

13. セラード土壌における窒素肥沃度の評価

派遣専門家：小菅伸郎（土壌・作物・水分系）

(90.9～92.9)

セラード土壌における窒素肥沃度の評価

小 菅 伸 郎

Albert Rosa Suhet

Marilia Lobo Burle

Nirceu Werneck

はじめに

セラードの農業は水平面をどのように拡げていくか、すなわち作物が栽培できる面積を増していくことが第一の問題であった。そのためには強酸性土壌の改良と、乾季における灌漑が重要な課題であり、今までに数多くの研究が行われてセラード農業の発展に貢献してきた。

次にくるのは農業の垂直な高さ、すなわち単位面積当りの作物の生産量を増加し、その生産量を維持していく技術が課題になる。

作物が生育に必要とする種々の土壌中の要素に不足が無くなったとき、生産量の増加に最も影響を及ぼす要素は言うまでもなく窒素である。

土壌中の窒素は大気から根粒菌などの働きによる固定や、窒素肥料の施肥などによって供給され、流亡や脱窒などによって失われ、生態系の中で循環が行われている (Delwiche, 1970 ; 都留, 1982)。

CPACにおいて窒素の固定や形態変化はSuhetら (1985) によって、脱窒については山口ら (1991) によってそれぞれ研究が行われた。

土壌中にはいろいろな形態の窒素化合物が存在しており、大きくは無機態窒素と有機態窒素に分けられる。

無機態窒素はそのほとんどがアンモニア態窒素と硝酸態窒素で、共に作物には速やかに吸収されるが、アンモニアは土壌微生物の働きによって硝酸に変化し、硝酸は土壌粒子に吸着されにくいので、流亡とか脱窒によって作土層から失われやすい。従って無機態窒素は作物の生育にとって重要ではあるが、時間の経過につれて大きく変化する。

アンモニアは有機態窒素の微生物による分解、すなわちアンモニア化成作用によって供給される。有機態窒素にはいろいろな形態の物質があるが、その中に土壌微生物の働きでアンモニアになりやすい形の窒素がどれ位含まれるかということが、窒素肥沃度の指標に使われる。

窒素肥沃度については、今までに数多くの研究者によっていろいろな分析法が試みられている (Kenney & Bremner, 1966 ; Jenkinson & Powelson, 1976 a, b ; 井田ら, 1978 ; Stanford & Smith, 1978 ; 丸本, 1986 ; Robertsonら, 1987 ; 小川ら, 1989)。そのなか

ら作物に吸われやすい形の可給態窒素、土壤微生物の遺体に由来するバイオマス窒素、いろいろな形の有機態窒素の分画および全窒素の分析を選んで研究を進めた。

これらの分析法による結果から、セラード土壤の窒素肥沃度をどのように評価するか、分析値と作物生産力との関連はどうなっているか、また窒素肥沃度の測定が窒素施肥の方法に指針を与えることができるか、などについて検討を行った。

得られた研究の結果を報告する。

材料と方法

材料

CPACで夏季にとうもろこしを栽培し、冬季に豆類を栽培して収穫残渣を鋤込む輪作を続けている試験圃場から、土壤を採取して分析に供した。試験区は冬季に栽培をしない休閑区(VA)、*Canavalia brasiliensis* (菜豆 Feijão Bravo)栽培区(FB)、*Tephrosia Candida* (豆類)栽培区(TC)の3区を選び、それぞれ3ブロックについて土壤を採取した。

とうもろこしに対する窒素施肥量については0と200kg/haの2水準を選び、土壤の深さは0~15cmと15~30cmの2層に分けて採取した。土壤の採取数は $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$ 点で、1991年の夏季(雨季)1月22日と、冬季(乾季)6月6日にそれぞれ採取した。なお参考のため、CPACの原野からも土壤を採取した。

方法

土壤の窒素肥沃度を検討するため、上記の材料を用いて次の分析を行った。

1. 全窒素

Kjeldahl法によって土壤中の全窒素を分析した。

2. 可給態窒素

土壤にpH7のりん酸緩衝液を加えて抽出した溶液について、分光光度計を用いて420nmで比色分析した。一方抽出溶液をKjeldahl法によって分析した(小川ら、1989)。

3. バイオマス窒素

新鮮な土壤に水を加えて最大容水量の50~60%とし、25℃で2週間培養した。次に土壤を2つに分け、一方は密閉したデシケータ内でクロロホルム蒸気により24時間燻蒸殺菌した。その後クロロホルム蒸気を除いてから、他方の無殺菌土壤の懸濁液を少量添加し、25℃で4週間培養した。培養中に死滅した菌体から分解された窒素を1規定塩化カリウム溶液で抽出し、アンモニア態+硝酸態窒素を分析した。4週間、同様に培養した無殺菌土壤中の無機態窒素量を差引いた数字を、菌体の無機化率(0.68)で割った(丸本、1986)。

分析手順は図1に示した。

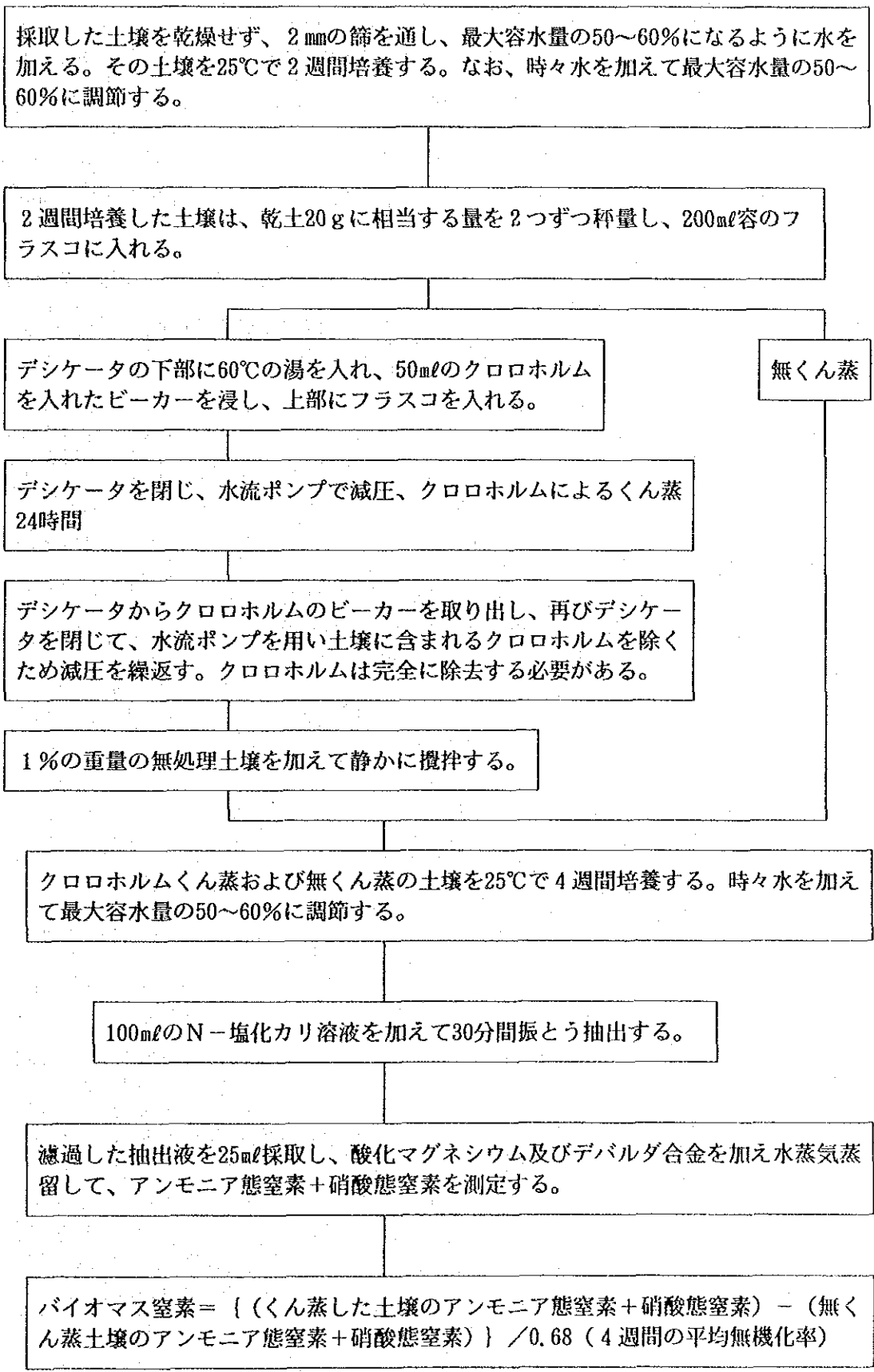


図1 バイオマス窒素の分析方法

4. 有機態窒素の分画

井田ら (1978) の方法を用いた。これは土壤中の有機態窒素を塩酸と水酸化ナトリウムを使って3つの画分に分け、さらにpHを変えた水蒸気蒸留によって分画する方法である。

酸加水分解窒素量が分析され、さらにそれがアミド・アンモニア態窒素、アミノ糖態窒素、アミノ酸態窒素、フミン態窒素に分けられる。

これら窒素化合物のうち、土壤中ではアミノ酸態窒素が最も分解しやすく、作物によく吸収されると言われている (井田ら、1978)。アミノ糖態窒素がそれに次いでいる。分析手順は図2に示した。

結果と論議

作物生産力と土壤中窒素との相関関係を求めるため、分析した土壤の試験区から92年4月29日収穫した、とうもろこしの生産量を表1に示した。同一試験区でも各ブロック間の変動が大きいが、平均値をみるとFB区>TC区>VA区、窒素200kg/ha区>0kg/ha区の関係にあり、冬季の豆類栽培によって夏季栽培のとうもろこし収量が増加した。また窒素の施肥量 (この圃場試験ではN: 0、50、100、200kg/haの4水準が設けてある) にかかわらず、とうもろこしの収量は冬季に菜豆(FB)を栽培したほうが、豆類(TC)を栽培した試験区より常に多かった。

