plant staff

d) general view of Cerrado

.natural resources (climate, soils, vegetation, etc.)

.office work

.3rd week (February 21-22)

a) visit to the National Institute of Meteorology and Souza Lima's farm

b) analysis of field experimental data (solar radiation balance in soybean field)

.4th week (February 25-29)

a) analysis of field experimental data (solar radiation balance in soybean field)

b) radiation transfers (solar radiation, soil heat flux, net radiation, temperature in rice field)

c) visit to NOMURABRAS, in Araxá, MG

.5th week (March, 3 - 7)

- a) radiation transfers (solar radiation, soil heat flux, net radiation, temperature) in rice field
- b) visit to São Paulo (collection of meteorological data)

.6th week (March 10 - 14)

- a) radiatives transfers (solar radiation, soil heat flux, net radiation, temperature) in rice field
- b) meeting with soil-water-plant staff

.7th week (March 17 - 22)

- a) instruments (PROCOS VII - data logger) check, mounting at field and operation
- b) final report making

.8th week (March 24 - 28)

- a) final report making
- b) instruments (PROCOS VII - data logger) operation test

2. Topic of discussion

To investigate the analysis of energy balance is not simple. For this research it is necessary for research worker to gain his technical experience and to take accurately basic data of components of energy balance.

The following energy balabce equation shows the first step of analysis, by using the horizontal transfer of heat:

$$R = H + LE + G$$

When two layers (upper and lower parts) are set up in tall rice plant canopy and the components of its energy balance are measured, the calculation of energy bagget becomes possible by using the following equations:

$$R_s = H_s + LE_s + G_s$$

$$R_l = H_l + LE_l + G_l$$

then
$$R_i = R_s - R_l = H_i + LE_i + G_i$$

where R, H, LE and G are the net radiation, sensible heat, latent heat and storage heat, respectively, and s, l and i are the symbols related to upper part, lower part and all of canopy, respectively.

H and LE from bowen ratio ,B are also expressed as follow:

$$B = 0.5 \frac{T_1 - T_2}{e_1 - e_2}$$

then
$$H = \frac{S + G}{1 + \frac{1}{B}}$$

and
$$LE = \frac{S + G}{1 + B}$$

The above equation is used for measuring a long term energy balance, such as monthly mean of observed data.

Although the heat balance equation is simple and its calibration is also easy, unstability of values of the function under condition of high wind speed velocity might cause large errors of energy balance estimation. Thus, the aerodynamical method taking account of effect of wind has to be adopted in order to reduce the errors in large area of crop field.

The equations are as follows:

$$H = \frac{C_p \rho k^2 (U_2 - U_1)(\theta_1 - \theta_2)}{\left(\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right)^2}$$

and
$$LE = \frac{k^2 (U_2 - U_1) (e_1 - e_2)}{\left(\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right)^2}$$

Where : C_p = Specific heat at constant pressure

ρ = density of air

k = Karman's constant

U_1 = wind velocity at z_1 height fromground level

U_2 = wind velocity at z_2 height fromground level

θ_1 = air temperature at z_1

θ_2 = air temperature at z_2

e_1 = water vapor pressure at z_1

e_2 = water vapor pressure at z_2

In near future, the turbulent fluctuation method should be used to obtain accurate values of the function by using the above method at CPAC.

3. Operation of agrometeorological equipments

Based on the results of discussion, the values of the function in energy balance were measured in three irrigated rice plant canopy by using PROCOS VII (data logger)

4. Collected observation data

- (1) Informe meteorológico de la Colonia YGUAZY
- (2) Observation data of NOMURABRAS farm in Araxá (1973-1979)
- (3) Observation data of POMPEIA, SP

Acknowledgement

For permission to work together with excellent researchers at CPAC, I wish to express my best gratitude to Dr. Elmar Wagner, Dr. Wenceslau J. Goedert, Dr. Delmar Marchetti, Dr. Edson Lobato in CPAC, and staff of JICA and Hokkaido National Agricultural Experiment Station. I would like also to thank the Agrometeorologist Ariovaldo Luchiari Júnior for giving support to most of this research plan, Dr. Morethson Rezende, Dr. Waldo Espinoza Garrido, Dr. Antonio Eduardo Guimarães dos Reis and others belonging to soil-plant-climate project team, for their suggestions in energy balance problems and also all staff of CPAC.

8. セラード(ブラジル)農業研究センター と農業気象研究について

北海道農業試験場 泊 功

1. はじめに

1978年年2月に日伯農業研究協力提携に基づく日本研究員のブラジル派遣が決定、一次派遣として専門家6名が1980年8月まで渡伯し、農業研究の指導に当たった。この日伯農業研究協力は一応、1982年までの5ヶ年間のプロジェクトになっており、この間に日本からは研究指導者を、ブラジルからは日本への研究生の派遣、また、それに伴う試験供与機材をJICA(日本国際協力事業団)を通じてブラジルへ援助する計画となっている。

農業気象部門については専門家の短期(1年以内で前、後期の2回)の派遣が決められている。

筆者は前期の農業気象専門家として2ヶ月間(1980年2月4日から4月5日まで)セラード農業研究センター(Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados 略してCPAC)へ派遣されることになった。CPACの場所は南緯15.5°、西経47.7°に当り、日本とちょうど地球の裏側に当るもっとも遠い場所となっている。飛行機の旅行時間を計算するとほぼ30時間、季節は逆になると云う条件を知らされただけで行く気を喪失したが、2月にはCarnivalがあると聞かされ、珍し好みの筆者はそれだけでOKしたため、後で苦しむハメとなった。2月は忙しい時期でもあったし、ブラジルのことは何一つ調査もせず、知らないまま、また、ポルトガル語もまったくしゃべれないまま、Rio de Janeiroの真夏に第一歩を記したのである。ブラジルの2ヶ月間に知り得たこと、果した仕事は少ないが、こゝで南アメリカで最大の面積をもち、日系人の多い最近のブラジルについて理解を深めてもらうために裏話も含めて話を進めてみたいと思う。

2. ブラジル、セラードス、ブラジリヤと云うところ

ブラジルの人種は種々雑多な国からの寄り集まりであり、階級も日本よりはるかに幅がある。今にも死にそうなる人から、金が自然に入ってくるような金持まで人口、1億581万人(1976年)を有し、増加年率は3%であった。しかし、現在の人口はどの程度増加しているかわかっていない。

(注)本報告は、日本農業気象学会北海道支部会誌、北海道の農業気象第32号(1980年10月)に発表し
しものである。

面積は 8,408,000 Km² (日本 377,500 Km²)、降雪地帯から熱帯に至る巨大な面積をもつ。このうち、気候がよいといわれるブラジル南部、東部に人口が集中しているが、ブラジル政府が農業開発 (ポロセントロ計画) を進めようとしているセラード地域 (1,860,000 Km² でブラジル国土の 25%, 日本の約 5 倍) はブラジルのほぼ中央に位置し、まだ人口はまばらであるが、商魂たくましい日本商社は先を見込んで万ヘクタールの単位ですでにこの地方の土地購入を行っていた。(図 1 参照)

このセラードとは種々のいい伝えがあるが、もっともらしい意味は「枝の曲った小灌木がある草原」であり、その植生タイプによってセラード地域は次の 4 段階に分けられている。

- ① セラード (Cerradao) : 森林に似てセラード特有の木のねじれが少ない。
- ② セラード (Cerrado) : 木がまばらで、草との混生地で面積はもっとも広い。
- ③ カンボ・スージョ (Campo sujo) :

カンボは原野で、スージョは汚いの意味。樹木はセラードより少なく高、低さまざまな草が生えている。

- ④ カンボ・リンボ (Campo limpo) : リンボは清潔の意味があり、草丈の小さい草地である。

このセラードの農業開発はブラジルで取り残されている地域だけにヤセ地で全体に高い磷素凝固力、アルミニウムと鉄の酸化物を多く含み、有効石灰の不足が顕著で木はあまり大きく育たない。このうち、セラード地帯は比較的開発が容易とみられ、この地帯のほぼ中央に先述の CPAC がある。

この CPAC はブラジルの人工都市で首都でもあるがブラジリヤから近く (北東へ約 40 Km 地点) ARCO という専用バスで通勤 (バス代は無料) できるほどの距離にある。ブラジリヤは「21 世紀の都市」または「未来都市」と呼ばれ、1960 年に Rio de Janeiro から遷都してからちょうど 20 年に当たる。この都市構造はジェット機型をしており、胴体部に官庁や銀行、両翼部が住宅街となっていることはよく知られている。筆者はこの胴体部に位置した高級ホテル (Bristol Hotel, 現在は 2 流ホテル) に居住することになった。プ

