

雨季における土壌養・水分の保全 (予備試験)

On conservation of soil element and moisture during rainy season (Preliminary experiment)

早坂 猛

TAKESHI HAYASAKA

研究の背景と目的

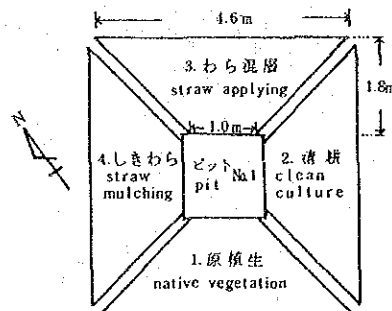
セラード農業の生産性制限因子の一つは、土壌の水分条件である。土壌水分が少なれば作物が十分な生長がとげられないことは言うまでもないが、多すぎても、その浸透による養分流亡が起るために、肥料の損失が起る。セラードの気候の特性として、雨季の間に小乾季がはさまれるのが通例であり、灌漑設備がない場合には、この期間の水分損失を最小にとどめる技術対策が必要となる。逆に灌漑農業の場合は、必要以上の水を与えることによって肥料の損失を起す可能性がある。このような適正な水分を管理するには、土壌の保水性や、作物による水分利用特性といった詳細なデータを集積して、現場の実態を明らかにすることが、第一に必要なことである。

この報告では、このような視点に立つ予備試験の一つとして、土壌の保水性を増すため、土壌の表面をわらやビニール布で被覆するマルチ法の検討とともに、土壌中を流亡する肥料成分の実態も明らかにしようとした。研究期間が短かったので、不十分な成績ではあるが、今後の参考として、主な結果と研究上の問題点について報告する。

研究の材料と方法

1. 1983/84年の作期

ピットNo.1の周辺を第1図に示すような面積5㎡の4つの試験区に分け、セラードの原植生を対照として、第1表に示した処理の中から、12月中旬に切わらの混層を行ない、さらに原植生を除く各区へ、第2表に示す窒素(N)の1/2量とリン酸(P_2O_5)、カリ(K_2O)の全量を基肥として施し、引つづいて陸稲IAC-25を播種した。1か月後に原植生を除く各区に施肥窒素の1/2量を、追肥として施し、1月末にしきわらを行なった後、各区の土壌水分の推移を調査した。土壌水分は各区の深さ25・50・75・100 cmの4点にテンションメーターを埋設し、水分張力の変動を観測記録した。4月下旬に各区全体について陸稲の収穫量の調査を行った。



第1図 試験区の配置(1983/84)
Fig 1 Plotting of experiment (1983/84)

第1表 試験設計 (1983/84)

Tab 1 Scheme of experiment (1983/84)

区分 plots	処 理 treatment
1. 原 植 生 native vegetation	原植生のまま、施肥しない。 leave native vegetation without fertilizer
2. 清 耕 clean culture	化学肥料のみ施し、陸稲IAC-25を栽培。 applying chemical fertilizer only, upland rice (IAC-25) was cultured.
3. わら混層 straw appling	切りわら(kg/m ²)と肥料を施し、陸稲を栽培。 appling cut rice-straw & fertilizer, upland rice was cultured.
4. わらマルチ straw mulching	肥料を施し、陸稲を栽培。2月以降わらで土面を被覆。 applying fertilizer, upland rice was cultured. covered soil surface with straw (kg/m ²) since Feb.

第2表 施肥設計

Tab 2 Scheme of fertilization

肥 料 fertilizers	施 肥 量 applied quantity	成 分 量 quantity of element
硫酸アムモニウム ammonium sulfate	200* kg/ha	N : 40 kg/ha
過リン酸石灰 super phosphate	6.65	P ₂ O ₅ : 133
よう成リン肥(yorin) welded phosphate	835	P ₂ O ₅ : 167
塩化カリ pottashium chloride	259	K ₂ O : 150
微量要素 minor element	50	BR - 12

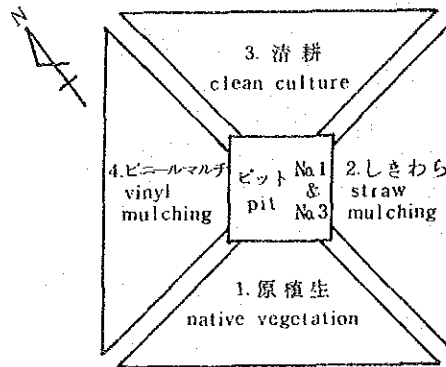
* 半量を基肥として施し、残りを追肥として1ヶ月後に施用。
a half part is for basal use before sowing, residual part is for top dressing after a month.

2. 1984/85年の作期

表面処理による土壌水分の効率的利用について、前年の試験にいくつかの要素を加えて試験を行なったが、その主な点は赤黄色ラトソル・暗赤色ラトソル・灰色低地土の土壌区分を対象としたこと、また、土壌溶液を定期的に採取して、その中の肥料成分の濃度を測定し、養分流亡の実態を明らかにしようとしたことである。

(1) 土壌面被覆による土壌水分管理

赤黄色ラトソルと暗赤色ラトソルについては、前年と同じくピットNo1（赤黄色ラトソル）とNo3（暗赤色ラトソル）の周辺を第2図に示したように、各区5㎡の4区に分け、第3表に示した処理を行なって土壌水分の変動と収穫量を比較した。前年と異なる点は、わら混層に代えてビニールマルチの試験を実施し、播種期を10月末に早めたことである。施肥、土壌水分張力の観測、ならびに陸稲の収穫調査を前年同様に行なった。



第2図 試験区の配置(1984/85)

Fig 2 Plotting of experiment (1984/85)

第3表 試験設計(1984/85)

Tab 3 Scheme of experiment (1984/85)

区 分 plots	処 理 treatment
1. 原 植 生 native vegetation	原植生のまま、施肥しない leave native vegetation without fertilizer.
2. し き わ ら straw mulching	肥料を施し、陸稲を栽培。1月中旬以降麦わらで土面を被覆。 applying chemical fertilizer, upland rice (IAC-25) was cultured. covered soil surface with wheat straw (kg/m ²) since middle of Jan.
3. 清 耕 clean culture	化学肥料のみ施し、陸稲を栽培。 applying chemical fertilizer only, upland rice was cultured.
4. ビニールマルチ vinyl mulching	肥料を施し、陸稲を栽培。1月中旬以降ビニールクロスで土面を被覆。 applying fertilizer, upland rice was cultured. covered soil surface with vinyl cloth.

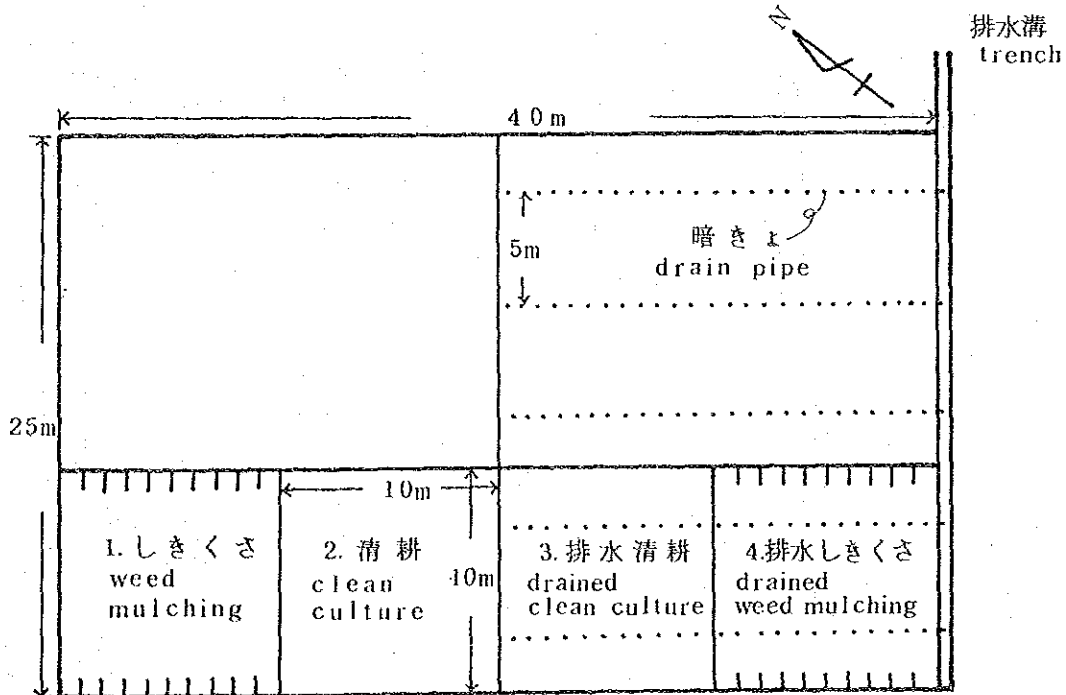
灰色低地土については、低湿地（バルゼア）の開発利用の実験ということから、機械の走行性を調査したピットNo.4の近くのテラス面に20aの畑を造成し、刈草による土面被覆と有孔ビニールパイプによる暗きよ排水を組合わせて試験を行なった。各試験区の配置を第3図に、また土壌改良などの処理の概要を第4表に示した。11月に施肥した後、陸稲IAC-47を播種したが、施肥は全量を元肥とした。各区の土壌の乾湿の状況を、深さ25・50・75cmの各点に埋設したテンションメーターにより、土壌水分張力の変動として観測したが、地下水位が高いので深さ100cmの点は観測しなかった。4月上旬に、各区4㎡ずつ刈取って、陸稲の収穫量を調査した。

(2) 土壌溶液の採取と養分流亡の実態解明

1984/85年の作期に、第4図に示すような土壌溶液採取器を、各区の深さ20・40・60・80・100cmの土層に挿し込み、管の中を減圧して、ポーラスカップを通して土壌溶液を吸引採取し、含まれる陰イオンをイオンクロマトアナライザーで分析した。また、陽イオンについては、Ca・Mgを原子吸光光度計、Na・Kを炎光光度計により分析した。

(3) 小麦の栽培と跡地土壌の分析

灰色低地土の試験区は、陸稲の後にアルミ耐性の小麦BR-1146を播種したが、生育が極端に悪かったので試験を中止し、陸稲の試験区分の各区の、深さ10・25・50・75cmの各土層から分析用土壌を採取し、簡単な理化学分析を行なった。

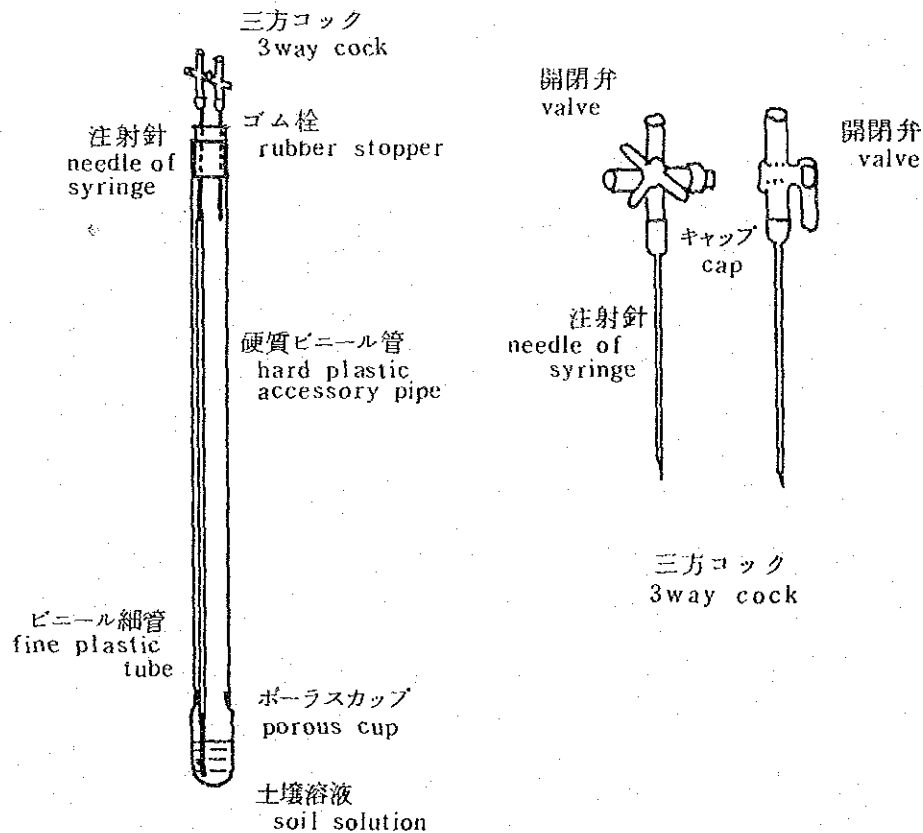


第3図 試験区の配置(灰色低地土1984/85)

Fig 3 Plotting of experiment (hydromorphic soil 1984/85)

第4表 試験設計 (灰色低地土, 1984/85)
 Tab 4 Scheme of experiment (hydromorphic soil 1984/85)

区分 plots 処理 treatment	1. 清耕 clean culture	2. しきくさ weed mulching	3. 排水清耕 drained clean culture	4. 排水しきくさ drained weed mulching
土壌改良 soil amendment	(ha当たり) 苦土石灰 5,000; よう成リン肥 800kg; ZnO 20kgを土壌改良資材として、深さ15cmの表土層に混和。 (per ha.) dolomite 5,000kg; welded phosphate (yarin) 800kg; ZnO 20kg were mixed into 15cm depth of soil surface layer as soil amendment stuffs.			
施肥 fertilization	化成肥料 N: P: K 4-30-16(効)の400kg/ha相当量を基肥として全量施用 corresponding to 400kg/ha of compound fertilizer (N: P: K 4-30-16) was dressed at a time for basal use.			
排水 drainage	自然排水 natural drainage (non-treatment)		孔あきビニール管を60cmの深さの土層にドレンパイプとして埋設。 lay plastic drain-pipe (having small holes) at 60cm depth.	
表面処理 surface treatment	清耕 clean culture	しきくさ (1月中旬以降) weed mulching (since middle of Jan.)	清耕 clean culture	しきくさ (1月中旬以降) weed mulching (since middle of Jan.)



第4図 土壌溶液採取器

Fig 4 Apparatus for sucking soil solution up

結果と参考

1. 1983/84年の作期

わらマルチ区の稲が十分伸びた1月下旬に、その畦間に5kgの稲わらを敷きつめた。この量は、わら混層区に切わらとして表土に混和したのと同量であり、10l/haに相当する。この段階では、漕耕区としきわら区の陸稲の生長に差はなかったが、わら混層区では明らかに生長が遅れた。この原因は、微生物によるわらの分解に際して窒素が奪われ、陸稲にとっては窒素飢餓の状態になったためと考えられ、実用的には施肥窒素の割増しを必要とする。

各区の深さ1mまでの土層の水分張力の変化を測定するための、テンションメーターの設置と点検が2月初めに完了し、2月6日から観測を開始した。その後の土壤水分張力の変化を第5表に示した。土壤水分張力の数値を、大略の乾湿の概念を示す記号に置きかえ見やすくした。記号

第5表 表面処理による土壤水分の変化

Tab 5 Soil moisture transition corresponding to their surface treatment

区分 plots		date 年		1984									
		月		2月 Feb.				3月 Mar.			4月 Apr.		
		深さ depth	日	6	14	22	27	7	12	21	2	10	
原植生 native vegetation	25cm	△	⊙	○	○	○	△	△	△	⊙	○		
	50	○	○	○	○	△	△	△	○	○			
	75	○	⊙	○	△	△	△	○	○	○			
	100	△	○	○	○	△	△	△	△	○			
漕耕 clean culture	25	xx	○	○	○	△	xx	x	⊙	△			
	50	x	○	○	△	x	△	△	⊙	△			
	75	△	○	△	○	△	△	△	○	○			
	100	△	△	○	○	△	△	△	○	○			
しきわら straw mulching	25	x	○	○	○	△	△	△	⊙	○			
	50	△	○	○	○	x	△	△	⊙	○			
	75	△	○	○	○	△	△	△	⊙	○			
	100	△	△	△	△	△	△	○	⊙	○			
わら混層 straw applying	25	-	-	-	-	-	○	△	⊙	○			
	50	-	-	-	-	-	○	△	⊙	○			
	75	-	-	-	-	-	○	△	⊙	○			
	100	-	-	-	-	-	△	○	⊙	○			
期間中の雨量 precipitation for given period				148	11	0	66	42	37	97	38		
				mm									

記号 symbol	乾湿 humidity	水分張力(水柱高) tension(height of water column)	記号 symbol	乾湿 humidity	水分張力(水柱高) tension(height of water column)
⊙	湿潤 wet	0~50 cm	x	やや乾燥 rather dry	200~500 cm
○	やや湿潤 rather wet	50~100	xx	乾燥 dry	500<
△	適湿 favorable moist	100~200			

の示す範囲は、水分張力を水柱の高さで示した場合の0~50cm…湿潤、50~100cm…やゝ湿潤、100~200cm…適湿、200~500cm…やゝ乾燥、500cm以上…乾燥、という5段階にわけた。この区分は畑作物に対するもので、稲のように湿地を好む作物に対しては、適湿という段階で生長が悪くなり始めると考えられる。そのため記号としては△を用いた。なお、機材が不足したために、わら混層区のテンションメーターの設備が遅れ、3月中旬から観測を始めた。

第5表の中で指摘できる点は原植生の場合の土壌の乾燥が遅い点であるが、ピット造成の際に荒されたためと思われる。これに対して作物の場合は生産力の高さに応じて、水分消費量が大きいと考えられるが、3月のデータにこの差が現れている。この頃には、しきわら区の稲の生育は、清耕区よりもまさっていたが、土層の水分は清耕区よりもむしろ多く、とくに表層の乾湿の差が明らかであり、しきわらによって水分消費の節約と効率化が行われたものと考えられる。また、わら混層区はテンションメーターの設置が遅れて観測値が少ないが、稲の生育が劣っていたため、しきわら区と同等の結果であった。このように土壌水分の状態は、作物の生長量に応じて変化するので、土壌水分の測定結果だけで水分の消費効率を判定することは危険であると考えられる。

4月26日に収穫調査を行なったが、正常に実った穂の他に、白穂と未熟な穂についても調査した。その結果は第6表に示すとおりであるが、各区の玄米収量は、しきわら区がhaあたり、1,224kgで最も多く、わら混層区はその約2/3、清耕区は約1/2にすぎなかった。わらの生産量に現れた見かけの生長は、わら混層区が最も劣っていたのに対し、玄米の収量は清耕区が最も劣っており、初期の生長が実りに至るまで持続しなかったことを暗示する。わらの生産量を100とした場合の玄米収量の割合は、清耕区40、わら混層区54、しきわら区64で、清耕区の能率が最も低かった。また完熟穂に対する未熟穂の割合は、わら混層区が最も多く、初期の生長の遅れが最後まで影響したのと考えられ、わらの還元に際しては窒素肥料の添加を要するものと考えられるが、わらの炭素率からみて、わら重量に対して、Nとして3%を加えれば十分であろう。また完熟穂に対する白穂の割合は、しきわら区が少なかった。いもち病が白穂の一つの原因であるが、開花期の3月中旬に表土の乾燥が進んだことも一つの原因と考えられ、土面蒸発が少なかった分だけ、しきわら区が有利であったと考えられる。

第6表 陸稲の収穫量(1983/84)

Tab 6 Crop of rice (1983/84)

収 穫 物 crop		区 分 plots	g/5m ²		
			清 耕 clean culture	わ ら 混 層 straw applying	し き わ ら straw mulching
完 熟 穂 matured ear	粳 rice unhulled		412	519	785
	玄 米 rice hulled		308	399	614
白 穂 sterile ear	粳 rice unhulled		37	50	54
	玄 米 rice hulled		24	39	42
未 熟 穂 premature ear	粳 rice unhulled		21	46	60
	玄 米 rice hulled		15	30	40
収 量 * productivity kg/ha	粳 rice unhulled		824	1,038	1,570
	玄 米 rice hulled		616 (40)	798 (54)	1,224 (64)
わ ら 生 産 量 productivity of straw		kg/ha	1,532 (100)	1,475 (100)	1,898 (100)

* 収量は完熟穂のみによる値

productivity is calculated by matured ear only

()はわら生産量を100とする玄米の割合

() ratio of unhulled rice vs. straw productivity (index 100)

2. 1984/85年の作期

(1) 土壌面被覆による水分管理

ピットNo. 1, No. 3の周囲の試験区には10月末に施肥した後、陸稲1AC-25を播種した。11月に入って降雨が少なく、芽立ち後の生長が停滞した上に、ハキリアリの食害を受けたが、ピットNo. 1・No. 3ともしきわら区の被害が大きく、No. 3の方ではさらに小鳥の食害が加わった。No. 1ではビニールマルチ区がこれらに次ぐアリの食害を受けた。12月に入って雨量が多くなったので、苗の移植をすることにより、区間差を解消としようとしたが、しきわら区の障害を回復することはできなかった。12月末からはピットNo. 1がある台地には連日雲がかかり、日照不足と気温の低下のため、作物の生長は停滞したが、ピットNo. 3では日照が多く、体を感じる気温も高かった。稲の生長は十分でなかったが、1月中旬に畦間にビニールマルチとしきわらとの表面処理を行なった。2月に入ると短い小乾季(ペラニコ)に入り、早害のために稲の生長が停滞し、良好な条件に回復したのは2月末からであった。いくつもの障害の重複により、各区とも出穂が不揃いになり、5月初めから中旬にかけて、1週おきに3回、稔った穂だけ摘採するという変則的な収穫を行なった。

一方、灰色低地土の方は11月末に排水工事を伴う土層改良と施肥の後、播種を行なった。雨量も十分な時期にあっており、川沿いの樹林帯が防風林となった低地であるため空気が暖たまりやすく、芽立ち後の生長は順調で、12月末には草丈50cmを越えた。1月中旬にしきくさの表面処理を行なったが、2月の小乾季が開花期に重なり、しきわら区を除く各区の葉にしおれが現れた。3月は再び雨が多くなり、4月初めに各区4㎡の刈取り調査を行なった後、全体を収穫した。

赤黄色ラトソルのピットNo. 1, 暗赤色ラトソルのピットNo. 3周囲で行なった表面処理試験は、陸稲の栽培ということに関しては成功しなかったが、灰色低地土との対比で問題点を明らかにすることも目的に含まれるので、各土壌における土壌水分張力の変動を第7表として示した。

ピットNo. 1とNo. 3では、しきわら区の生育が悪かったので表からは除き、清耕区とビニールマルチ区を比較した。土壌の乾湿の表現は第5表と同じであるが、水分張力がマイナス値になる水浸しの状態を、黒丸で示す過湿の表現を加えた。ピットNo. 1の赤黄色ラトソルについて言えば、前回に比べて原植生の土層の乾燥が進みやすくなっているが、これはピットの設置のために踏み荒された植生が勢力を回復したためと推定される。そして6か月に近い経過の中で、深さ1mに至るまで一様に乾いたり湿ったりしている状態が大半で、土壌水分を効率的に利用する能力が作物よりも高いように見える。この点は暗赤色ラトソルのピットNo. 3でも同様である。清耕区とビニールマルチ区ではほとんど差がなく、僅かにマルチ区の方が多い程度であり、生育の最も悪かったしきわら区も清耕区と同様であった。経過の中では11月半ばまで土壌が乾いていたこと、2月に小乾季がはさまれたことが明らかである。

第7表 表面処理による土壌水分の変化

Tab 7 Soil moisture transition corresponding to their surface treatment

土壌 soil	区分 plots	深さ depth	date 年		1984						1985								
			月	日	10 Oct.		11 Nov.		12 Dec.		1 Jan.			2 Feb.		3 Mar.			4 Apr.
					24	31	14	21	12	19	2	9	30	6	13	20	27	6	19
赤黄色 ラトソル red yellow latosol	原植生 native vegetation	25cm	×	△	×	△	○	△	○	○	○	△	×	×	△	△	○	△	△
		50	×	△	×	△	○	△	○	○	○	△	△	×	×	△	○	○	△
		75	×	△	×	△	○	△	○	○	○	△	△	△	△	○	○	○	△
		100	×	×	×	△	○	△	○	○	○	△	△	△	△	○	○	○	△
	清耕 clean culture	25	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△	×	×	○	△	○	△	△
		50	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	△
		75	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	△
		100	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	△
	ビニール マルチ vinyl mulching	25	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	×	×	○	△	○	△
		50	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○
		75	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	△
		100	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○
暗赤色 ラトソル dark red latosol	原植生 native vegetation	25			×	×	○	△	△	○	○	○	×	×	○	△	○	△	
		50			×	△	○	△	○	○	○	○	△	×	○	△	○	△	
		75			×	△	○	△	○	○	○	○	△	×	△	△	○	△	
		100			×	×	○	△	○	○	○	○	△	×	×	○	○	△	
	清耕 clean culture	25			○	○	○	△	○	○	○	△	×	×	○	△	○	△	
		50			△	○	○	△	○	○	○	△	△	×	○	△	△	△	
		75			△	△	○	△	○	○	○	△	△	○	△	○	○	△	
		100			△	○	○	△	○	○	○	△	△	○	△	○	○	△	
	ビニール マルチ vinyl mulching	25			○	○	○	△	○	○	○	△	×	×	○	△	○	△	
		50			○	○	○	△	○	○	○	△	×	×	○	○	○	△	
		75			×	△	○	△	○	○	○	○	△	△	○	○	○	△	
		100			×	△	○	△	○	○	○	○	△	△	△	○	○	△	
灰色 低地土 hydro- morphic soil	しきくさ weed mulching	25					○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	
		50					○	○	●	●	●	●	●	○	●	●	●		
		75					○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	清耕 clean culture	25					○	○	○	○	○	○	△	×	○	○	○	○	
		50					○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
		75					○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	排水清耕 drained clean culturs	25					○	○	○	○	○	○	△	×	○	○	○	○	
		50					○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	
		75					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	排水しきくさ drained weed mulching	25					○	○	○	○	○	○	×	×	×	○	○	○	
		50					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		75					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
期間中の雨量 precipitation for given period			40	14	39	167	14	179	95	283	60	0	2	108	16	128	47	70	

記号 symbol	乾 湿 humidity	水分張力(水柱高) tension (height of water column)	記号 symbol	乾 湿 humidity	水分張力(水柱高) tension (height of water column)
●	過 湿 marshy	(-) 値 (-) value	△	適 湿 favorable moist	100~200 cm
○	湿 潤 wet	0~50cm	×	や 乾燥 rather dry	200~500
○	や 湿潤 rather wet	50~100	×	乾 燥 dry	500<

これに対して灰色低地土では全期を通じて土層の湿潤度が明らかに高く、暗きよ排水をしなかった区の下層土では水浸しの状態が期間中の大半を占めた。排水した区では下層まで乾きやすくなっていることがわかり、とくに小乾季には乾燥が50cmの層に及んでおり、開花期と重なって悪い影響を残したと考えられる。この時期にも、しきくさ区は表層がやや乾いた程度であった。同じく、しきくさという表面処理をしながら、排水しきくさ区は小乾季に最も早くから表土が乾燥しており、このことが後に述べる収穫量に影響したものと考えられる。この小乾季を除いてはいずれの区も稲にとって好適な土壤水分が保たれた。

(2) 陸稲の収穫量

ピットNo.1とNo.3の周囲を区分して行なった、土壤表面処理試験各区の陸稲収穫量を第8表として示した。前述のとおり、しきわら区は両方ともアリの食害が著しく、比較の対象とはならないが、特に暗赤色ラトソルの方は鳥害が加わって、落込みが著しかった。ほぼ同等の状態から出発した清耕区とビニールマルチ区では、ビニールマルチ区の収穫量が明らかに高く、養分を補う効果のないビニールではあるが、無駄な土面蒸発を抑止して蒸散に役立てるだけでも、生産性の向上に大きな効果があることを示している。