表1 とうもろこしの収量 (92年4月)

試験設計		とうもろこし収量 (乾物t/ha)			
冬季栽培	窒素施肥量	ブロック I	II	III	平均
FB (菜豆)	200kg/ha	5.738	6.741	5.273	5.917
	0kg/ha	4.723	4.394	4.666	4.594
TC (豆類)	200kg/ha	6.252	5.602	5.583	5.812
	0kg/ha	4.420	4.337	4.273	4.343
VA (休閒)	200kg/ha	5.785	5.451	5.303	5.513
	0kg/ha	2.975	3.248	2.992	3.072

1. 全窒素

図3に土壤中全窒素の分析値を示した。0~15cmから採取した土壤は乾土100g当り120~180mg、15~30cmの土壤は110~150mgの全窒素を含んでいた。

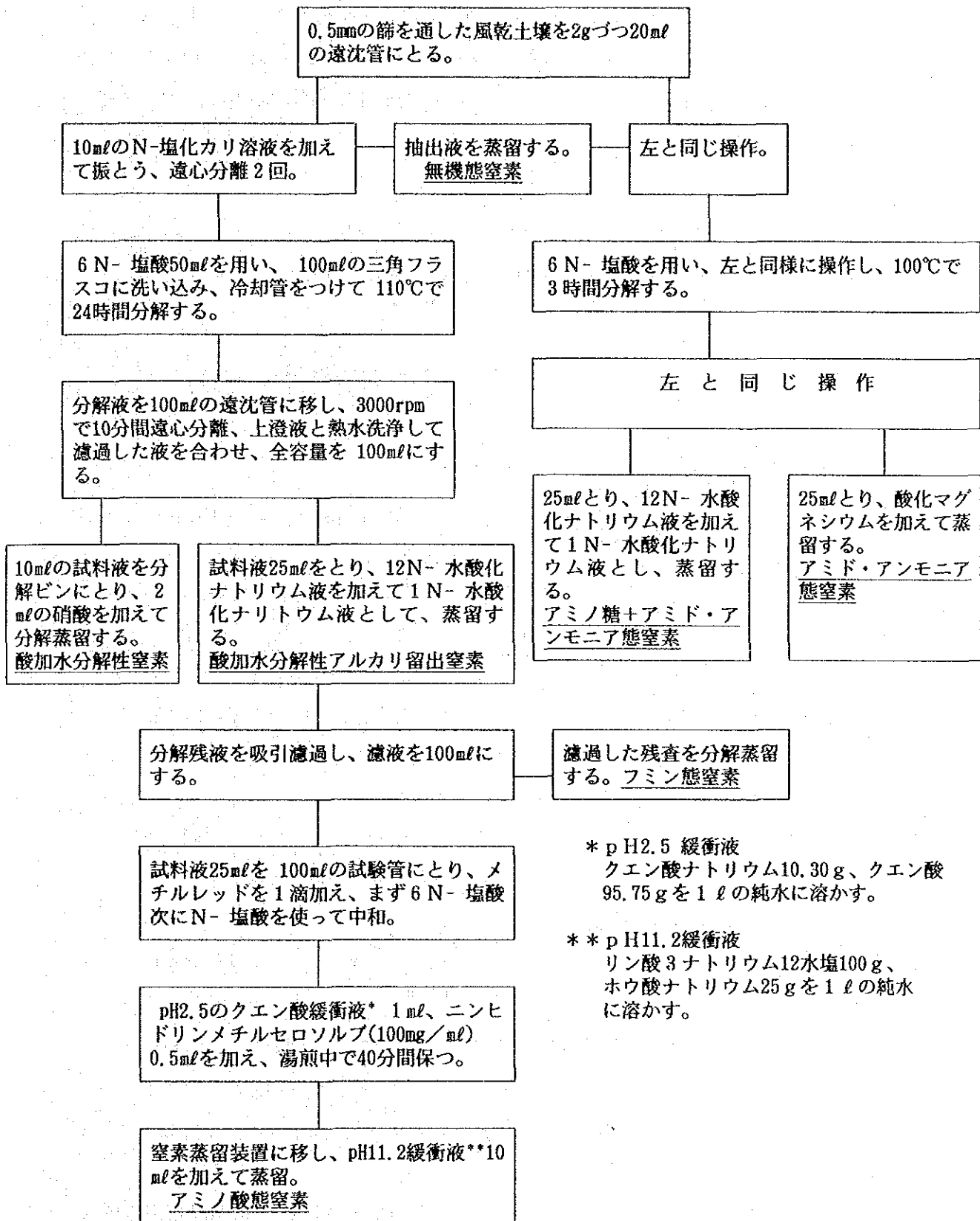


図2 有機態窒素の分画分析法

同じ栽培をした試験区間でも3つのブロックごとの変動が大きく（―|―で示した）、分析値の評価が難しいが、0～15cmの表層土壌では菜豆を栽培したFB区の全窒素が、休閑のVA区より高い傾向が認められた。しかしながら豆類のTC区とVA区的全窒素分析値を比較しても差が認められなかった。

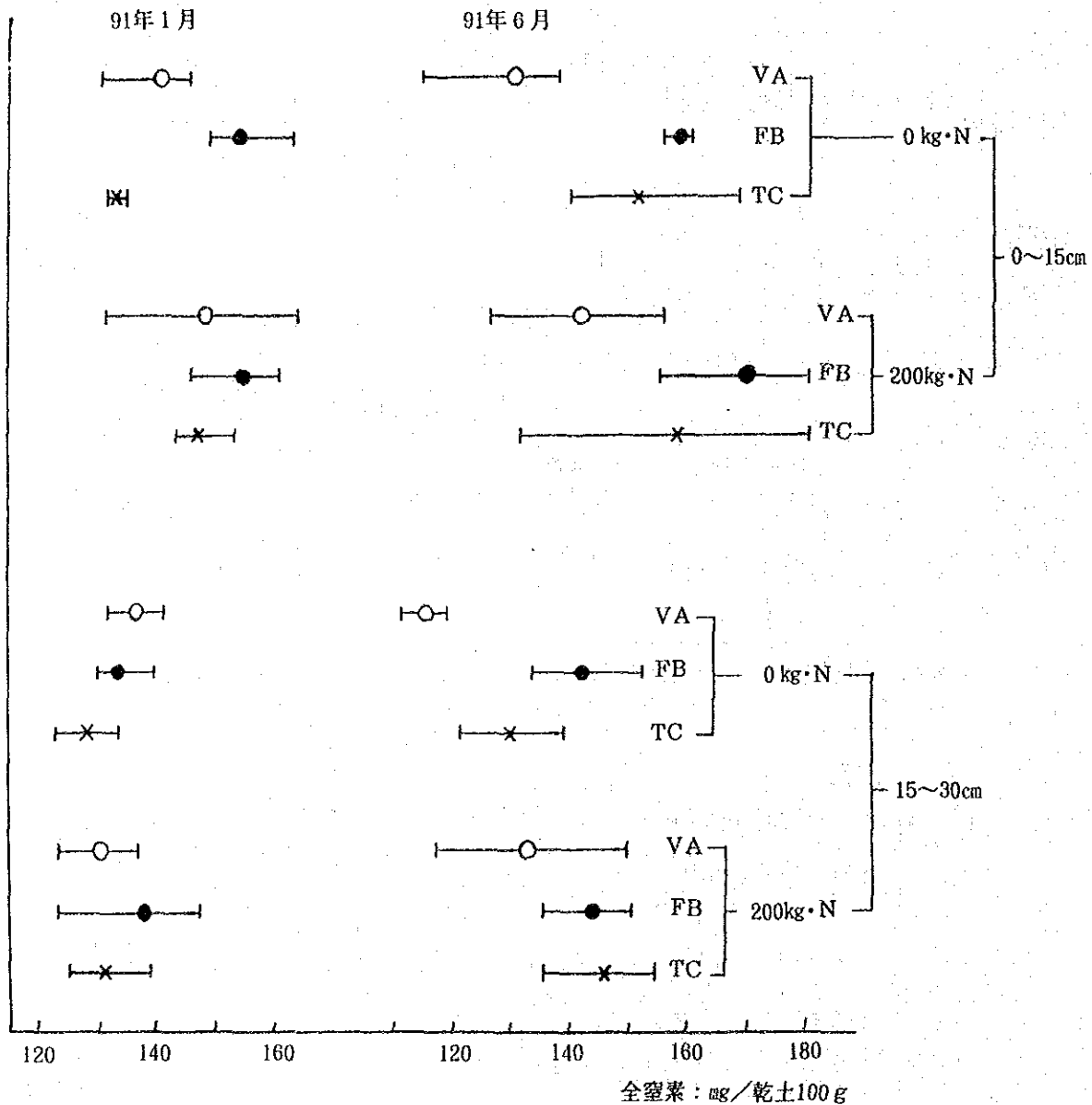


図3 土壌中全窒素

各試験区のブロックごとの全窒素分析値と、その区で91～92年の夏作に栽培し、92年4月29日に収穫したとうもろこしの相関係数を計算した。図4は91年6月冬季栽培時に15～30cmの深さから採取した土壌中の全窒素と、とうもろこしの収量との相関関係を示したものである。r=0.751の相関係数と図に記載した回帰式が得られた。