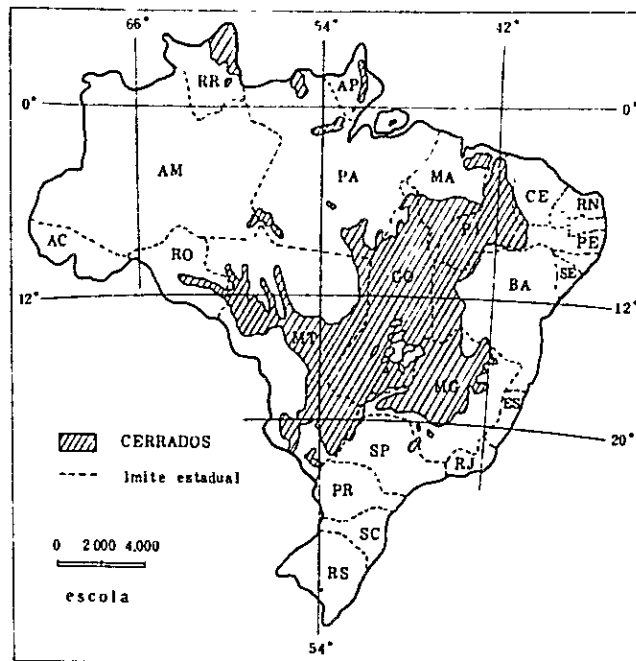


図 1 セラードスの分布現状、但、他分野への転換地を含む。

ラジルにはススキノのような歓楽街はないが、何故かこのホテルのすぐ近くにはバーがあり、研究疲れをいやしたり、交際の場として至極便利であった。ブラジリアD.F.(近郊都市を含む)は札幌の人口と同じ程度であるが、緑が多く、生活はブラジリアの方が一段と快適であったように思われる。従ってもし、ブラジルに行かれる機会のある方はこのホテル近郊に宿泊することをおすすめしたい(まじめ人間ほど内緒話が生まれるであろうことを期待して)。

余談はさておき、このホテルからCPACまで2ヶ月間通勤することになったのである。

3. セラードスの気候特性

セラードスは標高1000m程度の起伏の緩やかな丘陵地で、気候は地帯によって異なるが、このうち、セラード地帯の気候は意外とよく、年平均気温は20~25℃程度、夏と冬の月平均気温の差も小さく、約±2℃程度である(図2)。ブラジル全土の気温分布を示した図3を比較しても気温は好適であることがわかる。この変化の小さい気温に対応して地温(図4参照)も変化が小さいが、乾期(6~9月で冬期に相当)に5~6℃低温となるのが特徴である。図4には札幌(羊ヶ丘)の地温を比較のため記しておいた(・記号、スケールアウトした値は数字で記入)。札幌とは逆の地温変化(南半球のため)を示しているが、その変化程度は札幌の方がかなり大きいことがわかる。

雨量については、セラード地帯は雨期(10~5月)と乾期(6~9月)がはっきり分れており、図2でみられるように降雨は雨期に集中し、乾期にはほとんど降雨がなく、水不足が顕著であることがわかる。とくに、雨期の2月から3月にかけて毎年出現する10~20

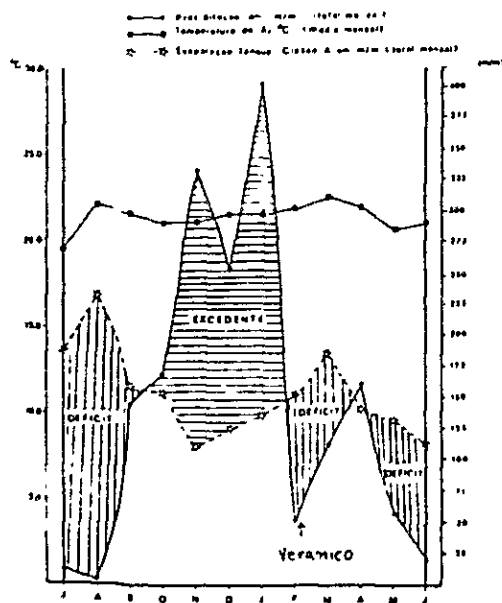


図2 セラード農業研究センターでの月別気象変化(7年間の平均値)

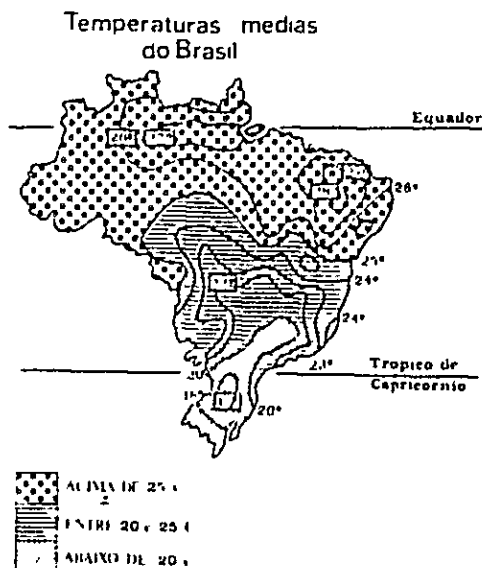


図3 ブラジルの年平均気温の分布

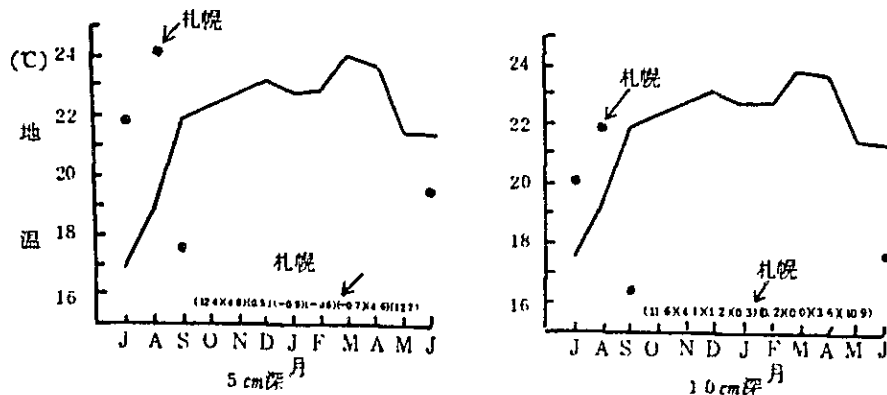


図4 セラード農業研究センターでの地温の月別変化

日程度の乾期 (Veranico という) がみられる

(図2) この時期の乾期 (Veranico) による水不足は作物の重要な生育期間であるため、作物生産上で大きな問題となっている。

また、この Veranico の対策は農業気象部門の大きな課題となっているばかりでなく、多くの専門分野の共通問題ともなっており、その技術対応の共同研究が現在、さかんに行われている。

一方、降雨の地域分布は、図5に示してあるように、セラード地域内でも雨量にかなりの違いがみられることがわかる。しかし、ほぼ、1,000~2,000 mmの間であって、用水の合理化を図れば農業生産に足りない降水量ではないと想定された。

しかし、乾期には降雨は極端に少なく、土壌の保水性は日本の砂壤土程度で少なく、空中湿度も30% R.H以下となる日が多いため、乾期の砂ぼこりは著しく、畑は休耕せざるを得ない状態となる。

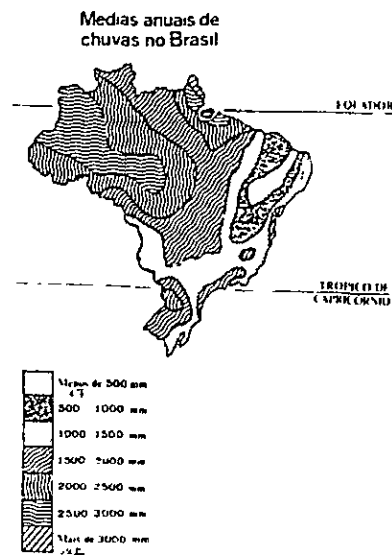


図5 ブラジルの年降水量の分布

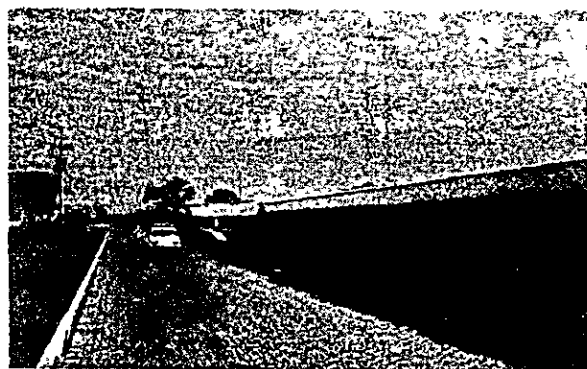


写真1 セラード農業研究センター本館(右)

4. セラード農業研究センター

この研究センターはセラードのほぼ中央部、標高1,100 mに位置し、総面積は2140 ha (北海道農試の約2倍の面積) を有している。研究員は約90名を擁する中規模の研究

所である(写真1)。しかし、現在の建物より2倍近い研究室群を建設中であるが、工事は至極のんびりしたもので、来年(1981)の10月までには完成したいとの意向であった。しかしこれが完成すると、建物としては北海道農試程度に拡充される。

このセンターの機構は図6に示してあるように、場長がドイツ系のDr. Elmar Wagner, 第1次長にDr. Delmar Marchetti, 第2次長にはDr. Wenceslau J. Goedertである。この3人はまだ若く、場長でも50才前後、Dr. Wenceslauは40才前後と聞かされた。研究所はこの3人ですべて運営されているとみて支障ない。研究ではプロジェクトチームが生まれ、それをプロジェクト調整官が監視し、厳しくチェックしているようであった。研究員はほとんど30才前後で、アメリカ留学の博士、修士がほとんどであった。従って、研究グループは若く、活気がみられた。この若い研究者の技術的な補助として「テクニコ」と呼ばれる技術者が数名あり、技術的な具体的な仕事はこのテクニコ(高校卒業程度)がすべて行うことになっていた。このテクニコの下に「アグリコ」もいるので、若い研究者は指導力や管理能力も発揮しなくてはならない。従って実際には研究になかなか手が廻らない状況にあると思われた。

農業気象部門の研究者は1名で本年、6、7月の2ヶ月間、北海道農試でトレーニングを受けたMr. Arivaldo Luchiani Juniorである。彼のところには立派な気象観測センターがあり、テクニコ4名とほかにアグリコ数名働かせている。