また赤黄色ラトソルと暗赤色ラトソルの収穫量間に大きな差があるが、土壤水分張力の変化は同様に変化しているので、乾湿による差とは考えられない。前述のように、1月の初めから小乾季に至るまで、台地に雲がかかって日照不足、低湿・多湿による蒸散抑制をもたらしたことが原因と考えられる。

灰色低地土での各試験区の稲の収穫量を第9表に示したが、水分が豊かな低地で空気が暖まりやすいため、前二者とは比較にならない程多い収穫量を示した。4㎡の刈取り調査であるので、数値が実際より高く出ている。試験区を含む全体の収穫量は約1.8t/haであり、試験各区は稲の生育の良い区域にあっていた。中でも水分不足を起さなかったしきくさ区では、他区の2倍近い値となっている。同じしきわらをしなながら、排水しきくさ区は収穫量が最も低かった。しかし、しきわらの効果がなかったのではないことが、わらの収穫量に示されており、この区のわらの生産量はしきくさ区に次いでいる。暗きよの開口部に近く、下層が乾きやすい上に、よく繁った草体からの盛んな蒸散が土層の乾燥を早めたことが、小乾季の土層の乾燥経過から推理される。こうして開花期の水分不足の損傷を最も強く受けたと考えられ、わらにたいする子実の比率が著しく低くなっている。しかし、土壤水分が多目に経過した清耕区の収穫量が、排水清耕区より悪かった理由は不明である。

これらの結果から、もともと地下水位の低い灰色低地土での排水施工は不要であり、むしろ湛水に近い条件が作れば、陸稲であっても3t/haの収量水準に近づけることができると推定される。収穫安定化のためには、小乾季が収穫期になるように、9月末の播種という作期の設定が有利と考えられる。

第8表 陸稲の収穫量(1984/85)

Tab 8. Crop of rice (1984/85)

(kg/ha)

土 壤 soil	区 分 plots 取穫物 crop	し き わ ら	清 耕	ビニール マルチ
		straw mulching	clean culture	vinyl mulching
赤黄色ラトソル red yellow latosol	籾 rice unhulled	287	332	601
	玄米* rice hulled	215	249	451
暗赤色ラトソル dark red latosol	籾 rice unhulled	295	1,003	1,647
	玄米* rice hulled	221	752	1,235

* 籾重量×0.75として計算した推定値
presumed value calculated by (unhulled rice × 0.75)

第9表 陸稲の収穫量(灰色低地土1984/85)

Tab 9 Crop of rice (hydromorphic soil 1984/85)

(kg/ha)

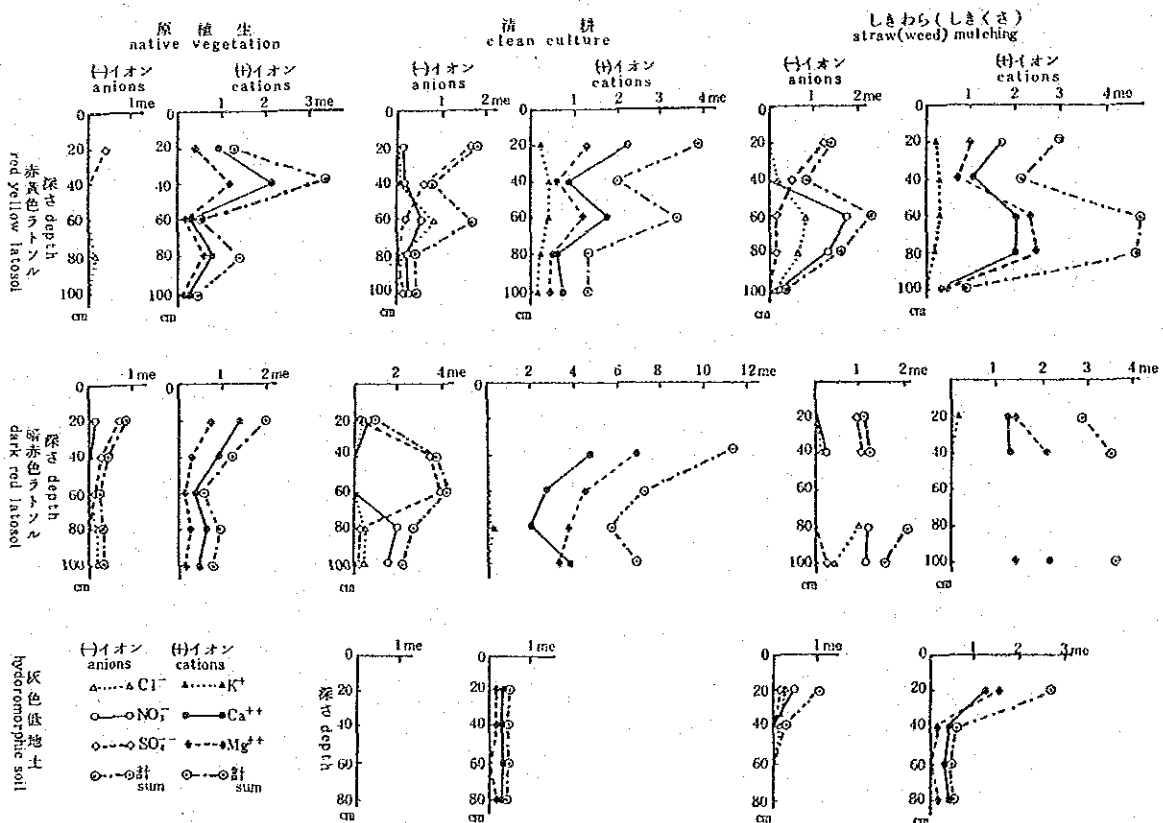
区 分 plots 取穫物 crop	し き く さ	清 耕	排水清耕	排水しきくさ
	weed mulching	clean culture	drained clean culture	drained weed mulching
籾 rice unhulled	5,911	2,972	3,243	2,954
玄米* rice hulled	4,433	2,229	2,432	2,216
わ ら straw	17,670	11,260	12,710	13,610

* 籾重量×0.75として計算した推定値
presumed value calculated by (unhulled rice × 0.75)

(3) 土壤中の養分流亡の実態解析

土壌水分張力の推移を調査すると並行して、各区の深さ20cmごとの土層から、ポーラスカップを通じて土壌溶液を吸引採取した。減圧は携帯用のプラスチック製ポンプで行なったが、真空に近い強い減圧状態を作ることが難かしく、ラトソルのように水の引きの早い土壌では、日中の6時間で分析に十分な量の土壌溶液を採取できないことが数多くあった。容積の大きな減圧タンクを用意して、分配管を通じて強い吸引を行うような改良が必要と考えられる。

このようにして得られた土壌溶液について主要な無機成分の分析を行なった。陰イオンについては、横河電機のイオンクロマトアナライザー、IC100によったが、各イオン濃度は付属のインテグレーターにピーク面積の自動計測をさせた。微量の試料で数種のイオンを同時定量することができるので、精度は劣るものの迅速定量法としてすぐれている。実際に定量できる程度の濃度で含まれているのは、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} が主なもので、乾季に近い時期に微量の F^- が定量された。また、検出できれば利用度が高まると考えられる PO_4^{3-} は、検出可能な濃度で土壌溶液中には含まれなかった。



第5図 土壌溶液中の主要無機イオンの動態('85年1月30日)

Fig 5 Behavior of main inorganic ions in soil solution (Jan. 30 '85)

これらに対応する陽イオンとして Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 K^+ 、 Na^+ を常法により定量したが、その代表例を第5図として示した。陰イオンとして Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{--} 、また陽イオンとしては量が少なく、濃度の変動も小さい Na^+ を省略して、 K^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} の3種を図示した。数値は土壤溶液1ℓ当りのミリ当量(me)を単位としているが、少数点以下2桁で4捨5入し、1桁まで示した。そのため定量値はあっても0.0となって図示されなかった場合もある。

肥料を与えない原植生では、赤黄色ラトソルの場合表層に SO_4^{--} 、下層の80cmのところに Cl^- イオンが現れているが、 NO_3^- は現れていない。暗赤色ラトソルの場合も傾向は同様であるが、表層20cmのところに NO_3^- が僅かに現れている。また陽イオンの中でも K^+ は現れておらず、貧栄養の状態と考えられるが、 Ca^{++} 、 Mg^{++} はかなり高い濃度で現れている。それらのカウンターイオンとしての HCO_3^- と CO_3^{--} が考えられるが、イオンクロマトアナライザーでは定量できない。いずれにしても、貧栄養でありながら、 Ca^{++} 、 Mg^{++} は溶脱される状態にあることがわかる。

施肥した場合には、清耕区、しきわら区ともに、各イオンの濃度が高まっているほか、下層土に Cl^- とならんで NO_3^- の明らかなピークがみられる。これに対して SO_4^{--} は表層近くにとどまっており、流亡しにくい要素とみられる。

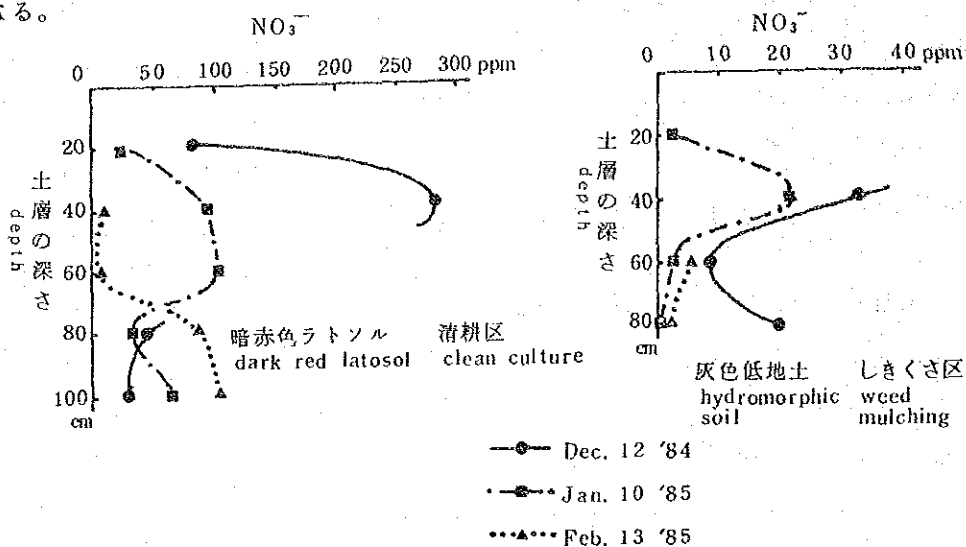
暗赤色ラトソルの場合、清耕区では20cmの深さで、また、しきわら区では60と80cmの深さで十分な土壤溶液が得られなかった。これは清耕区では表土が乾きやすく、しきわら区では土面蒸発が抑止されて水分が多くなり、逆に下層土の水分が少なくなるという傾向の反映と考えられる。この溶液採取の困難性に加えて、各陰イオンのピークの位置が赤黄色土より深く、また K^+ イオンが僅かにしか現れていないことから、下層の水の引きが強い暗赤色ラトソルでは、流亡が起こりやすいことを示すものと考えられる。なお、暗赤色ラトソルの清耕区のイオン濃度が著しく高いが、その原因はわからない。

灰色低地土では、いずれの区も各イオン濃度が極端に低く、とくに陰イオンは僅かにしきくさ区の表土に現れたにすぎない。播種直後に濃度が高かっただけで、間もなく低濃度で経過するようになったので、盛んな生長に伴って吸収利用されたためと推定される。最も湿潤で稲の生長の早かったしきくさ区では、マルチを行ってから半月後の例なので、表層の養分濃度がこの区だけ高いのは、腐敗しはじめた草体からの供給による可能性がある。陰イオンが現れていない場合にも、 Ca^{++} 、 Mg^{++} だけは常に現れていることは他の土壤と同様で、これらのイオンが土壤から失われ易いことを示している。

肥料成分の中で最も流亡し易い窒素について、 NO_3^- の経時的な動きを示したのが第6図である。施肥後間もなく、微量拡散法で土壤溶液中の NH_4^+ を定量したが、検出されなかった。したがって窒素流亡は専ら NO_3^- イオンの形で起ると考えられる。第6図には流亡が早く進むと考えられる暗赤色ラトソルと、水分条件の豊かな灰色低地土の例を示した。12月に入って土壤溶液の採取が容易になってから、ほぼ1か月おきの成績であるが、何点かは採取できなかった。暗赤色ラトソルは清耕区の成績であるが、灰色低地土ではしきくさ区以外は NO_3^- の定量ができ

ない場合が大半なので、しきくさ区の成績を示した。

暗赤色ラトソルの場合は、12月12日には深さ60cmの土壤溶液が得られなかった。しかし、その前後の調査から、深さ40cmの濃度よりは低い値であったと推定され、 NO_3^- のピークは深さ40cmの約300ppmであったと考えられる。それが1月10日にはピーク濃度が約100ppmに低下して中広く鈍化しながら、中心が60cmに移ろうとしている。そして更に1ヶ月後にはピークが100cmの層に移っていた。この間の雨量は第10表に示すとおりであるが、施肥日から850mmの降雨でピークが深さ100cmに達したことから、約100mmの雨量で NO_3^- の中心が約12cm下降したことになる。



第6図 降雨による硝酸 (NO_3^-) の流亡

Fig 6. Percolation of nitrate (NO_3^-) by rain

第10表 試験期間中の雨量

Tab 10. Rain fall with in experimental term

期 間 term	暗赤色ラトソル dark red latosol	灰色低地土 hydromorphic soil
施 肥 日 dressing fertilizer day		
'84年12月12日 Dec. 12 '84	219	152
'85年1月10日 Jan. 10 '85	301	
'85年2月13日 Feb. 13 '85	327	
計 sum	847	780

灰色低地土での NO_3^- 濃度は、暗赤色ラトソルに比べて1/5程度の濃度で推移しているのが特徴である。12月12日の調査では深さ20cmの土壤溶液が採取できなかったが、この2週間後の調査で約80ppmの濃度が得られていることから、この時には100ppm前後の濃度であったものと推定される。このピークは1か月後には濃度を20ppmに低下させながら、深さ40cmまで下降している。さらに1か月後の2月13日は、小乾季に入ったため土層の乾きで、20・40cmの深さの土壤溶液が採取できなかったが、さらに2週間後の値は全体を通じて約1ppmであったのでピークはほぼ消滅したものと考えられる。深さ80cmでは、当初は由来不明の NO_3^- が20ppmの濃度で存在していたが、1か月後には消失し、再び濃度が高まることはなかった。このことから、施肥直後には明らかであった NO_3^- のピークが、2ヶ月半後の2月13日には、その痕跡が深さ60cmに達したものの、80cmから下への流亡は観測されず、吸収利用されたものと考えられる。このことの背景として、地下水の高い灰色低地土では、落差が小さいために浸透が遅くなることも考慮に入れなければならない。

赤黄色・暗赤色ラトソルの場合は、前述のように播種後次々と障害が発生し、十分生長しきれないまま、2月末まで経過した。その間に肥料成分の窒素が NO_3^- イオンとして下層に溶脱し、根の生長が追付かないために損失が大きかったと考えられる。これに対して灰色低地土では、播種後1か月の間の生長が盛んであり、肥料成分を流亡させることなく利用したものと考えられる。初期生長が順調に進めばアリや小鳥の食害を受ける期間が短縮され、また障害の回復も進みやすい。稲は熱帯性の湿性植物であるから、灰色低地土のような地下水の高い地域で、高い生産をあげたのは当然の結果といえよう。表土が乾きやすい地域では、稲よりも乾燥に強い作物を栽培すべきである。

(4) 小麦の栽培と跡地土壌の分析

灰色低地土の稲の収穫が終わった後、耕起して小麦を栽培した。アルミ耐性品種BR-1146を選んだが、芽立ち後の半月程の間に大半が枯れ、試験が続けられなかった。その後跡地の土壌を深さ75cmまで採取して、物理・化学性の分析を行なった。

土壌の物理性は第11表に示したとおりで、仮比重の値からみて、しきわら区だけが深さ50cmまで1.0前後で、他の区よりすぐれていたと考えられる。また、真比重の値からみて、しきわら区と、それに隣接する清耕区は、深さ25cmまでの表土の有機物含量が高かったと考えられる。全体として深さ75cmの層の物理性が悪かったが、排水しきくさ区では50cmの層の物理性が悪く、栽培上不利であったものと考えられる。このように、物理的にはしきくさ区がやゝ勝っており、排水しきくさ区はやゝ劣る結果であった。しかし、深さ50cmまでは物理性が良いので、栽培上の障害があるとはいえず小麦の立ち枯れの原因は物理性ではないと推定される。

化学分析の結果を第12表に示したが、土壌改良を行なったにも拘わらず強酸性は残っており、表層でのCa、Mg含量の高まりという効果は現れているものの、遊離のAlの量は依然として多いという結果である。小麦が立ち枯れになったのは、このAlの害と考えられ、陸稲栽培は可能で

あっても、小麦栽培にとっては土壌改良が不足したと推定される。小麦の主要な根群域を深さ30cmまでとして、A1の量から推定すると、施用した苦土石灰の約10倍量、50 t / ha程度が小麦栽培には必要と考えられ、しかも、少なくとも30cmの土層に混和せねばならない。これは推定であるから、実際には段階的な試験を行なって適正量を定めねばならない。

以上の結果より次の事項が指摘できよう。

1. 地下水位の低い土層では、下層からの水の引きが強く、耕土層が乾き易いことはすでに報告した。その耕土層の水を有効に使うために、しきわら、しきくさ、ビニールマルチなどの土面被覆が有効な手段であることを示したが、実際に広面積について応用することは、現状では困難である。作物の収穫残渣を小さく刻んで畑面に散布し、その上から狭い幅の溝を切って播種する手法も、作物の種類によっては不可能ではないと思われる。
2. 湿润条件を好む陸稲作においては、初期生長の段階ならびに開花期の土壌水分の不足が、施肥効率や、草体の生長から子実生産への移行に大きな影響を及ぼすと考えられる。2回の栽培試験を通じて、雨季とは言いながら、第1回には1月と3月、第2回には10~11月と2月というように、異なる時期の降雨不足が起った。このように気象条件には変動が起りやすいので、灌漑施設がない場合、稲作は灰色低地土のように土層の水分条件が安定した地域を優先すべきである。その場合にも、小乾季が登熟期にあたるように9月末に播種し、小乾季の収穫後に次の雨季の回復を利用して二毛作を行なうことも可能と考えられる。作目に小麦を選ぶとすれば、灰色低地土の酸性は極めて強いので、深耕を含めた新たな土壌改良基準を定める必要がある。

第 1 1 表 跡地土壌の物理分析成績

Tab 11 Physical properties of soil after cropping

区 分 plots	深 さ depth cm	仮比重 bulk density	真比重 specific gravity	三相分 布(pF 1.8) 3 phases distribu- tion (pF 1.8) %			p F 1.8 飽 水 度 moisture satura- tion degree %	生長有効 水 分 (pF1.8 ~3) available water for growth %	透 水 係 数 water per- miability coefficient cm/sec
				固 相 solid	液 相 moisture	気 相 air			
しきわら	10	0.908	2.447	37.1	44.7	18.2	71.2	11.7	8.9×10^{-3}
	25	1.051	2.411	43.6	45.8	10.6	81.2	8.8	1.1×10^{-5}
weed mulching	50	0.956	2.509	38.1	47.5	14.4	76.7	11.6	9.9×10^{-5}
	75	1.145	2.516	45.5	41.6	12.9	76.3	2.0	1.1×10^{-6}
清 耕	10	0.978	2.451	39.9	41.7	18.4	69.4	11.0	1.2×10^{-2}
	25	1.146	2.433	47.1	42.4	10.5	80.2	7.6	1.0×10^{-5}
clean culture	50	1.082	2.510	43.1	45.4	11.5	79.8	7.9	6.1×10^{-6}
	75	1.259	2.473	50.9	45.0	4.1	91.6	2.7	8.8×10^{-8}
排水清耕	10	1.080	2.512	43.0	41.7	15.3	73.2	10.8	5.0×10^{-3}
	25	1.203	2.475	48.6	40.8	10.6	79.4	8.2	1.1×10^{-5}
drained clean culture	50	1.180	2.521	46.8	44.2	9.0	83.1	6.5	2.7×10^{-6}
	75	1.256	2.502	50.3	45.1	4.6	90.7	3.3	6.2×10^{-8}
排 水 しきわら	10	1.001	2.534	39.5	41.0	19.5	67.8	12.5	9.5×10^{-3}
	25	1.086	2.508	43.3	40.9	15.8	72.1	8.5	4.1×10^{-4}
drained weed mulching	50	1.219	2.493	48.9	45.8	5.3	89.6	7.8	1.4×10^{-6}
	75	1.151	2.535	45.4	42.2	12.4	77.3	3.5	8.7×10^{-7}

第12表 跡地土壌の化学分析成績

Tab 12 Chemical properties of soil after cropping

区分 plots	深さ depth cm	pH		N-KCl 浸出 extractable m. c			
		H ₂ O	KCl	Al	Ca	Mg	計 sum
しきくさ weed mulching	10	4.8	3.5	3.9	5.8	0.1	9.8
	25	5.4	3.6	5.0	1.3	2.0	8.3
	50	4.7	3.5	4.9	0.4	1.5	6.8
	75	4.5	3.2	4.1	0.2	2.1	6.4
清耕 clean culture	10	5.0	4.0	1.4	5.7	5.4	12.5
	25	4.5	3.7	4.8	1.6	1.5	7.9
	50	4.4	3.8	4.8	0.3	0.5	5.6
	75	4.7	3.7	3.8	0.7	0.6	5.1
排水清耕 drained clean culture	10	4.7	3.7	3.1	2.7	2.4	8.2
	25	4.8	3.8	3.8	1.2	1.7	6.7
	50	4.9	3.7	4.5	0.2	0.6	5.3
	75	5.0	3.8	4.0	0.2	0.7	4.9
排水しきくさ drained weed mulching	10	4.8	3.8	2.9	2.3	1.6	6.8
	25	4.6	3.8	4.3	0.6	0.9	5.8
	50	5.0	3.9	4.4	0.5	0.6	5.5
	75	5.0	3.9	3.3	0.2	0.3	3.8

要 約

1. 陸稲栽培の畦間にしきわらを施して土面蒸発を抑制すると、表土の乾きが緩和される傾向がみられ、増収効果が著しかった。同じ量のわらを切断して表土層に混和した場合は、その分解初期に引き起される窒素飢餓により、作物の初期生長が抑制され、わらの収穫量が劣った。初期生長の良かった清耕区は水分消費が多く、開花期に干害をうけて子実の収量が低下し、結果はわら混層区よりも悪かった。逆に表土の乾燥が緩和されたしきわら区では、わらに対する玄米の収穫割合が最も高かった。次の年に実施したビニールシートによる土面被覆も、しきわら同様の増収効果を示した。
2. 地下水位が地表下 1.5m 附近にある灰色低地土において、暗きょ排水としきくさを組合せた試験を行なったが、物理性が深さ 50~75cm まで良好であるため排水の必要はなく、排水すればかえって下層土の乾燥を促進して、しきわらの効果さえ失われることが示された。収穫量が著しく多かったしきくさ区は、深さ 50cm 以下の土層が水浸しの状態にある期間が長く、開花期の乾燥の影響を受けなかった。このように陸稲の場合も水田に近い条件下で生産性が高まることが示された。
3. 土壌溶液をポーラスカップを通じて吸引採取し、その主要な無機イオン含量を分析して、養分流亡の実態を検証した。陰イオンの分析はイオンクロマトアナライザーによったが、下層への移行が早かったのは Cl^- と NO_3^- であった。また SO_4^{--} は移行が遅く、 PO_4^{--} は溶液中には現れなかった。陽イオンの主体は Ca^{++} と Mg^{++} で、陰イオンが全く定量できない場合にも必ず定量されており、陰イオンの定量値よりも高い値で絶えず流亡していた。

赤黄色及び暗赤色ラトソルの区域に設けられたピット No. 1・No. 3 周囲の陸稲栽培試験では、播種直後の降雨が少なく初期生長が悪く、アリや小鳥の食害が重なった。このように生長が停滞している間に施肥窒素は硝酸態 (NO_3^-) として下層に流亡し、十分利用されなかった。地下水位が低く、土壌水分が下層に引かれる傾向の強い暗赤色ラトソルでは、赤黄色ラトソルに比べて流亡もやゝ早い傾向であった。

灰色低地土は地下水位が高いために水の浸透が遅く、土層の水分が豊かである。また低地で空気が暖まり易く、陸稲の生長は旺盛であった。施肥直後に表層土に集積していた NO_3^- は、濃度が急に低下しながらその中心が 1 か月後に深さ 40cm に達し、さらに 1 か月後にその痕跡が深さ 60cm に現れたもの間もなく消失したことから、流亡する前に吸収利用されたものと推定される。初期生長を促進することが、肥料を流亡させないための対策となる。

4. 灰色低地土の陸稲を収穫した後に小麦を作付けしたが、芽立ち後間もなく立ち枯れとなった。原因を調査するため土壌の理化学分析を行なったが、5 t/ha の苦土石灰の施用で、表土の Ca、Mg 含量は高まったものの、強い酸性が残っており、遊離の Al も多かった。このことが小麦の立ち枯れの原因と考えられ、灰色低地土で小麦栽培を可能にするためには、さらに徹底した酸度矯正を要することが示された。

謝 辞

本研究の計画と推進にあたり、尾形 保チームリーダーより多大の御助言と御援助をいただいた。また、イオンクロマトアナライザーの運転をはじめとして、土壌溶液の採取から分析に至る研究手法について、山崎愼一短期専門家の御指導をいただいたことを、ここに申し述べて、厚く御礼申し上げる。

On conservation of soil elements and moisture during rainy season
(Preliminary experiment)

Takeshi Hayasaka

SUMMARY

1. Effect of mulching

(1) 1983/84 crop year

The method, covering soil surface with some stuffs such as straw or plastic cloth etc. is called mulching. Effect of mulching is presumed as saving soil moisture by preventing evaporation from the surface and utilizing it for transpiration needed plant growth, and to clarify that is the purpose of this paper. An experimental cultivation of upland rice(IAC-25) was done at red-yellow latosol, surrounding pit No.1 mentioned in preceding report. Plotting, scheme of experiment and fertilization are shown as Fig.-1, Tab.-1 & 2 respectively. Further, transition of soil moisture tension was observed by tension-meter at the depth of 25, 50, 75 and 100cm for experimental term since February, except Straw-applying plot which was delayed in starting.

Growth of rice at Straw-mulching plot was delayed by nitrogen-starvation, being consumed nitrogen during initial decomposing term of straw. After straw-mulching was done, growth of rice came to the fore at the plot.

Transition of soil moisture tension of each plot is shown as Tab.-5 in symbolized manner such as introductory remarks. Soil moisture of under mulching went by wetter than that of Clean-culture, and that of Straw-applying plot, having worst growth of rice, was shown similar pattern to the former. Surface soil of Clean-culture is lost moisture seriously during the middle ten days of March when rice is flowering.

Rice productivity of each plot is shown as Tab.-6. That of hulled rice at Clean-culture, experienced a drought in its flowering stage, is the worst of all as containing much of sterilized ear, in spite of better productivity of straw. Straw-applying, having worst productivity of straw, showed better productivity of hulled rice. And Straw-mulching is the best of all, suggesting the treatment is effective enough for cultivation.