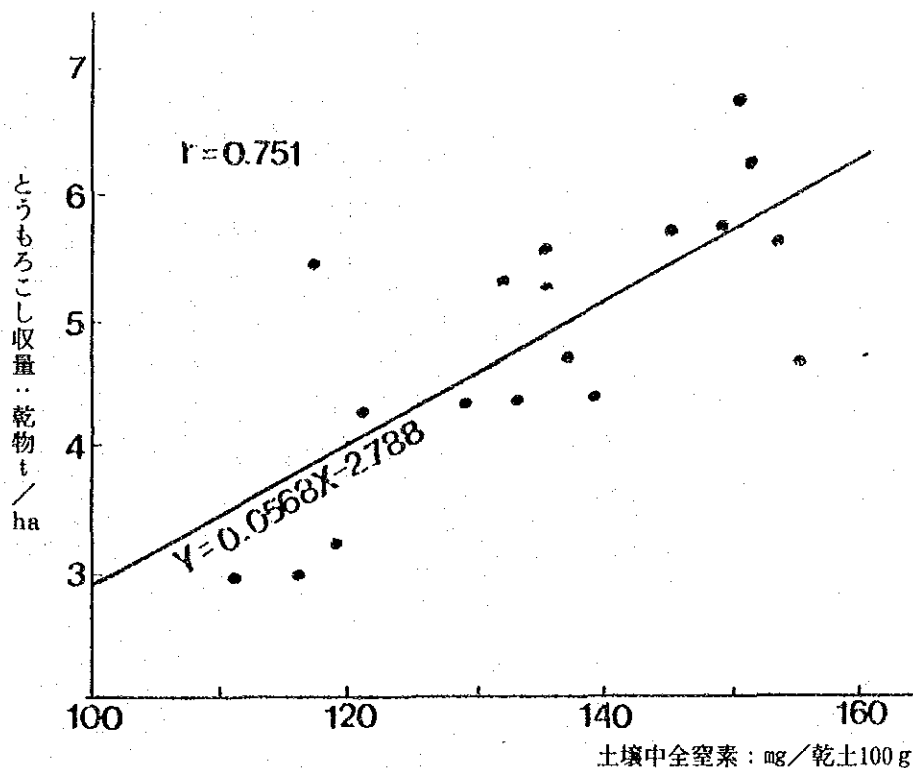


図4 土壤中全窒素 (91年6月採土、15~30cm) と、とうもろこし収量 (92年4月) との相関関係

それ以外の相関関係については図に示さないが、計算した結果によると、とうもろこしの収量と6月採土の0~15cmの全窒素との相関係数 $r = 0.616$ 、1月採土の0~15cm全窒素との $r = 0.517$ 、1月採土の15~30cm全窒素との $r = 0.2$ 以下とそれぞれの数値が得られた。

以上の結果から、土壤中の全窒素を分析することによって、その土壤が持っている窒素肥沃度、作物生産力の指標として使用できる可能性があると考えられた。

一般的には全窒素の分析値が、そのまま窒素肥沃度の指標になるとは言われていないが、全窒素の分析は以前から方法が確立されており、操作が簡単で多量の分析試料を扱うのに適している。

その場合、この試験結果から推定されることは、土壤の採取時期は窒素肥沃度の評価を必要とする作物栽培の前作期間がよく、土壤を採取する深さは表層よりも15~30cmの層のほうがよいということである。

2. 可給態窒素

図5にりん酸緩衝液抽出、Kjeldahl法による可給態窒素の分析値を示した。図によると土壤中に2~8mg/乾土100gの可給態窒素が含まれるが、全窒素の場合と同様に同一試験区内での3つのブロックごとの変動が大きい。

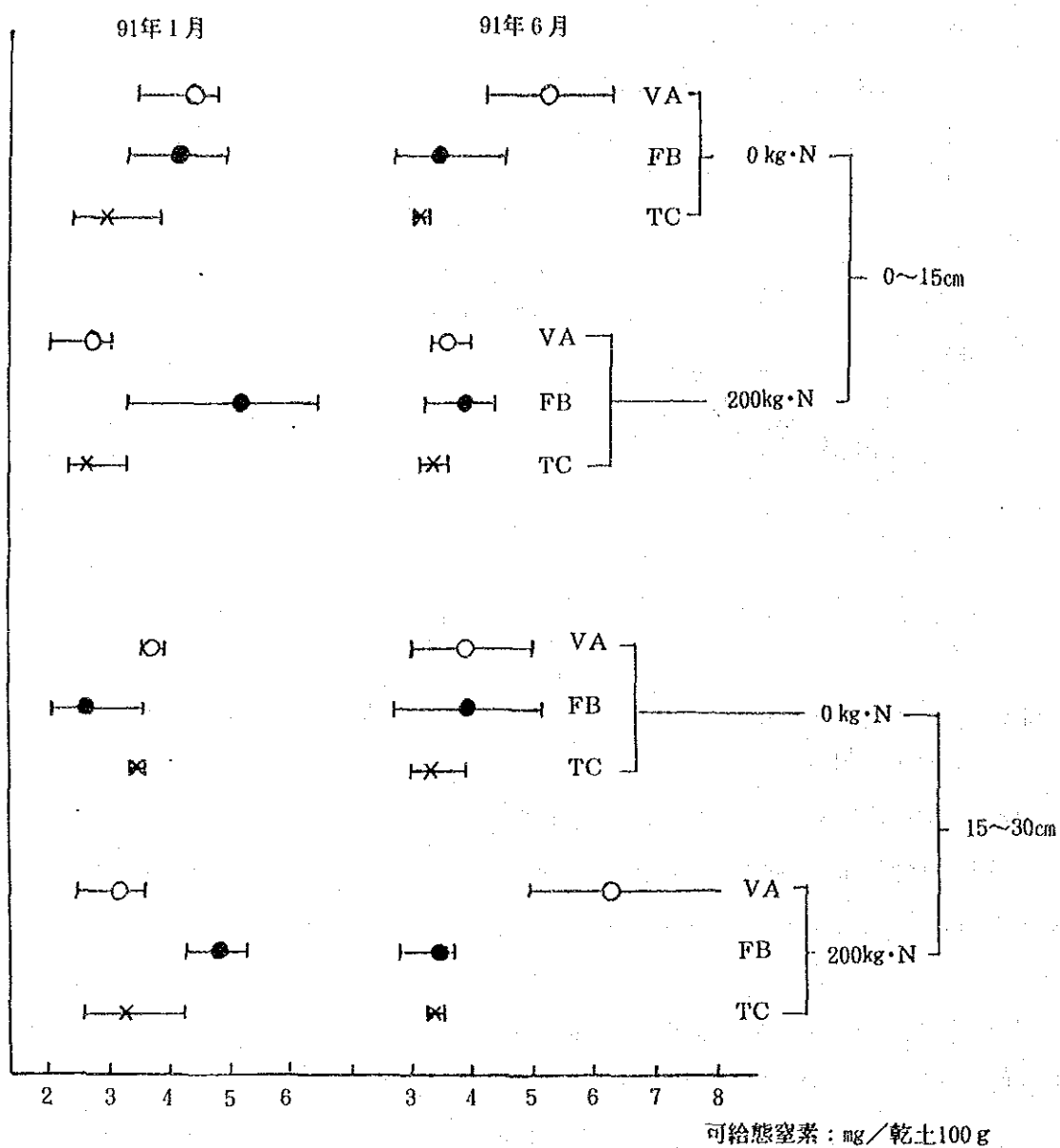


図5 土壤中可給態窒素

VA区、FB区、TC区の可給態窒素分析値を比較しても差を見出すことは困難である。

図6に抽出液のKjeldahl法による可給態窒素の分析値と、同じ抽出液の分光光度計による吸光度との間の相関関係を示した。相関係数は0.663で、Kjeldahl法によらずより簡便な吸光度測定で済ませるために十分な数値とは言えない。比色分析による吸光度測定が良くない理由として、ラトソル特有の色が抽出液に溶出し、分析値を攪乱するためと考えられた。また、この吸光度測定法は腐植を多く含む畑土壌の可給態窒素分析法として開発された経緯があり、腐植が少ないラトソルには不向きのようなのである。

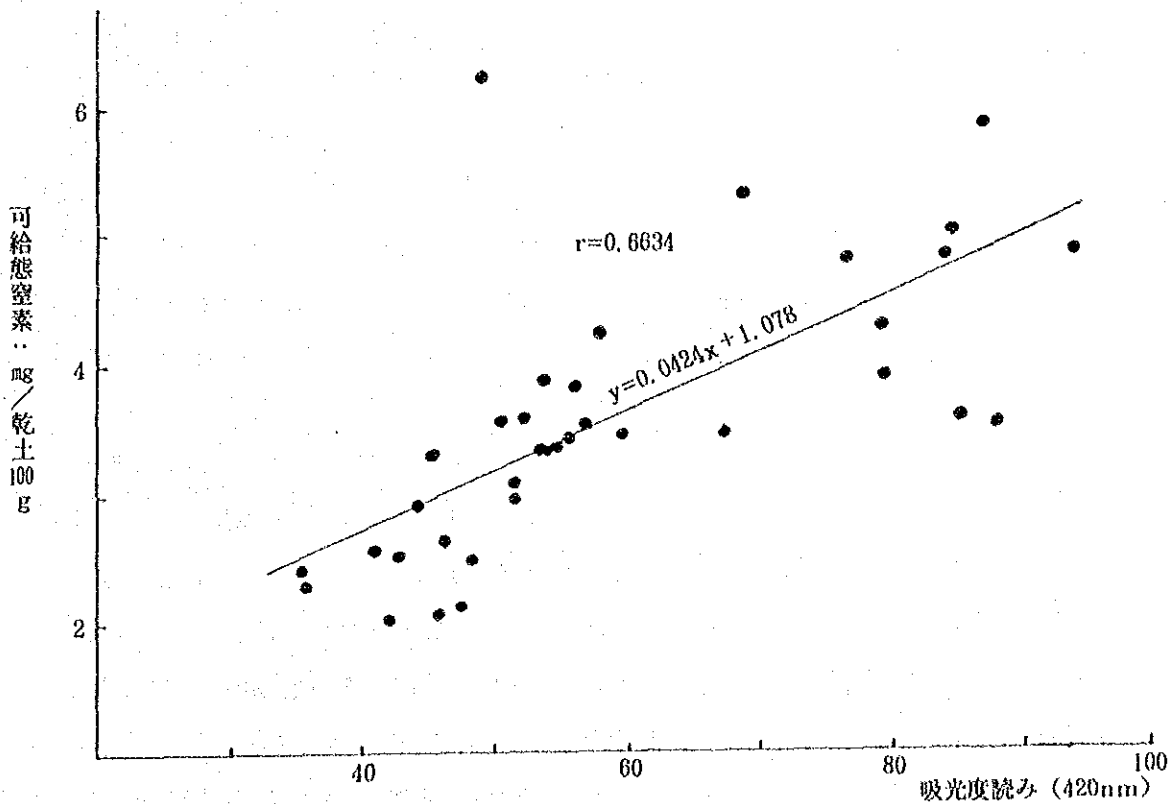


図6 リン酸緩衝液抽出による可給態窒素量と吸光度の相関関係

各試験区のブロックごとの可給態窒素分析値と、92年4月に収穫したとうもろこし収量との相関係数を計算した。その結果、91年1月と6月に採取した土壌、0~15cm、15~30cmの深さの土壌、いずれについても $r=0.4$ 以下の低い数値であった。