研究用の施設や機械はほとんどが日本製であるが、古いカタログで購入したものか、分析機械、気象観測装置も旧型が多い。しかし、彼等は日本の機械は立派で優秀であると得意顔

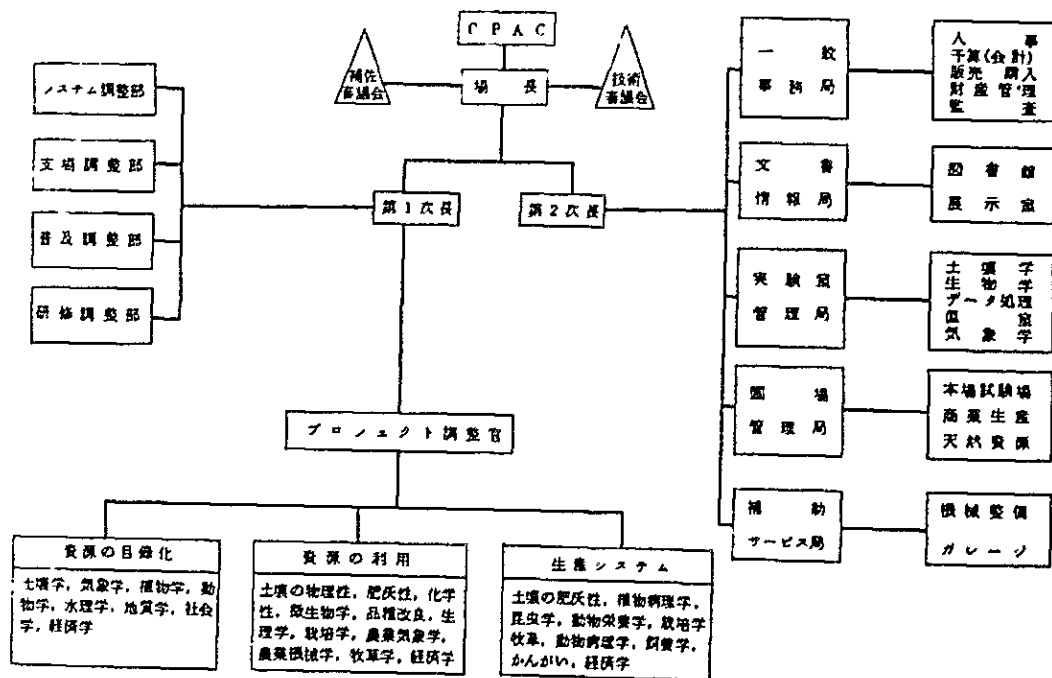


図6 セラード農業研究センターの機構図

で説明してくれた。ただ、残念なことに付属する説明書が日本語であるため機械が休止中や荷造のとれてない状態のものが多かったことである。研究所のほとんどの測定機はまだアナログ記録が主体で、筆者が最近のデータロガーやデジタル式気象観測装置を携行機材として持ち運んだときには大きな驚きさえ示していた。

この研究所の研究スタッフはかなり優秀ではあるが、これまで精密機械を扱わなかったために、高級機械の取り扱いに今後大きな問題を残しているように思えた（従って、故障はストラップに直結）。

固い話から話題を変えて、この研究所に勤める女性を紹介してみよう。研究所の女性はとくに愛嬌がよく、話に乗ってくれる。そういえばブラジル全体がそのようであると聞かされた。とくに、美人所長秘書のセシーリャ夫人（28才位）は3ヶ国語が堪能でタイピスト、その上、気品があり、愛嬌もすばらしかった。そういえば、この秘書のほとんどは3ヶ国語以上を堪能に話せるという。筆者は疲れを覚えると彼女達を相手にしゃべっていたため、全くはじめてのポルトガル語も少ししゃべれるようになったから不思議である（但し、女性だけが用いる言葉の伝染に注意が肝要）。

次に、この研究所のプロジェクト研究について述べてみよう。ここでの研究の主体は下記の3大課題（図6参照）に集約される。

- ① セラードの自然及び社会経済的資源の目録化
- ② セラードの土壌・気象・植物資源の利用
- ③ セラード地域の生産システム

筆者は滞在期間中に当然②のプロジェクト研究に参画したが、この研究のために研究員が何人でグルーピングしているか帰国した今もはっきり判っていない。それは、Discussionのたびに人が代っているからであるが、重要人物は常に出席していたので、研究の進行状態やDiscussionの目的により研究メンバーを意図的に変えていると思われた。いずれにしろ、専門分野の違う研究員でグルーピングしているため、Discussionが多く持たれ、筆者も長期間にわたり、何度も自分の専門の話やプロジェクトへの意見を述べなければならなかった。この点は日本と違って研究に対する意欲が旺盛で、真剣であった。この研究所は6年前の1974年に旧国立畜産研究所を改組し設立されたもので、まだ歴史は浅いが、研究員のこの意欲をみると今後の発展に大きな期待がもたれ、頼もしくさえ思われた。

5. 農業気象の研究

セラード地域の農業気象は結論的には未開拓であり研究はほとんど何も行われていないのが現状であるといえる。従って、広大な面積だけに緯度、経度別といった場所に最少限の気象観測所の設置がまず必要であると痛感した。日本の5倍の面積で使える気象データはこ

の研究所の7年間のデータと日系の民間企業で観測したわずかのデータしかないのである。この研究所と同様の農業試験場（EMBRAPA、ブラジル農業研究公社に所属）が、セラード地域には多数あり、気象観測も行っているが、そのデータは不正確でほとんど使えないという。筆者はそれらの整備をとくに主張したのであるが、予算の都合で不可能であるとの返事であった。

従って、セラード地域における基礎的な気候立地区分などはとても不可能なことであることを知らされた。研究所のいい分はのんびりした基礎研究（国民はのんびりしているが）より、すぐ役立つ実用化技術の研究をしてほしいとの意向であった。すなわち、セラード地帯を農業開発する技術の研究である。とくに、農業気象部門では先述のVeranicoの対応技術は大きな研究問題であり、②のプロジェクトの中心課題となっている。現在、このVeranico対策として効率的なかんがい法が研究されていた。筆者は短い滞在期間中、その効率的なかんがい水量を決定するために、セラード地帯の主要作物となるであろう陸稲、大豆、トモロコシ畑の蒸発散量をエネルギーバランスから求める方法を教授する役目を分担させられた。

しかし、教授するにも測定器が限られているため（適切な風速計が不足）、陸稲畑における熱収支解析だけを実際のは場で実施してきたのである。

もし、測定器があれば、広大な大豆畑あるいは陸稲で傾度法、乱流拡散法による理想的な解析が可能であり、興味ある結果が得られたと思われる。

いずれにしろ、セラード農業研究センターは測定器をはじめとする諸施設、諸機械の整備を研究員の資質向上のためにも日本の援助を強く望んでいることは間違いはない。今後、日本の研究者は海外での技術指導あるいは研究への参加に積極的に取り組む必要性のあることを強く感じた。

6. カーニバル（Carnival）の思い出

ブラジルへの観光、あるいは仕事ではその滞在期間が短期間であればあるほど、カーニバルの時期を逃がしてはその価値は半減するともいわれる。それほどに国をあげて（大統領から明日のわからぬ貧乏人まで）宗教的なお祝い？をするのである。リオのカーニバルは日本でもよく知られているが、世界的に知られ過ぎたリオのカーニバルは現在のブラジルでは敬遠され、むしろ、リオやサンパウロ周辺都市での踊りに興味が示されているようである。筆者はカーニバルのためにブラジルまで行ったようなものであるから（リオまでには行けなかったが）、ブラジリヤで思い存分踊ってきたので、満足している。キリスト教徒でない筆者はカーニバルが2月の何日から何日間、行われたかは調べないと判らないが、その期間中は昼夜が逆になったような錯覚をおぼえた。ブラジル人がせっせと働いて金儲けするのは、カー

ニバルのためだとの実感がカーニバルを通じてあるのも、その馬鹿踊りに参加できたからであろうか。筆者は夜半に疲れ切り、ホテルに帰ったが、1980年のカーニバルはトップレスであったとの話があちこちでささやかれていた。来年は？……

ブラジルの人々は大変陽気でのんびりしているが、カーニバルの期間だけは人が違ったようになり、生き生きとみえた。一年に一度だけ、底抜けの踊りができる国民を全く羨しく思う。踊りを紳士振ってみている日本人が多数いたが、逆の側で彼等を見ると大変衰れに思えて仕方がなかった。カーニバルは阿波おどりの比ではないのである。一度踊って、頭を空にしてくることをおすすめしたい。

7. お わ り に

セラードスは広大な土地で未来の大地という感覚を持った。この広大な土地が、近い将来農業開発できれば膨大な食糧資源が得られることになるであろう。もし、大豆を生産するとすれば、アメリカの生産量に相当するかそれ以上の生産量が見込まれる。世界的な視野でみると、例えブラジル国であっても、我々日本人はセラードス地域の開発に協力し、将来の世界の食糧確保に努める必要がある。

その開発と並行して、農業生産の環境整備に、農業気象部門には大きな課題があるように思える。過去、先人が北海道の開拓を行ったと同様に、北海道の農業に近いセラードス地域の農業開発は、北海道を知っている人々の手で行われるのがもっとも適していると思える。とくにセラード地区は写真3にみるような自然の豊かな土地である。農業気象をよく理解し、降雨をうまく利用して、かんがい水を何らかの方法で確保できれば、農業はまず成立すると考えてよい。日本脱出を考える人々の最後の土地であるかも知れない。本報告が参考になれば幸いである。