(2) 1984/85 crop year

On the effect of mulching, experiments of upland rice culture were continued as similar to the previous season, but expanding sphere. Areas of dark-red latosol and hydromorphic soil are added as new objects of investigation. Plotting, and scheme of experimental area surrounding pit No.1 & No.3 are the same, shown as Fig.-2 & Tab.-3, their back ground soils are red-yellow and dark-red latosol respectively. Now, Vinyl-mulching plot, covering soil surface with vinyl cloth, is attempted newly instead of Straw-applying as shown in Tab.-3. And the experiment was began at the last of October, advancing about 50 days of previous trial, as flowering stage pass through under moist condition. Out of expectation, rain-fall is not sufficient in November. Growth of rice-seedling came at a standstill soon by soil moisture shortage. At the both plots of straw-mulching at pit No.1 & 3, ant attacked rice-seedlings causing serious damage at the same time, before mulching. In December, it rained frequently, however, rice was not able to recover fast from suspension. In January, weather changed cloudy and cool, having a little rain almost every day, especially hilly area was oftenly clouded over all the day. Making a complete change, it was clear up everyday and was subjected a drought in February. Thus rice grew irregularly, and that the more at the higher land.

Experiment on hydromorphic soil, a part of lowland (VARZEA), has two combined factors, those are weed (cut grass) mulching and drainage, making four plots as shown in Fig.-3 & Tab.-4. The field was prepared by the last of November and sowed upland rice (IAC-47). Since water supply is abundant and atmosphere is warmed up easily, as advantage of lowland, rice grew vigorously through December and January, soon getting ahead among the all experimental areas. But unfortunately its flowering stage was faced a short drought term in February.

Transition of soil moisture tension of each plot is shown as Tab.-7, except Straw-mulching plot having serious damage. And on hydromorphic soil, observation at 100cm depth was omitted considering a high level of ground water table during rainy season. At higher area (pit No.1 & No.3), soil moisture did'nt recover till the begining of December. All the treatment of mulching were finished by 20th of January, being ahead of a short break

of rainy season. From the beginning of February, soil moisture was lost markedly especially in surface layer, showing no effect of surface treatment.

On hydromorphic soil, moisture is almost always so abundant as having to make a new mark which expresses marshy state of soil water. Still, moisture of surface soil was lost during a break of rainy season, except Weed-mulching plot. In spite of mulching, surface soil of Drained weed-mulching was lost moisture early and seriously in the term. The result suggested that, although in rainy season, drainage is of no use in this area at least on rice cultivation, because that nullifies the effect of mulching.

Productivity of rice in higher area is shown as Tab.-8. That of red-yellow latosol was a half amount of dark-red latosol. The Straw-mulching plot of both areas were the worst in each plot, since their heavy damage caused by ant attacking. That of Vinyl-mulching was more excellent than Clean-culture. As vinyl cloth supplies no nutrients, effect of vinyl-mulching is presumed to promote utility of soil moisture only.

Rice productivity on hydromorphic soil is shown as Tab.-9, revealing the best is Weed-mulching plot where soil moisture was always abundant. As straw productivity of Drained weed-mulching is the second of all, it is considered that weed-mulching of the plot is effective also for rainy days. The multiple effect of consuming more water by excellent growth of rice and promoting subsoil to dry by drainage, is supposed to be the reason of early and severe drought of the plot as showed in Tab.-7. And facing the drought on its flowering stage may affect grain productivity.

2. Leaching of elements

To investigate actual occurrence of leaching of elements, soil solution sucking apparatus as shown in Fig.-4 is applied on three experimental areas mentioned before. The apparatus consists of porous cup and accessory pipe. Porous cup is pressed into soil layer slowly along a guide hole till a set depth. When inner air is sucked out, soil solution will be filtered into porous cup corresponding to a pressure head. That can be sucked out of apparatus by resucking as following step. Porous cup were set into the soil layer at the depth of 20, 40, 60, 80, 100cm of each plot, except 100 cm of hydromorphic soil area. Soil solution was taken up from each apparatus periodically, and analyzed on inorganic macro-nutrients. Anions were

detected and estimated automatically in a sequence manner. Usually, Cl^- , NO_3^- & SO_4^{--} were estimated, but an important element PO_4^{---} was never detected. As important cations, Ca^{++} , Mg^{++} and Na^+ , K^+ , were estimated by atomic absorption spectro-photometry and flame photometry respectively. At Native-vegetation plot of both pits, anions and K^+ ion were contained little, while a little amount of Ca^{++} & Mg^{++} ions were estimated always. It suggests that, in spite of poor condition of nourishment, Ca & Mg are lost always, changing soil more acidic. At the fertilized plots, Cl^- & NO_3^- ion are found in deeper layer than SO_4^{--} , showing former ions are more leachable ones. And that, in case of dark-red latosol, every peak of Cl^- , NO_3^- & K^+ ion are found in deeper layer, compared with red-yellow latosol. It is presumed that, leeching of ion is the faster when ground water table is the deeper, attracting soil moisture by stronger tension heads. And that, less uptake of nutrients through poor growth of rice, may illustrate it more clearly. In the area of hydromorphic soil, where rice grew vigorously under wetter condition, concentration of ions were very low always, except initial term.

After fertilization, NH_4^+ ion was detected by Conway's method, but was not able to found. So it is considered that nitrogen is leached away in form of NO_3^- ion only. The behavior of NO_3^- , one of the most important and removable ion, is shown as Fig.-6, on dark-red latosol and hydromorphic soil. In case of former, a peak of 300ppm was found at the depth of 40cm on 12th of December. About a month after, on 10th of January, frontier of the peak reached at 60cm depth in concentration of 100ppm. Further, it advanced till 100cm depth by 13th of February. While it had about 850mm of rain fall as shown in Tab.-10. So the leaching rate is calculated about 12cm for every 100mm of rain fall. In case of hydromorphic soil, a peak of NO_3^- originated from fertilizer, is assumed being shallower than 40cm depth on 12th of December, but exact. Then a peak of 20ppm advanced to the depth of 40cm after a month, on 10th of January. But only 6ppm of NO_3^- was found at 60cm of depth on 13th of February, and disappeared soon. Moreover, any peaks of NO_3^- , originated from fertilizer, do not cross the border of 80cm depth. From the results, it is considered that higher ground water is advantageous on effective use of fertilizer, and that early growth of crop will take it up before leaching away.

3. Cropping of wheat on hydromorphic soil

After harvestig of rice, wheat was cultivated without newly soil amendme-
nt on hydromorphic soil after May. The variety of wheat BR-1146 is an Al
tolerable one, though, seedling withered away soon. To investigate the
cause of injury, samples for physical and chemical analysis were taken
from 10, 25, 50, 75cm depth of soil layer, at experimental plots of rice.
Physical and chemical properties of the plots are shown as Tab.-11 & 12
respectively. Physical properties are exemptible from the cause of injury
as they do not have any problems, at least 50~75cm depth of layer. To the
contrary, chemical properties have been not so much improved in spite of
common method of soil amendment. Especially, pH values are still low and
much Al is found in each layer of all the plots. Thus the cause of wheat
withering is supposed to an injury of acidity originated from active Al
ion. So establishing a new method of soil amendment, for thorough and deep
reformation of chemical properties of hydromorphic soil, is needed as to
stabilize the production of wheat.

セラードにおけるマメ科緑肥窒素の肥効に関する研究

Studies upon the effect of nitrogen in leguminous green manure
on the growth of some main crops in Cerrados

団長：尾形 保 (JICA)

カウターパート：Joan Pereira (CPAC)

目 次

緒言	
I. 試験 I : コムギに対する緑肥窒素の肥効	85
II. 試験 II : コムギによる硫安窒素の吸収に対する併用緑肥の影響	97
III. 試験 III : コムギー青刈りトウモロコシの2毛作栽培における緑肥及び硫安窒素の行動	104
IV. 試験 IV : リクトウに対する緑肥及び硫安の肥効	116
V. 緑肥の窒素供給力に関する総合考察	129
VI. 文献	132
VII. Summary	133

セラードにおけるマメ科緑肥窒素の肥効に関する研究

Studies upon the effect of nitrogen in leguminous green manure
on the growth of some main crops in Cerrados.

団長：尾形 保 (JICA)

カウンターパート：João Pereira (CPAC)

緒 言

まず団長自ら独自の研究テーマを持った経緯を述べる。研究プロジェクトの団長の任務として、自分の研究テーマを持ち、一般専門家と同様の研究活動をする必要性は、必ずしもないものと思われる。しかし伯側は、団長もその専門分野の研究活動をしてくれと強く要望し、事実、第1次チームでも団長はその専門分野で独自のテーマを持ち研究活動を行った。加えて、セラード農業の基本問題の一つである「土壌」の専門家として派遣された福原氏は、伯側の強い要望により、彼の得意とする「リモートセンシング」の分野で協力することになり、直接、土壌の肥沃性や施肥に関する研究から離れざるをえなかった。

このような事情を背景に、筆者も団長業務のほかに、その専門である土壌肥料分野での研究活動を始めることにした。当初、このような兼務の負担を軽くするため、ポット試験程度で結果の出やすい「りん酸肥料の肥効」に関するテーマを取上げ、セラード農牧研究センター (CPAC) 幹部に相談したが、CPAC内の多くの研究員が本問題を担当しており、新たに日本人の協力を受ける必要もないとの理由で、このテーマの変更を余儀なくされた。この交渉の過程で、本研究プロジェクトに対する伯側の期待をかなりの確に把握でき、プロジェクトのあり方について多くの示唆を得た。

このようにして、以下に述べるように、セラード土壌の生産力向上に重要な地位を占める「緑肥問題」にかかわるテーマを取上げることにした。当時、CPAC内で本問題を直接取上げている研究員は、João Pereira 氏 1 人のみで、彼が筆者のカウンターパートとなった。しかし彼自身既に多くのテーマを持っており、また元CPAC副所長の「大物」で雑用も多く、私のテーマに直接関与した研究活動をする余裕はなかった。それで彼の場合、カウンターパートとしては専ら筆者の相談役、世話役的な立場で、本当の共同研究者としての活動は期待出来なかった。

筆者も本来の業務である団長職の傍らの仕事のため、心ならずも十分な対応ができない場合も多く、不十分な内容にとどまったが、自ら直接研究活動をすることにより、途上国における研究活動の困難性や問題点を具体的に認識でき、プロジェクト運営に活かせることもあった。

次に緑肥を研究対照に取り上げた理由について述べる。

セラード地帯の土壌は極度の風化を受け、多くの植物養分に著しく欠乏し、その反応は強酸性で活性アルミニウムの濃度も高い。このため、一般の農作物は、まずこのような土壌の貧栄養及び劣悪な化学性を改良しない限り、十分な生育、収量は得られない。

そして一般に、開こん初期には、石灰及びりん酸資材の投入による土壌酸性の中和と、活性アルミ

ニウムの抑制、並びに養分としてのカルシウム (Ca) やリン (P) の供給が、作物の生育、収量を著しく高める。もちろん、窒素や加里その他の養分も作物の生育に必要であるが、これらの成分は、原野のとき蓄積していた有機物からも供給されるので、肥料による供給の効果は、CaやPの施用効果ほど顕著には現れにくいのが普通である。

しかし開墾後の栽培年次が進み、劣悪な土壌の化学性も十分改善され、作物の収量も高まるようになれば、原野時代に蓄積されていた養分は消耗し、一方作物の要求量は増大するので、養分の肥料としての必要の割合とその効果は著しく大きくなる。特に窒素と加里はその必要量は大きく、それらの施肥の如何は作物の収量と品質に影響するようになる。

一方、セラード地帯は、伯国の主要商工業地の分布する海岸地帯よりの距離が数百km以上の遠隔地に展開している。このため各種肥料の入手コストは、必然的に高価になりやすく、収穫物の生産費を押し上げるから、低コストの肥料の入手と、肥料の有効利用は、経営的にも極めて重要な問題である。

加えてセラードの自然条件は、この窒素や加里成分が土壌から失われやすい条件にある。すなわち、年雨量 (平均約 1,500mm) の90%以上が雨季に降り、しかも強雨が多い。一方、土壌の養分保持力は極めて弱いのに、透水性は良好なため、施肥養分は降雨によって溶脱されやすい。特に土壌の温度は年中20~25℃と、微生物活動を旺盛にする条件にあるため、土壌の化学性が改善され、水分が適湿なときには、硝化菌の作用も速やかで、施用された窒素肥料が硝酸態窒素となって流亡する可能性は大きい。このとき、石灰、苦土、加里などの養分も硝酸と一緒に流されやすい。

以上のような、セラード農業における施肥管理の問題点を解決するには、低コストで流亡し難く、肥効の高い肥料の入手、利用が望まれる。このような要望に応え得るものとして、マメ科緑肥を考えたのである。

すなわち、マメ科緑肥作物は、その根系に共生する根粒菌によって、空中窒素の固定利用が可能のため、窒素の施肥なしでも大量の窒素分を体内に蓄積できる特徴がある。つまり化学肥料のように、遠方の工場から運ぶ必要はなく、経営者の圃場が窒素肥料生産の工場となり、大量の窒素が生産されるのである。

しかもこの時、同時に光合成により植物体としての有機物も生産され、また加里をはじめ各種植物養分も土壌中から吸収、体内に蓄積される。この結果この作物体を肥料とする緑肥は、養分組成が単純な一般の無機質化学肥料とは著しく異って各種植物養分の総合された無機質肥料という特徴を持つ。

セラードの畑作では、雨季の高温・多湿の条件下での土壌有機物の消耗は早く、土の肥沃性の維持に、適量の有機物の補給は不可欠と思われるが、緑肥の施用は植物養分のみでなく有機物をも供給し、この土壌管理の基本的要望にも応えるのである。

さらに緑肥施用によって固定窒素のほかに、加里など総合された各種ミネラル分を供給できることは、セラード土壌のように、殆どすべての養分に欠乏している場合の施肥技術としては、極めて

有用である。また、緑肥作物の栽培によって、前作に施用して残った養分を吸収利用することは、施肥効率を高め、施肥コストの低減、養分の循環利用に直結する重要な事項である。さらに緑肥作物の種類によっては、その栽培とすき込みにより、作物への有害線虫を抑制する効果も認められている¹¹⁾。

しかし緑肥作物の栽培には、種子の入手、相当面積の圃場の確保、栽培管理と収穫、利用のための労力、機械などを必要とし、それなりにコストも手間もかかる。特に緑肥作物自体は、一般に商品とはならず、自家消費が主体となるので、生産コストの評価は厳しいものになる。従って経営面積の狭い農家、或いは化学肥料が比較的安く、かつ容易に入手しやすい条件では、緑肥利用のメリットは低く、普及し難いのが普通である。

この点セラード農業では、数百ha以上の大面積の経営が多く、かつ大型機械の装備も進み、省力的栽培管理と利用に恵まれている。このため、栽培年次が進み、土壌の化学性の良好な圃場に、主要穀類栽培における輪作の一環として、施肥など最小限にした栽培ができれば、可及的少ない費用で緑肥の生産利用が可能となり、既述のメリットを十分生かすことが可能と思われる。

以上のような背景の期待の下に、セラード地帯に適する緑肥作物の種類を選択とそれらの栽培及び利用方法、並びに実用的効果等についての研究は、既に筆者のカウンターパートとなった Joan Pereira 氏や、Campinas試験場のMiyasaka氏らが長年にわたって実施し^{12)~14)}、多くの成果を上げている。しかしその肥効の基礎的解明に関する研究はこれからという段階にあるように思われる。よって筆者は、J.Pereira氏の協力を得て、マメ科緑肥の、特に窒素の肥効に重点を置き、これをコムギやトウモロコシ、イネなど穀類の栽培時にすき込んだ場合の肥効に関して、硫酸を対照にしてその特徴を比較検討した。供試緑肥作物は、J.Pereiraによってセラードでの利用が高いとされている *Mucuna Preta* と *Crotalaria juncea* の2種類のマメ科植物である。本研究は次の4つの試験よりなる。

試験Ⅰ．コムギに対する緑肥窒素の肥効

圃場で3年間硫酸または緑肥を連用しながらコムギに対する肥効を検討したが、初年目は干ばつと虫害、3年目は病虫害の被害が大きく、試験結果は大きく乱されたので、本報告書には順調な生育が得られた2年目の結果のみを載せた。4年目には施用緑肥の残効を見るため、青刈りトウモロコシとコムギを全区無肥料で栽培し検討した。

試験Ⅱ．コムギによる硫酸窒素の吸収に対する併用緑肥の影響

施用Nの行動をよりの確に明らかにするための予備試験として、試験Ⅰ内で¹⁵N標識硫酸を供試した試験を実施した。

試験Ⅲ．コムギ-青刈りトウモロコシの2毛作栽培における緑肥及び硫酸窒素の行動

¹⁵N標識の硫酸と緑肥及び浸透水採取装置をつけたポットを用い、硫酸と緑肥Nの2毛作時における連用と残効の場合の肥効などを検討した。

試験Ⅳ. リクトウに対する緑肥及び硫安の肥効

^{15}N 標識の硫安と緑肥を供試し、リクトウを対象にして、 N の肥効を一層詳しく検討した。また、試験Ⅰの緑肥連用土壌の残効性をさらに追求した。

謝 辞

本研究の実施に当って甚大な協力を頂いたCPACの関係各位、並びに重窒素の分析に協力されたサンパウロ大学CENAのEiich Matsui博士に深甚の謝意を表する。

試験1：コムギに対する緑肥窒素の肥料

Experiment 1: Upon the effect of nitrogen in the green manures on the growth of wheat (Field experiment)

緑肥作物を雨季の開始時より中期までに栽培して畑にすき込み、雨季後期より乾季にわたって栽培するコムギ作の緑肥として利用する場合について試験し、次の項目について調査した。a)緑肥作物の種類及びその収穫時期と、乾物及び肥料養分の収量。b)収穫部分と刈株及び根部として圃場に残る部分の割合。c)コムギに対する肥効の緑肥窒素と硫酸窒素との比較。d)3年間連用した緑肥と硫酸の土壌の理化学性に及ぼす影響と残効性の比較。e)4年間窒素無施用条件で栽培した土壌の窒素天然供給力。

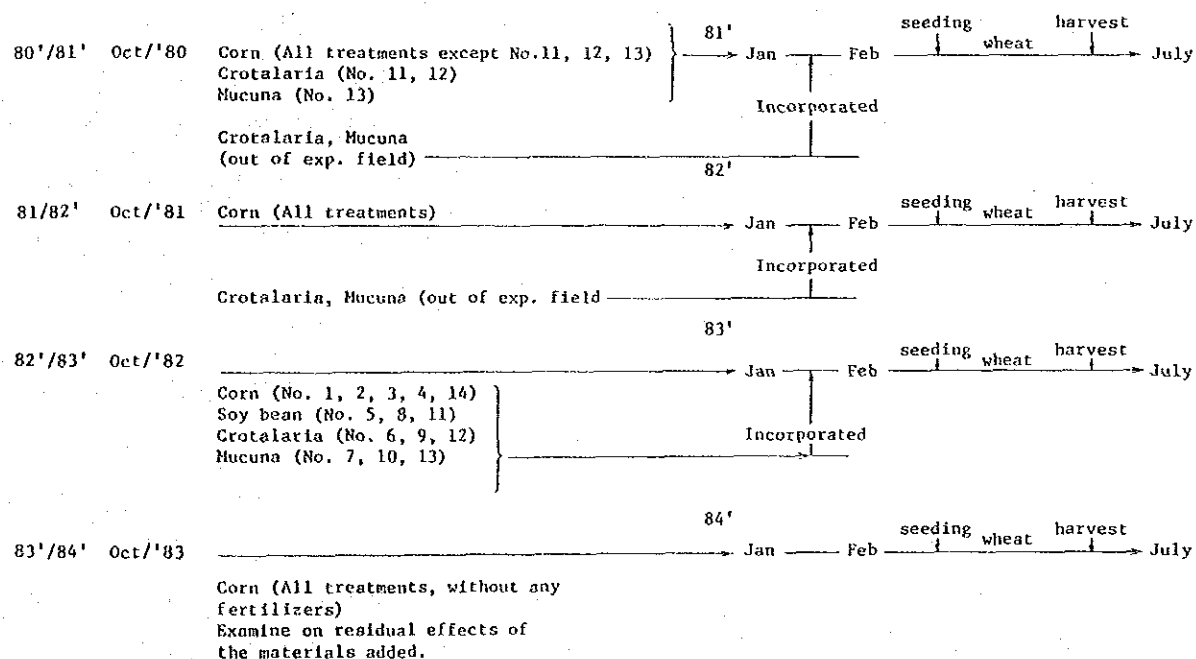
1. 試験方法

(1) 圃場、土壌及び作付概要

試験圃場はCPAC (Brasilia東北約40km) 内の台地 (標高約 1.100m) 上、典型的なセラード原野、開墾後5年目、前作3~4年間ダイズに対するりん酸肥料試験実施、土壌は赤黄色ラトゾール (VA)、団粒構造の発達した排水良好な粘土質土壌 (理化学性は表10~12参照)。試験圃場の作付概要は表1に示した。

a) 緑肥作物の栽培

Table I-1 Outline of the cropping in experimental field



当初2年間の1980年10月~81年1月及び81年10月~82年1月の2回は、下記コムギ栽培圃場の隣接地で栽培、地上刈取部 (刈取り部位、地上10cm) をコムギ圃場に運びすき込み施用した。試験3年目、82年10月~83年1月は、コムギ圃場内の各緑肥施用区内に、それぞれ概当する緑肥作物を播種生育させ、収穫日に地上部を刈取り生体重を秤量、同一種の生体重の

平均値を出した。全量施用区は、1試験区当たり生産された全量を、また半量施用区はその半量をそれぞれすき込んだ。「若刈り区」用の緑肥作物は播種日を遅らせ、刈取日は全部同一にした。

b) コムギの栽培

コムギ栽培用の試験圃場では、80年10月～81年1月、まず青刈トウモロコシを窒素肥料のみは施用せずに均一栽培を行い、可給態窒素の消耗と地力の均一化を図った。

ついで81年1月下旬より試験区に応じて、緑肥施用区には上記緑肥作物栽培圃場より所定の収穫物を運び施用した。緑肥は試験区内に運搬後、長さ約30～50cm程度に切断、畑表面に均一に散布、1週間程度放置後、深さ15～20cmの土壤にすき込んだ。すき込み後2～3週間放置後、整地作条、化学肥料の施用、播種、覆土、鎮圧を行った。毎年播種は2月下旬～3月上旬、収穫は7月中～下旬となった。

第1年目コムギ作は、害虫（ラガルト）の被害と、地力均一化の不十分なため、かなりの生育むらを見たので、第2年目コムギ作の前、81年10月～82年1月に前年同様、無窒素条件で青刈トウモロコシを均一栽培した。このあと、前年同様の方法で試験区に応じた緑肥施用を行い、コムギ栽培を行った。なお青刈トウモロコシ収穫時には、刈株、根ともに試験区内に残留しないように全量搬出した。

第3年目の82年10月～83年1月には、上述のように供試緑肥作物を概当する緑肥施用区内で栽培、収穫、すき込みを行い、このあとコムギを栽培した。この緑肥作物栽培期間に、無窒素区と硫安区はいずれも、前回までと同様に青刈トウモロコシを栽培した。この場合、収穫物は刈株、根を含めて全量試験区外に搬出した。すなわち、緑肥区は3年間にわたり、緑肥有機物が施用されたが、無窒素区と硫安区では、有機物の施用は全く行われていない。

第4年目、83年10月～84年1月に青刈トウモロコシ、84年3月～7月コムギを何れも全区無肥料の条件で栽培し、これまでの3年間に連用した緑肥や硫安、或いは無窒素条件の影響について検討した。

供試作物の品種は、コムギ：IAC-5、トウモロコシ：Cargill-111、緑肥作物：*Crotalaria Juncea* 及び *Mucuna preta*。なお第3年目の若刈り*Crotalaria*の代わりに、グイズ（Num-baira）を栽培、青刈りして使用した。

(2) 試験区

試験区の構成は表2に示した。No1～4では、無窒素のほか硫安施用量を3段階設け、本土壌におけるコムギ栽培時の窒素要求度を知らうとした。No5～7は施用窒素の全量を緑肥で供給する場合である。緑肥作物の種類は、*Crotalaria*と*Mucuna*の2種で、収穫時期の違いを、*Crotalaria*については開花前の「若刈り」と「2/3開花期」の2種類とした。*Mucuna*は「2/3開花期」収穫のみである。いずれも、コムギ栽培面積と同一面積で生産された刈取部（刈株高さ10cm）の全量（1/1で示す）をすき込んだ。No. 8～13は、緑肥量を上記の半量（1/2で示

す)とし、代わりに硫酸をN 20kg/ha相当量併用したが、この硫酸をNo. 8~10では元肥としてNo. 11~13では追肥として施用した。

Table I-2 Experimental treatment

No.	Treatment			
1	No nitrogen			
2	Ammonium sulfate	(low)	20 kg N/ha	
3	"	(medium)	40	"
4	"	(high)	60	"
5	Crotalaria	(y) (1/1) ^{a)}	Young before flower stage	
6	"	(f) (")	Flowering stage	
7	Mucuna	(f) (")	"	
8	Crotalaria	(y) (1/2) ^{a)}	+ AS (basal)	20 kg N/ha
9	"	(f) (")	"	"
10	Mucuna	(f) (")	"	"
11	Crotalaria	(y) (1/2) ^{a)}	+ AS (top)	"
12	"	(f) (")	"	"
13	Mucuna	(f) (")	"	"

Wheat variety : IAC-5

AS: Ammonium sulfate

Replication : 3

PLOT AREA: 72 m²
(7.2m x 10m)

a): means applied amounts of green manures to field.

(1/1): All amounts produced were applied to same area of the field for green manure production.

(1/2): half of (1/1)

試験区の1区の広さは72m² (7.2m×10m)で、3反復とした。

施肥量については表2に示した。

硫酸追肥は3月末発芽後4週目頃で、出穂開始1ヶ月前頃であった。

全区共通肥料として、ヘクタール当り炭カル4t, P₂O₅ 200kg (重過石), K₂O 40kg (塩加), Mg20kg (硫酸塩)を元肥施用した。硫酸単独区の硫酸は、全量元肥に施用。

緑肥作物に対する施肥は次のようである(すべてha当り)。初年目、苦土石灰4tを施用し土壤酸性をPH 6.0程度とした。毎年元肥として、P₂O₅ 600kg (重過石), K₂O 60kg (塩加)及びZnの補給にZnSO₄ 20kgまたはFTE(BR-12) 50kgを施用した。

コムギの播種は、うね幅20cmとし、この長さ1m当りに76粒の種子をまいた。かなりの密植であり、調査によれば、全区とも有効茎数は1株1本であった。

Table I-3 Amounts of organic dry matter and nitrogen applied (81'/82')

No.	Treatment	Org. DM t	N (kg/ha)		
			Inorg.	Org.	Total
1	No N	0	20	0	0
2	As(L)	0	20	0	20
3	" (M)	0	40	0	40
4	" (H)	0	60	0	60
5	Cr(y)(1/1)	2.5	0	91	91
6	" (f) (")	14.2	0	261	261
7	Mu(f) (")	8.7	0	309	309
8	Cr(y)(1/2)As ^{a)}	1.3	20	45	65
9	(f) (") "	7.1	20	131	131
10	Mu(f) (") "	4.4	20	155	175
11	Cr(y)(1/2)As ^{b)}	1.3	20	45	65
12	" (f) (") "	7.1	20	131	151
13	Mu(f) (") "	4.4	20	155	175

a) basal dressing.

b) top dressing.