この分析法はKjeldahl法、吸光度測定法ともに操作が簡単で多量の分析試料を吸うのに適しているが、使用した試料土壌については、窒素肥沃度の評価に不相当であると考えられた。可給態窒素の分析については、さらに多くの方法が提案されており、簡易でセラードの土壌に適合する分析法を試行する必要がある。

3. バイオマス窒素

土壌微生物は土壌の表層に多く存在し、下層には少ないため、微生物の遺体に由来するバイオマス窒素については0~15cmの土壌についてのみ分析した。バイオマス窒素は土壌中に大体1~4mg/乾土100gの範囲で含まれていた。

図7をみると、バイオマス窒素の分析値は採土時期、窒素施肥量にかかわらず、FB区は常にVA区より高い。TC区とVA区を比較すると、1月に採土した窒素200kg/ha区の土壌を除いて、採土時期、窒素施肥量にかかわらずTC区>VA区の関係にある。

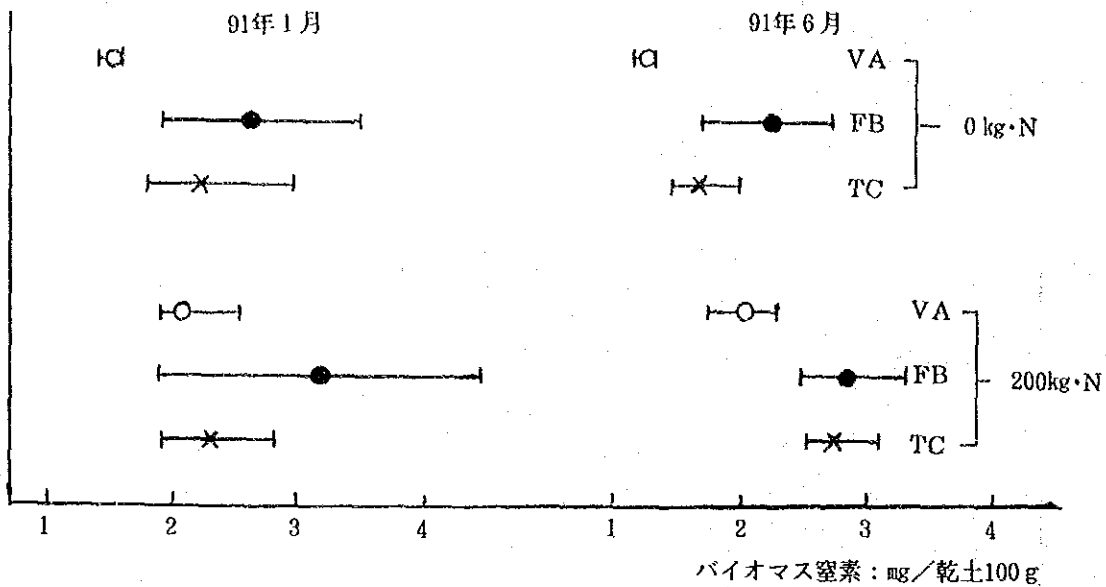


図7 土壤中バイオマス窒素 (0~15cm)

各試験区のブロックごとのバイオマス窒素分析値と、92年4月に収穫したとうもろこしの収量との相関係数を計算した。図8は91年6月冬作栽培時に0~15cmの深さから採取した土壤中バイオマス窒素と、とうもろこしの収量との相関関係を示したものである。 $r=0.724$ の相関係数と、図に記載した回帰式が得られた。1月に0~15cmから採取した土壤中のバイオマス窒素と、とうもろこし収量との相関係数は0.5以下であった。

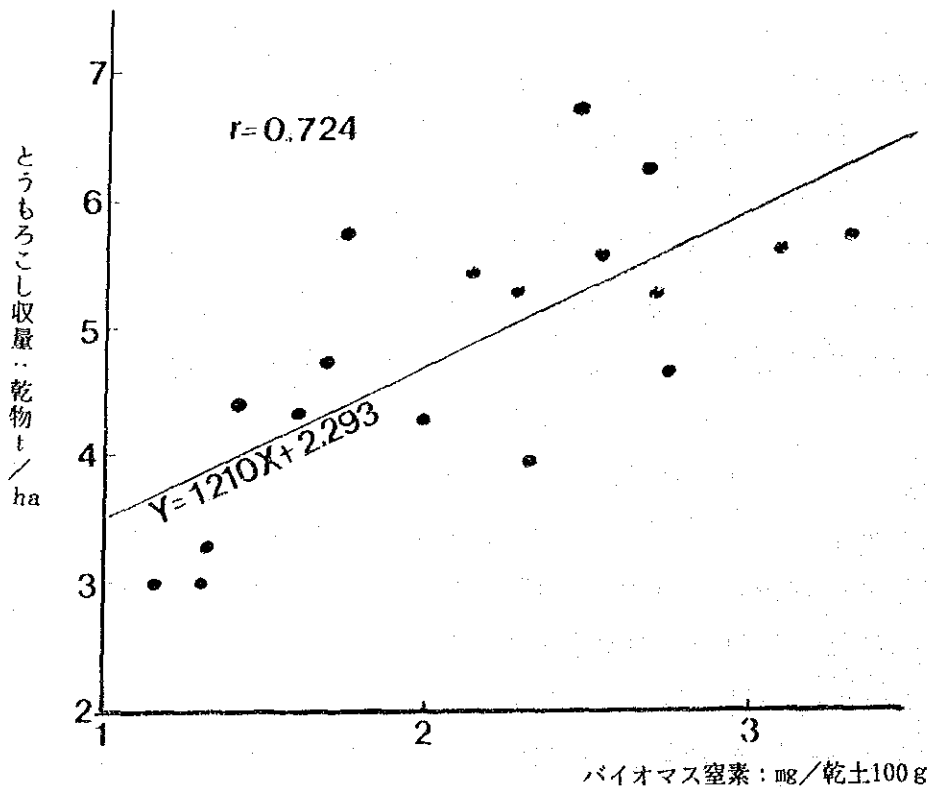


図8 土壤中バイオマス窒素 (91年6月採土、0~15cm) と、とうもろこし収量 (92年4月) との相関関係

バイオマス窒素は土壤微生物をクロロホルムで殺菌し、分解してくる遺体の窒素を測定するものである。土壤微生物の量が増え、種類が多様化することは、土壤肥沃度が増加する重要な条件であり、土壤中バイオマス窒素は窒素肥沃度の指標になると考えられている(Jenkinson, 1976a,b)。なおバイオマス窒素の計算において、菌体の4週間における無機化率を0.68としているが、これは丸本(1986)が提案した数値をそのまま使用したもので、セラードの場合、この無機化率を確かめてみる必要がある。

バイオマス窒素の分析には2回、合計6週間の培養期間を必要とするが、操作そのものは簡単であり、土壤の窒素肥沃度の分析法としては適していると考えられる。この試験結果から推定すると、土壤の採取時期は窒素肥沃度の評価を必要とする作物栽培の前作期間がよい。

参考のために分析した原野土壤のバイオマス窒素は13.5mg/乾土100gであり、図7に示した試験圃場のバイオマス窒素より著しく高い、すなわち土壤中のバイオマス窒素は、作物を栽培することによって急激に減少することが明らかであった。

4. 有機態窒素の分画分析

有機態窒素の分画分析は、材料の中から次の8区の土壤を選んで行った。冬季栽培については菜豆栽培区(FB)と休閑区(VA)、窒素施肥量については200kg/ha区と0kg/ha区、採土時期については6月6日と1月22日で、 $2 \times 2 \times 2 = 8$ とし、要因別に分散分析ができるようにした。

FB区を選んだのはTC区より夏作のとうもろこしの収量が高く、VA区との窒素肥沃度の差が大きいと推定されたためである。なお土壤の深さは0~15cmの表層の試料についてのみ分析した。

表2 土壤中有機態窒素の分画分析

試 験 設 計			全窒素	有 機 態 窒 素							無機態窒素
冬季栽培	窒素施肥量	採土時期		酸不溶性窒素	酸加水分解性窒素	アミド・アンモニア態窒素	アミノ糖態窒素	アミノ酸態窒素	フミン態窒素	未同定窒素	
1. FB(菜豆)	200kg/ha	91年6月	170.3	34.7	134.5	21.5	15.7	25.0	12.0	60.3	1.1
2. FB(菜豆)	200kg/ha	91年1月	154.7	25.8	128.2	18.6	16.2	22.5	2.8	68.1	0.7
3. FB(菜豆)	0kg/ha	91年6月	159.4	28.9	129.8	21.8	13.8	21.3	11.3	61.6	0.7
4. FB(菜豆)	0kg/ha	91年1月	153.7	28.5	125.1	22.2	13.8	22.5	4.7	61.9	0.1
5. VA(休閑)	200kg/ha	91年6月	141.9	32.4	109.5	19.6	12.6	18.8	9.7	48.8	0
6. VA(休閑)	200kg/ha	91年1月	147.7	48.3	99.3	20.7	11.8	17.5	1.6	47.7	0.1
7. VA(休閑)	0kg/ha	91年6月	130.7	25.1	105.6	18.4	12.2	15.0	10.0	50.0	0
8. VA(休閑)	0kg/ha	91年1月	140.0	44.6	95.4	20.5	9.9	12.5	2.2	50.3	0.1