写真3 アラキア(Araxa)でみる大豆の畑(Cupim)

9. セラード土壌における大豆の根系発達と耕起法について

— サン・ゴタルド調査報告 —

1980. 2. EMBRAPA-CPAC

塩谷 哲夫

はじめに

CPAC着任早々、大セラードの農業開発の最先端の現場を調査する機会を与えてくれたEMBRAPA-CPAC当局ならびにJICA、日本派遣研究者チームの諸先輩に深く感謝いたします。

始めて観るセラードの広大さにはまったく驚嘆いたしました。“広い”という言葉には“限り”が含まれています。だから、海のように果てなく続くかと思われるセラードの大地には、“広い”という概念が当てはまらないようにさえ思われました。この大地を肥沃な生産の場に変えようとするブラジル国のPOLOCENTROは、ブラジル国民にとってだけでなく、全人類的な利益をもたらす偉業であり、歴史に残る大ロマンとなることでしょう。この事業に参加しておられる多くの皆様に心から敬意を表します。

さて、この計画の大きさに較べて、余りにも微々たるものではありますが、以下に、今回の調査結果を報告します。「塵も積もれば山となる」の譬もありますが、今後のセラード開発の創造にとって、一片の塵ともなれば幸いです。

なお、詳細な調査結果、ならびに大豆根系の発達および土壌の状態についての考察は、別途、岩田・川崎両博士の研究報告が発表されますので、私は主として、農作業研究・農業機械化研究の観点から、若干の考察と提案を記して、報告といたします。

I 日程等

1) 調査員：岩田文男・川崎 弘・塩谷哲夫

2) 日程：

第1回	2月11日	ブラジル→サン・ゴタルド	
	12	大豆根系調査・土壌調査・農場調査	}
	14		
	15	サン・ゴタルド→ブラジル	
第2回	2月25日	ブラジル→アラチャー	

2月26日 ノムラブラス

①大豆収量調査, ②大豆収穫作業調査, ③耕起作業調査

27 サン・ゴタルド

大豆根系調査・土壌調査

28 アラチャー→ブラジリア

総行程：約3,700Km

II 大豆根系調査報告 一若干の考察と提案

1. 異常な根系発達

岩田・川崎両氏は、セラード土壌においては、マメ科作物の主根の伸長が抑制されて、側根が発達し、根系全体が表層に集中すると報告している(対象作物：大豆)¹⁾

今回のサン・ゴタルド調査によっても、この現象が明らかに確認された(10-図1)。C O T I Aのサン・ゴタルド試験場の開墾後初年目・2年目のほ場においては、大豆の根系は豊富ではないが、主根優勢の正常な発達を示していた。ところが、年を経るにつれて、地上部茎葉の生育量は大きくなり、主茎長100cmを越す立派な草型を呈するが、根においては、主根よりも側根優勢の株がふえる傾向があらわれ、4年目(大豆-小麦の二毛作)以降のほ場においては、むしろ側根優勢の不正常な株の方が多くなっていった(10-表1)。

これでは安定した生育が望めないばかりではなく、ヴェラニコ(雨期中の小乾期)における旱害を受け易い危険性がある。また、耕作者が地上部の繁茂にのみ目を奪われて、土壌が充分肥沃化したものと誤った判断をして、諸技術を選択・適用した場合、不測の障害に会うことがあるかもしれない。

セラードにおける作物生産を安定させ、生産力を高めるために、その原因を明らかにし、土壌深くまで根系の正常な発達を促がす技術を確立することは極めて重要である。

2. その原因 - “栄養主因”説

ところで、この現象をもたらすいくつかの要因が考えられる。一般に言われているのは、第1に土壌の強酸性とアルミニウム毒作用であり、第2に土壌硬化である。

しかし、第1については、両者が作物生育全体にとって障害を及ぼすことは確かであるが、酸度を矯正してもこの現象が起り、またアルミニウム含有量が表層～深層であまり差がないという既往の分析結果から考えると、これらが根系不正常をもたらす直接の要因であるとは受け入れにくい。

次に、第2については、今回調査において、耕作年次が進むにつれて耕盤が形成され、土壌硬度が高くなることが確認された(10-表2)、根の伸長を阻げるほどの硬度とは言えない。耕作者が土壌硬化を警戒して、5年目の作付け前にサブソイラーをかけていた

が、やはり根系異常があらわれていた。したがって、土壤硬化も、この現象の直接的要因と見なすことはできない。

岩田・川崎両氏は、前掲論文¹⁾において、新しい見解を示している。すなわち、—施用された肥料成分（とくに燐酸）が、表層土壤中にとどまっていたり、作土下層に及んでいない。そのために、栄養成分の多い表層部にのみ根系が展開する—というのである。

この見解は、サン・ゴタルドにおける根系調査、および作業実績調査²⁾から、かなり裏付けられるのではないかと思われた。

セラード地帯における一般の農場における施肥方法には、土壤改良資材としての石灰・燐酸の施用と、N・P・Kの生産用施肥とがある。後者は毎年、播種の際に条施される。一方、前者は開墾時と、その後の必要な時に全面施用される。

開墾初年目においては、石灰・燐酸の全面散布後、デスクブラウの2回掛けを行なって、ほぼ25 cmぐらいの深さまで耕起している。この条件下においては、大豆の根は主根優勢の正常な生長を示す。今回の調査による限りでは、3年程度までは、この影響が残っているようである。

ところが、2年目以降の耕耘は、デスクブラウの浅掛け、あるいはデスクハローによって行なわれる。土壤断面調査によると、耕深はわずかに12～15 cmにすぎなかった。2年目以降に施用される土壤改良資材は深く入らない。大豆の根は、肥料が混和されて栄養豊富なこの浅い土壤層内に主として展開しており、主根の垂直方向の伸長が弱まり、代って側根が発達していた。

岩田・川崎両氏のポット試験¹⁾によると、肥料を深層まで混合すると、その深さの層内では、主根を中心とする正常な根系が形成される。このことは、上記の“栄養主因説”とも言うべき見解を、逆の面から裏付けているともいえよう。

3. 深耕・全層施肥の提案

では、“栄養主因説”を採った場合の、生産上の対策として開発すべき実用技術は何であろうか。農学研究者として、我々は、科学的に解明された結果を生産技術までに高めなければならぬ。

目標は、深層までの全層に肥料を混合できる技術である。私の専門である農作業研究の観点からは、次のように提案しておきたい。その要点は、深耕・混層耕による全層施肥技術を中心とする畑地管理システムである。その確立のために必要とされるいくつかの問題点について、以下に述べよう。

3-1) セラードにおける現行の耕耘法に対する評価と一つの改善策

(1) もっとブラウ耕が必要である

すでに前章において述べたように、現在セラードの一般の農場では、開墾後初年目

はデスクブラウ耕・デスクハロー整地，2年目以降はデスクハローによる簡易耕という耕耘法を行なっている。そのまま簡易耕をいつまで続けるかは，開墾後の経過年数が少ないためにまだはっきりしていない。また，ある程度の期間畑作物を栽培したら，草地にして放牧する計画の農場もあるようである。

ところで，深層施肥を目標とする場合，デスクブラウ耕ではある程度満足されるが，デスクハローによる簡易耕ではまったく不十分である。簡易耕を行なっている場合には，大豆の根系に異常が発生する3年目の作付け前，あるいはおそくとも4年目には，もう一度ブラウ耕を行なうことが必要ではないだろうか。ただし，この場合，富栄養状態の表層土と，低栄養状態の下層土とを混合することになるので，作土層全体での栄養成分含量は不変でも，成分が全層に拡散されるために，一時的，相対的に，土地がやせた状態になることを承知しておかなければならない。このことを考慮した施肥法や栽培方法を選択することが必要である。また，耕耘に伴う土壌有機物の分解速度の早まりや，土壌侵蝕を受ける危険性の増大などにも配慮しなければならぬ。これらの諸要因を如何に調和させるかについては，別途の研究が必要とされる。

(2) 「作業能率」の重要性

ブラウ耕を奨めた場合，農場経営者が一番気にするのは作業能率であろう。

このことは研究者はとかく本質的な問題ではないように思うかもしれないが，一つの経営体としての農場にとっては，矛盾しがちな，作物生育条件を良くすることと，労力および経費との間の選択は常に重要な現実的問題なのである。

デスクハローによる簡易耕は作物生育のために必要とされる条件を満しはしないが，作業能率は高い。当初，開墾は一部分ずつ行なっていくので，新墾地に対するブラウ耕は容易であったが，それらが累積されて耕作面積が広がった時点では，トラクタ・作業機・労働力をふやさない限り，全面積のブラウ耕は出来ない。そこで，見掛け上能率の高いデスクハローによる簡易耕を選択することになる。しかも，その結果生ずる表層のみの肥沃化と根系の不正常化については，地上部の良好な繁茂に目を奪われて，農場経営者は気づいていないことが多い。

そこで，ブラウ耕の導入を実現するためには，作業能率を出来る限り低下させない方法を考えなくてはならない。この問題の解決のためには，機械化水準のレベル・アップや輪作の導入などを含めて，農場の経営と技術の総合的なシステムとしての検討が必要となる。

(3) 機械化水準のレベル・アップ

ここでは主として機械化水準のレベル・アップについて述べよう。

耕耘作業の能率向上のための最も単純な対策は，現在使用しているブラウより連数

の多いプラウを使うことである。ただし、当然のことながら、トラクタのけん引力とプラウのけん引抵抗との関係が問題となる。より多くの連数をけん引するためにはトラクタの馬力増が必要となる。