Common fertilizers: CaO: 46, P₂O₅: 200 kg. K₂O: 40 kg.

Mg: 20 kg/ha

(3) 調査、分析方法

生育調査（草丈、莖数、穂数、穂長）、収量調査（わら重、子実重）、収穫物の養分含量（N、P、K、Ca、Mg）及び圃場土壌の理化学性の分析を行った。

収量調査は各試験区の中央部28.4m²（隣接区との境2m及び通路との境1.2mを除去、全面積の約39%相当）について実施した。

植物及び土壌の理化学分析は、CPACの慣行法によった。

2. 試験結果及び考察

1) 緑肥作物の乾物及び養分収量（表4）

栽培期間58~108日間で、ヘクタール当りの収量は、乾物：2.5~14.2t、N：91~309kg、P 8.4~34kg、K：46~154kg、Ca：36~114kg、Mg：14~72kgに達した。刈取り適期の2/3開花期における比較では、乾物、P、Ca、Mgの収量はCrotalariaがMucunaよりも多かったが、N、Kの収量はMucunaの方が多かった。このような結果が得られたのは、Crotalariaは開花期以降の成熟老化が著しく、新しい葉身は減少し、莖及び枝が硬化するのに対し、ツル性のMucunaでは、その伸長に伴い常に新葉を展開させ、全体として葉身の割合が著しく高いためであ

ろう。NとKの含有率の変化にそれらの違いが示されている。なお、P含有率は、作物種間及び成熟程度の間での差異が、NやKほどは大きくなかった。

Table I-4. Dry matter and nutrients yield and nutrients concentration of green manures examined.

Crops	Cropping year	Day after seeding	DM t/ha	Percent content (%)					Yield (kg/ha)				
				N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
<i>Crotalaria juncea</i> (young)	80'/81'	41	0.74	3.26	0.35	2.41	-	-	24.1	2.6	17.8	-	-
	81'/82'	56	2.5	3.63	0.39	1.95	1.42	0.55	90.8	9.8	48.8	35.5	13.8
	80'/81'	72	6.0	2.40	0.23	1.19	-	-	143	13.7	70.8	-	-
	(matured)	82'/83'	91	8.9	2.88	-	-	-	256	-	-	-	-
	81'/82'	108	14.2	1.84	0.24	0.59	0.80	0.51	261	34.1	83.8	114	72.4
<i>Mucuna preta</i> (matured)	80'/81'	72	4.0	2.25	0.21	1.14	-	-	90.2	8.4	45.7	-	-
	82'/83'	92	4.5	3.55	-	-	-	-	158	-	-	-	-
	81'/82'	108	8.7	3.54	0.24	1.76	0.94	0.25	309	21.0	154	82.1	21.8
Soy bean dumhalra	82'/83'	88	6.6	3.53	(2.63- 4.47)	-	-	233	-	-	-	-	

このように、播種後3ヶ月余で、乾物（少なくとも約80%は有機物）はヘクタール当り5～6t、Nは200kg程度が産出されることを知った。これは乾物で腐熟堆肥の約15t分、Nでは硫安換算1,000kgにも相当する。但し後述のように、緑肥のNはすき込み直後の一作の作物だけで見れば、そのNの利用率は硫安の20～30%程度であるから、利用率を考慮すれば、硫安の200～300kgが生産されたことになる。以上の結果は、刈株の高さ約10cmで刈取った場合の刈取部だけの値である。緑肥作物栽培圃場には、この他に刈株と根部が残存する。それらの調査結果は表5に示した。

Table I-5 Ratio of dry matter and nitrogen yield in harvested parts

Green manure crop	Days after seeding	DM		N	
		Cuttin g part	Stubb.+ Root	Cuttin g part	Stubb.+ Root
Cr(y)	41	70	30	79	21
"(f)	72	83	17	90	10
Mu(f)	72	88	12	90	10

(刈取部) : (刈株+根)の比は、播種後72日目の2/3開花期では、乾物は*Crotalaria*で83 : 17、*Mucuna*で88 : 12、Nは両種とも90 : 10であった。両種とも栽培日数を増せば刈取部の割合は増加の傾向にあったが、緑肥適期の収穫での大凡の目安は、(刈株+根)に含まれるN量は、(刈取部)の約10%と見られる。緑肥作物をその栽培圃場にすき込む場合には収穫部の約10%増しのNが施用される計算となる。

2) コムギに対する緑肥の肥効(表6)

コムギの作柄は第1年目は干ばつと害虫(ラガルト)の被害により、また第3年目は、カメ虫と赤カビ病の被害により、全般に不作で処理間の差異は著しく乱されたので、以下比較的順

調に推移した第2年目の結果についてのみ報告する。

ヘクタール当りの収量は、無窒素区でも子実重1.5t、わら重2.0t程度があり、N肥料の肥効は、全般に子実重で少なくわら重で大きい傾向にあった。すなわち、無窒素区の値(100)に対する指数で示すと、硫安区で子実重103~110、わら重123~132であったが、緑肥区では、子実重77~112、わら重134~148で、緑肥区は子実重が無窒素区に劣る場合が4処理区もあったが、わら重はすべての区で高い値となった。この結果、わら重：子実重の比は、無窒素区の1.3から、硫安区の1.6、緑肥区の1.8~2.4にまで高まった。

Table I-6 Yield of wheat (81'/82')

Treatment No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Straw	Kg/ha	1,991	2,455	2,638	2,515	2,821	2,764	3,039	2,875	3,102	2,942	2,672	2,928	2,774
	Index	100	123	132	126	142	139	153	144	156	148	134	147	139
Grain	Kg/ha	1,496	1,537	1,647	1,606	1,159	1,381	1,588	1,504	1,677	1,625	1,367	1,592	1,440
	Index	100	103	110	107	77	92	106	101	112	109	91	106	96
Straw Grain		1.33	1.60	1.60	1.57	2.43	2.00	1.91	1.91	1.85	1.81	1.95	1.84	1.93

この結果より、供試緑肥はいずれも比較的肥効は早く、また肥効の持続性があるため、ムギの栄養生長を促進したが、生殖生長を遅延し、特に出穂後の穂への炭水化物の転流を阻害したものである。このような影響は、含有Nの無機化が早いと思われる「若刈り」緑肥や施用量が著しく多いCrotalaria単独区及び、緑肥に併用硫安を追肥として施用した場合に大きいようであった。

その他緑肥の多量施用に由来する過剰Nとその肥効の持続性に基づく悪影響としては、コムギ出穂後の赤サビ病等の病害と、出穂登熟期が乾季に入るため、土壌の水不足を激化する場合もあった。よって、本実験のような条件でのコムギ栽培における緑肥の施用量は、2/3開花期の収穫物を、ヘクタール当り乾物で約3t、Nとして約100kgを上限として、これ以下の量をすき込む程度が安全であろう。緑肥乾物2~3tの場合、硫安を併用すれば、N20kg程度を元肥に用いる方がよいと思われる。

いずれにせよ、緑肥のN供給力は大きいので、無灌漑のコムギ栽培のように、N要求量の少ない作物に直接施用するのは合理的でない。トウモロコシのようにN要求量の大きい作物にまず利用し、その残効をコムギなどN要求量の少ない作物に利用すべきであろう。

コムギのN吸収量は表7に示した。無窒素区でも48kgN/haの値で、畑土壌の天然供給量としてはかなり高いように思われる。緑肥区はいずれも硫安区より高い吸収量を示したがN施用量が多いので、この施用量に対する割合(利用率)としては、7~12%で、硫安区の26~54%の1/4~1/5強あった。本試験地土壌では、上記のようにNの天然供給量が高いので、肥料Nの利用率は特に低い傾向を示したものである。

Table I-7 Availability of nitrogen added from fertilizers by wheat (81/82)

No	Treatment	Up-taken N(kg/ha)			N Avail. %
		Straw	Grain	Total	
1	No N	10.2	38.2	48.4	-
2	As (L)	16.3	42.9	59.2	54.2
3	" (M)	18.9	48.1	67.0	46.5
4	" (H)	16.8	46.9	63.7	25.5
5	Cr(y)(1/1)	23.8	35.6	59.4	12.1
6	" (f)(")	23.2	42.2	65.4	6.5
7	Mu(f)(")	23.5	49.3	72.8	7.9
8	Cr(y)(1/2)As ^{a)}	21.7	45.4	67.1	28.6
9	" (f)(") "	22.6	50.2	72.8	16.2
10	Mi(f)(") "	23.3	49.3	72.6	13.8
11	Cr(y)(1/2)As ^{b)}	21.6	44.0	65.6	26.3
12	" (f)(") "	23.9	49.4	73.3	16.5
13	Mu(f)(") "	22.1	43.2	65.3	9.6

a) basal dressing

b) top dressing

3) 残効試験の結果

3年間連用した硫安または緑肥の残効性を明らかにするため、無肥料でまず青刈トウモロコシ、ついでコムギを栽培し、それらの乾物収量と養分収量を検討した。

Table I-8 Dry matter yield in the experiment on the residual effects (Kg/ha)

No.	Treatment	Corn	Wheat			Corn + wheat
			Straw	Grain	Total	
1	No N	4,215 (100)	610	350	960 (100)	5,175 (100)
2	As (L)	4,486 (106)	481	272	753 (78)	5,239 (101)
3	" (M)	4,185 (99)	606	347	953 (99)	5,138 (99)
4	" " (H)	4,422 (105)	530	310	840 (88)	5,262 (102)
5	Cr(y)(1/1)	7,608 (180)	888	482	1,370 (143)	8,978 (173)
6	Cr(f)(")	9,029 (214)	945	492	1,437 (150)	10,466 (202)
7	Mu(f)(")	8,750 (208)	984	522	1,506 (157)	10,256 (198)
8	Cr(y)(1/1)As ^{a)}	7,524 (179)	816	443	1,259 (131)	8,783 (170)
9	Cr(f)(") "	7,601 (180)	840	451	1,291 (134)	8,892 (172)
10	Mu(f)(") "	7,017 (166)	826	472	1,298 (135)	8,315 (160)
11	Cr(y)(1/2)As ^{b)}	7,148 (170)	875	552	1,427 (149)	8,575 (166)
12	Cr(f)(") "	7,404 (176)	859	479	1,338 (139)	8,742 (169)
13	Mu(f)(") "	6,963 (165)	621	353	974 (101)	7,937 (153)

a) basal dressing

b) top dressing

乾物収量は表8に示したが、処理区間の差違は著しい。すなわち、硫安区では施用量の多少に関わらず、無窒素区と同等またはやや劣る結果を示したのに対し、緑肥区では無窒素区に比べての指数は、第1作の青刈トウモロコシでは165～214を示した。第2作コムギでは残効は減少したが、なお最高157であった。両作物の合計で、緑肥区全体で153～202でその残効性は顕著である。特に供試両緑肥作物とも全量すき込み区では、無窒素区や硫安区の約倍量の収量を示した。緑肥を半減しても残効は全量すき込み区の60～70%程度にとどまった。

このようにして収穫した青刈トウモロコシとコムギの各植物体の含有養分を分析して、土壌よりの養分供給量を算出した結果を表9に示した。

Table I-9 Nutrients yield in the experiment on the residual effects^{a)}

Treatment No.	(Kg/ha)														
	N			P			K			Ca			Mg		
	Corn	Wheat	Total	Corn	Wheat	Total	Corn	Wheat	Total	Corn	Wheat	Total	Corn	Wheat	Total
1	44.0	14.1	58.1 (100)	5.6	1.4	7.0 (100)	14.8	5.1	19.9 (100)	12.2	2.8	15.0 (100)	18.1	2.7	20.8 (100)
2	49.3	10.6	59.9 (103)	6.1	1.1	7.2 (103)	14.6	3.3	17.9 (90)	13.3	1.7	15.0 (100)	20.5	2.0	22.5 (108)
3	47.1	13.1	60.2 (104)	5.4	1.5	6.9 (99)	14.8	5.3	20.1 (101)	14.2	2.7	16.9 (113)	18.9	2.5	21.4 (103)
4	58.5	11.6	70.1 (121)	6.5	1.3	7.8 (111)	14.5	3.6	18.1 (91)	16.1	2.1	18.2 (121)	22.0	2.1	24.1 (116)
5	90.6	18.0	108.6 (187)	9.5	1.8	11.3 (161)	44.4	11.0	55.4 (278)	20.3	2.6	22.9 (153)	27.1	2.9	30.0 (144)
6	101.2	20.2	121.4 (209)	10.9	1.9	12.8 (183)	49.4	12.9	62.3 (313)	21.4	3.4	24.8 (165)	30.1	3.7	33.8 (165)
7	112.5	20.0	132.5 (228)	11.5	2.1	13.6 (194)	56.7	13.5	70.2 (353)	23.3	3.6	26.9 (179)	31.0	3.6	34.6 (166)
8	79.7	17.1	96.8 (167)	8.0	1.7	9.7 (139)	28.2	8.0	36.2 (182)	25.4	2.8	28.2 (188)	30.1	3.1	33.2 (160)
9	84.1	17.2	101.3 (174)	9.8	1.8	11.6 (166)	31.1	8.5	39.6 (199)	22.9	3.1	26.0 (173)	29.7	3.0	32.7 (157)
10	89.8	17.0	106.8 (184)	9.1	1.8	10.9 (156)	29.2	8.8	38.0 (191)	20.6	2.7	23.3 (155)	26.9	2.8	29.7 (143)
11	95.0	20.7	115.7 (198)	10.6	2.1	12.7 (181)	37.2	11.1	48.3 (243)	21.7	3.2	24.9 (166)	29.0	3.3	32.3 (155)
12	91.8	18.8	110.6 (190)	9.8	1.9	11.7 (167)	28.8	8.6	37.4 (188)	21.4	3.0	24.4 (163)	28.1	3.2	31.3 (150)
13	81.0	13.1	94.1 (162)	8.3	1.4	9.7 (139)	27.7	7.0	34.7 (174)	20.5	1.9	22.4 (149)	27.7	2.1	29.8 (143)

a) Means of three replicates

緑肥区では分析したすべての成分で無窒素区に比べて著しく高い供給力が見られた。すなわち、Kは1.7～3.5倍、Nは1.6～2.3倍、Pは1.3～1.9倍、Caは1.5～1.9倍、Mgは1.4～1.7倍程度で、特に緑肥全量区のKとNの供給力の高さが注目される。硫安区はこれと対照的で、多量区でNの供給力は多少高いが、Kは無窒素区に10%程度劣り、他の成分では殆ど差は見られなかった。

このようにマメ科緑肥の連用により、Nのみでなく、N以上に多量のKが蓄積されることは、K肥料を全量輸入に頼っている伯国では重要な意義を有する。作物のCa、Mg吸収量の処理区間の差がない理由は、この可給態Kの増加により、作物根によるCaやMgの吸収が競合、抑制されたものと考えられる。緑肥施用の場合も、条件によっては、Ca、Mgの補給を考慮すべきことを示している。

4) 土壌の理化学性の変化

表10に3年間栽培試験終了時に採取した土壌の化学性を示したが、無窒素区との比較で処理区の特徴を記せば以下のようである。

PH：硫安区では低下、特にKCl浸出PHの低下がやゝ大きく、硫安による塩基の流亡による土壌の酸性化が認められる。一方、緑肥区でも、全般に僅かの低下傾向は見られるが、KCl-PHでは殆ど差はなく、この土壌酸性は有機酸等による一時的なもので、下記のようにCa、Mg、Kなどの塩基は増加してするので、連用による酸性は問題にならない。なお硫安区も含めて、活性Al濃度はいずれも極めて低い状態にあった。

Table I-10 Chemical properties of the soils in the experiment¹⁾

Treatment No.	pH		Al me/100 ml	Ca me/100 ml	Mg me/100 ml	P ppm	K ppm	MO %	N %
	(H ₂ O)	(KCl)							
1	6.2	5.5	0.0	4.41	1.13	27.3	31	3.18	0.19
2	5.9	5.3	0.0	4.22	1.01	24.0	26	3.30	0.19
3	5.6	5.1	0.0	3.75	0.88	40.4	43	3.03	0.18
4	5.7	5.1	0.0	3.67	1.01	31.3	28	3.23	0.18
5	6.1	5.6	0.0	4.45	1.20	34.0	57	3.31	0.19
6	6.2	5.5	0.0	4.61	1.37	53.8	90	3.50	0.20
7	6.0	5.4	0.0	4.36	0.95	33.5	65	3.30	0.20
8	6.1	5.5	0.0	4.37	1.16	40.5	66	3.26	0.20
9	5.9	5.3	0.0	4.13	0.99	38.7	46	3.30	0.20
10	5.7	5.2	0.0	3.97	0.90	30.7	54	3.28	0.19
11	6.0	5.4	0.0	4.49	1.05	33.2	57	3.35	0.19
12	6.0	5.4	0.0	4.29	1.28	38.8	64	3.35	0.19
13	6.0	5.4	0.0	4.32	0.99	45.0	61	3.28	0.19

1) Sampled: 30/06/1983, before the experiment on residual effects. 0-15cm. Means of three replications.

Ca, Mg：硫安区では明らかに低下したが、緑肥区では、全量区の場合同等またはやゝ高い値を示した。しかし半量区では僅かに低い場合もあった。

K：硫安区では同等ないし減少傾向にあったのに対し、緑肥区ではいずれも著しい増加が認められた。緑肥連用による土壌の変化は、調査事項中、この可給態K含量の増加が最も顕著なものであった。

P：硫安区での変化は殆ど認められないが、緑肥区ではKほど著しい変化ではないが、全般に増加傾向は明らかであった。

有機物 (MO) : 硫安区での変化は殆ど認められないが、緑肥区ではいずれも僅かに増加した。
 全窒素 (N) : 処理区間の差を認めることはできなかった。緑肥全量はやゝ高い傾向にはあったが分析誤差の範囲内である。

Table I-11 Chemical properties of the residual soil after Corn-wheat cultivation for 4-years¹⁾

Treatment No.	pH		Al me/100 ml	Ca me/100 ml	Mg me/100 ml	P ^{a)} ppm	K ppm	MO %	N %
	(H ₂ O)	(KCl)							
1 no N	6.5	5.7	0.0	4.19	0.89	30.3	17	2.94	0.20
4 AS(B)	5.9	5.2	0.0	3.21	0.63	20.5	12	2.92	0.19
5 Cr(Y)	6.4	5.5	0.0	3.83	0.85	27.8	23	2.96	0.20
6 Cr(F)	6.5	5.7	0.0	4.21	1.03	28.9	26	3.06	0.20
7 Mu(F)	6.3	5.4	0.0	3.81	0.73	25.4	20	3.04	0.21

a) Mehlich

1) Sampled: 17/07/1984, after the experiment on residual effects, 0-15 cm.
 Means of three replications.

表11に1年間の残効試験の栽培終了時の土壌についての調査結果を示した。

表10の値に比べ、全般にPHはやゝ高い傾向にあるが、全窒素を除き他の成分は無肥料栽培で減少した。特にKの減少は著しい。しかし緑肥区は硫安区に比べて、全般にすべての養分含量がなお高いことを示している。

以上の緑肥区土壌の化学性の特徴は、残効試験の栽培で得られた作物体の養分含量の結果とよく一致していた。

Table I-12 The changes of physical properties of the soil¹⁾

No.	Treatment	Bulk density g/cm ³	Three-phase (% vol.)			Water ratio %	H ₂ O % (by vol.)		
			solid	liquid	gas		0.5 atom	5.0 atom	15.0 atom
1	No nitrogen	0.93	33.6	19.7	46.7	21.11	29.7	26.6	24.5
3	Nitrogênio químico	0.94	34.5	19.5	46.1	20.72	29.6	26.4	24.4
4	Crotalaria juncea	0.96	34.6	20.0	45.4	20.92	30.4	26.9	24.9
7	Mucuna preta	0.98	35.7	20.4	43.8	20.87	30.0	27.0	24.6
12	Crotalaria juncea (meia quantidade)	0.96	35.2	20.2	44.6	20.93	30.0	26.7	24.6
13	Mucuna preta (meia quantidade)	0.95	34.4	19.8	45.8	20.80	29.7	26.5	24.6

1) 5-15 cm depth. Mean of nine samples per one treatment.

土壌の物理性に及ぼす緑肥連用の結果は表12に示した。仮比重、3相分布及び水分張力の分布に関する測定値より見た場合、3年間の連用程度では、硫安区も緑肥区も特記するほどの変化を認めることはできなかった。

このような結果を得た理由は、高温、湿潤な条件で、施用緑肥の分解が速やかなこと及び、表10よりも明らかのように、本土壌が有機物含量3%程度に過ぎないのに、その仮比重は0.95前後、孔隙率は約65%と、元来団粒構造の発達が極めて良好なためと思われる。

5) 窒素の天然供給力

本試験での無窒素区は、4年間にわたりNに関しては無肥料条件で、青刈トウモロコシとコムギをそれぞれ4作栽培した。それらの乾物及びN収量を合計量として表13に示した。

Table I-13 Amounts of organic dry matter and nitrogen added and yielded in 4-years

No	Treatment	Addition (/ha)			Yield (ha)	
		org DM t	inorg N kg	org-N kg	DM t	N kg
1	no N	0	0	0	33.5	494
2	As(L)	0	140	0	35.6	552
3	" (M)	0	210	0	35.8	549
4	" (H)	0	310	0	35.9	574
5	Cr(y)(1/1)	11.6	0	410	39.5	577
6	(f)(")	28.1	0	665	43.1	759
7	Mu(f)(")	18.5	0	605	40.0	842
8	Cr(y)(1/ 2)As	6.4	50	235	36.2	524
9	" (f)(") "	14.1	50	333	37.7	615
10	Mu(f)(") "	8.8	50	303	34.7	649

4年間でha当り 494kgというN供給力があり、作物の乾物生産量は33.5tにも達した。この予想以上に高いNの天然供給力が認められた理由は、まず本圃場が試験開始前、約3年間ダイズを栽培していたため、この残効が大きいものと思われるが、その他、非共生N固定菌の作用や雨季に多い雷雨よりのN供給等も可能性としては考えられる。いずれにせよ、セラード土壌も栽培管理の如何によっては、比較的高いNの天然供給力を示すことを知った。

3. 要 約

雨季前半にマメ科緑肥作物、*Crotalaria juncea* (Cr) と *Mucuna preta* (Mu) をそれぞれ栽培し、雨季后半から乾季にかけて栽培するコムギ(品種IAC 5)の緑肥として利用した場合の肥効

について、Nに重点をおいて検討した。土壌はセラードの代表的種類の1つの赤黄色ラトゾールである。得られた主な結果は次のようである。

1) 緑肥生産量：栽培期間58～108日間で、ヘクタール当りの収量は、乾物：2.5～14.2t，N：91～309 kg，P：8.4～34kg，K：46～154 kg，Mg：14～72kgに達した。MuはCrよりもN，K%は高く，Ca，Mg%は低い傾向にあった。

刈取り適期(2/3開花期)の刈取部と刈株(高さ10cm)プラス根部の比は、乾物は、Crで83：17，Muで88：12，Nは、両種とも90：10であった。

2) コムギに対する肥効(81年/82年作)：無窒素区収量(t/ha)は茎葉重1.99，子実重1.50であったが、これに対する指数で示すと硫安(40kgN/ha)でそれぞれ132，110，緑肥区では、139～153，77～112で茎葉重ではまさましたが、子実重では差はなかった。むしろ「若刈り区」やCrの全量すき込区では、子実重は劣った。

すなわち、緑肥区ではNの過剰によるコムギの栄養生長は遅延し、稔実不良を招く場合もあった。コムギへの緑肥施用量は、ha当り乾物3t，Nで100kg程度を上限とすべきであろう。

3) Nの利用率：コムギによる施用Nの利用率を、無窒素区のN吸収量を差引く方法で算出すれば、硫安区で26～54%，緑肥単独区で6.5～12%，緑肥と硫安併用区で10～29%程度であった。「若刈り」緑肥は「2/3開花期」緑肥より明らかに高い値を示し、速効性であり、硫安併用により緑肥区のN利用率は高まったが硫安区に比べると著しく低い。

4) 残効性：緑肥の連用により土壌の肥沃性は著しく高まり、その残効性は、青刈トウモロコシとコムギの合計乾物生産量で、硫安区の1.5～2.0倍にも達した。養分供給力の点で残効性を見ると、 $K > N > P > Ca > Mg$ の順で、緑肥区では特にKの供給力が大きかった。緑肥半量区でも、これらの養分供給力は、全量区の60～70%であった。

5) 土壌への影響：土壌の化学性に及ぼす影響は、有機物のみならず、K，Ca，Mgなどの塩基及びPの集積を促進し、土壌の酸性化を防止した。Nに関しては全窒素含有率では影響を認めなかったが、前記残効試験の作物の吸収N量の大きさより、可給態Nの増加は著しいものと判断される。硫安区では、緑肥区と対照的に塩基含量、特にKが減少し、土壌の酸性化が進行した。

土壌の物理性に及ぼす影響は、いずれの区においても、調査事項(仮比重、3相分布、土壌水分張力の分布)の範囲内では何ら認められなかった。

6) 窒素の天然供給力：無窒素区での青刈トウモロコシーコムギの4年間の栽培結果では合計値は乾物収量：33.5t/ha，N収量：494 Kg/haで、畑作としてはかなり高いことを知った。

試験II. コムギによる硫酸窒素の吸収に対する併用緑肥の影響

Experiment II: Upon the effect of the green manure on the absorption of nitrogen in ammonium sulfate applied together by wheat (Field experiment)

1. 緒言

緑肥窒素の肥効を解明する一手段として、重窒素 (^{15}N) でラベルした緑肥を供試し、その ^{15}N の土壌及び作物中での行動を追跡する方法がある。しかしこのためには、まず ^{15}N を含有する緑肥を調整せねばならぬから、相当高濃度の ^{15}N 含有の試薬を用いる必要がある。よって、 ^{15}N 使用実験の手始めとして、比較的低濃度の ^{15}N 試薬でも可能な試験として、緑肥と併用した無機窒素肥料のNの行動についての仕事を行った。

緑肥のような新鮮有機物に、硫酸のような無機質窒素肥料を併用した場合のNの肥効に関しては次のようなことが考えられる。a) 緑肥窒素の遅効性を速効性の硫酸窒素が補う。b) 緑肥有機物のC/Nが、速効性窒素の併用によって低下するため、有機物の微生物による分解は早まる可能性がある。c) 上記b)の過程で、硫酸窒素の一部は菌体に取り込まれるため、遅効性となり、また流亡に対する抵抗性も大きくなる。

このように、緑肥と硫酸が適当な割合で共存すれば、両者の窒素の肥効を高める可能性が考えられる。特にセラードの多雨条件では、施用硫酸の流亡損失の可能性が大きいので、c)に基づく硫酸窒素の肥効増進が認められれば、その意義は大きいものと思われる。よって試験1の圃場内で、緑肥に併用した硫酸窒素のコムギによる吸収について、 ^{15}N 標識硫酸を用いた試験を実施した。

2. 試験方法

試験処理区は表1に示すように、硫酸の単用区(A-)と緑肥との併用区(G-)を基礎とし、この硫酸をそれぞれ元肥として施用する区(-1)と、追肥として施用する区(-2)を設けた。各処理区の反覆は3連制である。供試硫酸は ^{15}N 標識物 (^{15}N 4.963 Excess%) である。

Table II-1 Treatment of the experiment (/ha)