注：数値の単位は窒素mg/乾土100g

表2に有機態窒素の分画および全窒素、無機態窒素の分析値を示した。表の数値によると無機態窒素は極めて少なく、土壌中窒素のほとんどは有機態窒素である。酸加水分解性窒素からアミド・アンモニア態窒素、アミノ糖態窒素、アミノ酸態窒素、フミン態窒素を差引いた、未同定の有機態窒素の占める割合が日本の土壌より著しく高いのが特徴的である。フミン態窒素の分析値が低いのが、全窒素から無機態窒素と酸加水分解性窒素を差引いた酸不溶性窒素の中に、フミン態窒素が多く含まれると言われている(井田ら、1978)。

表3 土壌中有機態窒素値に関する分散分析

試 験 設 計				分 散 分 析			
項 目	要 因	第1水準	第2水準	自由度	平方和	分 散	F検定
全窒素	A. 冬季栽培	FB(菜豆)	VA(休閒)	1	741.13	741.13	15.89*
	B. 窒素施肥量	200kg/ha	0kg/ha	1	120.13	120.13	2.58
	C. 採土時期	91年6月	91年1月	1	3.13	3.13	0.07
	誤差			4	186.52	46.63	
酸加水分解性窒素	A. 冬季栽培	FB	VA	1	1452.61	1452.61	497.47**
	B. 窒素施肥量	200kg/ha	0kg/ha	1	30.42	30.42	10.42*
	C. 採土時期	91年6月	91年1月	1	123.25	123.25	42.21**
	誤差			4	11.69	2.92	
アミド・アンモニア態窒素	A. 冬季栽培	FB	VA	1	3.00	3.00	1.14
	B. 窒素施肥量	200kg/ha	0kg/ha	1	0.78	0.78	(-)0.10
	C. 採土時期	91年6月	91年1月	1	0.06	0.06	(-)0.02
	誤差			4	10.54	2.64	
アミノ糖態窒素	A. 冬季栽培	FB	VA	1	21.13	21.13	30.71**
	B. 窒素施肥量	200kg/ha	0kg/ha	1	5.12	5.12	7.44
	C. 採土時期	91年6月	91年1月	1	0.85	0.85	1.24
	誤差			4	2.75	0.69	
アミノ酸態窒素	A. 冬季栽培	FB	VA	1	94.53	94.53	48.40**
	B. 窒素施肥量	200kg/ha	0kg/ha	1	19.53	19.53	10.00*
	C. 採土時期	91年6月	91年1月	1	3.25	3.25	1.60
	誤差			4	7.81	1.95	
フミン態窒素	A. 冬季栽培	FB	VA	1	6.66	6.66	15.48*
	B. 窒素施肥量	200kg/ha	0kg/ha	1	0.55	0.55	(-)1.28
	C. 採土時期	91年6月	91年1月	1	125.61	125.61	292.12**
	誤差			4	1.72	0.43	
注: * 5%の危険率で有意差あり ** 1%の危険率で有意差あり							

表3に要因別の分散分析を行った結果を示した。菜豆栽培の効果を見ると、FB区はVA区より酸加水分解性窒素、アミノ糖態窒素、アミノ酸態窒素の分析値が1%危険率で有意に高く、全窒素、フミン態窒素の分析値は5%の危険率で有意に高い。

アミノ酸態窒素およびアミノ糖態窒素が、菜豆(FB)の栽培によって増加していることは、土壌中の作物に利用されやすい窒素が増えていること、すなわち窒素肥沃度が向上し

ていることを示しており、とうもろこし収量にも応答している。

窒素施肥の効果を見ると、窒素を200kg/ha施肥した場合、窒素無施肥区より分析値が有意に高かったのは、酸加水分解性窒素とアミノ酸態窒素である。200kg/haの窒素施肥量でも、土壌の窒素肥沃度の向上に及ぼす影響は、菜豆(FB)栽培ほど明らかではない。

採土時期による差を見ると、冬季(乾季)の6月6日採取の土壌が夏季(雨季)の1月22日採取の土壌より分析値が有意に高かったのは、酸加水分解性窒素およびフミン態窒素である。フミン態窒素についてはF検定の数値が高く、乾季には雨季よりフミン態窒素が増加することが明らかであった。

有機態窒素の分画分析から得られたアミノ酸態窒素、アミノ糖態窒素などの分析値は、土壌の窒素肥沃度の指標として役立つが、特に最も重要であるアミノ酸態窒素の分析手順が複雑であるため、多量の土壌試料を分析するには不向きである。

要 約

セラード土壌における窒素肥沃度、さらに関連して作物生産力を評価するため、1988年から冬季(乾季)に菜豆(FB)、豆類(TC)などの栽培および休閑(VA)の試験区を設け、夏季(雨季)にとうもろこしを栽培している圃場から土壌を採取して分析試料とした。

土壌試料は窒素の施肥量について200kg/ha区と0kg/ha区を選び、0~15cmと15~30cmの深さに分け、91年1月と6月に採取した。

分析項目は全窒素、可給態窒素、バイオマス窒素、有機態窒素の分画とした。

得られた結果は次のようである。

1. 土壌の全窒素分析値と、その採土した試験区から92年4月に収穫したとうもろこしの収量との間に高い相関関係が認められる場合がある。採土の条件を決めることによって、使用した土壌についての窒素肥沃度の評価に全窒素の分析が有効であることが認められた。全窒素の分析法は以前から一般的に行われており、実験操作は簡単である。
2. 可給態窒素の分析値と、とうもろこし収量との間の相関係数は低かった。また、最も簡便な分析方法である抽出液比色法による数値と、抽出液Kjeldahl法による可給態窒素の分析値との相関関係は不十分であった。これはラトソルによる抽出液の着色が、比色法の数値を不安定にしたと考えられた。比色法、Kjeldahl法ともに、分析値を土壌の窒素肥沃度の指標に用いるには不適當であった。
3. バイオマス窒素の分析値と、とうもろこし収量との間の相関関係は、6月採取の土壌で高く、土壌の窒素肥沃度の評価に使用できると考えられた。バイオマス窒素の分析には、最初の分析試料の調整段階と、殺菌後の微生物遺体の分解段階で、培養の期間を合計6週

間必要とするのが難点であるが、実験操作としては簡単である。

4. 有機態窒素の分画分析によると、酸加水分解性窒素、アミノ糖態窒素、アミノ酸態窒素などの分析値が、菜豆栽培と残渣の鋤込みによって休閑(VA)地の土壌より明らかに増加した。またこれらの分析値が高い土壌の試験区では、とうもろこしの収量も高かった。

アミノ酸態窒素は土壌の作物生産力に最もよく応答し、アミノ糖態窒素がそれに次ぐと言われており、これらの分析値は窒素肥沃度の指標に適しているが、分析方法が複雑なのが難点である。その他フミン態窒素は、乾季に採取した土壌中に、雨季のものより明らかに多く含まれるという特徴を示した。

引用文献

- DELWICHE, C.C. : The nitrogen cycle, *Sci. Amer.*, 233, 3, 136~146 (1970)
- 井田明・深山政治・森哲郎・徳永美治 : 有機態窒素の分画定量法、土壌養分分析法、201~205、養賢堂、東京 (1978)
- JENKINSON, D.S.・POWLSON, D.S. : The effect of biocidal treatment on metabolism in soil- I. Fumigation with chloroform, *Soil Biol. Biochem.*, 8, 167~177 (1976 a)
- JENKINSON, D.S.・POWLSON, D.S. : The effect of biocidal treatment on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass, *Soil Biol. Biochem.*, 8, 209~213 (1976 b)
- KENNEY, D.R.・BREMNER, J.M. : Comparison and evaluation of laboratory method of obtaining an index of soil nitrogen availability, *Agron. J.*, 58, 498~503 (1966)
- 丸本卓哉 : バイオマスN, 土壌標準分析・測定法, 307~311, 博友社、東京 (1986)
- 小川吉雄・加藤弘道・石川実 : リン酸緩衝液抽出による可給態窒素の簡易測定法, 土肥誌, 60, 160~163 (1989)
- ROBERTSON, K.・SCHNURER, J.・CLARHOLM, M.・BONDE, T.A.・ROSSWALL, T. : Microbial biomass in relation to C and N mineralization during laboratory incubations, *Soil Biol. Biochem.*, 20, 281~286 (1988)
- STANFORD, G.・SMITH, S.J. : Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction, *Soil.*, 126, 210~218 (1978)
- SUHET, A.R.・PERES, J.R.R.・VARGAS, M.A.T. : Nitrogênio, Solos dos Cerrados, 167~202, Planaltina, EMBRAPA-CPAC/São Paulo, Nobel (1985)

都留信也：農林生態系の窒素循環と土壤バイオマス，農及園，57，1011～1016（1982）

YAMAGUCHI, T.・VARGAS, M.A.T.・JUNIOR, A.L. : Emissão de monóxido de nitrogênio do solo e sua medida por cromatografia gasosa no Brasil, Trabalho a presentado no seminario de 23 e 24. 10. 91 (1991)

14. セラード地域におけるインゲン菌核病の発生生態について

派遣専門家：三枝隆夫（作物病理）

（90.4～92.8）

カウンターパート：M.J.d'A.Charchar

セラード地域におけるインゲン菌核病の発生生態について

三 枝 隆 夫 (JICA)

M.J.d'A.CHARCHAR(CPAC)

近年までセラード地域においてインゲン菌核病は、それ程重要な病害とは考えられていなかった。ミナス・ジェライス州の一般圃場における病害発生調査でも、本病の発生は極めて少なく (EPAMIG, 1988)、本病はむしろ貯蔵や運搬時に被害をもたらす病害として警戒されてきていた (Sartoratoら, 1987)。しかしCharcharら (1990, 1991) が、灌漑圃場における本病の多発を報告して以来、セラード地域における本病の重要性が認識されるようになってきた。