なお、CPAC駐在のDr. Séixas (FAO) が提供してくれたコロンビア国立大学の研究結果によると(10-図2), デスクプラウの場合、作業速度を上げると、けん引抵抗が急激に増大する。したがって、作業速度を上げるよりも作業巾を広げる方が有利である。

さて、トラクタの馬力増だけが機械化水準のレベル・アップなのではない。より重要なことは、作業を体系として再検討し、改善をはかることである。現行体系の見直しの結果、とくにトラクタを大きくすることなしに、プラウ耕の導入が可能かもしれない。

まず、その農場の作付計画がある。その位置する所の気象条件、土地条件(土壌や傾斜など)、作業内容などにもとづいて、作物別・作業別に作業可能あるいは許容の日数の見通しが立つ。作業必要面積(あるいは量)に応じて、各作業の遂行に必要とされる能率がわかる。耕起の場合なら、プラウの作業巾(大きさや連数)、それを引けるトラクタの大きさなどがおのずから決まってくる。耕起に限らず、すべての作業について同様である。これを現有のトラクタや作業機の性能と台数、労働力などと較べてみて、必要な改善をはかることになる。もちろん、各要因相互間のフィード・バックによって総合的に修正することが必要である。

ただし、これらを経験的な試行錯誤に依存せずに科学的に行なうためには、研究機関における体系的な作業研究が不可欠であることは言うまでもない。

ところで、耕起は毎年必要なのではない。土壌硬化や有機物消耗などの要因の考慮も必要である。根系の正常な発達を耕起の必要性の指標とすると、今回の調査結果の場合、3～4年に1回で良いということになる。とすれば、ほ場利用を計画的に行なえば、各年に耕起しなければならない面積は、耕作面積の $1/3 \sim 1/4$ で済むのである。

これだけのプラウ耕を現行作業に追加することは、少なくともセラードの耕地を畑作物生産の場として継続利用するためには不可欠の負担である。

なお、既に理解出来るように、機械化水準のレベル・アップは、それだけ機械経費をふやすとは限らない。何も新しい機械の購入を必要としないかもしれない。また、nセットのトラクタ装備(作業機や労働力を含めて)が、一部分のパワー・アップのために、n-αで済む場合もある。これらの問題を明らかにするためには、技術体系・作業体系の経済的評価の研究が必要である。

さて、浅い根に依存した作物が、正常に発達した根に支えられた作物に較べて減収したり、ウェラニコによる早ばつによって減収した場合の収入減と、改善のために費した負担と、どちらが大きいであろうか。将来に備えて、今のままの作業と作物栽培法で穫れる間だけ穫って金を蓄えることと、今のうちに必要な負担をして土に力を蓄えることと、どちらが有利であろうか。

4. おわりに

以上、サン・ゴタルドにおける調査、および既往の研究から得られた知見にもとづいて、セラード土壌において根系の正常な発達をうながし作物生産力を高めるためには、深層までの混層耕が必要であること、その方法として、少なくとも3～4年に1回はブラウ耕を行なうこと、能率を低下させず経費増大を抑えながらブラウ耕を導入するための作業・技術の体系の見直しが必要であること、についての考え方を述べた。

また、その中で、今後必要とされるであろう研究課題等についても、いくつか提案を行なった。

なお、当初、ブラウ耕について、デスクブラウとモルドボウドブラウとを対比して、その機能上の特性からいってもモルドボウドブラウを推奨する考え方を記していたが、セラード土壌における試験を実施していないので削除した。

さらに、本稿においては、熱帯農業における重要な研究課題であるとされているミニマムティレージについての考慮が払われていないことをことわっておかなければならない。この問題については、今後の研究の機会を通じて現実を把握しつつ、本稿の主張である耕起の必要性との矛盾を如何に技術として調和させるか検討してみたい。

本調査および報告とりまとめに当って、日本からの長期派遣研究員である岩田文雄博士川崎弘博士に、すべてにわたってお世話になった。心から感謝するとともに、両博士の研究成果の発表を期待している。また、FAOからの派遣研究員であるDr. Séixasの適切な助言に謝意を表したい。

注・1) 川崎 弘, 岩田文男, M.V.Mesquita Filho; セラード土壌における畑作物の根群発達に関する研究, JICA資料, 1980.

2) 塩谷哲夫, Sergio M.Folle; セラード土壌における機械作業に伴う土壌硬化と根系発達に関する研究, JICA資料, 1980.

MÉTODO DE ARAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO DAS RAIZES DE SOJA NO
SOLO DE CERRADOS

Relatório de Pesquisa de São Gotardo

Tetsuo Shioya

EMBRAPA - CPAC
Fevereiro - 1980

Relatório de Pesquisa de São Gotardo

- Método de Aração e o Desenvolvimento das Raízes de Soja no Solo de Cerrados.

Tetsuo Shioya

Prefácio.

Inicialmente quero agradecer a EMBRAPA-CPAC, JICA e equipe de pesquisadores do Japão, pela esta oportunidade de pesquisar o desenvolvimento agrícola deste imenso Cerrados.

Ao visitar Cerrados pela primeira vez, fiquei absmado pela sua imensidão. Imensidão que se prolonga como mar, dando a impressão infinita.

O Polocentro do Brasil que visa transformar estes Cerrados em terras férteis, é um empreendimento que trará benefícios não só aos brasileiros, mas para toda humanidade.

Com certeza, este empreendimento entrará na história da humanidade.

Parabenizo a todos que participam deste evento.

A minha participação, comparada a este projeto, é muito pequeno. Porém, como ditado "Grão em grão, a galinha enche o papo", espero que a minha contribuição torne em um grão.

Em seguida, relatarei os resultados das minhas pesquisas.

Como as pesquisas sobre o desenvolvimento das raízes da soja e condições do solo serão relatados pelos doutores agrônomos Iwata e Kawasaki, o meu trabalho será, principalmente, sobre a pesquisa de trabalho e mecanização agrícola, de um ângulo diferente e este acrescida de sugestões.

I. Roteiro.

1) Pesquisadores: Fumio Iwata, Hiroshi Kawasaki e Tetsuo Shioya.

2) Programação

(1) 1^a visita

11/Fevereiro Brasília — São Gotardo
12/Fevereiro
13/Fevereiro - Pesquisa na Faz. Endo
14/Fevereiro - Visita ao Silo da COTIA
15/Fevereiro - São Gotardo — Brasília

} Pesquisa das raízes
de soja.
Pesquisa de solo

(2) 2ª Visita

25/Fevereiro Brasília — Araxá
26/Fevereiro Nomura Brás

- (1) Pesquisa de Produção de Soja
- (2) Pesquisa de Colheita de Soja
- (3) Pesquisa de Preparação de Solo

27/Fevereiro São Gotardo (Estação Experimental da Cotia)
Pesquisa de Raízes da Soja
Pesquisa de Solo

27/Fevereiro Araxá — Brasília

Trajetos Total: aprox. 3.700 km.

II. Relatório de Pesquisa de Desenvolvimento das Raízes da Soja.

1. Desenvolvimento anormal das raízes.

Segundo as pesquisas feitas pelos doutores Iwata e Kawasaki, no solo de Cerrados o crescimento da raiz principal das culturas leguminosas, paralisa-se na camada superior do solo e, consequentemente, desenvolve as raízes laterais. Portanto, o desenvolvimento das raízes se concentra na camada superficial do solo (Cultura pesquisada: Soja), nota¹.

Este fenômeno foi observada também na pesquisa efetuada em São Gotardo (figura 1).

Na Estação Experimental da Cotia, São Gotardo, verificou-se o desenvolvimento normal da raiz principal na lavoura nos primeiro e segundo ano de plantio.

Porém, com o decorrer dos anos o desenvolvimento do caule da parte aérea torna-se grossa, transformando em uma planta vistosa, mas nas raízes pode observar a tendência de desenvolvimento das raízes laterais, e já no quarto ano (2 safras de soja - trigo) observou o desenvolvimento anormal das raízes laterais.. (Tabela 1).

Consequentemente, com esta tendência, não pode obter desenvolvimento regular e ainda, torna-se mais sensível a seca de Veranico.

O aparente desenvolvimento da parte superficial, leva o agricultor a julgar erroneamente que a adubação do solo foi suficiente e pode levar a uma perda inesperada caso selecionar e aplicar outras técnicas.

Para obter segurança na produção agrícola e aumentar a produtividade nos cerrados, é extremamente importante esclarecer a causa do desenvolvimento desequilibrada das raízes e aplicar a técnica adequada para obter desenvolvimento normal das raízes até a profundidade do solo.

2. Das causas — Uma das causas é a "Teoria da Causa de Nutrição".

Podemos apresentar várias causas que pode provocar este fenômeno.

Tem se falado na influência de forte acidez e Al na terra ou na compactação do solo.

Porém, de acordo com o resultado da análise da forte acidez e existência de Al no solo, sem dúvida, influi no desenvolvimento da cultura de soja, mas este fenômeno ocorreu mesmo após a correção de acidez do solo e com o elemento Al, sem apresentar diferença na camada superficial e na profundidade do solo.

Consequentemente, a presença de acidez acentuada e Al no solo como causa deste fenômeno é duvidoso.

Quanto a compactação do solo, nesta pesquisa ficou apurado que com o decorrer dos cultivos ano a ano, mostrou a tendência de o solo tornar mais dura (Tabela 2) porém, não tanto que prejudique o crescimento das raízes.

Os agricultores, prevendo a compactação do solo; passa o subsolador antes do plantio, no quinto ano, mas mesmo assim apresentou o desenvolvimento anormal das raízes.