Treatment No.	Treatment		Green manure ¹⁾		Ammonium sulfate ²⁾	
	Nitrogenous fertilizer	Application of Ammonium sulfate	D.M t	N Kg	Basal application N Kg	Additional application N Kg
A-1	Ammonium sulfate alone	Basal	0	0	21	-
G-1	Green manure + Ammonium sulfate		7.1	131	21	-
A-2	Ammonium sulfate alone	Additional	0	0	-	21
G-2	Green manure + Ammonium sulfate		7.1	131	-	21
no N	no nitrogen	-	0	0	-	-

1) *Crotalaria preta*, 2/3 flower stage

2) ^{15}N labeled (4.963 Excess % ^{15}N)

Seeding: 23/02 '82, Germination: 1/03

The date of Ammonium sulfate application; Basal: 1/03, Additional: 25/03

Replication: 3

試験圃場はExp. 1内に設けた。すなわち、硫安単用区は、Exp. 1の硫安中量区内に、また緑肥との併用区は、Crotalaria (2/3開花時) 半量すき込み+硫安(元肥)または硫安(追肥)区内に、それぞれ概当する試験区を設置した。¹⁵N標識硫安施用のための精密区として、いずれも1 m² (0.5m×2 m)をヒモで囲って、施肥、試料採取等を行った。

¹⁵N硫安を用いる以外の施肥、栽培管理はすべてExp. 1の場合と同一である。¹⁵N硫安の施用のみは所定量を水溶液として、如露を用い、精密区内に均一に散布したが、元肥区は、発芽揃後(3/01)、追肥区は第1回試料採取直後(3/26)に施用した。

コムギ(品種IAC-5)は収穫期までの間に、栄養成長期、穂ばらみ期、穂揃期、黄熟期、完熟期の5回分析用試料を採取した。試料は1回にウネの長さ1 m(50cmを2列)上の個体全部(20~30個体)を地際より約5 cmで刈取った。

採取試料は65℃で通風乾燥後乾燥重を秤量、粉碎後、N, P, K, Ca Mgの分析に供した。なお出穂後の試料は穂部と茎葉部に分けて乾燥して、それぞれ乾物重の測定と成分の分析を行った。穂よりの子実の分離はしなかった。

土壌に関しては、第1回目のコムギ採取時に、その根部の土壌を採取し、NH₄-NとNO₃-Nを分析したが、いずれの濃度も低く、これらの¹⁵Nの測定のためには、土壌のNKCL浸出液を相当濃縮する必要を認めたので、今回の試験では土壌の分析は行わなかった。植物体の¹⁵Natom%は、サンパウロ大学農学部付属の原子力研究センター(CENA)に依頼し、質量分析計によった。

3. 試験結果及び考察

1) 乾物生産量: 乾物生産量(表2)は、いずれの区も穂揃期に最高に達した。茎葉部のみの値もこの時期が最高で、以後はそれらの枯死脱落と穂への養分移動によって、乾物重は急減した。これに対し穂部では完熟期に向って漸次乾物重は増加していった。

このような乾物重の推移において、処理の影響は次のようである。すなわち、緑肥の併用に

Table II-2 The growth stage of wheat and dry matter yield³⁾

Growth stage ¹⁾	(Kg/ha)										
	1	2	3			4			5		
Date	26/03	15/04	10/05			25/05			15/06		
No.	Straw ²⁾	Straw	Straw	Ear	Total	Straw	Ear	Total	Straw	Ear	Total
A-1	389	2,221	3,023	1,147	4,170	2,182	2,022	4,204	2,216	2,124	4,340
G-1	389	2,338	5,030	1,176	6,206	2,440	1,560	4,000	2,367	2,425	4,792
A-2	389	2,124	3,524	0.914	4,437	2,343	1,832	4,175	2,435	2,352	4,787
G-2	389	2,663	4,335	1,181	5,516	3,256	2,245	5,502	2,819	2,741	5,560
no N	-	2,474	3,192	1,288	4,481	1,720	1,934	3,655	2,391	2,138	4,530

1) Growth stage: 1: Vegetable growth, 2: Booting 3: Middle heading
4: Yellow ripe 5: Full ripe

2) Straw: Stem + Leaves

3) Dried at 65°C

より、穂ばらみ期以降の茎葉と穂の重量増が大きくなり、また、硫安の施用は、緑肥の有無にかかわらず、追肥が元肥よりも高い乾物生産を示した。このような結果、完熟期における乾物重の順位は、緑肥併用硫安追肥区 (G-2) > 緑肥併用硫安元肥区 (G-1) = 硫安単用追肥区 (A-2) > 硫安単元肥区 (A-1) であった。

2) 窒素含有率：コムギの窒素含有率 (表3) は、何れの区も栄養成長期 (第1回目試料) に最高で4.6 ~ 4.8 %を示したが、以後、茎葉部の値は減少し、完熟期では0.7~0.9 %になった。一方、穂のN %は、穂揃期には2.0 ~ 2.2 %であったが成熟と共に漸増し、黄熟期には2.2 ~ 2.6 %に達した。完熟期ではやや減少が見られた。試験処理の影響は次のようである。

まず緑肥併用の影響は、硫安追肥の場合には全生育期間を通じて、緑肥併用によりN %はやや高い値を示した。しかし硫安元肥の場合には、穂揃期までは硫安単用区の方がやや高く、以後、緑肥併用区の方が高い傾向になった。硫安の施用時期の違いは、緑肥併用の有無にかかわらず穂揃期までは追肥 > 元肥であったが、黄熟期以降では差異は認められなかった。このように植物体のN %の消長に、施用Nの種類と硫安の施用時期の違いが現われていた。

Table II-3 The concentration of total nitrogen and ¹⁵N-excess % of the wheat

	Growth stage	1		2		3		4		5	
		No.	Straw	Straw	Straw	Ear	Straw	Ear	Straw	Ear	
T-N %	A-1		4.59	3.18	1.35	2.06	0.88	2.13	0.68	2.15	
	G-1		4.78	2.93	1.31	2.05	1.10	2.60	0.81	2.38	
	A-2		4.68	3.15	1.60	1.99	1.03	2.18	0.88	2.06	
	G-2		4.91	3.34	1.66	2.22	1.12	2.37	0.90	2.29	
	no N		-	2.40	1.40	1.97	0.72	2.16	0.48	2.00	
¹⁵ N excess %	A-1		0.569	0.317	0.305	2.291	0.356	0.361	0.390	0.290	
	G-1		0.335	0.234	0.239	0.203	0.251	0.263	0.242	0.257	
	A-2		0	0.496	0.634	0.515	0.544	0.506	0.532	0.467	
	G-2		0	0.398	0.405	0.390	0.353	0.349	0.385	0.368	
	no N ¹⁾		(0.371)	(0.365)	(0.369)	(0.367)	(0.374)	(0.370)	(0.372)	(0.370)	

1) The value of back ground

硫安由来の¹⁵Nの消長も表3に示した。硫安の元肥、追肥いずれの施用においても、緑肥併用区の値は単用区よりも、全生育期間を通じて、¹⁵N %は低く、施用硫安以外の窒素源 (緑肥と土壌由来) からのN吸収が相当量あることが示された。また、¹⁵N %の低下は元肥 > 追肥で、元肥施用硫安の方がコムギの吸収は劣ったことが認められる。

3) 窒素吸収量：コムギによるN吸収量は表4に示した。全窒素の吸収量に関する処理の影響は栄養生長期では未だ認められず、穂ばらみ期以降になって現われた。すなわち、緑肥併用区はいずれも硫安単用区より高く、また硫安追肥区は元肥区にまさる値を示した。

¹⁵N吸収量に示される硫安Nの吸収に関しては次の特徴が見られた。まず元肥施用の場合、

穂ばらみ期までは単用区の方が緑肥併用区よりはやや大きいですが、穂揃期以降では両区の差は認めがたい。これは、元肥の硫酸Nの一部が緑肥有機物の旺盛な分解時に菌体に取り込まれて有機化され、のちにその分解の衰微と共に無機化されて作物に吸収されたものと思われる。追肥の場合には穂ばらみ期で併用区の方が単用区よりやや高い傾向にあるが、両区の差は元肥の場合ほど大きくはない。以後、コムギの生育過程が進んだ段階で、単用区が併用区よりやや高い吸収量を示した。追肥の場合には、緑肥の旺盛な分解は衰えてから施用されたため、硫酸Nの施用直後の有機化は少なく、その後緩やかに有機化されたものと推定される。

Table II-4 The amount of total nitrogen and ¹⁵N up-taken in wheat

		(Kg/ha)														
	Growth stage	1			2			3			4			5		
	No.	Straw	Straw	Straw	Ear	Total	Straw	Ear	Total	Straw	Ear	Total	Straw	Ear	Total	
Total N (¹⁴ N + ¹⁵ N)	A-1	17.9	70.6	40.8	23.6	64.4	19.2	43.1	62.3	15.1	45.7	60.8				
	G-1	18.6	68.5	65.9	24.1	90.0	26.8	40.6	67.4	19.1	57.7	76.8				
	A-2	18.2	66.9	56.4	18.2	74.6	24.1	39.9	64.0	21.4	47.8	69.2				
	G-2	19.1	88.4	72.0	26.7	98.7	36.5	53.2	89.7	25.4	62.8	88.2				
	no N	-	59.1	44.7	25.4	70.1	12.4	41.8	54.2	11.5	42.8	54.3				
¹⁵ N	A-1	2.06	4.52	2.49	1.39	3.88	1.38	3.15	4.53	1.19	2.65	3.84				
	G-1	1.26	3.22	3.16	0.99	4.15	1.37	2.15	3.52	0.94	3.00	3.94				
	A-2	0	6.69	7.22	1.89	9.11	2.65	4.07	6.72	2.29	4.49	6.78				
	G-2	0	7.07	5.90	2.11	8.01	2.59	3.72	6.31	1.98	4.65	6.63				
	no N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

4) 窒素利用率：硫酸窒素の利用率を表5に示した。各処理の最高値と比較すると、元肥の場合単用区では、22%、併用区20%、一方追肥でも単用区43%、併用区38%と、いずれも緑肥併用で硫酸Nの利用率は減少していて、上述の緑肥分解時の有機化が推定される。また量的には有機化よりは少ないものと思われるが、多雨で土壌水分が高い条件下では、緑肥の併用は脱窒作用による無機態Nの損失を招く可能性も考えられる。

追肥施用に比べ元肥施用の場合、緑肥の有無にかかわらず硫酸Nの利用率は低いが、この最大の要因は、元肥施用から追肥施用に至る間の36日間に337 mmにも達する降雨のため、元肥硫酸Nの流亡または脱窒揮散にあったものと思われる。

Table II-5 The availability of ¹⁵N added

		Growth stage				
		No.				
		1	2	3	4	5
Growth stage	A-1	9.8	21.5	18.5	21.6	18.3
	G-1	6.0	15.3	19.8	16.8	18.8
	A-2	-	31.9	43.4	32.0	32.3
	G-2	-	33.7	38.1	30.1	31.6

5) 無機成分の吸収量と利用率：緑肥のNを始めP, K, Ca, Mg のコムギによる吸収量(最高吸
量を示した第2回または第3回試料)と利用率を試算した結果を表6に示した。

緑肥併用区におけるコムギの各成分量の硫安単用区の値よりの増加量は、施用した緑肥に由
来したものと仮定して、緑肥成分の吸収量を算出し、これらの値の緑肥として施用した量に対
する割合を利用率としたものである。

これによると、緑肥Nの利用率は、硫安の元肥併用で9.4%, 追肥併用で17.2%で、それぞれ
の区における硫安Nの17%や30%に比べれば約1/2程度である。緑肥Nも硫安元肥区の方が低
い値を示したのは、硫安の併用により緑肥Nの無機化は進み、これが多雨条件下で一部流亡ま
たは揮散したためと推定される。NO₃-Nとして損失しやすいNと異なり、測定した他の成分の
吸収量及び吸収率については、緑肥に併用した硫安の施用時期の影響は少なかった。

Table II-6 The availability of elements in
the green manure by wheat²⁾

Element No.	N	P	K	Ca	Mg
Total amounts of the elements absorbed by wheat (Kg/ha)					
A-1	67.9	9.4	78.6	9.0	7.1
G-1	80.2	13.0	99.0	14.7	11.6
A-2	71.1	10.3	81.6	9.1	7.2
G-2	93.6	13.3	102.3	13.9	11.2
no N	64.6	8.9	56.4	8.1	7.4
Amounts of the elements up-taken from the green manure(Kg/ha) ¹⁾					
G-1	12.3	3.6	21.2	5.7	4.5
G-2	22.5	3.0	20.7	4.8	4.0
Availability of the elements in the green manure (%) ³⁾					
G-1	9.4	21.1	50.6	10.0	12.5
G-2	17.2	17.5	49.4	8.5	11.0

1) (G-1) - (A-1) or (G-2) - (A-2)

2) Samples: for A-1 and G-1 The 2nd sample.
for A-2 and G-2 The 3rd sample.

3) Amounts of the elements added from the green manure (Kg/ha)
N: 131 P: 17.1, K: 41.9, Ca: 56.8, Mg: 36.2

すなわち、利用率%は、P:17.5 ~21.1, K:49.4~50.6, Ca:8.5~10.0, Mg:11.0 ~12.5であ
った。これらの成分は容易に流亡するものではないから、緑肥施用によって土壤中に残留する

割合(%)の概算は、(100 - 利用率)として算出すれば、P:80, K:50, Ca:91, Mg:89となり、土壌への養分富化効果が期待できる。

なお硫安単用区と無窒素区におけるN以外の各成分の吸収量を比較すれば、P, K, Ca, Mgの施用量は同じにもかかわらず、硫安単用区の成分吸収量はMgを除き、いずれも高い値を示した。特にKでその差は大きい。Mgの吸収量が両区間の差がないか、寧ろ硫安単用区の方が少ない傾向にあることは、このKの多量吸収による競合の結果と推定される。いずれにせよ、硫安由来のNH₄⁺及びその硝化作用の結果生じるNO₃⁻が、1価カチオンであるKの土壌中での可動性を高め、作物による吸収を促進するものと思われる。

緑肥と硫安のこのような土壌中のりんや塩基類に対する影響の違いは、土壌の肥沃性維持上の重要事項で、Exp. Iの残効試験の結果もこれらを証明している。

Table II-7 The origine of N absorbed in wheat

Origine of N absorbed No.	Soil		Green manure		Ammonium sulfate		Total Kg/ha
	Kg/ha	%	Kg/ha	%	Kg/ha	%	
A-1	63.7	94	0	0	4.2	6	67.9
G-1	64.6	81	12.4	15	3.2	4	80.2
A-2	63.2	89	0	0	7.9	11	71.1
G-2	64.6	69	21.5	23	7.5	8	93.6
no N	64.6	100	0	0	0	0	64.6

6) コムギ吸収窒素の由来：コムギが吸収したNを土壌中の起源別に計算した結果を表7に示した。本計算はコムギの全N吸収量より、硫安由来及び土壌由来(無窒素区の値)の吸収N量を差引いて、緑肥由来Nとした。全N量に対するそれぞれのN量を%で示した。

表より明らかのように、土壌由来Nの割合は著しく高く、硫安単用区では、元肥施用で94%、追肥施用で89%、緑肥併用区でも81~69%に達した。これに比べれば緑肥由来のNは15~23%に過ぎなかった。

以上、本試験の結果では、雨季後期に播種するコムギ栽培では、緑肥併用の硫安は元肥よりも追肥として施用した方が、硫安Nはもちろん、緑肥Nの吸収率をも高めることを知った。また緑肥の併用により硫安Nの一時的有機化に起因すると思われる肥効の緩効化が認められたが、全生育期間中の硫安Nの吸収量には差はなかった。

4. 要約

硫安を緑肥と併用するとき、その施用を元肥または追肥として、コムギによる硫安Nの吸収を生長過程を追って調査し、無機Nの吸収に及ぼす共存有機物の影響を検討した。試験は試験1の圃場内で、¹⁵N標識硫安を用いて行った。主要結果は次のようである。

- 1) コムギの乾物生産量は穂揃期にNの吸収量は穂ばらみ期ないし穂揃期に最高値に達し、以後は茎葉の枯死脱落等により完熟期まで減少が続いた。
- 2) 硫安Nのコムギによる吸収率は、生育過程の最高値で、硫安単用の場合、元肥で22%、追肥で43%、緑肥併用の場合は、元肥で20%、追肥で38%と、何れも元肥は追肥に劣り、また緑肥併用時は単用時よりも低い値となった。
このような違いは、元肥施用後追肥時までの間に337 mmもの降雨があったため、これによるNの流亡と、一部には過湿条件下での脱窒作用による揮散に由来するものと考えられる。また緑肥併用の場合には、その有機物の分解時における硫安Nの菌体への取込みと、過湿条件では易分解性有機物の供給による脱窒作用の促進が考えられる。
- 3) 差引き法によりコムギによる緑肥のN, P, K, Ca, Mgの利用率を計算した。Nは硫安元肥併用で9.4%、追肥併用で17.2%と処理区間の差が大きかったが、他の成分では両区間差は少なく、P:20%、k:50%、Ca:9%、Mg:11%程度であった。
- 4) 本試験地での土壌窒素のコムギ吸収窒素に占める割合は、硫安単用区で89~94%、緑肥併用区で69~81%にも達し、その重要性が認められた。
- 5) 本試験の結果より、コムギの生育初期には多雨となりやすいセラードでは、緑肥併用の硫安も追肥とした方が効率は高いことを知った。

試験Ⅲ. コムギ-青刈リトウモロコシの2毛作栽培における緑肥及び硫酸窒素の行動

Experiment III : Upon behavior of the nitrogen in the green manures at the wheat soiling corn cropping (Pot experiment)

1. 緒言

緑肥窒素の特徴を一層詳しく明らかにするため、重窒素 (^{15}N) で標識した緑肥をつくり、 ^{15}N 標識硫酸と共に、コムギと青刈リトウモロコシを対象にしたポット試験を実施、比較検討した。すなわち、作物のN吸収(利用)率と肥効(乾物生産)、土壌浸透水によるNの流失性及びNの残効性について、緑肥と硫酸を比較した。さらに硫酸については、元肥施用と追肥施用の場合、また単用の場合と緑肥と併用した場合の比較も行った。緑肥については、炭素率(C/N)の大小及び施用量の違いによる差異についても検討した。さらにEXP-Iにおける緑肥連用土壌のN供給力をも調べた。

2. 試験方法

1) ^{15}N 標識緑肥の調製

a/2,000 ポットに、未耕地暗赤色ラトゾール(VE)の下層土(有機物も根粒菌も殆ど含まぬ)を詰め培地とした。土壌は炭カル、りん酸、加里、微量要素を施用し、酸性の中和と養分の補給を図った。窒素のみは、供試作物の発芽、間引後、普通硫酸区は通常(^{14}N)の試薬硫酸を、 ^{15}N 硫酸区は ^{15}N 標識硫酸(^{15}N excess %49.43)を、いずれも10%溶液として生育期間中3回分施した。合計N施用量(Nkg/ha)は、*Crotalaria juncea* には50、イネ(IAC 47)には100である。いずれも添加Nの肥効をcheckするため、無窒素区も設けたが、硫酸の肥効は極めて顕著であった。また普通硫酸区と ^{15}N 硫酸区との間に生育差は見られなかった。いずれもガラス室内で栽培。

*Crotalaria*は、播種後56日目の開花期と、107日目の成熟期に刈取り、乾燥、粉碎(1mm以下)してそれぞれN%の違う試料とした。イネは播種後121日目(穂揃頃)に収穫、茎葉部は

Table III-1 Nitrogen constituents of the materials used

	Used for crop ¹⁾	Materials	N %	C/N ²⁾	^{15}N Excess %
AS*	W & C	Reagent ($^{15}\text{NH}_4$) ₂ SO ₄	21.20	-	49.43
GM* (low C/N)	W & C	<i>Crotalaria juncea</i> (flowering)	2.92	16.4	9.85
" (medium C/N)	W -	" (matured)	1.21	39.7	3.97
" (medium C/N)	- C	" (")	2.03	23.6	5.43
" (high C/N)	W & C	Rice straw (")	0.59	81.3	29.80
GM (<i>Mucuna</i>)	W -	<i>Mucuna preta</i> (flowering)	2.54	18.9	0.00

1) W: Wheat, C: Corn

2) C/N: Calculated from the N % and the C content assumed to be of 48%.

* ^{15}N labeled material

乾燥，粉砕して供試試料とした。Crotalaria試料は，播種期をづらして数回の栽培を行い，¹⁵N 標識緑肥を調製した。以下の試験に用いた硫安と緑肥の N%， C/N， ¹⁵N excess % については，表 1 に示した。

Table III-2 Design of the experiment

No.	Soil used (1)	Wheat (IAC-5)				Corn (Cargill-111)					
		Treatment	GM t/ha	N kg/ha	GM g/pot	N mg/pot	Treatment	GM t/ha	N kg/ha	GM g/pot	N mg/pot
1	No N	No nitrogen	-	-	-	-	No nitrogen	-	-	-	-
2		AS* (b)	-	250	-	710	AS* (b) + (a)	-	25	-	142
2'		AS* (a)	-	250	-	710	(Residual)	-	-	-	-
3		GM* (low C/N)	5.0	146	14	409	GM* (low C/N)	4.0	117	11.2	327
3'		"	"	"	"	"	(Residual)	-	-	-	-
4		GM* (medium C/N)	4.3	61	12	145	GM* (medium C/N)	4.0	81	11.2	227
4'		"	"	"	"	"	(Residual)	-	-	-	-
5		GM* (high C/N)	5.0	30	14	83	GM* (high C/N)	1.5	9	4.2	25
5'		"	"	"	"	"	(Residual)	-	-	-	-
6		GM (Mucuna)	3.3	83	9.3	303	GM* (medium C/N) doubled amount	8.0	162	22.4	454
7	GM (Mucuna) + AS* (b)	3.3	83	9.3	303	GM (medium C/N) + AS* (b) + (a)	4.0	85	11.2	239	
8	GM (Mucuna) + AS* (a)	3.3	83	9.3	303	GM (high C/N) + AS* (b) + (a)	1.5	9	4.2	25	
9	+Cr	No nitrogen	-	-	-	-	No nitrogen	-	-	-	-
10		AS* (b)	-	250	-	710	AS* (b) + (a)	-	25	-	142
10'		AS* (a)	-	250	-	710	(Residual)	-	-	-	-

1) Soil: Taken from the surface (0-10 cm) of the experimental field of Exp I. "No-N": from the plot "No N", "+Cr": from the plot "+ Crotalaria (F)(1/1)", treated after 3-years respectively.
 *: labeled with ¹⁵N Weight of GM: 65°C dried material. AS: Ammonium sulfate, G.M: Green manure
 (a): basic dressing, (b): additional dressing.
 Common fertilizers(kg/ha): For wheat: P₂O₅ 200(super-phosphate), K₂O 60 (KCl) CaO 2,000 (CaCO₃), FTE (BR-12) 50
 For Corn: P₂O₅ 200 (super-phosphate), K₂O 60 (KCl)
 Replication of the treatment: 3

2) 試験設計

表 2 に示した。供試土壌は 2 種類。試験区 No. 1 ~ 8 では供試¹⁵N の土壌 N による希釈を少なくするため，EXP-I で 3 年間無窒素区としてきた圃場の表層及び下層の土壌を供試した (No-N 土壌)。No. 9 ~ 10' の試験区は EXP-I おける Crotalaria (開花期) 全量施用を 3 年間続けた圃場より採取した表層及び下層土壌を供試した (+Cr 土壌)。いずれも表層は深さ 0 ~ 10cm，下層は 10 ~ 30cm の土壌で，風乾後，直径 4 mm の篩で篩別調整した。

試験は図 1 に示すような土壌浸透水を捕集する装置をつけたポットを用いた。簡易 Lysimeter 試験といえる。上記供試土壌は，いずれもまず下層土壌をポットの下層部砂礫の上に 77 ~ 78cm の厚さに詰め，この上に表層土壌を 20cm の厚さに埋めた。ポット内の土壌の量 (乾土 kg) は No-N 土壌: 表層 5.35, 下層 20.29, +Cr 土壌: 表層 5.19, 下層 20.13 となった。

試験区 No. 1 ~ 2' と 9 ~ 10' では，無窒素及び硫安施用 (全量元肥または全量追肥) 条件下での No-N 土壌と +Cr 土壌の比較ができる。No. 3 ~ 5' は，緑肥 C/N の低，中，高の 3 段階の比較であるが，コムギ作ではいずれも当作に施用したので，3 と 3', 4 と 4', 5 と 5' は全く同一処理である。コムギ収穫のあと，青刈りトウモロコシを栽培したが，このとき No. 2', 3', 4', 5'

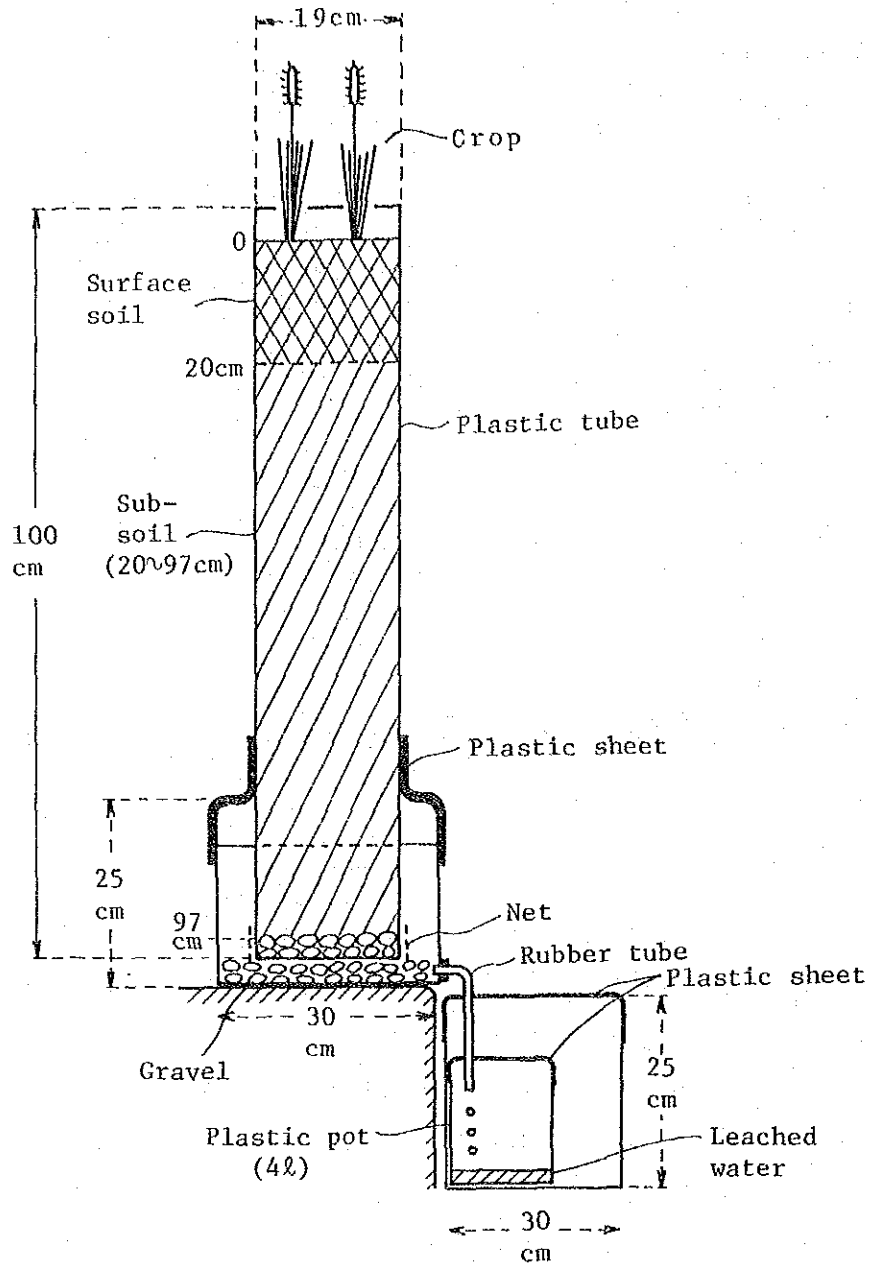


Fig. III-1 Pot with installation for collecting leached water

及び10'には、いずれも硫安または緑肥の新たな添加は行わず、コムギに添加した試料の残効を見ることにした。

No. 6~8の処理は、コムギ作では、緑肥に併用した¹⁵N硫安の肥効をcheckしたもので、EXP-IIの再検討になる。トウモロコシ作では、No. 6はNo. 8の2倍量の緑肥を施用し、緑肥増量の影響を見ようとした。No. 7と8では、硫安と併用する緑肥 C/Nの低高が硫安Nに及ぼす影響を検討した。トウモロコシ作での硫安の施用はいずれ場合も、施用全量を元肥と追肥に等分して施用した。