菌核病は*Sclerotinia*属の糸状菌が寄生して起こる病害で、*S.sclerotiorum*, *S.trifoliorum*, および*S.minor*等の病菌が知られている。なかでも、*S.sclerotiorum*は寄主範囲が広く、64科225属の383種 (栽培品種を含む) の植物に寄生するとの報告もあり (Purdy, 1979)、種々の作物に多くの被害を与えている。

本病菌の特徴は、感染した寄主植物の病斑上に菌核を形成することである (写真A)。菌核は菌糸が密に集合したもので、大きさは数mmから10mm程度のもので様々あり、成熟したものは黒色で丁度糞状の外観を呈している。この菌核が、寄主植物の枯死または作物の収穫時等に落下、土壤に混入し次作時の発病源になるわけである。菌核はまた、温度や湿度の変化など不利な環境条件にも抵抗力が強く、生育に適した条件に遭遇するまで少なくとも3年 (Steadman, 1983)、あるいは3~8年 (Adamsら, 1979) 土壤中では活性を持続するといわれている。従って、一旦、本病菌が侵入した圃場での防除は極めて難しく、後記するごとく発病後の農業による防除もその生息環境から著しく困難を伴う病害となっている。

著者の一人三枝は、1990年4月からJICA派遣の専門家としてCPACに赴任し、1992年8月までの2年4カ月、本病害の発生生態に関する研究に従事した。短期 (期間中の作期は2度) の上、言葉や習慣の違いなどの障害もあり満足すべき調査・研究とは言い難いが、以下、セラード地域における本病の生態——特に菌核から生ずる白色菌糸からの感染・発病を中心に、知り得たところを報告する。

本稿を草するに当たり、種々ご指導いただいた当プロジェクトチームの前リーダー・渡辺文吉郎博士、現リーダー・守中正博士、調査に同行した試験に協力いただいたCPAC病理実験室の皆様には厚く感謝いたします。

I. 圃場調査

1) Brasilia-DF内圃場における調査

Brasilia-DF（ブラジリア連邦区、以下DFと略記する）地域内においては4カ所の発病圃場について調査を行った（表1）。

表1 調査した発病圃場（DF）

圃場名	地域	作物	発病程度
Rondon	Rio Preto	インゲン	++
Bonato	Jardim	インゲン	+
R.L.	PAD/DF	インゲン, エンドウ	++ (エンドウ)
Campinas	Rio Preto	インゲン, エンドウ	+ (エンドウ)

注) 何れの圃場も乾期にはPivô Centralを用いて灌水

これらの圃場での発病が確認されたのは播種40~60日後であった。発病初期の頃から発病地点の地表面を注意深く観察したが、子のう盤の形成は認められず、地表面の随所に落葉等の有機物上に旺盛な病菌糸の蔓延が見られ、さらに、これら菌糸に接触した茎葉、莢等に伝播・拡大しているのが観察された（写真B, C, D）。Rondon圃場で発病の最も強い場所に5m×5mの区画を作り、1週間毎の発病拡大の様子を記録した（表2）。

表2 菌核病の拡大（Rondon圃場）

調査年月日	'90. 7. 25	'90. 8. 1	'90. 8. 9
罹病苗数	36(本)	320(本)	全苗

注 1) 5×5mの区画を固定し一週間ごとに調査した。

2) 区画内の苗は約600本

3) 播種日：'90. 5. 28-30

3週間後にはほぼ全株が罹病したことが解る。しかしこの時点においても、圃場の表面を眺めただけでは本病の発生は解らない。上面に繁茂した緑葉をかき分けて、初めて下部の茎葉に発病していることが解る。前記した如く、本病は播種40~60日後から発生が認められるが、この頃は繁茂したインゲンの茎葉が完全に地表面を覆っており、上方から地表面を見ることは出来ない状態にある。即ち、地表面と上方に繁茂した茎葉との間は薄暗く且つ多湿という病菌の生育にとっては好適な空間が形成されており、ここで接触による病菌の健全部への伝播・拡大が行われているわけである(写真E)。乾期(即ち灌水実施期)の平均気温は20~25℃(図1)と本病菌の生育適温にほぼ一致し、このことも本病の拡大をより促進しているものと思われる。

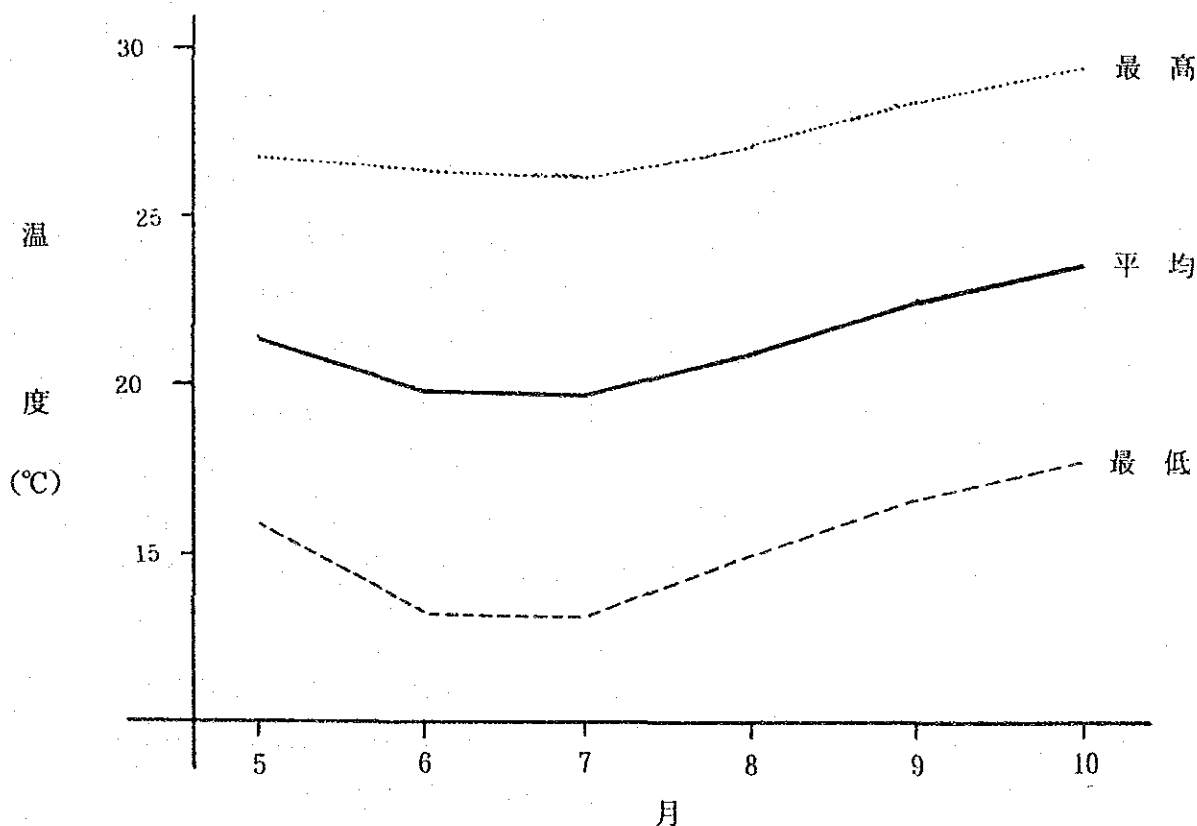


図1 乾期の気温(平均)

注) CPAC圃場での測定値

2) Paracatu-MG地域における調査

当地域はCPACの東南約300kmに位置する。ミナスジェライス州にあり、セラード開発の一翼をになう入植地が展開するところである。遠距離の為DF地域に比べ調査回数

は少なく、また、「本病の発生が目立つ」との連絡を受けてから出掛けるため、発病初期の調査は難しかった。この地域での発病がDFと異なる点は、発病箇所の地表面に多くの子とう盤形成が認められ、また子とう胞子によると思われる枯死花の感染も観察されることである（写真F, G）。子とう盤は1㎡に1～17個とばらつきがあったが、子とう盤を形成している菌核の深さは0～3 cmにその大部分が存在していた（表3, 4）。

表3 発病箇所の子とう盤数（1㎡当たり）

発病圃場	地点	子とう盤数
A	a	7
	b	4
	c	1
	d	1
	e	2
B	f	6
	g	4
	h	11
	i	17
	j	7

注) 2 発病圃場の発病場所で任意の地点 (a～e, f～j) を選び調査

勿論、白色の菌糸が落葉その他の有機物上で旺盛な進展をしている点はDFの圃場と変わらない。聞き取り調査では、発病は播種後35～60日頃からで、やはりDFと大差ないが、この時期は開花期を少し過ぎた時期にも相当し、子とう胞子の花器感染の時期とも重なっていた。

表4 子のう盤を形成した菌核の土壤中における深さ (Paracatu, 1991)

深 さ	菌 核 数	子のう盤数 (菌核当たり)		
		平 均	最 少	最 多
(cm)	(箇)	(箇)	(箇)	(箇)
0 - 1	25	3.1	1	6
1 - 2	32	2.8	1	6
2 - 3	11	2.3	1	4
3 - 4	4	1.3	1	3
4 - 5	1	1.0	1	-
5 <	0			

何故DFの圃場で子のう盤の形成が認められずParacatuでは存在するのか？ 土壌や気象的条件或は菌株の相異に由来するものなのか結論は得られなかった。しかし後記の室内試験で、DF圃場から採取した菌核を用いたポット試験で僅かではあるが子のう盤を形成させ得たことは、DF内圃場の菌核にも子のう盤の形成能力を有していることを窺わせる。

両地域で共通していることは、本病の発生・蔓延が、インゲンの茎葉で圃場が全て被覆された後、地表面と上方で繁茂した茎葉との間に作られた空間で行われていることである。このことは、本病が発生してからの農業散布による防除の難しさを示している。ブラジルでは、本病防除の為の農業散布試験は未だ行われておらず、耐病性品種の植付けや2, 3の栽培的防除法が推奨されているにすぎない。この2年余に亘る調査で、防除に直接結びつく新知見は得られなかったが、いずれにしても本病の発生源は前作までに混入した土壤中の菌核であることは確かなのだから、この菌核を対象にした防除法の確立が強く望まれる。