Portanto, não podemos afirmar categoricamente que a compactação do solo seja a causa deste fenômeno.

Nas pesquisas efetuadas pelos doutores Iwata e Kawasaki, apresentou uma nova interrelação.

Os elementos químicos (principalmente o ácido fosfórico) da adubação permanece na superfície, e não penetra na camada mais profunda. Consequentemente, as raízes das culturas desenvolve somente na camada superior do solo.

Nas pesquisas e experiências 2) das raízes efetuadas em São Gotardo, apresentaram forte argumento nesta hipótese apresentados pelos doutores Iwata e Kawasaki.

Nas adubações, há adubação de correção que é feito através do esparramento de calcário e ácido fosfórico e a adubação de manutenção que é feito com o esparramento do N.P.K.

A primeira é efetuada no ato do desmatamento em toda área desmatada e após disto, é usada de acordo com a necessidade e a segunda deve ser efetuada em linha anualmente, juntamente com a semeadura.

No primeiro ano do desmatamento, após o esparramento de ácido fosfórico e de calcário, passa-se o arado de disco por duas vezes, até a profundidade de aproximadamente 25 cm. Nestas condições a cultura da soja apresenta o desenvolvimento normal das raízes, principalmente da raiz principal.

Nesta pesquisa verificou-se que este efeito permanece aproximadamente à 3 anos.

Porém, a preparação do solo de 29 ano em diante são efetuadas somente através de grade de discos ou a aração com o arado de disco em pouca profundidade. De acordo com a pesquisa do solo, esta gradeação não ultrapassa a profundidade de 12 ~ 15 cm.

Após o segundo ano de plantio, o calcário e o ácido fosfórico esparramento não penetra em profundidade maior.

Como as raízes da soja encontra adubação abundante na camada superficial do solo, engraquece o desenvolvimento da raiz principal em sentido vertical e desenvolve as raízes laterais.

De acordo com a experiência de vaso 1), efetuados pelos doutores Iwata e Kawasaki, se misturar os adubos até a camada mais profunda do solo, forma-se estrutura das raízes, com o desenvolvimento normal de raiz principal.

A "Teoria da Causa de Nutrição" se assim que podemos dizer) confirma o desenvolvimento anormal das raízes.

3. Sugestões: Aração: mais profunda no solo e Adubação: mais misturada com o solo.

Na "Teoria da Causa de Nutrição", qual seria a técnica a ser aplicada para melhorar a produtividade do solo? Como agrônomo, nos devemos analisar tecnicamente os resultados coletados para desenvolver a técnica de produção.

Com o objetivo é a adubação até a camada mais profunda do solo, isto é, a técnica que possibilita misturar os adubos em todas as camadas do solo, inclusive na camada mais profunda do solo.

Como especialista em pesquisa de trabalho agrícola e mecanização agrícola, desejo sugerir o seguinte:

Trata-se de sistema de controle da terra, que baseia-se na técnica de adubação em todas as camadas, através da aração profunda e mistura de camadas.

Em seguida descreverei os principais pontos problemáticos que serão necessários para sua determinação.

3.1 - Avaliação e Melhoramento de Método de Preparação da terra executado nos Cerrados.

(1) Necessidade de maior utilização do Arado

Conforme descrito no item 2, atualmente nas fazendas de Cerrados, adota o método de preparação de solo, que no primeiro plantio efetua a aração e gradeação.

A partir no 2º plantio, utiliza-se somente a gradeação na preparação de terra para o plantio.

O emprego contínuo de gradeação ainda é uma dúvida, porque nos Cerrados ainda não decorreu muito tempo após a desmatamento.

Ainda, existem fazendas com plano para formar pastagem, após cultivar a soja por um determinado tempo.

Conforme descrito no item anterior, para que a adubação atinja a camada mais profunda do solo, podemos satisfazer até certa profundidade com a aração, porém com a gradeação e praticamente insuficiente.

Ao optar pelo emprego conjunto arado-grade, não seria necessário a aração até o 3º ou mais tardar até o 4º ano da cultura, pouco antes de aparecer o desenvolvimento anormal das raízes da soja.

Porém, neste caso, como necessita misturar a camada superficial fértil com a camada mais profunda com baixa fertilidade, mesmo que a fertilidade global não altere, devido a distribuição de elementos em toda camada, o estado da fertilidade do solo torna-se relativamente mais fraca.

Considerando este aspecto, é necessário selecionar o método de cultivo (densidade da cultura) e o método de adubação.

E ainda, deve considerar a velocidade de decomposição de materiais orgânicos ao solo e aumento de risco de receber a erosão do solo.

Estes pontos devem ser estudados separadamente.

(2) Importância de um trabalho eficiente.

Na aração, o que mais preocupa o fazendeiro, é o rendimento da aração.

Como agrônomo, julgo que este não se trata de um problema básico, porém para a fazenda, como uma estrutura de administração a escolha entre (A) melhoramento das condições de desenvolvimento da cultura e (B) custo e mão de obra, são problemas reais, importantes e constantes.

A gradeação não satisfaz as condições necessárias para o bom desenvolvimento da cultura, porém apresenta bom rendimento de serviços.

Como o desmatamento são efetuados gradativamente, é possível efetuar a aração das novas áreas desmatadas. Porém, com a expansão da área de cultivo, torna-se impossível arar toda a área, ao menos que aumentem tratores, implementos e mão de obra.

Isto leva o fazendeiro a optar pela gradeação. Mesmo com a gradeação, nos primeiros anos a plantação desenvolve normalmente, porém o fazendeiro não percebe a anormalidade que começa a surgir no desenvolvimento das raízes, devido a adubação somente na camada superficial do solo.

Para optar pela gradeação, deve procurar um meio que permite minimizar a queda de rendimento de serviço.

Para resolver este problema, é necessário estudar o sistema global de técnica e administração da fazenda, inclusive elevar o nível de mecanização e rotação de culturas.

(3) Melhorar o sistema de utilização dos implementos agrícolas.

Neste item, descreverei sobre o melhoramento de nível de mecanização.

A providência mais simples é aumentar as séries de discos de grade. Porém surge o problema relacionada à potência do trator devido o aumento da resistência à tração da grade. Para puxar a grade com série maior de discos, é necessário aumentar a potência do trator.

De acordo com o resultado de pesquisa da Universidade Nacional da Colombia, fornecido pelo Sr. Seixas (FAO) do CPAC (Fig.2), para a aração à discos, o aumento da velocidade aumenta também a resistência à tração da grade.

É preferível aumentar a largura de serviço, a aumentar a velocidade de tração.

Para estudo da relação entre a potência necessária do trator e o número de discos da grade a ser puxada, a performance nominal fornecido pelo fabricante é útil, mas é necessário efetuar experiência, considerando o fator inclinação do terreno e as condições do solo de Cerrados.

Ainda, o aumento de nível da mecanização não se limita somente em aumentar a potência do trator.

O importante é estudar também os serviços com uma estrutura e procurar o seu melhoramento.

De acordo com os resultados com o sistema atual, talvez seja possível optar pela gradeação sem aumentar a potência de trator.

Inicialmente, temos o plano de plantio da própria fazenda. De acordo com o conteúdo de trabalho, condições de terra (solo, inclinação) e condições meteorológica, podemos prever os dias disponíveis para execução de determinados serviços, de acordo com o serviço e a cultura.

Assim podemos saber a performance necessárias para execução de cada serviço, de acordo com a área necessária para o trabalho (volume).

Para a aração, a largura de serviços (tamanho e série de grades) e potência do trator são determinados automaticamente. Isto não se limita somente na aração, e sim para qualquer serviço.

Serão analisados o trator, performance, quantidade de implementos e mão de obra, e procurar o seu melhoramento.

É necessário efetuar uma correção global, pelo sistema feed back das interligações entre os fatores. Porém, para execução científica sem se confiar na experiência vividas, é necessário estudar o trabalho, sistematicamente.

Neste caso, não necessita de aração anual. Se a meta da aração é o desenvolvimento normal das raízes, será suficiente uma aração a cada 3 ou 4 anos. Isto quer dizer que a aração será feita anualmente somente 1/3 ou 1/4 da área total.

Esta aração, será uma carga a mais, mas é necessário para aproveitamento contínuo da terras de cerrados na produção agrícola.

Como é de conhecimento, a elevação do nível de mecanização, não se limita somente em aumentar a despesa com as maquinarias.

As vezes nem é necessário adquirir novos equipamentos.

Ainda, há casos que para aumentar a potência parcial de acessórios de trator (inclui equipamento e mão de obra) bastará somente de $n - \infty$ acessórios.

Para conhecer este ponto, é necessário pesquisar a avaliação econômica do sistema técnica e serviço.

Aqui indagamos se a despesa despendida para o melhoramento da cultura será maior que o prejuízo da consequência da diminuição de produção ou perda causada pelo Veranico, devido o desenvolvimento anormal das raízes.

Será mais vantajoso para futuro, manter atual método de produção acumulando divisas enquanto permite produzir ou preparar a terra gastando o que for necessário hoje, para que possa produzir mais no futuro.

4. Conclusão.

Assim, baseada na pesquisa efetuada em São Gotardo, relatei a idéia sobre o aproveitamento de arado de disco e arado de aiveca para aração profunda, como método de preparação da terra para elevar a produtividade da cultura, corrigindo o desenvolvimento anormal das raízes das culturas nos Cerrados.

Ainda, apresentei várias idéias sobre os assuntos que necessitam de pesquisas próprias.

Entre as idéias apresentadas, se tiver condições, pretendo estender a minha pesquisa, no CPAC.