供試土壌は表2に示したように炭カル、りん酸、加里及び微量要素資材を施用し、土壌酸性の中和とN以外の養分の補給を図った。含N資材は、硫安及び4種類の緑肥であるが、Mucunaを除き、いずれも¹⁵N標識物である。硫安は水溶液で、¹⁵N緑肥は粉末(<1mm)で添加した。Mucunaは圃場より採取したものを、葉と茎+葉柄に分離して、夫々の割合を出し、長さ5~6cmに細断後、両部分を初めの割合に混合して土壌へ添加した。添加緑肥はいずれも65℃通風乾燥物である。

3) 作物栽培

供試作物品種：コムギ：IAC-5，トウモロコシ：Cargill-111

(1) コムギ作：播種，1984年2月28日，土壌改良資材，緑肥施用，2月13日（播種15日前），硫安元肥，播種翌日，追肥3月27日（播種後29日目）。土壌改良資材と緑肥は，ポットの上層部10cmの土壌（表層土壌の半量）を大型ビニール袋にとり，これに添加混合したのちポットに戻した。硫安は水溶液として播種後に土壌表面より均一に添加した。コムギは発芽後，間引しポット当たり5個体とした。栽培期間中，草丈，莖数調査した。

収穫：6月15日（播種後108日目），完熟期，地上部は子実と莖葉（わら）に分別調整，根部分も採取，風乾，付着土粒はできるだけポットに戻す。植物試料は65℃で通風乾燥後乾物重を秤量のあと，粉碎，N分析試料とした。

(2) 青刈トウモロコシ作：緑肥及びP，K肥料の添加混合，1984年10月9日，方法はコムギ作の場合と同じ。播種，10月17日，元肥硫安溶液施用，10月19日，追肥，11月22日（播種36日目）。ポット当たり2個体にして栽培，85年1月8日刈取り収量（播種後83日目）。根部分も採取，土粒を分離，いずれもコムギ同様にして乾物重を秤り，N分析試料を調製した。

4) 灌水及び土壌浸透水の採取

コムギ作：栽培日数108日間の降水量380mm，平均灌水量504mm，両者の合計884mm，この間の浸透水採水回数4回，採水量のポット間の偏差はかなり大きく，上記添加合計水量に対し，3.6%~11.5%の間にあった，浸透水量は平均値69mm，添加水量に対し約7.8%であった。

青刈トウモロコシ作：栽培日数85日間の降雨量604mm，灌水量256mm，合計860mm，採水回数5回，浸透水量は全区平均367mm，添加合計水量の42.7%にも達した。コムギ作に比べて土壌浸透水量は約5倍もあり，著しく高い浸透条件にあった。

両作とも浸透水は水量測定の後，約200mlを小瓶にとり，N分析用に冷凍保存した。

灌水には井水を用いたが，Nは含まれてなかった。

5) 土壌，浸透水，植物体の分析

試験前後の土壌の化学性，浸透水のNO₃-N(NO₄-Nはいずれもtrace以下)，植物体の全窒素をCPAC常法により分析した。供試¹⁵N試料及び収穫物の¹⁵N分析は，サンパウロ大学CBNAの質量分析器によった。土壌及び浸透水中の¹⁵Nは，質量分析のための前措置が所定通りできず分析しなかった。

表Ⅲ-8に示した浸透水の¹⁵Nは、¹⁵N含有物添加区における浸透N量より無窒素の値を差引き、この無窒素区よりの増量を添加N含有物由来とし、その¹⁵N存在比は作物に吸収された植物中の¹⁵Nの存在比と同じと仮定して試算した。作物栽培後土壌に残る¹⁵N量は、添加¹⁵N量より植物中の¹⁵Nと上記試算¹⁵N量を差引いたものであるが、脱窒作用等による¹⁵Nのガスによる損失分も僅かながら含まれている可能性もある。

添加Nに対する食物、水、土壌中でそれぞれ回収されたNの割合を回収率としたが、トウモロコシ栽培では、前作で残留したNを計算して新たな添加分に加えたものを添加量として計算した。残効区はこの前作の残留分だけが添加量となる。

Table III-3 Amount¹⁾ of total nitrogen in plants and leached water

No.	Soil used	Wheat			Corn			Wheat + Corn		
		Plant	Water	Total	Plant	Water	Total	Plant	Water	Total
1		100 (585) ²⁾	100 (54)	100 (639)	100 (275)	100 (26)	100 (301)	100 (860)	100 (80)	100 (940)
2	No	168	113	163	217	642	254	184	285	192
2'		175	107	169	117	465	147	157	224	162
3	N	117	189	123	137	146	138	124	175	128
3'	"	"	"	"	113	123	114	116	168	120
4		97	131	100	116	162	120	103	141	106
4'		"	"	"	100	15	93	98	94	98
5		85	148	90	97	212	107	89	169	96
5'		"	"	"	96	150	101	88	149	94
6		140	83	135	183	212	185	154	125	151
7		202	141	197	185	116	269	197	473	220
8		196	213	198	189	477	214	194	299	203
9	+	133	74	128	126	335	144	131	159	133
10	Cr	190	81	181	214	1,285	306	198	473	221
10'		192	128	186	156	588	194	181	278	189

1) Relative index, being taken the values of No.1 as 100.

2) (): Amount of total nitrogen; N mg/pot

3. 試験結果及び考察

全窒素に関し、それぞれの作物栽培期間中に作物の吸収した量と、浸透水による流出量を表3に示した。但し、いずれも無窒素区(No.1)の値を100としたときの指数で示した(No.1のみは実数も併記)。表4には、両作物栽培間で条件の差異の大きかった浸透水量と浸透水の平均N濃度を示した。ついで表5に、両作物の乾物収量をNo.1区に対する指数で示し、表6に作物に吸収

された単位N量当り乾物収量を「Nの乾物生産効率」として示し、供試N肥料の比較を試みた。表7～8は供試¹⁵N肥料の作物による吸収に関する成績で、表7では¹⁵Nの作物体中での希釈度、すなわち、¹⁵Nの吸収と普通のN(¹⁴N)の吸収の関係を示した。表8には供試¹⁵Nの作物による吸収(利用)量と、既述の仮定の下に算出した浸透水の¹⁵N量、これらの値を添加量より差引いた土壌残留量、並びに添加量に対するこれらの割合を回収率として、供試¹⁵N資材の特性を考慮する一つの資料とした。

以下、試験設計に設けた主な比較事項別に上記の表に示した結果に基づいて検討を行う。

Table III-4 Amounts of leached water, nitrogen and average concentration of N in leached water

No.	Soil used	Wheat			Corn		
		Leached water ℓ/pot	N leached in water mg/pot	Average concentration N mg/ℓ	Leached water /pot	N leached in water mg/pot	Average concentration N mg/ℓ
1	NO	2.53	54	21.3	11.22	26	2.3
2		2.74	55	20.1	12.75	167	13.1
2'		1.83	52	28.4	11.55	121	10.5
3		2.45	98	40.0	10.97	38	3.5
3'		"	"	"	11.75	32	2.7
4		3.25	58	17.8	10.54	42	4.0
4'		"	"	"	10.94	4	0.4
5		2.46	66	26.8	10.85	55	5.1
5'	"	"	"	9.77	39	4.0	
6	N	1.72	41	23.8	11.74	55	4.7
7		2.15	76	35.3	13.62	302	22.2
8		3.17	105	32.8	11.71	124	10.6
9		1.16	44	37.9	13.04	87	6.7
10		1.03	51	49.5	11.67	334	28.6
10'		1.37	63	46.0	10.64	153	14.4
		+					
		Cr					

Average infiltration rate: for wheat 7.1%, for corn 42.7%

1) 供試土壌の差異

EXP-1におけるトウモロコシによる残効試験終了後に採取した3年間にわたる無窒素処理区(NO-N)とCrotalaria(開花期、全量すき込み)連用処理区(+Cr)の土壌間における比較で、いずれの表でもNo.1, 2, 2'とNo.9, 10, 10'の間で検討する。

a. 作物のN吸収量: 一般に+Cr > NO-Nであるが、無窒素条件の場合の差が最も明らかで、+CrはNO-Nより約33%も大きかった(表3)。硫酸施用時も、全Nではコムギ、トウモロコシともに+Cr > NO-Nであったが(表3)、施用した¹⁵Nで見れば両土壌間の差は僅少に過ぎなかった(表8)。このように+Cr土壌では土壌自体のNの供給力が大きいことは、¹⁵Nの植物体での希釈が大きいことから分る(表7)。

b. Nの流出(表4) : コムギ作のように流出水量が少ない条件では、+Cr土壌の方が浸透水中のN濃度の方がかなり高いものが、浸透水量はやや少なく、流出N量としては土壌間に殆ど差はなかった。しかしトウモロコシ作のように流出水量が著しく多い場合には、N濃度が2倍近くも高い+Cr土壌の方が、流出N量はNo-N土壌の2~3倍にも達した。これらの結果は緑肥または硫酸の施用によって、土壌中で有機化蓄積されたNは+Crの方が多く、土壌Nの供給力にまさるが、当作に施用された新しい硫酸Nの吸着保持等に関しては、両土壌間に差異はないものと考えられる。

Table III-5 Dry matter yield¹⁾

No.	Soil used	Wheat				Corn			Total
		Grain	Straw	Root	Total	Leaves + Stem	Root	Total	
1		100 (15.0) ²⁾	100 (41.9)	100 (9.7)	100 (66.6)	100 (31.7)	100 (16.1)	100 (47.8)	100 (114.4)
2		132	116	72	113	211	289	237	165
2'	NO	149	111	56	112	126	119	124	117
3		119	110	45	102	138	145	140	118
3'	N	"	"	"	"	116	109	114	107
4		100	102	70	97	118	117	118	106
4'		"	"	"	"	120	88	109	102
5		95	94	50	88	98	99	99	92
5'		"	"	"	"	97	96	97	92
6		114	118	71	110	133	258	175	137
7		108	126	83	116	215	212	214	157
8		130	119	58	112	188	199	192	146
9	+	106	110	46	100	127	88	114	106
10	Cr	108	125	64	119	185	268	213	154
10'		111	126	62	110	154	129	145	125

1) 65°C dried. Relative index, being taken the values of No.1 as 100.

2) (): Weight of dry matter: g/pot

c. 作物の乾物収量(表6) : 無N条件での地上部の収量は、両作物とも+Cr>No-Nであったが、根部は全く逆で+Crが劣った。しかし硫酸施用条件では、コムギの場合、子実重はNo-N>+Crで、わら重は逆に+Cr>No-Nであった。トウモロコシでは、当作硫酸施用の場合No-N>+Crあったが、残効硫酸では+Cr>No-Nで、作物のN吸収量と同じ傾向にあった(表5)。このようにコムギの場合、+Cr土壌で硫酸施用により子実重の増加が少なかったのは、

表6の作物体Nの乾物生産効率にも明らかのように、土壌Nの供給も多く、コムギはN過剰傾向になり生殖生長が阻害されたためと思われる。

Table III-6 Dry matter yield efficiency of N in plants

No.	Wheat					Corn		
	N in Plant mg/pot	Grain g/pot	Straw g/pot	Efficiency of N ¹⁾		N ²⁾ in Plant mg/pot	Leaves + steam g/pot	Efficiency of N ¹⁾
				Grain	Straw			
1	585	15.0	41.9	25.6	71.6	185	31.7	171
2	981	19.8	48.5	20.2	49.4	342	66.9	196
2'	1,025	22.4	46.6	21.9	45.5	216	39.8	184
3	686	17.8	45.9	25.9	66.9	239	43.6	182
3'	"	"	"	"	"	207	36.8	178
4	567	15.1	42.6	26.6	75.1	203	37.5	185
4'	"	"	"	"	"	192	37.8	197
5	496	14.2	39.5	28.6	79.6	171	31.2	182
5'	"	"	"	"	"	170	30.8	181
6	820	17.1	49.3	20.9	60.1	216	42.1	195
7	1,182	16.2	52.8	13.7	44.7	324	68.0	210
8	1,149	19.4	49.8	16.9	43.3	339	59.7	176
9	777	15.9	45.9	20.5	59.1	247	40.3	163
10	1,111	16.1	52.2	14.5	47.0	333	58.7	176
10'	1,122	16.7	50.6	14.9	45.1	306	48.7	159

1) Dry matter yield efficiency of N in plants: Grain (or Straw) g/n in plant mg

2) N in leaves + steam, excepted in root.

Table III-7 Dilution factors of ¹⁵N in plants

No.	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	7	8	10	10'
Soil	No - N											+ Cr	
Wheat	2.19	1.77	5.49		23.3		29.7		-	2.71	2.14	2.47	1.92
Corn	3.20	18.1	4.82	11.8	9.33	33.5	61.8	68.3	7.28	3.65	4.10	3.38	18.5

Dilution factor = T-N mg in plant / ¹⁵N mg in plant

2) 硫安の肥効に及ぼす施用時期並びに緑肥併用

表8に示すように、両土壤ともにコムギの硫安¹⁵Nの吸収量は追肥施用が元肥施用に優さり、利用率は元肥63%に対し、追肥は82%に達した。両者の関係は表7の¹⁵Nの希釈度にも現われているが、表3の植物含有の全窒素量からは、土壤Nよりの吸収量が多いため、No-N土壤においてもその差は¹⁵N吸収量に見るように大きくはなく、68%と75%の違いに過ぎない。土壤N供給力の大きい+Cr土壤では、57%と59%と差は殆どなかった。

しかし土壤浸透水によるNの流出量に関しては、両土壤とも元肥区と追肥区の差は少ないが、これは実験誤差が大きいためと思われる。コムギの子実重には両施肥法間の差は¹⁵N吸収量の場合に比べれば少なく(表6)、両土壤ともに土壤Nの子実収量への貢献度が高いことが分る。

Table III-8 ¹⁵N measured in the plants and leached water and the rate of ¹⁵N remained in the soils after the experiment

Crop	¹⁵ N added			¹⁵ N in plant			¹⁵ N in leachate			1)+2)	Rate of ¹⁵ N remained in soil (%)
	W	C	T	W	C	T(1)	W	C	T(2)	T	
2	710	284	994	447 (63)	187 (34)	634 (63.8)	3	44	47	681 (68.5)	31.5
2'	710	0	710	579 (82)	18 (14)	597 (84.1)	2	5	7	604 (85.1)	14.9
3	409	327	736	125 (31)	78 (13)	203 (27.6)	9	3	12	215 (29.2)	70.8
3'	409	0	409	125 (31)	26 (9)	151 (36.9)	9	1	10	161 (39.4)	60.6
4	145	227	372	24 (17)	34 (10)	58 (15.6)	1	2	3	61 (16.4)	83.6
4'	145	0	145	24 (17)	8 (7)	32 (22.1)	1	0	1	33 (22.1)	77.9
5	83	25	108	17 (20)	4 (5)	21 (19.4)	1	1	2	23 (21.3)	78.7
5'	83	0	83	17 (20)	4 (6)	21 (25.3)	1	0	1	22 (26.5)	73.5
6	-	454	454	-	69 (15)	69 (15.2)	-	4	4	73 (16.1)	83.9
7	710	284	994	436 (61)	139 (25)	575 (59.8)	8	76	84	659 (66.3)	33.7
8	710	284	994	538 (76)	127 (30)	665 (66.9)	29	24	53	718 (72.2)	27.8
10	710	284	994	449 (63)	174 (32)	623 (62.7)	2	73	75	698 (70.2)	29.8
11	710	0	710	585 (82)	23 (21)	608 (85.6)	15	4	19	627 (88.3)	11.7

(): Availability of N added (%)
W : Wheat, C: Corn, T: Total

硫安の緑肥との併用を単用に比較した結果は次のようである。表8に示すように(No. 2, 2' とNo. 7, 8の比較)、コムギの¹⁵Nの利用率は緑肥併用により僅かに低下し、EXP-IIの結果と同一傾向である。緑肥のC/Nを異にしたトウモロコシでの試験でも、緑肥併用区は単用区よりいずれも利用率は低下したが、その程度はC/N(中)(No. 7) > C/N(高)(No. 8)であった。土壤中での分解が比較的容易なC/N(中)の方が、硫安Nの有機化による固定(Immobilization)を生じやすかったものと思われる。

コムギの子実生産には緑肥からのN供給もありN過多となった緑肥併用区が劣ったが、茎葉

の生産に対してはやや優る傾向にあった(表5, 6)。

3) 緑肥 C/Nの高低並びに連用及び残効に関して。

N吸収量: 当作物施用の場合には、両作物ともに硫安区は緑肥区よりかなり大きいN吸収量を示した(表3)。コムギの¹⁵N利用率で比較すると、硫安区で63~82%, 緑肥区で17~31%で緑肥Nは硫安Nの1/4~1/2程度であったが、トウモロコシの場合、硫安区の34%に対し、緑肥区は5~15%となった。トウモロコシの場合、コムギ作での残留¹⁵Nも施用Nに含まれるので、残留量の多い緑肥区では吸収率としては低下が大きくなった。硫安の場合浸透流出したN量が多く、利用率も低下した。この結果、コムギ作では硫安区での土壤残留¹⁵Nの割合は18~37%であったのに対し、緑肥区では67~83%にも達した(表8)。

この残留Nの残効をトウモロコシで検討した結果は次のようである。

¹⁵N利用率は硫安区の14~21%に対し、緑肥区は6~9%であったが、これは残留量が緑肥区では多いからで、C/Nの低いNo.3では、¹⁵Nの吸収量ではNo.2'の硫安にまさる値を示した。残留硫安のNの作物による吸収性が急減することは、表7の¹⁵Nの希釈度からも明らかで、コムギに施用した¹⁵Nの希釈度が約2倍であったのに、残効を見たトウモロコシでは18倍にもなっており、¹⁵Nの吸収は顕著に低下した。これに対し、No.3'では12倍の希釈に過ぎず、かなりよく吸収されている。

表4, 8に示すように、土壤浸透水による流出量は、特に浸透の激しい条件で硫安Nの流出量は緑肥Nより多く、土壤残留N量を少なくした一原因でもある。

供試緑肥のN%は0.59~2.92で、いずれもC%を48としてC/Nを算出すると、81.3~16.4の範囲にあった(表1)。このC/Nの相違と含有Nの作物による吸収性、浸透水による流出及び残効についての関係を見れば次のようである。

コムギ、トウモロコシともに当作物施用の緑肥Nの吸収量には、明らかにC/Nの影響が見られ、低>中>高の順でC/Nの低いものほどN吸収量は大きかった。特に低(C/N16)は、中(C/N24~40)や(C/N81)に比べて、作物の吸収性はまさったが、中と高の間の差異は比較的少なかった。浸透水量中のN量もほぼ上述に同じ傾向にあった。

従って作付後のNの土壤への残留率は、C/Nの高、中区が低区よりもやや高い傾向にはあったが、2作終了時で87~94%でいずれも高い値であった。コムギ作施用Nの残効にもC/Nの差異は明らかで、N吸収量はC/N低>中>高の順であった。これらの関係は表7の¹⁵Nの希釈率の大小に顕著に示されている。

本試験の範囲内では、緑肥Nの肥効は、概略、N%2.5以上、(C/N低)、(C/N中)、1%以下(C/N高)に大別してその特徴を判断できると思われた。なお、C/N中の緑肥を倍増したNo.6では、¹⁵Nの吸収量は増すが倍増にはならず、効率はやや低下したが、その程度は大きな減少ではなかった。

作物に吸収されたN当りの乾物生産能率として比較した場合(表6)、コムギにおいては、

緑肥Nは硫安に比べて子実、わらともに高く、無窒素区に近い値を示した。しかし成長の早いトウモロコシにおいては硫安にやや劣った。いずれの場合もC/Nの大小の差異は少なかった。トウモロコシではNo.7の硫安と緑肥(C/N中)の併用区が最高の乾物収量と生産能率を示したように、作物の生長速度やN要求量に応じて、緑肥利用の場合も硫安等の速効性肥料の併用が望ましいことであらう。

4. 要 約

¹⁵N標識緑肥及び硫安を供試し、浸透水の採取も可能にしたポット(図1)を用い、コムギ・青刈りトウモロコシの2毛作における窒素の肥効について検討した。緑肥については、そのC/N(N%)の大小並びにその連用の影響とコムギ施用Nのトウモロコシへの残効性を、また硫安に関しては、施用時期(元肥または追肥)、緑肥との併用の有無の検討に重点をおいた。また窒素的肥沃度の異なる2種類の土壌の土壌窒素の供給力をも比較した。主な結果は次のようである。

- 1) 土壌間の差異は、作物の土壌窒素吸収量には明らかに違いがあり、試験IでCrotalaria全量を3年間連用した土壌(+Cr土壌)は、無窒素処理区の土壌(No-N土壌)の約1.3倍のN供給力が見られた。しかし施用した硫安Nの吸収量は、+Cr土壌で硫安Nの残効性がややまざる程度で、土壌間の違いは少なかった。また土壌より流出するNは+Cr土壌が多く、本供試土壌では緑肥連用による施用窒素の保持力増加は未だ認められなかった。一方、+Cr土壌では硫安施用により、コムギに対してはN過剰となり、茎葉は繁茂しても子実収量は低下する結果を示した。
- 2) 硫安の元肥と追肥施用の比較は、N吸収量、子実収量ともに追肥区がまさった。緑肥の併用は、硫安Nのコムギによる吸収をやや抑制したが、子実収量に対してはN過剰的で減収となった。併用緑肥のC/N 40と81の比較では、土壌中の分解が比較的早い前者の方が硫安Nの作物による吸収抑制はやや大きかった。
- 3) 緑肥C/Nの大小並びに連用及び残効の問題：施用Nの利用率は、第1作(コムギ)では硫安63~82%に対し、緑肥では17~31%で硫安の1/4~1/2程度であった。第2作(トウモロコシ)にも連用した場合は、硫安34%に対し、緑肥は5~13%、第1作施用Nの残効としては、硫安14%、緑肥6~9%の利用率となった。緑肥C/Nの影響は、いずれもC/N小(16)>中(40)>大(81)の順で利用率には明らかな差が見られた。

流出N量：試験期間中の平均浸透量は、コムギ作で108日間に69mm、トウモロコシ作で85日間に367mmで、トウモロコシ作はかなり激しい浸透条件にあった。これらの浸透水によるNの流出量は、コムギ作では僅少で、トウモロコシ作で著増したが、その硫安と緑肥間の差異は、前者では緑肥区がやや多い傾向にあったのに、後者では硫安区が緑肥区より多い結果を示した。緑肥C/Nの差は、作物によるN吸収量と同じ傾向にあったが、試料間の差異は吸収量の場合より少なかった。また連用区は残効区に比べていずれも著しく大であった。

施用Nの土壌残留率(揮散量を含む)：施用Nより2作期間の作物による吸収と浸透水によ

る流出を差引いて土壤残留量を出し、この量の添加量に対する割合を土壤残留率として試算したが、試験区間の差異は次のようである。

硫安は連用区32%、残効区15%に対し、緑肥は連用区71~84%、残効区61~78%で緑肥と硫安間の差は特に残効区で大きい。つまり硫安Nは2作期間で85%が作物及び浸透水によって失われたのに対し、緑肥でのその値は39~22に過ぎず、残効性の高いことを示している。緑肥C/Nの大小の影響は、連用、残効区ともに、中>大>小の順であった。

4) コムギの子実重：No-N土壤の無窒素区の値を100としたときの指数で示せば以下のようである。硫安区：元肥 132, 追肥 149, 緑肥併用・元肥 108, 緑肥併用・追肥 130, 緑肥区：C/N 大95, 中 100, 小 119で硫安が緑肥にまさった。硫安への緑肥の併用及び窒素肥沃度の高い土壤での硫安区は茎葉の過繁茂により子実重はやや減収した。

5) 青刈トウモロコシの茎葉重：硫安区では、連用区 211, 残効区126, 緑肥(C/N 中)併用215, 緑肥(C/N 大)併用 188に対し、緑肥区では、連用の場合、98~ 138, 残効の場合97~ 120で、C/Nは連用では小>中>大、残効では、中>小>大の順位であった。土壤の窒素肥沃度の違いは、無窒素区、硫安残効区で著しく、3年間の緑肥連用効果は施用中止後3作目においても明らかであった。

試験Ⅳ：リクトウに対する緑肥及び硫安の肥効

Experiment IV: Upon the effect of nitrogen in the green manures on the growth of upland rice (Pot experiment).

1. 緒言

^{15}N で標識した緑肥及び硫安をイネ（陸稲）に供試したポット試験により、それらの窒素の肥効に及ぼす次記の点を検討した。

a) 緑肥の施用量の多少、b) 緑肥の植物形態学的部位の違い、c) 硫安にイナワラを併用した場合の硫安の肥効、d) 緑肥に硫安またはイナワラを併用した場合の緑肥の肥効、e) 土壌の窒素的肥沃性の違い。

a) は、雨季においては、緑肥施用量が著しく多い場合には、その有機物の分解過程で一時的に土壌の部分的還元化も生じ、緑肥窒素の脱窒作用による損失が一つの可能性として考えられる。また多量の緑肥窒素はイネの捻実不良を招来する可能性も大きい。よって、緑肥施用量の多少とこれらの関係を検討する。

b) は緑肥の肥効は、緑肥作物の収穫時期によってかなり異なることが知られている。緑肥作物は生育ステージにより、植物体を構成する形態学的部位の量及びそのN%並びに硬さなど物理的性状も異なってくるから、これらの総合結果としての肥効にも差を生じるのであろう。本試験ではこれらのうち、主に植物部位によるN%の差異が肥効に及ぼす影響を検討した。

c) は、既にExp-Ⅱにおいて硫安Nの肥効が緑肥との併用により、やゝ遅効化することを知ったが、本試験ではより難分解性のイナワラを併用した場合の影響を知らうとした。それは、セラードでは穀類作物の収穫はコンバインによることが普通で、ワラ類が細断されて土壌にすき込まれるから、このワラが次作のために施用される窒素肥料に肥効に及ぼす影響を知らうとしたものである。

d) では、緑肥Nの肥効が併用硫安やイナワラでどのように影響されるかを検討し、e) では、3年間の無窒素区または緑肥連用区土壌を供試し、新たに加える硫安または緑肥窒素の肥効の土壌間の差異を比較した。

2. 試験方法

1) ^{15}N 標識緑肥の調製：緑肥作物としては*Crotalaria juncea*を用いた。暗赤色ラトゾール(VB)の下層土露出地に4㎡のビニールハウスをつくり、この土壌約30cmに石灰、りん酸、塩加、微量元素(PTE BR-12)を施用し土壌改良のあと、1984年8月9日播種し10月29日まで81日間栽培した。この間、 ^{15}N 標識硫安(Atom %約50)の10%溶液を5回に分けて散布した。1回に10kg N/ha、計50kg N/ha相当のを施用、散布は供試液を水でうすめ如露を用い灌水を兼ねて、できるだけ均一に施用した。

播種後81日目頃既に開花終期を迎え、結実期に入っていた。草丈100~130cm、地上より約7.5cmの高さで刈取った。刈取り部の生草重17.5t/haに相当。収穫物はたゞちに、花、子実

(未熟), 葉身, 茎 (枝梗を含む), 刈株 (高さ7.5 cm以下の茎), 根 (洗浄して土壌を除く, 根粒かなり付着) に分離。各部位の生体重を秤量後, 60°Cで通風乾燥し, 乾物重を秤量。各部分より一部をとり粉碎し, N%, ^{15}N %の分析に供した。

残余の試料は緑肥として栽培試験に供したが, 花・子実部及び葉身は乾燥物を手でもんで粉碎した。根部の粉碎は粉碎機を用い, 茎部はハサミで長さ2~3 cmに切断したのみである。イナワラは機械粉碎物である。

Table IV-1 The rate of plant morphological parts of the green manure (*Crotalaria juncea*) used.