II. 室内試験

1) 分離した菌株の同定

作物の罹病部位から分離した菌株は表5に示す14株である。寄主植物はインゲンを主とし、他にダイズ、エンドウ等の豆類、さらに参考としてトマト、スイカおよびコ

ショーも加えた。

同定は、1992年2～3月に中島隆（JICA短期派遣専門家）によって行われた。これらの菌株を、日本から持ち込んだ*Sclerotinia sclerotiorum*および*S.trifoliorum*と対峙培養したり温度反応を比較・検討した結果、14菌株の全てが*S.sclerotiorum*であろうと推察された（Nakajimaら、1992）。最終的な断定をする為には、子のう盤の形成、子のう胞子の測定などが必要である。

表5 *Sclerotinia*分離株の採取場所・時期および寄主

菌 株	採 取 場 所	採 取 年 月	分 離 作 物
Rond.	Rio Preto , DF	1990 . 7	インゲン
Claud.	Jardim , DF	" . 10	"
Rubens	PAD , DF	" . 7	エンドウ
Camp.	Rio Preto , DF	" . 8	"
SG-1	São Gotardo , MG	1991 . 3	ダイズ
SG-2	"	" . 3	"
SG-3	"	" . 3	"
Para-1	Paracatú , MG	1990 . 7	インゲン
Para-2	"	1991 . 2	"
Para-3	"	" . 2	"
Para-4	"	" . 2	"
Suika	"	" . 8	スイカ
Kosyo	,DF	1990 . 8	コショウ
Tomato	Rio Preto , DF	1991 . 7	トマト

2) 菌株の発芽

1989年にRondon圃場より採取し5～7℃に冷蔵保存されていた菌株を、1990年6月に同じ圃場から採取した土壌を用い発芽試験を行った。径20cm樹脂製ポットに前記土壌を充たし、0～5mmと浅く覆土後直射日光を避けた室内に放置した。その結果、供試菌核410個のうち1カ月後に1個、2カ月後に1個計2個の菌核に子のう盤の形成が認め

られた。これらの子のう盤は、Paracatuで採取した子のう盤に比べ菌柄は太く、子のう盤もやや深い肉厚の茶碗状を呈し、1個の菌核から形成された子のう盤数は5および8個とParacatuで見られたものTabelaより多かった(写真H, I)。しかし、子のうおよび子のう胞子には特に相異は認められなかった(写真J, K)。

なお、この試験で菌核を埋没後3~4日頃に土壤表面に旺盛な白色の菌糸の生育が認められ、この菌叢上にインゲンの切葉を置くと切葉に感染するのが観察された(写真L, M)。

3) 菌核による接種試験

前記2)と同じ菌核・土壤を用いてインゲン子苗に対する接種試験を行った。即ち、土壤に肥料を混入(N-P-K: 4-30-16)後ポットに充たし、インゲン(品種:カリオカ)を1ポットに2粒宛播種した。10日後に子苗の地際に菌核(1g, 0.3g)を5~10mmの深さに埋没した。さらに2)と同様、菌核30個をポットの土壤に浅く埋め、数日後土壤表面に伸びた菌糸の上にインゲンの切葉を置き感染させた切葉にインゲン子苗の健全葉を接触させる方法、および土壤表面の菌糸に直接健全葉を接触させる方法での接種試験も併せ行った(図2)。

結果は表6の通りで、菌核を埋没した区に発病は認められなかった。一方土壤表面に伸長した菌糸から切葉を経由して、或は直接の接触でも健全葉に感染・発病させることができた。

表6 接種試験(ガラス室)

接種方法	供試苗数	発病苗数
地際に菌核を埋没(1g)	15(本)	0(本)
" (0.3g)	15 "	0 "
A*	7 "	5 "
B*	5 "	4 "
対照(無接種)	5 "	0 "

※ 図2参照

切葉を經由して感染するのは圃場での観察結果と同様であるが、直接の接触で感染する場合、土壤に接触した葉の部分が水浸状の腐敗症状を呈し腐朽しかかったところから感染が行われていたので、実質的に両者に差異は無いように思われた。

以上の結果は、圃場における一特にDFの圃場—菌核からの菌糸も発病に重要な役割を果たしていることを示唆しているものと考えられる。

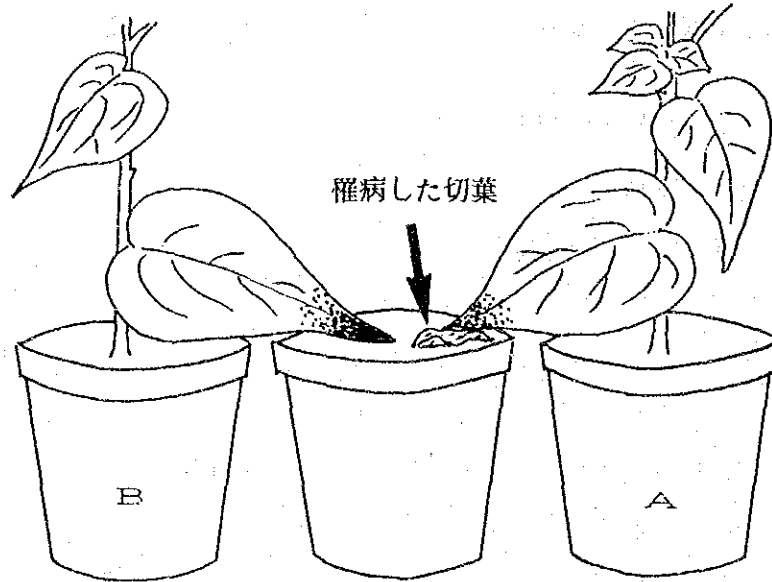


図2 インゲン苗への*S. sclerotiorum*の接種法

- A) 地表上の罹病切葉を經由しての接種
- B) 地表上の菌糸に直接接触させての接種

III. 論 議

インゲン圃場における本病の発生は、一部汚染種子による可能性もある (Steadman, 1975) が、その殆どが前作までに圃場の土壤に混入した菌核に起因するものと考えられる。

適当な温度および湿度条件になると菌核は発芽を始めるが、この時白色の細い菌糸を伸長させる発芽と、太い肉質状の菌糸束を地表面まで伸ばし先端に子実体と呼ばれる子実体を形成する、2種の発芽が知られている。日本のインゲン圃場では、後者の発芽が重要且つ一般的で子実体から飛散される子実体の胞子が主要な第1次発病源とされている (Akai, 1981)。これに対し前者の発芽は、室内試験では若干の発病が認められてはいるものの、圃場での感染は殆ど問題にならない程度のもの (Sugimoto, 1959) と考えられている。しかし著者らのDFにおける発病調査では、子実体が発病の原因と認められず菌糸のみによる発病が著しい圃場の存在が確認された。この原因究明が急務と思われる。Saito (1977) は、菌糸発芽した菌核は子実体形成が抑制される傾向にあると述べている。

Adamsら (1976) は、菌核から生じた菌糸が直接レタス苗を侵害することを報告している。しかし、レタス苗は通常 rosette stage までは感染せず、生長するに伴い下位葉が老朽あるいは枯死し始めた時に初めて菌の侵入を受ける (Purdy, 1958)、あるいは、菌核がレタス苗に密着ないし 2 mm 以内の距離に存在する時にのみ感染が起こる (Newton, 1972) などの報告もある。

インゲンにおいては、菌糸が直接、子苗に感染・発病するとの報告は室内試験を除くと見当たらず、圃場では腐った種子や茎葉等で一旦増殖した後接触により健全部位に侵入、拡大していく、との報告が多い (Hungerfordら, 1953・Natti, 1971・Abawiら, 1975)。Steadman (1983) も菌糸が直接苗に感染することには否定的な見解を述べている。勿論、何れの報告も主要な第一次発病源は子のう胞子である、としていることは云うまでもない。

本研究における圃場調査や接種試験でも、菌核からの菌糸が直接インゲンの健全部分を侵害する例は認められず、地表面の落葉等で一旦増殖した後、それに接触する健全部位に伝播していた。このことは、本病菌の子のう胞子も直接健全部に侵入できず、枯死葉や萎凋花器を経由して健全部に拡大していくのと類似している。

最後に本病の防除について若干の私見を記しておく。本病が発生してからの農業による防除が極めて難しいであろうことは既に述べた。従って防除は、如何に土壤中の菌核の活性を減退または消滅させるか、が主眼になるであろう。本研究の調査でも示されたように、子のう盤を形成する菌核は大部分が 3 cm 以内の浅いところに存在していた (表 4)。Merriman (1976, 1979) は、深耕による菌核の埋没が子のう盤の形成を減少させるとしているが、菌核の活性持続期間が長いことから、再度の深耕により地表近くに戻る危険性を指摘している。実用的な防除法だけに、輪作などを組み込んだ今後の検討が望まれる。Radke (1986) は、ある種の除草剤が子のう盤の形成を阻害あるいは奇形化することを報じ、Santosら (1989) は、菌核に寄生する糸状菌について報告し本病の生物的防除の可能性を示唆している。共に今後に期待を抱かせる研究であろう。