Neste relato, devo salientar que falta de descrição de preparação mínima que é item de pesquisa importante para agricultura tropical. Sobre este assunto, pretendo conhecer a realidade através das oportunidades, tais como na posterior pesquisa e agrupar as necessidades da aração profunda com técnica.

Este relatório não passa de umas simples anotações minhas.

A partir das poucas observações, conclui a necessidade de uma aração mais profunda e a mistura de adubação também na camada mais profunda.

Sinto feliz se estas informações for útil aos senhores.

Na elaboração deste relatório, contei com as colaborações dos doutores Iwata e Kawasaki, radicados no Brasil. Também agradeço o Dr. Seixas pelas colaborações oportunas.

Bibliografia

- 1) KAWASAKI, H., F. IWATA, M.V. MESQUITA F.; Desenvolvimento de raízes nos Cerrados, EMBRAPA/1980.
- 2) SHIOYA T., SERGIO M. FOLLE; Avaliação da Compactação do Solo nos Campos dos Cerrados, EMBRAPA/1980.

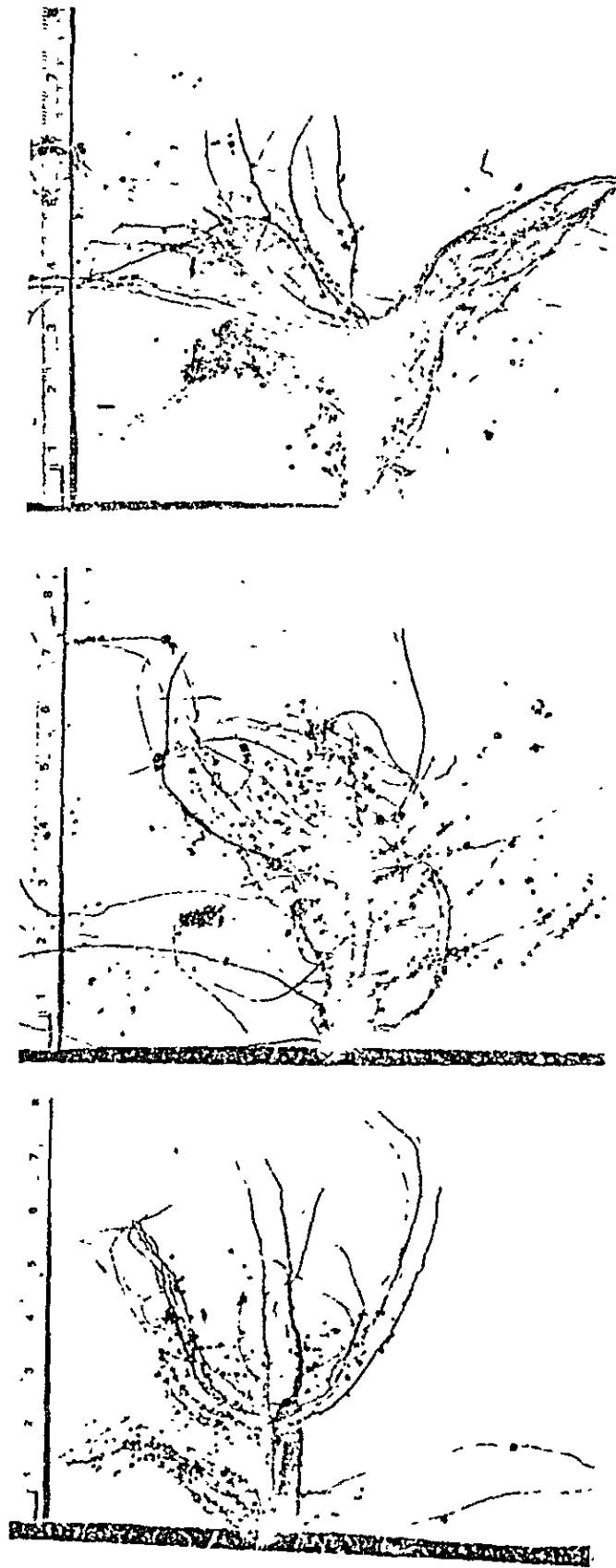
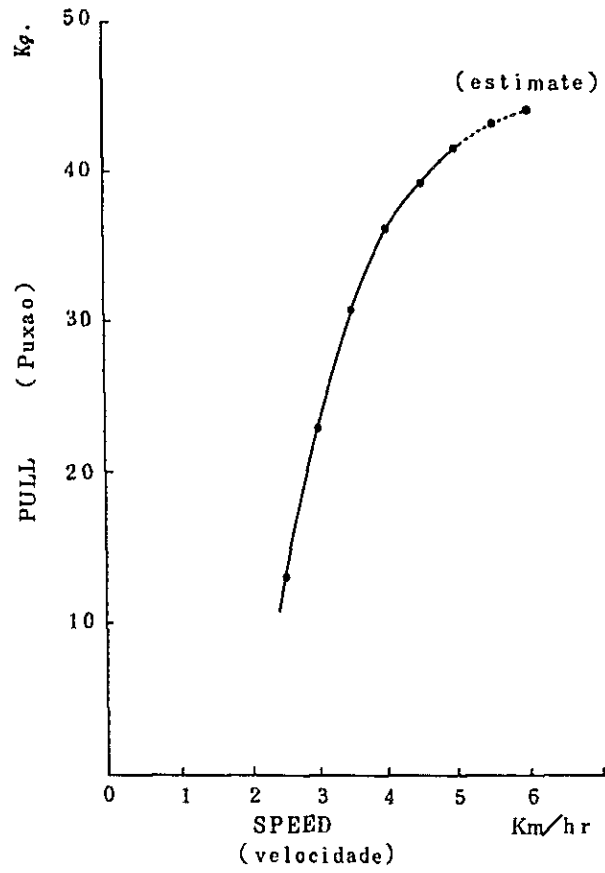


Figura 1. - Desenvolvimento anormal das Raizes



Figula 2 — Drawber Pull required per cm of width
 (Disc Plow, at 20 cm Depth, Heavy Clay Soil)
 by Universidade Nacional de Colombia.

11. セラード土壌における機械作業に伴
なう土壌硬化と根系発達に関する研究

1980. 2~4 EMBRAPA-CPAC

塩谷 哲夫

Sergio Mauro Folle

EMBRAPA-CPA CERRADOS
PROJETO DA COOPERAÇÃO EM PESQUISA
AGRICOLA NO BRASIL (CERRADOS)

『ブラジル農業研究協力事業』

Km 18 BR 20-C. POSTAL 70.0023

73.300-PLANALTINA BRASÍLIA D.F.

B R A S I L

1. 目 的

広大なセラードにおける農業生産，とくに畑作物生産にとって，大型機械による作業は必須なものである。

それに伴って懸念される問題の一つに，土壌硬化による耕盤の形成がある。硬化によって土壌の物理性が悪化し，作物の根系発達が抑制される場合がある。

岩田・川崎は，セラード土壌における作物根系が作土上層にのみ展開し，下層における発達が極めて劣弱である現象を指摘している。

本試験は，セラード土壌における土壌硬化の実態を把握し，土壌硬化と耕耘作業および根系発達との関連を検討しようとするものである。

2. 方 法

機械作業の進行に伴なう土壌の物理性の経年的な変化を調査した。

調査対象は，開墾後1年から6年を経過したサン・ゴタルドのほ場（COTIA試験場）〔試験Ⅰ〕と，開墾後1年から4年を経過したCPACシャバドンのほ場〔試験Ⅱ〕である。いずれもLVA土壌である。調査は，Ⅰを2月に，Ⅱを3～4月に行なった。

調査項目は，①土壌硬度（山中式土壌硬度計），②SLG三相構造，③土壌水分，および④作物（大豆）の根密度（観察分級）である（Ⅰは①④のみ）。調査は土壌断面調査法によ

った。

3. 結果の概要

1) I, IIの各年次における作業記録は、別添資料1, 2に示した。

2) [試験I]について

- ① いずれのほ場も〔大豆-小麦〕の二毛作である。調査は2月中～下旬の大豆生育中（子実肥大後期）に行なった。
- ② 耕盤形成：未墾地では、土壌硬度は全層にわたって5 Kg/cm²以下であった。ところが耕作が始まると、表層は膨軟化される。一方、15 cm以下では、全層にわたって土壌硬化が生じていた。とくに25～35 cm層の硬度が高く、最高14 Kg/cm²の硬度を示した。
- ③ 経過年次別の硬度変化(12-図1)：開墾はデスクブラウによって耕深約30 cmまで耕起された。初年目は作業による踏圧を受けても、作土層の硬度は7 Kg/cm²以下であった。一方、2年目では15 cm以下の作土層での硬化が起り、15～30 cmの作土下層の硬度は7～14 Kg/cm²に達した。ただし、本調査では、2～6年の間で年を経ると硬化が進行する傾向は認められなかった。
- ④ 土壌硬度と根の密度(12-図2)：開墾後2～6年間作付けをしたほ場では、深さ15～20 cm層で、土壌硬度はいずれも7～10 Kg/cm²であり、同層における根の密度は、34年目ほ場では土、2, 5, 6年目は+～+であった。また2年目のように、硬度が低下した40 cm層で、根密度が+になる例もあった。一方、4年目のように20 cm層で土であったのが、その下の30 cm層で硬度が高まるにもかかわらず、根密度が+に変化する例もみられた。本調査の観察による限りでは、硬度と根密度の間に規則的な関係は認められなかった。