		Flower + Grain	Leaf	Stem	Stubble	Root	Total
Green manure plant harvested ¹⁾	DM yield ²⁾	12.1	23.9	50.2	6.3	7.5	100
	N %	4.26	4.72	1.38	0.71	1.79	-
	N yield ²⁾	20.4	44.9	27.5	1.8	5.3	100
	C/N ³⁾	11.7	10.6	36.2	70.4	27.9	-
	^{15}N excess	2,654	3,391	3,270	4,145	7,699	-
G.M mixture	DM yield ²⁾	14.3	27.6	58.1	-	-	100
	N yield ²⁾	22.4	48.0	29.6	-	-	100

G.M mixture: N% : 2.71, C/N: 18.5, ^{15}N excess %: 3.190

1) Harvested: 29/Oct/1984 (on 81th days after seeding)

Yield (D.M): Total plant: 4,703 Kg/ha, Cutting aerial part (higher part above 7.5 cm from ground level)

2) Ratio in the total

3) Calculated from the assumption C % in the plant is 50.

この緑肥作物収穫時における上記各部位の乾物及び窒素の構成割合やN及び ^{15}N 含有率は表1に示した。表2の「GM-Mix」は刈株を除く地上部における花・子実, 葉身, 茎の収量割合で各部位を混合調製した。そのN組成は表1の下方に示した。

2) イネの栽培試験: a/2,000ポットの底部に小砂利を厚さ約1.5 cm敷き, その上に約20cmの厚さに供試風乾土壌 9kgを充填した。供試土壌は窒素的肥沃度の異なる2種類の土壌で, いずれもExp. Iの圃場より採取した。Exp. IIIの供試土壌に同じ。但し, コムギによる残効試験終了後に採取した。試験の処理区及び添加物の種類と量は表2に示した。

Table IV-2 Design of the experiment

No.	Soil used	Treatment	Kg/ha				g/pot		mg/pot		N % in OM	¹⁵ N Excess %
			OM	As	OM-N	As-N	OM	As	OM-N	As-N		
1	No N + Cr (1/1)	no-N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2		As*	-	(b) (a) 50 100	-	31.6	-	(b) (a) 1.25 2.50	-	158	-	9.892
3		GM ^a Mix (L)	8,116	-	220	-	40.6	-	1,101	-	2.71	3.190
4		GM ^a Mix (M)	4,053	-	110	-	20.3	-	551	-	2.71	3.190
5		GM ^a Mix (S)	2,027	-	55	-	10.2	-	275	-	2.71	3.190
6		GM ^a (Flower grain)	1.160	-	49	-	5.8	-	247	-	4.26	2.654
7		GM ^a (Leaf)	2.240	-	106	-	11.2	-	529	-	4.72	3.391
8		GM ^a (Stem)	2.360	-	33	-	11.8	-	163	-	1.38	3.270
9		GM ^a (Root)	2.100	-	38	-	10.5	-	188	-	1.79	7.699
10		As* + Rice straw	1.200	(b) (a) 50 100	(38) ^a	31.6	6.0	(b) (a) 1.25 2.50	(192) ^a	158	0.59	9.892
11		GM ^a Mix (M) + As	4,053	(b) (a) 50 100	110	(31.6)	20.3	(b) (a) 1.25 2.50	551	(158)	2.71	3.190
12		GM ^a -Mix(M) + Rice straw	4,053	-	110	-	20.3	-	551	-	2.71	3.190
13		no-N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14		As*	-	(b) (a) 50 100	-	31.6	-	(b) (a) 1.25 2.50	-	158	-	9.892
15		GM ^a -Mix (M)	4,053	-	110	-	20.3	-	551	-	2.71	3.190
16		GM ^a -Mix (S)	2,027	-	55	-	10.2	-	275	-	2.71	3.190

o Common fertilizers (kg/ha): P₂O₅ 200 (Super Simple phosphate), K₂O 60 (KCl), FTE 50 (BR-12)

o As: Ammonium sulfate

o GM: Green manure

o OM: Organic material

o OM: Dried material (at 60°C)

o *: ¹⁵N labeled

(b): Basic dressing

(a): Additional dressing

o Crop: Rice (IAC-25)

o Pot: a/2,000

o Soil used (LVE): Taken from the surface layer (0-10 cm) of the field treated with "no-N" or "Added with Crotonaria" for 3 years.

a) for N, () means ¹⁴N, others ¹⁵N labeled.

「無窒素区」土壌を用いて、緑肥の施用量の多少、緑肥植物の形態学的部位の差異及び硫安または緑肥に対するイナワラ併用の有無、緑肥窒素の肥効に対する硫安併用の有無を試験した。「緑肥連用区」土壌では、無窒素区のほか、硫安区、緑肥中量区、緑肥少量区を設け、「無窒素区」土壌の同じ処理区と比較した。表2のNo.1~No.12は1処理8ポット、No.13~No.16は、1区当たり4ケのポットを用意した。

施肥はいずれもポットの上層約5cmの土壌を、大型のビニール袋に移し、これに所定量の添加物を加えてよく振って混和したのち、ポットに土壌を戻すようにした。共通肥料及び緑肥、イナワラは播種10日前に施用、灌水して畑適湿水分とて黒ビニールでポットを覆い野外に静置して、有機質資材の播種までの分解を促進した。1984年11月16日、イネ(IAC-25)種子をポット当たり12粒(6粒/1株)2株播き、1週間後、発芽揃いで間引き、3個体/1株、2株とした。このあと元肥硫安を溶液として所定量、ポット表面より散布施用した。追肥は12月20日(播種後34日目)に同様に施用した。

ポットは露地に静置し、自然降雨条件下で栽培し、必要に応じ適宜灌水した。No.1~No.12では、播種後77日目(穂ばらみ期)に第1回試料として、草丈、茎数測定後、1区4ポットについて地際より植物体を刈り取り、生体重秤量の後、60°Cで通風乾燥し、乾物量を秤量した。

収穫期（108 日目）はNo.1～No.16の全ポットについて、同様にして試料採取のあと子実と茎葉（わら）を分離し、それぞれ乾燥後秤量を行った。

いずれも乾燥試料は粉碎し、全窒素はケルダール法により、また¹⁵Nの存在比は質量分析機（サンパウロ大学付属、CBNAに委託）によって定量した。

3. 試験結果及び考察

試験期間中は、平年に比べや、冷涼寡照の気象条件であり、イネの生育には好適とはいえなかったが、病虫害の被害はほとんどなかった。

1) 乾燥収量（表3）：わら量は、既に穂ばらみ期の第1回試料で高い値を示し、収穫期では多少減少する区が多かった。これは穂の登熟に伴ない、わらから穂への養分の移行によるものであらうが、硫安のように速効性Nを施用したNo.2, 10, 11, でこの現象は大きかった。これに対し緑肥施用区は全般に第2回試料における減少程度は少ないが、No.7, 8, 9, 12では第1回試料より僅かながら増加した区もあり、緑肥窒素の緩効持続性が窺われる。

Table IV-3 Dry matter yield¹⁾

Sample	No.	(g/pot)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1st	Straw	4.69	11.43	13.58	9.55	7.46	7.84	9.76	6.35	6.49	10.01	20.34	9.55
	Grain	5.99	10.86	13.21	9.08	7.25	7.56	11.01	7.01	6.59	9.30	13.14	10.03
2nd	Straw	3.46	4.95	2.90	3.26	4.19	3.59	4.18	2.58	4.90	3.79	3.26	3.44
	Total	9.45	15.81	16.11	12.34	11.44	11.15	15.19	9.57	11.49	13.09	16.40	13.47

1) Mean of 4 replicates

しかし子実重では緑肥区は全般に硫安区に劣った。特に緑肥の中、多量区及び硫安との併用区のようにN施用量の多い区と、No.8のように易分解性Nが著しく少ない場合であった。前者の場合の子実減収は、Nの供給が生殖成長期まで豊富に続いたため、出穂の遅れと、子実への炭水化物の転流等が阻害されたためと思われる。後者の場合には逆に緑肥よりの無機Nの供給量が少ないことと共に、有機物のC/Nが比較的高い（36）ため、イネの生育後期における土壌有機物の分解に基づく土壌Nの供給を抑制して、いわゆる“窒素飢餓”的状況を生じたためと思われる。

緑肥区で比較的硫安区に近い子実重を生産した区はNo.7（C/N11, N施用量106 kg/ha）とNo.5（C/N19, 55kg）であった。No.11では葉身のみのためその分解は早く、供試々料中では硫安につぐ速効性で、イネの生育後期でのN供給過多はや、緩和されたものと推定される。No.5ではN施用量は少ないが、茎のように分解の遅いNが約28%を占めており（表1）、これが生育後期に子実生産に役立ったものと思われる。これら以上に高い子実収量をあげて硫安区とは同等の区はNo.9（C/N28, N38kg）である。わら収量はかなり劣るが、子実収量は高く無窒素区の土壌Nのみによる収量構成に類似している。イネの全生育期間にわたり比較的低いながらN供給力があり、しかも土壌Nの無機化も阻害しない有機物である（下記のNが収量の項参照）。

以上のわら及び子実重の収量を検討項目ごとに整理すれば次のようである。

緑肥施用量の多少：わら重は施用量におうじ増加したが、子実重は全く逆の傾向で少量区が最も高い値になった。植物形態学的部位の違い：わら重は、葉身>花・実>茎=根、子実量は、根>葉身>花・実>茎で、根が特異な肥効を示し、茎はわら重、子実重ともに著しく低く、肥効は最も劣った。

硫安へのイナワラ併用区 (No.10)：わら、子実重ともに硫安単用区に劣り、イナワラによる硫安Nの有機化に伴うN供給の遅れが窺われる。緑肥へのイナワラによる併用区 (No.12)：緑肥単用区 (No.4) に比べ、肥効はや、遅れ気味であったが、その影響は硫安区における場合より少なく、第1回試料では差なく、第2回試料でわら、子実重ともにや、優った。緑肥への硫安併用区 (No.11)：N施用量が著しく多いため、わら重では第1、第2回ともに最高値となったが、子実重では硫安単用区に66%に過ぎず、緑肥単用区と同等であった。

2) 窒素含有率 (表4)：第1回わらのN%は乾物収量と逆相関にあるようで、乾物収量の高い硫安区や、緑肥+硫安区で低く、乾物収量の低い無窒素区で最も高い。緑肥区はこれらの間の値を示し、処理区間の差は少なかった。しかし第2回わらでは、Nの肥切れと子実へのNの転流によるためか、N%は低下傾向にあり、特に無窒素区、硫安区で著しかった。それでも緑肥+硫安区、緑肥多量区のようにN施用量が著しく多い区ではN%はや、上昇した。子実のN%には、添加Nの量と持続性が反映し、子実への炭水化物の転流が順調で、子実重の高い区で低く、逆の場合に高い値を示した。すなわち、硫安+イナワラ区、緑肥+硫安区は硫安区より高く、緑肥区では施用量の多い区が高い値を示した。一方、No.8、9のようにC/Nが高い区は無窒素区より低い値となり、緑肥へのイナワラ併用区も緑肥単用区よりもや、低い値となった。

Table IV-4 Nitrogen concentration in the rice plant¹⁾

Sample	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1st	N %	1.10	0.79	0.91	1.04	0.96	0.98	0.99	0.90	0.90	0.91	0.74	0.98
	Straw 15N Excess %	-	4.266	1.804	1.306	0.781	0.706	1.352	0.384	0.606	3.787	0.897	1.239
2nd	N %	0.68	0.56	0.99	0.82	0.67	0.72	0.70	0.67	0.65	0.73	0.88	0.87
	Straw 15N Excess %	-	3.360	1.602	1.186	0.760	0.611	1.297	0.380	0.672	2.812	0.862	1.130
	N %	1.16	1.14	1.71	1.51	1.23	1.25	1.36	1.11	1.11	1.34	1.58	1.44
	Grain 15N Excess %	-	2.879	1.574	1.115	0.676	0.570	1.216	0.386	0.701	2.458	0.836	1.098

1) Mean of 4 replicates

3) 窒素の吸収量と肥効：施用窒素質試料の肥効の遅速とその持続性は、第1回及び第2回試料の¹⁵Nの吸収量 (表5) と¹⁵N利用率 (表9)、吸収窒素量の試料採取時期の比率 (表7) より検討できる。また、表5、図1からも明らかのように、イネに吸収されたN中に占める土壌窒素 (¹⁴N) の割合は全般に50%以上で著しく大きく、かつ施用Nの種類や量によっても異なる。よって、表5に¹⁵Nの植物体Nに占める割合を「¹⁵N寄与率」として、¹⁴Nの吸収量と

共に示した。さらにこの土壤窒素の生育過程における増加比を表7に示した。次にイネに吸収されたNの子実生産に及ぼす影響を知るため、表6にワラと子実に吸収された¹⁵N, ¹⁴Nの量を示し、表8には子実生産効率として、吸収N 1mg当りの子実乾燥物収量(mg)を示した。

以下これらのデータを基に、供試窒素質試料の特徴を記する。

Table IV-5 The amount of nitrogen up-taken in the rice plant

Sample	No mg/pot	(mg/pot)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1st	¹⁴ N	48.0	51.3	53.7	58.6	54.1	56.4	58.1	50.5	53.8	56.2	108.2	57.2
	¹⁵ N	-	39.0	69.9	40.7	17.5	20.4	38.5	6.7	4.6	34.9	42.3	36.4
	¹⁴ N + ¹⁵ N	48.0	90.3	123.6	99.3	71.6	76.8	96.6	57.2	58.4	91.1	150.5	93.6
	Contribution ¹⁾ of ¹⁵ N	-	43.2	56.6	41.0	24.4	26.6	39.9	11.7	7.9	38.3	28.1	38.9
2nd ²⁾	¹⁴ N	80.8	80.1	90.2	78.8	77.6	77.2	84.0	66.5	88.5	86.8	122.4	88.9
	¹⁵ N	-	37.1	90.2	44.9	22.5	22.1	49.9	8.9	8.7	31.9	44.7	47.9
	¹⁴ N + ¹⁵ N	80.8	117.2	180.4	123.7	100.1	99.3	133.9	75.4	97.2	118.7	167.1	136.8
	Contribution ¹⁾ of ¹⁵ N	-	31.7	50.0	36.3	22.5	22.3	37.3	7.3	9.0	26.9	26.8	35.0

1) Contribution of ¹⁵N (%): ¹⁵N in plant/T-N in plant X 100

2) Total N of the plant (Straw + Grain)

a) 硫酸: N利用率は第1回目試料で25%と緑肥より3~4倍の大きさを、かつその寄与率は43%であり、著しい速効性である。しかし第2回目での¹⁵Nの吸収量はやゝ減少し、利用率は24%、寄与率は32%となり、緑肥区がいずれも第2回目には利用率が増大したのに対し顕著な違いである。

Table N-6 The amount of nitrogen up-taken in the 2nd sample of rice plant

Sample	No mg/pot	(mg/pot)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Straw	¹⁴ N	40.7	40.1	65.1	46.8	37.0	41.9	47.6	41.5	39.1	48.6	84.4	56.4
	¹⁵ N	-	20.7	65.7	27.7	11.6	12.5	29.5	5.5	3.7	19.3	31.2	30.9
	¹⁴ N + ¹⁵ N	40.7	60.8	130.8	74.5	48.6	54.4	77.1	47.0	42.8	67.9	115.6	87.3
	Contribution of ¹⁵ N	-	34.0	50.2	37.2	23.9	23.0	38.3	11.7	8.6	28.4	27.0	35.4
Grain	¹⁴ N	40.1	40.0	25.1	32.0	40.6	35.3	36.4	25.0	49.4	38.2	38.0	32.5
	¹⁵ N	-	16.4	24.5	17.2	10.9	9.6	20.4	3.4	5.0	12.6	13.5	17.0
	¹⁴ N + ¹⁵ N	40.1	56.4	49.6	49.2	51.5	44.9	56.8	28.4	54.4	50.8	51.5	49.5
	Contribution of ¹⁵ N	-	29.1	49.4	35.0	21.2	21.4	35.9	12.0	9.2	24.8	26.2	34.3

この第2回目における¹⁵N量の減少は、出穂、登熟過程における茎葉の枯死脱落による所が大きいものと思われ、硫酸Nの肥切れを示している。しかし寄与率の低下及び¹⁴N吸収量の大きさは、土壤N吸収量の大きさを現わすが、特に第2回目では第1回目の1.56倍の¹⁴Nを吸収していて、生育初期に速効性Nにより良く発達した根部が、生育後期の土壤Nの吸収に大きく貢献していることが窺われる。イネに吸収された窒素の子実生産効率は42で、無窒

素区とほぼ同等であったが、緑肥区より高い効率を示した。さらにNo14に見るように、土壤が窒素的に肥沃で土壤Nの供給力の高い場合には、この値は44に高まった。硫安の速効性と土壤窒素の緩効持続性がうまく子実生産にマッチしたものである。

Table IV-7 Increased ratio of N up-taken in plants between the 1st and 2nd samples

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
¹⁵ N	-	0.95	1.29	1.10	1.29	1.08	1.30	1.33	1.89	0.91	1.06	1.32
¹⁴ N	1.68	1.56	1.68	1.34	1.43	1.37	1.45	1.32	1.64	1.54	1.13	1.55

b) 硫安へのイナワラ併用：N利用率は第1回、第2回目とも硫安単用に比べ3～4%減少し、¹⁵N吸収量は明らかに少なく、特に子実への¹⁵Nの供給は減少した。一方¹⁴Nの吸収量は両回ともわらでは多いが、これも子実では硫安単用に劣った。子実生産効率も32へ低下した。このようにイナワラの併用は硫安の肥効をや、遅効性としたのみでなく、本試験の場合、子実生産にも不利に作用したが、これはわら添加により有機化された硫安Nの無機化がかなり遅いことを示すものと思われる。

Table IV-8 The grain yield efficiency¹⁾ of the nitrogenous materials tested

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
42.8	42.2	16.1	26.4	41.9	36.2	31.2	34.2	50.4	31.9	19.5	25.1	48.4	43.8	19.4	32.2

1) Grain dry matter (mg) / N up-taken in the plant. (mg)

c) 緑肥とその施用量の多少：N利用率は第1回目、6.3%～7.4%、第2回目、8.2%で、硫安の1/4～1/3であったが、緑肥施用量は4倍の差異があったにもかかわらず、施用量の多少の影響は僅少にとどまった。¹⁵N吸収量の第1回目と2回目の比率は1.1～1.3で、穂ばらみ期以降も緑肥Nの供給量は持続しており、硫安とは明らかな違いである。しかしこの緩効性NもわらでのN吸収量が大で、子実での吸収量は低く、硫安区との比較では少量区は劣り、中量区で同等、多量区でや、多い程度であった。吸収Nの子実生産効率では硫安との差はさらに大きく、硫安に比べ少量ではほぼ同等、中量区で約60%、多量区では38%に過ぎなかった。

緑肥施用による土壤N可給態化への影響は、第1回目ではいずれも硫安区より高い¹⁴N吸収を見たが、緑肥施用量間の差異は少なかった。しかし第2回目では硫安区にや、劣る（少量区）か、同等（中量区）で、多量区ではや、多い¹⁴Nの吸収を示した。第1回目において、緑肥施用区の土壤N吸収量が高い理由は、易分解性有機物の施用により土壤微生物の活性を高め、土壤有機物の無機化を促進する「Priming effect」によることが大きいと考えられる。

いずれにせよ、緑肥Nの肥効は、そのN利用率においては施用量の多少の影響は少ないが、施用量を増せば茎葉の繁茂を促がし、N吸収量は増加しても子実生産への貢献度は低く、子

実の減収を見るが、No.5のように適量であれば、硫安Nと同等の子実生産効率も得られた。

Table IV-9 Availability¹⁾ of N added by the rice plant (%)

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16
1st	24.7	6.3	7.4	6.4	8.3	7.3	4.1	2.4	22.1	7.7	6.6	-	-	-
2nd	23.5	8.2	8.2	8.2	8.9	9.4	5.5	4.6	20.2	8.1	8.7	25.2	9.4	7.4

1) Based on the amount of ¹⁵N up-taken in the plant.

d) 緑肥への硫安またはイナワラ併用：緑肥中量区に硫安またはイナワラを併用し、C/Nを低下または高めることにより、緑肥Nの吸収がどのように影響されるかを検討した。まず緑肥¹⁵Nの利用率は、硫安併用では7.7~8.1%で殆ど変化はなかったが、イナワラ併用で第1回試料で緑肥単用区の7.4%が6.6%に減少した。しかし第2回目では8.7%に上昇し、単用区の8.2%にやゝまさった。すなわち、イナワラ併用は初期に緑肥Nの無機化を幾分抑制するが、後期には無機化が進みイネに吸収された。

土壌N(¹⁴N)の吸収に関する影響は、併用硫安が¹⁴Nであるため明らかではないが、2回目の増加率は緑肥単用区より明らかに低い。これは多量のN施用に伴い繁茂した茎葉の後期の枯死脱落の影響が大きい。イナワラ併用は、¹⁴Nの吸収も第1回目でやゝ低く、ワラ有機物は土壌窒素の無機化をも抑制的に作用したが、第2回目の¹⁴N吸収量は明らかに増大した。これは土壌Nのみならず、イナワラの¹⁴Nの無機化供給の可能性があるが、イナワラは硫安との併用の場合より緑肥との併用方が、土壌N及びイナワラNの吸収は大きかった(表5)。吸収Nの子実生産効率は、緑肥単用の26が硫安併用で19に減少したが、イナワラ併用は25でほぼ同等であった。硫安併用が茎葉を過繁茂させ出穂登熟に阻害的に作用した結果である。

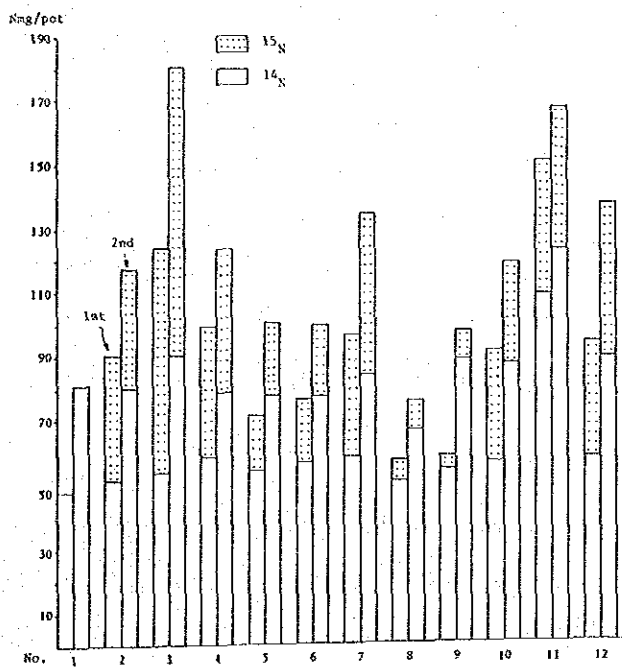


Fig. IV-1 The amount of nitrogen up-taken in the plant from the soil (¹⁴N) and the materials added (¹⁵N)

e) 緑肥作物の植物形態学的部位の差異：N利用率は、花・実と葉身は第1回目、2回目ともにほぼ同等で7~9%で、緑肥混合物よりはやゝ高いを示した。しかし茎と根では著しく低く、第1回目で2.4~4.1%、2回目で4.6~5.5%に過ぎなかったから、実際の緑肥施用量における地上刈取部のN利用率の大小は、茎部の混入割合の大小に影響され、茎部が多い場合には、施用直後の作物による利用率はかなり低下し、長期にわたる緑肥残効窒素として作用するものと推定される。株・根も実際には同様でかなり長期的なN供給資材と見るべきであらう。しかし本実験の条件では、根部のNが第2回目に著しく多く吸収され、子実生産効率も50と無窒素区や硫安區以上で、本試験中最高の値を示した。これは施用Nの寄与率は8~9%と著しく低いことから分かるように、土壌Nの吸収量は多く、特に第2回目では試験区中最高に近い値となったこと、関係する。すなわち、無窒素區に比べわら、子実ともに高い収量を得ながら、そのN吸収及び利用の型は、無窒素區とほぼ同様に土壌N全依存型というべき状況にあった。かくしてわら重は硫安區の61%に過ぎないが、子実重ではほぼ同等となり、供試有機質試料で最高の値となった。

一方、茎は根部に比べ僅かにN%は低く、C/Nは高く、N施用量は86%程度で大きな差異はないが、そのNのイネによる吸収量、土壌Nの可給態化及び子実生産への影響は著しく異なった。まずN利用率は第1回、第2回ともに根部より大きく、施用N吸収量は特に第一回目で多かった。しかし土壌Nの吸収量は両回とも供試々料中最低で、収穫時でも根部区吸収量の75%に過ぎなかった。子実生産効率も34で緑肥少量區にも劣ったが、硫安區に対しわら重は65%、子実重は52%で最低の値を示した。この理由は上述のように、本試験におけるイネ子実の生産に対し、土壌Nの供給が特に作物生育後期において重要な役割りを果たしているのに、比較的C/Nの大きい茎有機物の分解において、土壌Nの無機化を遅延させ、茎Nの供給量が不足したゝめと思われる。すなわち「窒素飢餓」現象を生じたものである。

f) 緑肥のN% (C/N)の大小と肥効：既述の茎、根の単用は実用的ではないので、こゝでは実用条件に近い試料について、そのN% (C/N)と肥効に関する成績を検討しよう。比較を容易にするためには、N施用量は同一のことが望ましいので、以下、N少量施用の例として緑肥少量區 (No. 5) と花・実區 (No. 6) を、多量施用の例として緑肥中量區 (No. 4) と葉身區をそれぞれ比較する。N%は花・実または葉身の場合は単一試料の値であるが、緑肥の場合は、表1に示したように花・実、葉身、茎の混合物で、そのN%も4.72%から1.38%の範囲の試料の混合割合より算出されたものである。

N少量施用の場合 (49~55 N kg/ha) : No. 5のN% 2.71 (C/N 18.5) とNo. 6のN 4.26 (C/N 11.7) の比較である。¹⁵Nの利用率はN%の高い區でやゝ高く、特に第1回試料でその差は大きい。低N%試料區も後期の吸収量を増し、収穫期では差異は殆どなかった。イネの土壌N吸収に関しては両者間に殆ど差異はなかったため、結局乾物収量では、わらはN%の高い試料で高い反面、子実では後期のN供給量にまさった低N%試料の方が高い値を示した。

吸収Nの子実生産効率は、42:36で低N%試料がやゝ高い値となった。

N多量施用の場合(106~110 Nkg/ha) : No.4のN%2.71(C/N 18.5)とNo.7のN4.72(C/N 10.6)の比較である。¹⁵N利用率は低N%試料でも第1回目から比較的高く、高N%試料との差はないが、第2回目では高N%試料が高い値となった。土壌Nの吸収に関しても第1回目では差はないが、第2回目で高N%試料の方が明らかに高い¹⁴N吸収量を示し、乾物収量もわら、子実ともにまさり、吸収Nの子実生産効率は、低N%試料の26に対し31と高い値を示した。

しかし上記4つの区を通じての子実収量は、No.5=No.7>No.6>No.4で、施用N中茎のNが約30%を占めるNo.4では、既述の茎のみの区(No.8)の結果から推定して、その土壌N無機化への遅延的作用により、結局、子実生産を不良にしたものと思われる。No.5では茎のN量が少ないため、この阻害的効果を生じなかったものと思われる。

Table IV-10 The comparison of the results between the soils used

Soil No.	No-N				+ Cr			
	1	2	4	5	13	14	15	16
¹⁴ N up-taken mg/pot (Index)	80.8	80.1	78.8	77.6	104.8 (1.30)	102.8 (1.28)	111.5 (1.41)	111.3 (1.43)
Availability of N added %	-	23.5	8.2	8.2	-	25.2	9.4	7.4
Contribution of ¹⁵ N %	-	31.7	36.3	22.5	-	27.9	31.6	15.4
¹⁴ N + ¹⁵ N mg/pot (Index)	80.8	117.2	123.7	100.1	104.8 (1.30)	142.6 (1.22)	163.1 (1.32)	131.6 (1.32)
D.M of straw g/pot (Index)	5.99	10.86	9.08	7.25	7.83 (1.31)	12.08 (1.11)	11.68 (1.29)	8.60 (1.19)
D.M of grain g/pot (Index)	3.46	4.95	3.26	4.19	5.07 (1.47)	6.24 (1.26)	3.16 (0.97)	4.24 (1.01)
Grain yield efficiency (Index)	42.8	42.2	26.4	41.9	48.4 (1.13)	43.8 (1.04)	19.4 (0.73)	32.2 (0.77)

(Index): Make the value of the each treatment in "No-N" soil as 1.