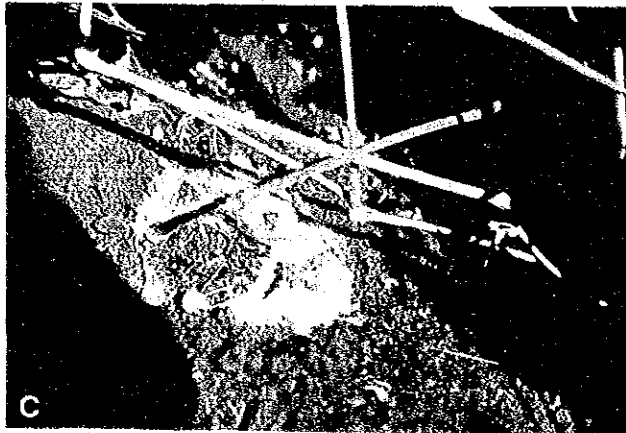
IV. 要 約

近年、セラード地域の灌漑圃場でインゲン菌核病 (*Sclerotinia sclerotiorum*) の発生が急激に増加している。本病は土壤中の菌核が発芽して子のう盤を形成し、そこに生ずる子のう胞子によって発病が惹起されるものと考えられてきたが、本研究により菌核から生ずる菌糸も本病の発生に重要な役割を果たしていることが明らかになった。しかし、本病の発生・拡大が繁茂したインゲンの茎葉の下で行われるため、発病後の農業散布による防除は極めて困難と思われた。土壤中に潜伏する菌核を対象とした防除法について若干の論議を行った。

文 献

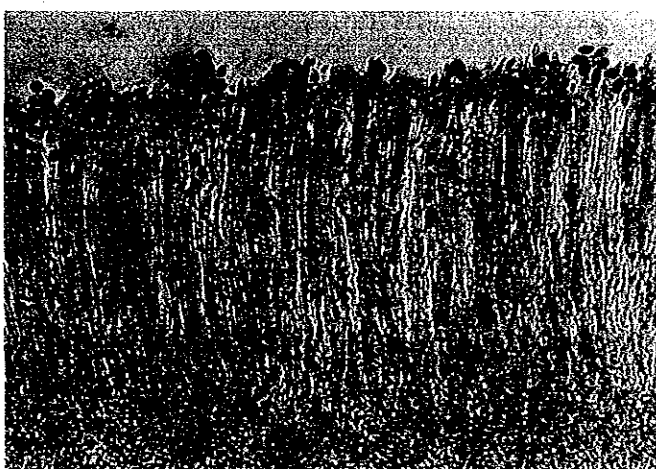
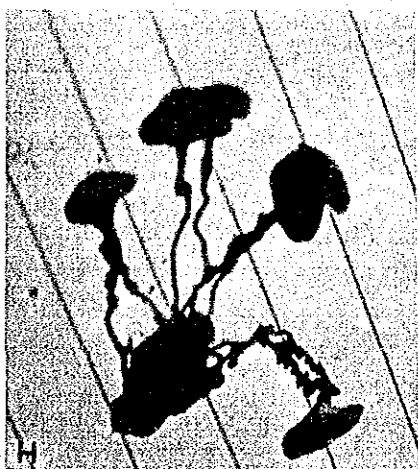
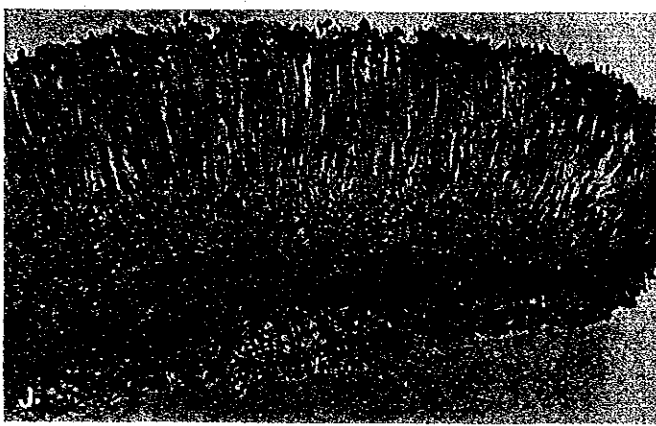
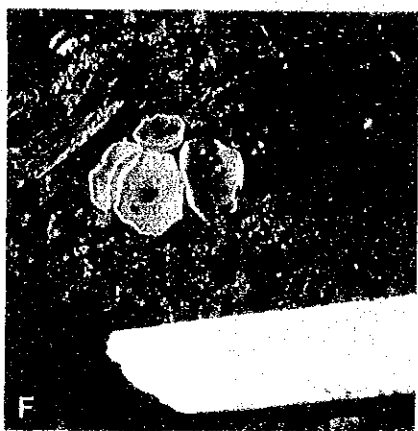
- 1) Abawi, G.S. and R.G. Grogan. 1975. Source of primary inoculum and effects of temperature and moisture on infection of beans by *Whetzelinia sclerotiorum*. *Phytopathology* 65 : 300-309.
- 2) Adams, P.B. and C.T. Tate. 1976. Mycelial germination of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* on soil. *Plant Dis. Rep.* 60 : 515-518.
- 3) Adams, P.B. and W.A. Ayers, 1979. Ecology of *Sclerotinia* species. *Phytopathology* 65 : 896-899.
- 4) Akai, J..1981. Studies on the epidemiology and control of *Sclerotinia* disease of beans caused by *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) De Bary. *Rep. Hokkaido Pref. Agr. Stn.* 36 : 1-83
- 5) Charchar, M.J. d'A., L.C.B. Nasser and A.C. Gomes. 1990. Levantamento de doenças do feijoeiro irrigado com pivô central no Distrito Federal. *Anais. I. Reunião sobre feijão irrigado (GO, DF, MG, ES, SP, RJ).*
- 6) Charchar, M.J. d'A., L.C.B. Nasser, A.J. Barreto Luiz and L.J. Vivaldi. 1991. Efeito de diferentes práticas culturais no controle do mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) do feijoeiro irrigado. *Fitopatol. Bras.* 16 (2) : 20
- 7) EPAMIG. 1988. *Bean diseases in the northern region of the state of Minas Gerais.* *Fitopatol. Bras.* 13 (3) : 230-235
- 8) Hungerford, C.W. and R. Pitts. 1953. The *Sclerotinia* disease of beans in Idaho. *Phytopathology* 43 : 519-521
- 9) Merriman, P.R.. 1976. Survival of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 8 : 385-389
- 10) Merriman, P.R., M. Pywell, G. Harrison and J. Nancarrow. 1979. Survival of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* and effects of cultivation practices on disease. *Soil Biology & Biochemistry* 11 : 567-570
- 11) Nakajima T., M.J. d'Á. Charchar and T. Mitsueda. 1992. Identification of causal fungi of *Sclerotinia* disease of legumes in Cerrado. (in press)
- 12) Natti, J.J., 1971. Epidemiology and control of bean white mold. *Phytopatology* 61 : 669-674
- 13) Newton, H.C. and L. Sequeira. 1972. Ascospores as the primary infective propagulu of *Sclerotinia sclerotiorum* in Wisconsin. *Plant Dis. Rep.* 56 : 798-802

- 14) Partyka, R.E. and W.F. Mai. 1962. Effects of environment and some chemicals on *Sclerotinia sclerotiorum* in laboratory and potato field. *Phytopathology* 52 : 766-770
- 15) Purdy, L.H.. 1958. Some factors affecting penetration and infection by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Phytopathology* 48 : 605-609
- 16) Purdy, L.H.. 1979. *Sclerotinia sclerotiorum* : History, diseases and symptomatology, host range, geographic distribution and impact. *Phytopathology* 69 : 875-880
- 17) Radke, V.L.. 1986. Effects of herbicides on carpogenic germination of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Dis.* 70 : 19-23
- 18) Saito, I.. 1977. Studies on the maturation and germination of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) De Bary, a causal fungus of bean stem rot. Rep. Hokkaido Pref. Agr. Exp. Stn. 26 : 1-106
- 19) Santos, A.F. and O.D. Dhingra. 1989. Pathogenicity of *Gliocladium* on the sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Fitopatol. Bras.* 14 : 198-200
- 20) Sartorato, A., C.A. Rava and M. Yokoyama. 1987. Principais doenças e pragas do feijoeiro comum no Brasil (3ª edição). P.12. EMBRAPA/CNPAP (Goiânia)
- 21) Steadman, J.R.. 1975. Nature and epidemiological significance of infection of bean seed by *Whetzelinia sclerotiorum*. *Phytopathology* 65 : 1323-1324
- 22) Steadman, J.R.. 1983. White mold—a serious yield-limiting disease of bean. *Plant Dis.* 67 : 346-350
- 23) Sugimoto T., 1959. Studies on the sclerotial disease of bean plants in relation to the mycelia development of the causal fungus. *Memoir Facul. Agr. Hokkaido Univ.* 3(2) : 114-120



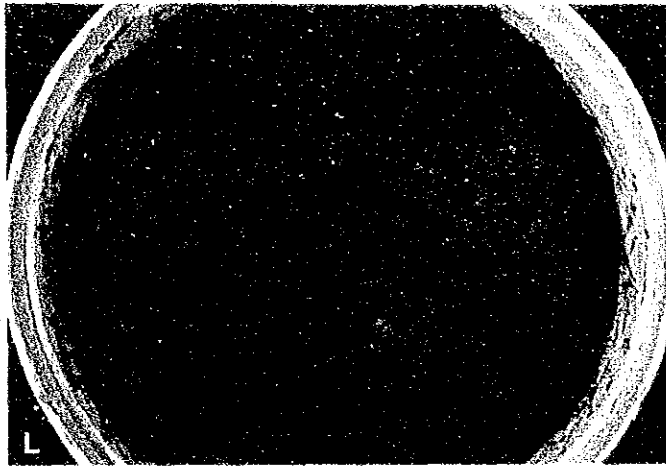
写真説明 I

- A 病斑上に形成された菌核。
- B 地表面の有機物（落葉や枯死茎等）で増殖した病菌糸。
- C 同上。
- D 有機物で増殖した病菌糸からの感染。
- E 病斑との接触による感染。



写真説明 II

- F 圃場での子のう盤 (右下はタバコ)。
- G 子のう胞子で感染した枯死花。
- H 圃場から採取した子のう盤。
- I ポット内土壌で形成された子のう盤。
- J 子のう盤の断面 (×100)。
- K 同上 (×600)。



写真説明Ⅲ

L ポットに菌核を埋没して4日後の土壌表面。

M 上記の土壌表面に切葉を置くと感染する。

JICA