3) [試験II]について

- ① 開墾後1, 2年目のほ場は小麦の連作ほ場であった。3年目のほ場は、大豆-とうもろこし-大豆の、4年目のほ場は、陸稻-大豆-とうもろこし-大豆の作付け順序の中の該当年のほ場である。未墾地の調査地点は伐木後放牧に使用された地域である。土壌硬度の経年変化を12-図3に、各年次における土壌物理性を示す諸指標を12-図4に示した。
- ② 耕盤形成：未墾地の硬度は高く、しかも深さ20 cmに硬度の高い層が形成されていた。しかし、大型機械による耕作が始まると、さらに硬化が進行した。
- ③ 経過年次別の硬度変化(12-図3)：表層10 cm程度までは、1, 2年目の方が3, 4年目より硬い。しかし、15～40 cmの間の層では1～3年目までは、ほ場同様の硬度であった。ただし、3年目からは、心土への影響が出始めている。ところが4年目になっ

て極端に硬度が高くなった。深さ15 cmをすぎると急に硬くなり、25～35 cm層では15 Kg/cm³以上の硬度に達した。

- ④ 土壌硬度と根の密度(12-図4): 1, 2年目の小麦は除外し, 3, 4年目の大豆についてのみ調査した。3年目では硬度が高くなると根密度は小さくなった。しかし, 4年目では両者の間には関連が認められなかった。また, 同じ硬度の位置における根密度が, 3年目と4年目とは異なっていた。
- ⑤ 土壌硬度と関連する土壌物理性諸指標について 各年次のほ場における土壌深さ別の土壌水分, 土壌三相構造と土壌硬度を12-図4に示した。また, 土壌の見かけ比重, 真比重, 固相率(重量%)を12-図5に示した。

土壌三相構造は, 未墾地では上層から下層までほとんど変化がなかった。1年目, 2年目のほ場では, 30 cm前後の深さまで, すき込まれた草木の残渣の混入が多く, 下層でも空隙が大きかった。しかし, 3年目, 4年目では, 上層から下層にかけて固相率の増加が認められた。とくに, 26～40 cm層における固相率が高かった。

見かけ比重は, 0～2年目のほ場では0.9～1.0 g/cm³の間にあり, また深さによる変化も少ない。一方, 3～4年目のほ場では, 表層から1.2 g/cm³以上を示し, しかも深くなるほど大きくなった。

作土層における真比重は, 0～3年目までは2.55～2.65 g/cm³の範囲にあった。しかし4年目では高くなり, 2.7～2.85 g/cm³であった。

4. 考 察

試験Ⅰ, Ⅱの結果にもとづいて, 1) 土壌硬化と耕耘作業法, 2) 土壌硬化と土壌物理性, 3) 土壌硬化と根系発達という三つの観点から若干の考察を加えておきたい。

1) 土壌硬化と耕耘作業法

Ⅰ, Ⅱの作業記録をみると, 土壌硬化に関連して, 作業手段・方法についていくつかの問題があることがわかる。

第1の問題は, Ⅰ, Ⅱいずれの場合も, すでに作土上層から硬度が高いということである。Ⅰでは15 cm以下で, Ⅱではわずか10 cm附近で硬度7 Kg/cm³を越えている。

セラード地帯の一般の農場の耕耘法は, 開墾時のみデスクブラウによる耕耘を行ない, その後はデスクハローによる表層攪拌だけで済ませている。しかし, CPA C(Ⅱ)では毎年デスクブラウ耕を実施し, またCOTIA試験場(Ⅰ)では1～2年耕耘を実施しない年もあるが, 比較的頻りにデスクブラウ耕が行なわれている。しかし, 問題は耕深が浅すぎることにある。

土壌断面を調査してみると, Ⅰの場合の実施耕深は, 資料に記されている計画耕深より

も浅いようである。これは、耕起作業にデスクブラウを使用していることと関連していると思われる。デスクブラウは作業中の浮き上がりがある。また、デスクブラウは作業速度を上げると、けん引抵抗が急激に増大する特性をもっている。したがって、オペレータは広い畑の耕起を早く済ませようとする、耕深を浅くしがちである。これらの結果、耕深が浅くなり、土壌硬度は上層から高くなってしまわないだろうか。モルドボウドブラウの方が、デスクブラウよりも、深耕・土壌反転の機能が優れている。また作業も安定している。セラード土壌におけるモルドボウドブラウの利用を検討する必要があるだろう。

第二の問題は、土壌硬化を助長しやすい作業方法が行なわれていることである。

先ず、耕起から播種までの間の工程数が多いことである。Ⅱの場合、初年目は最初の耕起後8～11工程ものトラクタ作業の後で、また2年目以降は耕起後4工程の後で、ようやく播種作業にかかっている。この間に土壌は“十分に”硬化する。Ⅰの方が工程数は少ない。工程の省略、同時化などによって、耕起～播種間の工程を減らすべきである。

次に、工程の順序に問題がある。Ⅰ、Ⅱともに、石灰、燐酸などの土壌改良資材を耕起後に散布していることが多い。耕起前に、踏圧の影響の小さい不耕起面を走行して散布した方が硬化防止上良い。また、改良資材の全層混合が出来る。表層混合にとどまっているために、下層が肥沃化せずに、根系が全層に展開しないとも考えられる。

なお、Ⅰの6年目のほ場は、5年目にサブソイラーによる心土破碎を行なっている。15～30cm層の硬度が非常に高いにもかかわらず、その下の層の硬度が2～5年目のほ場よりも低くなっているのは心土破碎の効果のあらわれと思われる。

2) 土壌硬化と土壌物理性

土壌硬化に関連する土壌物理性の諸指標を測定した試験Ⅱの結果について考察する。

図4、図5から、土壌三相構造、見かけ比重、固相率の経年変化をみると、土壌の物理的状态を、0～2年目と3～4年目の2群に分けることが出来る。いずれの指標の値も、0～2年目では低く、3～4年目では高い。

しかし、3年目では、土壌硬度が表層から30cm層にかけて漸増する傾向は4年目に類似しているが、その大きさは1、2年目と大差ない。また真比重については0～2年目の群内に含まれる。

ところが4年目のほ場は、真比重と土壌硬度が明らかに他の年次のものとは異なり、その値は大きい。

以上のことから、次のように考えられる。

- (i) 土壌硬化を判断するための指標として、真比重と土壌硬度が適している。
- (ii) 2年目までは硬化の進行は小さい。

3年目には硬化の定着をもたらす土壌の構造的変化が生じる。

4年目には硬化が固定化する。

(iii) 硬化を緩和するためには、真比重、土壌硬度の急増が確認された時に、プラウによる深耕を行なうのが良いであろう。

3) 土壌硬化と根系発達

本試験の結果からは、土壌硬度と根密度の間に、規則的な関連性を見出すことはできなかった。

本試験において測定された土壌硬度の範囲では、硬度が高いために根系発達が抑制されるとはいえないようである。

試験Ⅰの2年目のように深さ20cmで10 Kg/cm²の硬度でも根密度が+のような場合もあれば、同じ位置で8 Kg/cm²前後の硬度で根密度が+となってしまう3年目、4年目のような例もある。

試験Ⅱの3年目の結果のように、根密度が、表層5～10cmで低い硬度の位置で減少し、10～20cmで硬度の増加している位置で逆に根密度が増大するような例もある。

また、この間に他の課題の試験において調査した事例の中で、表1のような興味ある結果が得られた。深さ15～20cm層で硬度が15.4 Kg/cm²もあるのに、根密度が+++～++であり、また作土最下層の深さ30cmで硬度が20.1 Kg/cm²もあるのに根密度++、同じく24.5 Kg/cm²で+であった。しかも、いずれも養水分吸収に最も重要な役割をになう細根が多かったのである。この事例はP₂O₅を800Kg/ha施用した試験区であった。

このように、本試験における土壌硬度の最高値である15 Kg/cm²以上の硬度の土壌中でも十分に根系が発達していたのである。

したがって、土壌硬化が根系発達に影響は与えても、本試験で得られた範囲の硬度の土壌硬化は、根系発達を阻害する直接的要因であるとはいえない。

なお、土壌硬化は、単独にはなく、他の諸要因—土壌の物理的・化学的特性、肥料、水分、そして作物側の特性、などに関連し合って作物の根系の発達に作用するのであるから、セラード土壌における本課題に対する結論は、これらの諸要因を充分考慮した試験を経た後に出されなくてはなるまい。

5. おわりに

本試験は、「ブラジルとの技術協力基本協定」(1971)および「ブラジルとの農業研究協力取極」(1977)にもとづいて派遣されたブラジル国EMBRAPA-CPACにおいて、1980年2月～4月の期間に行なったものである。

与えられた期間が非常に短かったために、問題を充分解明することはできなかった。しかし〔機械化作業—土壌硬化—根系発達〕に関連して追究すべき問題の糸口は見つけられた

のではないかと思う。

本試験へのとりくみに当って、課題設定に関して Dr. Wenceslau, Dr. Séxas (F A O) に貴重な助言を受けた。また、Dr. Sergio は試験実施上の様々な便宜をはかってくれ、共に測定を行なった。また、Dr. Ady は自らの試験ほ場の一部を心良く提供してくれた。さらに、土壌物理性の分析、とりまとめにおいては、Dr. Dimas, Sr. Wuantuyr への世話になった。

なお、本報告のポルトガル語への翻訳に当っては、Srta. Nair, Dr. Dimas に多大な協力をいただいた。

また、全期間を通じて、日本派遣研究チームの岩田、川崎両博士の御援助なしには何事も成し得なかったかと思う。

末尾ながら記して謝意を表したい。