4) 供試土壌間の比較: 過去3年間無窒素区処理をした「No-N」土壌と、Crotalariaを連用した「+Cr」土壌のそれぞれに、硫安、緑肥(中量)、緑肥(少量)の各添加区と無窒素区を設けて、添加試料のN肥効の土壌間の差異を検討した(表10)。

まず土壌間の窒素的肥沃度の差異は、¹⁴Nの吸収量に見られるように、+Cr土壌はNo-N土壌の1.3~1.4倍も高い土壌Nの供給力を示した。緑肥の施用がイネによる土壌Nの吸収率を高めることは本成績よりも明らかで、無窒素区及び硫安区では、1.3倍の増加率が、緑肥区では1.4倍となった。施用Nの利用率は、緑肥少量区を除き+Cr土壌がやや高かったが、それらの差異は僅少である。¹⁵Nの寄与率にも明らかのように、+Cr土壌では施用Nの植物体の全Nに占める割合は全般に低い、特に緑肥少量区で低かった。すなわちこの区では土壌Nの吸収量

が緑肥多量区と同等であり、 ^{15}N の寄与率が低下したものである。これらの結果、イネが吸収した ^{15}N と ^{14}N の合計量は、全区で+Cr土壌がNo-N土壌にまさったが、特に緑肥区では1.32倍にも達した。

乾物収量ではN吸収量とはやや異なった傾向が見られた。すなわち、わら重は全区+Cr土壌がまさり、No-N土壌の1.11~1.31倍の収量を示したが、子実重は、無窒素区と硫安区は同様に+Cr土壌がまさり、1.47、1.26倍となった。しかし緑肥区は0.97、1.01倍でNo-N土壌とほぼ同じ値であった。このため、イネの吸収したNの子実生産効率は、無窒素区と硫安区では、+Cr土壌がやや高いが、緑肥区はともにNo-N土壌の0.73、0.77とかなり低下した。

本試験の結果、窒素的肥沃度の高い土壌での緑肥の適量施用は硫安の場合以上に重要で、Nの過剰を回避する注意が要望される。

4. 要約

緑肥窒素の肥効の遅速、作物の子実生産効率等を検討するため、陸稲(1AC-25)を供試したポット試験を行った。まず、*Crotalaria juncea*に ^{15}N 標識硫安を施用して栽培し、 ^{15}N 標識緑肥作物を収穫した。この収穫物を花・実、葉身、茎(枝梗を含む)、根と植物形態学的部位別に分離し、それぞれの乾物重、N%、 ^{15}N %を測定し、供試々料とした。(表1)。

施用緑肥としては、上記の花・実、葉身、茎を収穫時の刈取部の割合に混合調整し、その施用量を3レベルで比較した。また分離した各部位を単用した区も設け、N%(C/N)の大小の比較も試みた。その他、硫安(^{15}N)区、硫安(^{15}N)+イナワラ(^{14}N)区、緑肥+硫安(^{14}N)区、緑肥+イナワラ(^{14}N)区も設けた(表2)。

窒素的肥沃性の異なる2種類の土壌を供試し、硫安および緑肥の肥効に及ぼす影響も検討した。得られに主要結果は次のようである。

- 1) 緑肥単用の場合の窒素利用率は(表9)、硫安の24~25%に比し、6.3~8.2%で1/4~1/3に過ぎないが、硫安のN供給力が穂ばらみ期頃よりあと切れたのにたいし、収穫期まで持続的供給力を示した。緑肥施用量の多少のN利用率に及ぼす影響は、実験の範囲内では殆どなく、施用量にほぼ比例してイネに吸収された。
- 2) 硫安および緑肥の施用は土壌Nのイネによる吸収を増加したが(表5)、この影響はイネの生育前半では緑肥が施用量の多少にかかわらず硫安より大きかった。しかし生育後半では、硫安の方が大きく、緑肥は多量施用の場合のみ硫安区にまさった。
- 3) イネは上記のように施用N(^{15}N)と土壌N(^{14}N)を吸収するが、収穫時における吸収全窒素中に占める ^{15}N の割合は、硫安区32%、緑肥多量区50%、中量区36%、少量区23%で、供試土壌の窒素的肥沃度は低いにもかかわらず、土壌Nの占める割合が50%以上であった。(表5)。
- 4) イネの乾物収量への影響は(表3)、緑肥区は硫安に比べ、わら、子実ともに劣り、子実収量は硫安区の値に対し、多量区59%、中量区66%、少量区85%に過ぎなかった。イネの吸収し

たNの子実生産効率(表8)、硫安区42、緑肥多量区16、中量区26、少量区42で、少量区で硫安と同等であった。このような結果は、緑肥区では、そのNの緩効性、持続性のために、イネの栄養生長を遅延させ、生殖生長時における子実への養分の転流を不良にしたためと思われる。

5) 硫安へのイナワラ併用の影響はかなり明瞭で、硫安Nの利用度を24%から20%に低下させたが、Nの肥効は遅延し、乾物収量は、硫安単用の場合に比べわら86%、子実77%に過ぎず、吸収Nの子実生産効率は42から32に低下した。すなわち、わら併用により有機化された硫安Nの一部は、作物による利用がかなり困難な難分解性になるものと推定された。

6) 緑肥(中量区)へのイナワラ併用の影響は、硫安に対するほど著しいものではなかった。すなわち、緑肥Nの利用度はイナワラ併用により、生育前半ではやや低下したが、生育後半には、8.2%:8.7%と単用区と同等以上に高まり、イナワラに固定されたNの利用性はかなり高いものと思われた。

一方土壌Nの利用も単用区よりはやや高い傾向にあったが、イネの乾物収量も、わら、子実ともにイナワラ併用の影響は認められず、吸収Nの子実生産効率も26:25で両区間に差異はなかった。

7) 緑肥(中量区)への硫安併用の影響:速効性Nの併用で、施用緑肥のC/Nを若干低下させ緑肥Nの速効化を期待したが、緑肥Nの利用度への影響は僅小で、殆ど相違はなかった。一方多量の速効性Nの併用により、わら収量は高まり、緑肥単用区に比べ2.13倍(第1回試料)~1.45倍(第2回試料)にも達したが、子実収量では差はなかった。緑肥Nの施用により、土壌Nの可給態化がかなり遅延しりものと思われる。

茎と対照的な肥効を示したものは根区で、N利用率とわら収量は最も低かったが、子実収量は硫安区とほぼ同等で、Nの子実生産効率は50と最高値を示した。この理由は、施用した根Nと共に土壌Nの可給態化がスムーズに進み、イネの子実生産への貢献が大きかったためと思われる。緑肥のような有機質肥料のN肥効として理想的な内容を示した。

8) 土壌の窒素肥沃度の影響:供試土壌の差は、施用硫安や緑肥Nの利用度には殆ど影響はみられなかったが、これらの肥料施用により土壌Nの可給態化が促進されるので、肥沃度の高い土壌の方が低い土壌より、イネの吸収した全N($^{14}\text{N} + ^{15}\text{N}$)及びわら重は明らかに高かった。しかし子実収量は、硫安のように肥切れしやすい肥料の場合には、高肥沃性土壌の方が高かったが、緑肥の場合にはその持続的N供給力のため、イネの生育後期にN過剰となりその子実生産効率は、26.4:19.5で明らかに低下した。

9) 緑肥作物の形態学的部位の差異と肥効:供試試料のN%は、葉身>花・実>根>茎、ポット当たりのN施用量は、葉身>花・実>根>茎であった。試験の結果、イネの収穫時のN利用率は、葉身>花・実>茎>根、わら重は、葉身>花・実>茎>根、子実重は、根>葉身>花・実>茎、吸収Nの子実生産効率は、根>花・実>茎>葉身であった。

N%高く、N施用量の多い葉身区では、Nはかなり速効的でわら収量を高めたが、子実増には劣った。しかし、ほぼ同じN施用量の緑肥中量区に比べれば、わら、子実重ともにまさった。花・実・茎、根とは著しく異なったが、葉身に近い肥効を示した。茎Nの利用率は根にまさったが、子実収量では著しく劣って供試試料中最低であった。これは茎区では土壌Nの吸収が最も低かったことと関係するようで、比較的N%の低い茎有機物の多量施用となり、子実収量は伸びず、低肥沃性土壌との差はほとんどなかった。このことは、緑肥連用土壌における緑肥の施用適量の判断の重要性を示している。

V. 緑肥の窒素供給力に関する総合考察

既述の4試験の結果に基づいて、供試緑肥の作物に対するN供給に関し総合的な考察を行いたい。まず供試緑肥作物は、セラードの雨季開始後の58~108日間で、約91~309Kg N/haのNを生産できた。この緑肥Nは有機態のため硫酸など速効性の化学肥料とは異なり、一般に肥効は緩効性かつ持続性のはか、その施用により土壌自体のNの一部をも可給態化し得る特徴が見られた。これらの結果、緑肥施用量が過多になれば、作物はN過剰になりやすく、茎葉の過繁茂、病虫害の激化などにより、子実収量は減収しやすい傾向にあった。

1) N利用率：1作では数%からせいぜい10数%に過ぎず、硫酸Nの1/5~1/4程度であった(Exp. II, III, IV)。しかし3年間連用したあと、1年間2作の残効をも含む4年間の長期的な利用率では、硫酸区が26~41%に対し、緑肥区でも20~58%の値が算出された(Exp-I)。

なお硫酸Nの利用率は元肥施用に比べ追肥施用により、1.28~1.45倍増加したが、緑肥との併用により、元肥では0.78~0.97倍に、追肥では0.93~0.94倍に減少した。

緑肥はそのN%により利用率は大凡表1のような差が見られた。試験条件を異なるデータを一括するので、各試験での硫酸区の値を100とした指数で示す。(Exp-III, IV)。

Table V-1 The relation of the nitrogen concentration of the materials and their nitrogen availability for the crops²⁾

N %	0.59	1.21	1.38	1.79	2.71	2.92	4.26	4.72
C/N	81	40	36	28	19	16	12	11
N-Availability Index ¹⁾	24	21	22	19	33	38	36	38

1) being the value of ammonium sulfate as 100

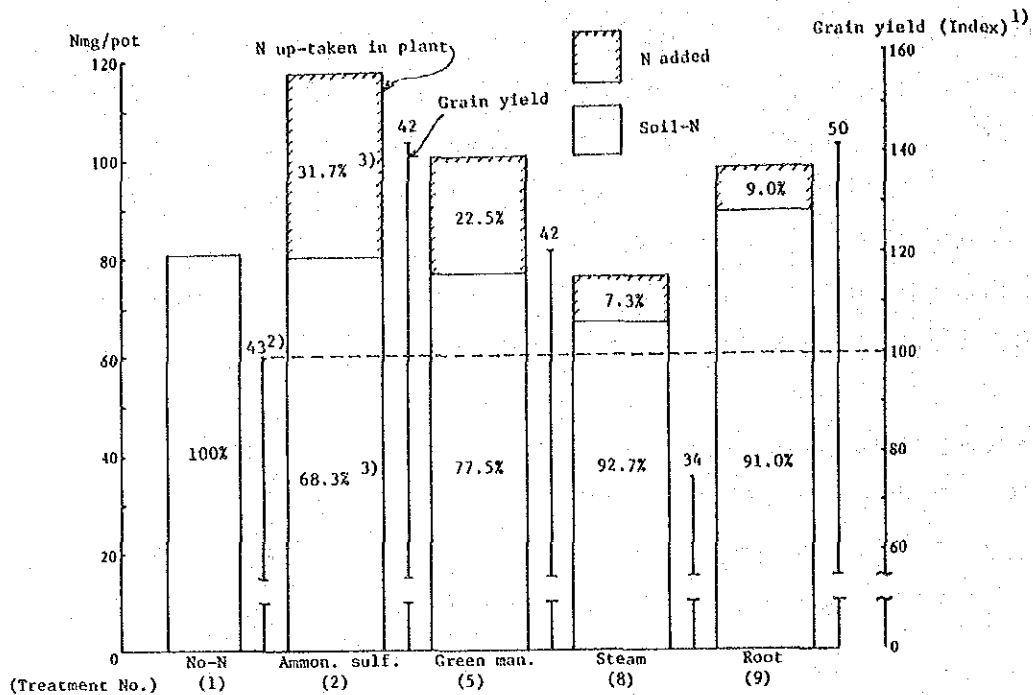
2) from the Exp III and IV

N%は0.6~4.7とかなりの差があったが、利用率の試料間の差は比較的少なく、硫酸の21から38%程度であった。ともあれ緑肥Nは1作で作物に吸収される割合は10~20%に過ぎず、残余の大部分はまず土壌に残ると思われるので、この蓄積Nの供給力を知ることは重要である。

2) 緑肥連用土壌のN供給力：残効試験(Exp IとIV)の無N区の値を100とした指数で示せば、開花期Crotalia全量すき込み区(+Cr)では、N供給量はコムギ作143、トウモロコシ作209、イネ作130と、3作の結果でもなお1.3倍のN供給力を示した。

3) 作物生産における土壌Nの役割：供試土壌(VAsoil)のN供給力は、4年間で494KgN/ha、乾物生産量33.5t/haという大きさであった。(Exp I)。このように大量の土壌Nが緑肥施用により数十%以上も増加することは上記に示すようであるが、施肥条件下でも作物栽培時に肥料窒素と共に吸収され収量増に大きく貢献した。特に緑肥施用の場合、その土壌中での分解性の如何

が、土壌Nの作物への供給にも影響し、子実収量の増減を来たす例を図1に示した。(Exp-IV)。



- 1) Index: No-N as 100 2) Grain yield efficiency (Grain D.M (g)/Nmg in Plant)
 3) Percentage of soil-N and added N in the total N of the plant

Fig. V-1 The magnitude of the soil nitrogen supply the grain yield of rice (Exp. IV)

すなわち、硫酸ほか含N試料肥料の施用により作物のN吸収量は増すが、吸収N中に占める肥料Nよりも土壌由来のNの割合がいずれも88~93%にも達した。しかもイネの子実収量は、この土壌Nの吸収量と高い相関があり、供試中土壌N吸収量の最大のNo.9や2で最も高く、最少のNo.8で最低、中間のNo.5ではこれらの中間にあった。No.9のように、土壌中の分解過程で土壌Nの無機化を作物の全生育期間にわたって促進的に作用する有機物は、子実生産への貢献度は大きく、吸収Nの子実生産効率率は50にも達した。これに対し、No.8のように、土壌Nの作物への供給に抑制的な影響を与える有機物は、子実収量も低くその生産効率は34と低かった。

4) 緑肥利用上の留意事項：

- a. 緑肥作物の導入は開こん初期の低肥沃土壌は避け、土壌養分の富化した熟畑を選ぶ。自給肥料としての緑肥の生産コストは可能な限り低いことが要望されると共に、土壌中の蓄積養分の再利用も重要なためである。
- b. 緑肥は、加里供給力が大きく、作物根によるCaやMgの吸収を競合的に抑制することがあるから、緑肥連用による肥沃性の高い土壌でも、適量の石灰苦土資材の補給は望まれる。
- c. 緑肥窒素の肥効コントロール：まずNの過剰供給によるマイナスを避けるため、緑肥作物の

全量すき込み圃場への第1作は、トウモロコシなど耐肥性や吸肥力の強い作物を選び、コムギ、イネなどN過剰の障害の出やすい作物は、そのあとの残効を利用する。特定圃場への連用は避け、数年間の輪作利用とする。

MucunaのN%は、収穫期の影響がCrotalariaより少なく、全般に高N%で土壌中での分解も早く、肥効の発現は比較的早い傾向にある。これに対しCrotalariaは収穫時期の早晩で、葉身と茎の割合が著しく異なり、緑肥としてのN%の変化は大きく、また茎の老化による硬度の増加など物理的性状も著しく変化する。このため適正な肥効発現には、2/3 開花期頃の収穫が推せんされている。採種用に供した茎をすき込む場合には、硫安(尿素)の併用がなければ、対象作物に窒素飢餓を惹起する可能性もある。

VI 文 献

- 1) João Pereira & Hirofume Kage (1979): Manejo Da Matéria Orgânica Em Solos De Cerrado. Cerrado: Uso E Manejo (Simpósio Sobre o Cerrado) p 581 - 591.
- 2) H.A.A. Mascarenhas et al. (1983): Efeito Do Nitrogênio Residual De Soja Na Produção Do Milho. Boletim Técnico No. 58: 1-24 (Campinas)
- 3) A. de A. Veiga et al. (1982): Efeitos Da Incorporação Ao Solo De Massa Vegetal De Crotalária Juncea, Da Calagem E Da Adubação Com Nitrogênio E Fósforo Sobre A Produção Do Feijoeiro. Boletim Técnico No. 48, 1-18 (Campinas)
- 4) Shiro Miyasaka et al. (1983): Adubação Orgânica, Adubação verde E Rotação De Culturas No Estado De São Paulo. Fundação Cargill, 1-138 (Campinas)
- 5) V.S. Dimas et al. (1981): Efeito Da Incorporação De Restos Culturais E Adubo Verde Nas Propriedades Físicas De Um Latossolo Vermelho Amarelo Fase Cerrado. Pesq. agropec. bras., Brasília, 16 (6): 801-807.
- 6) D.V.S. Resck et al. (1982): Efeito De Quinze Espécies De Adubos Verdes, Na Capacidade De Retenção De Água E No Controle De Nematóides, Em Latossolo Vermelho-Escuro Sob Cerrado. Pesq. agropec. bras., Brasília, 17 (3): 459-467.
- 7) R.D. Sharma et al. (1982): Eficiência De Adubos Verdes No Controle De Nematóides Associados À Soja Nos Cerrados. Boletim De Pesquisa No. 13, 1-30.

VII Summary

Studies upon the effect of nitrogen in leguminous green manure on the growth of some main crops in Cerrados.

Tamotsu Ogata (JICA)

João Pereira (CPAC)

Introduction:

To get low cost nitrogenous fertilizers is one of the most important things for the stable agricultural farming in Cerrados. Because, "Low-cost farm management" is essential for the stable farming and for high yield and quality of main crops, the nitrogenous nutrition is also essential. While most of the chemical nitrogenous fertilizers are imported and rather expensive in Brazil.

To get less-leachable fertilizer acting to match the need of crop growth is desirable, because the nitrification in soils is generally easy and rapid, being good aeration and rather high soil temperature all the year, besides there is high amount of rainfall to be enough for leaching nitrate from the soils.

As for the cation holding power of the soils, as the main clay-minerals are consisting of the 1:1 type and the sesqui-oxides of iron and aluminum and the contents of humus are generally low, the cation exchange capacity and intensity of the soils are usually very small and weak. The most of basic ions are also apt to go away with the leaching nitrate by rain water, so to keep the good base status of the soils, less leaching nitrogenous fertilizer seems to be favorable.

To solve the problems mentioned above, the effective use of leguminous green manures seems to be one of the most suitable ways under the condition of Cerrados.

As the authors have conducted four experiments described below to clarify the features of nitrogen in leguminous green manures compared with the chemical fertilizer such as ammonium sulfate in a typical soil, VA-soil, in Cerrados, the main results are presented in this report.

Experiment I: Upon the effect of nitrogen in the green manures on the growth of wheat (Field experiment).

Experiment II: Upon the effect of the green manure on the absorption of nitrogen in ammonium sulfate applied together by wheat (Field experiment).

Experiment III: Upon behavior of the nitrogen in the green manures at the wheat - soiling corn cropping (Pot experiment).

Experiment IV: Upon the effect of nitrogen in the green manures on the growth of up-land rice (Pot experiment).

Methods:

As a field experiment, the effects of nitrogen of the two kinds of leguminous green manure plants, *Crotalaria juncea* and *Mucuna preta*, on the growth of wheat (IAC-5) were examined on the field of VA soil for three years.

After that, at fourth cropping year, the residual effects of the green manures ploughed-in for three years were examined with soiling corn and wheat (Exp.-I).

Under the field condition, the effect of green manure on the availability of nitrogen in ammonium sulfate applied with the manure by wheat was investigated with ^{15}N labeled chemical in one cropping (Exp.-II).

The ^{15}N -labeled green manures were obtained by growing *Crotalaria juncea* and rice plant added with the ^{15}N -labeled ammonium sulfate in pot culture of the virgin soil in green house, and were used for the Exp.-III and the Exp.-IV.

Using the pots with an apparatus collecting the leaching water from the soils in them, the effects of nitrogen in the ^{15}N -labeled green manures on the growth of crops and availability of the nitrogen were investigated in the wheat - soiling corn two croppings under the open air. As for the nitrogenous fertility, two kinds of soils were used, one was taken from the "No-nitrogen" plot and the other from the "+Cr(1/1)" plot (the total amounts of the *Crotalaria* produced were ploughed-in for three years) in the Exp.-I (Exp.-III).

The effects of nitrogen in the ^{15}N -labeled green manures on growth of up-land rice were also examined with the usual pot cultivation in the open air, using two kinds of soils mentioned above (Exp.-IV).

Main results:

1) Yield of the green manures: In 58 ~ 108 days after seeding conducted just beginning of the rain season, dry matter productions (t/ha) were 2.5 ~ 14.2, and nutrients productions (kg/ha) were 91 ~ 309 for N, 8 ~ 34 for P, 46 ~ 154 for K, 36 ~ 114 for Ca, 14 ~ 72 for Mg. The contents of N and K in *Mucuna preta* were generally higher than those in *Crotalaria juncea* while those of Ca and Mg in *Mucuna* had a tendency to be lower than those in *Crotalaria*.

2) The effect of the green manures on the yield of wheat seemed to be almost the same as ammonium sulfate, only when the proper amounts of the manures were ploughed-in. However, the application of about more than 150 kg N/ha in green manures had resulted promoting the growth of vegetable and delaying the reproduction, finally high yield of the straw and low one of the grain. The adequate amount of the green manure ploughed-in seemed to be about 100 kg N/ha for wheat.

But for wheat cultivation without irrigation in Cerrados, in stead of the direct application of green manure for the wheat, the indirect use of the manure by utilizing its residual effect applied for other crops in the cropping system, would be more desirable, because the nitrogen demand of wheat is rather small and the weather in the wheat cropping season is generally unstable, making bad influence on the response of the nitrogen in fertilizers, especially delaying the reproduction and causing severe damages of plant disease and pests.

3) The availabilities of the nutrients in *Crotalaria juncea* incorporated in the soil by wheat showed as following, about 10-20% for N, about 20% for P, about 50% for K. The availability of N seemed to be changeable by the conditions.

4) The residual effects of the green manures were remarkably higher than that of ammonium sulfate in both dry matter and nutrients yield. For the supplying power of the nutrients from the soil, the following order was observed.

$$K > N > P > Ca > Mg$$

5) By application of the green manures for three years, the chemical properties of the soil were clearly improved, showing that increasing of the pH values, the level of exchangeable bases (K, Ca & Mg), and the available P, but for the soil organic matter although the content of

carbon was just slightly increased the one of the nitrogen was hardly affected. Besides, the changes of the physical properties of the soil were not observed either.

Based on the data obtained from the experiments (II, III and IV) the results were summarized briefly as follows:

6) The soil applied with the green manures supplied to the crops not only the available nitrogen resulted from the decomposition of the manure in the soil, but also the nitrogen from the soil itself by promoting the mineralization of the soil organic matter simultaneously. However, the easily decomposable organic materials in the green manures were seemed to act as a priming agent for the soil organic matters on one side, but under such a condition as ammonium sulfate had been given together, to act as a fixer for the mineral nitrogen, by the immobilization, making nitrogen availability by crops slow and low, on the side.
crops slow and low.

7) The availability of nitrogen in the green manure, being about 10-30% for the first crops after the application, showed distinctly to continue for the succeed crops for longer period than the one in ammonium sulfate, being rather early up-taken by the first crops and leached out from the soil.

8) The influences of the nitrogen content (C/N ratio) of the green manures on the nitrogen availability by the crops were as follows: making the availability of ammonium sulfate as 100, 33 ~ 38% for the 2.7 ~ 4.7 N% (C/N 19 ~ 11) materials, and 20 ~ 24%, for the 0.59 ~ 1.79N% (C/N 81 ~ 28).

9) The influences of the applied amounts of nitrogen in the green manures on the nitrogen availability by the crops were likely very small, although the growth of the crops was influenced much depending on the amounts of the nitrogen.

10) The availability of nitrogen in the green manures by the crops seemed to be hardly effected by the coexistence of ammonium sulfate, although slight depress was observed by the coexistence of organic materials with high C/N ratio such as rice straw.

11) Concerning the natural supplying power of nitrogen in soils in Cerrados, the VA soil examined showed very important information, namely as shown in the data of "No-N" plot in the Exp.-I, the yield of nitrogen reached to 494 kg/ha by the dry matter produced of 33.5 t/ha for four years. Thus after improving the chemical properties the soil could likely supply rather much nitrogen naturally.

For practical use of the green manure, low cost for its production seems to be very important because it is not considered as a commodity usually. By reason of this, cropping the green manure crops should be conducted with the lowest addition of the soil amelioration materials to matured fields, having rather high fertility after the cultivations of several crops.

