

水田における稲わら施用と稲作の安定化

千葉 満男 ・ 島津 了司

武藤 和夫* ・ 内田 修吉**

Stable Yield of the Paddy Rice by Rice Straw Plowing
Michio CHIBA, Ryoji SHIMAZU, Kazuo MUTO, Shukichi UCHIDA,

目 次

I 諸 言	V 総合考察
II 稲わらの分解過程と分解促進の技術効果	VI 摘 要
III 稲わら施用による水田の土壤動態と養分吸収	引用文献
IV 稲わら施用田における栽培改善技術の実証	

I 緒 言

稲わらは、稲作の地力培養として欠くことのできない有機物資源である。古くから堆肥や厩肥として水田に施用され、総合的な養分供給、土壤の理化学性や生物性の改善によって、水稻に低温抵抗性、多収性などの機能があたえられることが知られてきた。

しかし、現在のような機械化稲作の普及した時代における稲の収穫は、大部分がバインダーおよびコンバインによる機械刈取りに移行し、とくに1970年以降は自脱型コンバインの開発が急速にすすみ、収穫機械が大型化しこのため必然的に稲わらが水田に直接還元される状態となった。

これら稲わらの直接還元の技術研究は、1963年頃より全国的に試験研究が展開され、その成果は農林水産省技術会議事務局の「水田におけるいねわらの施用法と施用基準¹⁾」としてとりまとめられている。その中で東北地方のような寒冷地の稲わら施用は、土壤中の稲わら分解が遅れて初期生育

の抑制が大きく、その影響が後期までおよび、減収することさえあると指摘されている。一方暖地水稻における稲わらの施用^{2),3)}は、わら分解にもなると一時的に水稻の窒素供給は減少する。しかし生育後期は、わらの分解が進行して、土壤中の有機態窒素は徐々に無機化して有効態の窒素を放出する。このように水田に施用した稲わらは、土壤中から有効化する窒素の量がよく調整され、窒素の肥効を持続させる作用を有効に活用することができ、わら施用による水田の地力維持増進とあいまって重要であるとされている。

岩手県における稲わら施用の実態と動向は、近年の大型機械による収穫作業の進展にともなって、水田の稲わら還元面積が増大し、稲わらを連用する農家が多い。また稲わらの長期連用農家が見られるようになり、従来の稲わら施用による異常還元や窒素飢餓による生育抑制はもちろん、稲わら連用によって新たな技術問題が指摘され、有機物資源として稲わらの有効で安全な施用法の確立が強く望まれてきた。

註 * 現岩手県園芸試験場

** 現岩手県農政部農産普及課

このような稲わら施用の技術改善と対策について、1974年～1976年の3ケ年、秋田農試、山形農試と共に総合助成課題として実施した「有機物施用による地力増強と稲作の安定化」のうち、当場で実施した稲わら施用に関する主なる成果をとりまとめて報告する。本研究をすすめるにあたり農林水産省技術会議事務局関係官には特段のご配慮を賜わり、試験実施にあたっては、同東北農業試験場の関係各位に多くのご指導をいただいた。また当場内にあつては前場長黒沢順平氏、元環境部長大森秀雄氏、前環境部長佐々木幸夫氏に厚くお礼申し上げる。さらに当場水田作科長宮部克己氏（現県南分場次長）、専門研究員青木信夫氏（現湯田普及所）、同畠山貞雄氏（現農業短大）、同八木宏三氏（現宮古普及所）、同桜井一男氏（現県南分場）からはご指導のほか調査、分析にたいすご協力をいただいた。本報告をまとめるにあたり、貴重な示唆と激励を賜った環境部長渡部茂氏、施肥改善科長高橋和吉氏に深く感謝申し上げます。

II 稲わらの分解過程と分解促進の技術効果

水田に施用した稲わらは、微生物の作用によって次第に分解されるが、その分解過程は、温度、水分、通気の良い否、土壌の反応、養分等の土壌環境要因に強く影響を受ける。

機械収穫後の稲わらは、秋すき込みが最も良い方法とされている。しかし、現実にコンバイン、バインダーによる刈取り後の稲わら処理は、寒冷地の農家作業体系、労働や寒冷気象、圃場水分条件によって、秋すき込みが困難な場合が多い。

しかし、稲作にとっては、稲わらの秋すき込みを行ない翌年の春すき込みのような急激な分解による障害を回避することが最も重要である。

そこで水田における稲わらの分解過程を明らかにするとともに、秋散布、秋すき込みの分解促進や堆肥化促進効果をもつ微生物入り有機資材の腐熟促進効果ならびに簡易に行ないうる稲わら腐熟促進法について検討した。

1 試験方法

1) 春すき込み稲わらの分解過程 (1974)

— ポット圃場埋設試験 —

供試土壌は、多湿黒ボク土壌（岩手農試水田作

土。以下同じ）、褐色低地土壌、グライ土壌（北上市二子、水田作土。以下同じ）を使用した。

試験規模は1/5,000アールポット、2連制で行ないポットは、農試水田圃場に埋設した。

稲わらの埋設、処理、調査法は、坂井⁴⁾らの土壌中における稲わら分解過程簡易調査法によつた。つまり収穫後の稲わらを上部より3節間を第3節をつけて、その上10cmを切断して葉鞘を含めた茎を材料とした。稲わらの供試量は、乾物5gを調査単位として行ない、埋設は0～5cmと10～15cmの層位ごとに行なつた。土壌中の稲わらは、ビニール製紐をゆるくかけて水平にならべた。施肥は、N:0.5g、P₂O₅:0.5g、K₂O:0.5gの成分量を硫酸、過石、塩加で施用した。試料は土壌中の稲わらを時期別に採取し、土が若干付着したまま乾燥した。その後針やガーゼ等で土をとり除き乾物として秤量した。

分析法は、全炭水化物定量法⁵⁾:0.7N-HClで2.5時間の加水分解後ソモギー法によつて全還元糖として定量した。全窒素定量法:ケルダール法によつた。全炭素定量法:クロム硫酸酸化滴定のチューリン法によつた。灼熱残渣:マツフルで500～550℃で灰化して重量法によつた。

2) 秋すき込み、秋散布稲わらの分解 (1974)

— 圃場試験 —

供試圃場は、多湿黒ボク土壌（岩手農試水田圃場。以下同じ）、グライ土壌（北上市二子水田圃場。以下同じ）の現地圃場で実施した。

試験規模は、多湿黒ボク土壌は5アール圃場、グライ土壌は、30アール圃場で行なつた。

稲わらの処理は、両圃場ともにA:秋すき込み、B:秋散布とし、稲わらアール当り70kgを施用した。同時に石灰窒素アール当り2kgを散布した。秋すき込みはトラクターによるロータリー耕によつた。稲わらの分解調査は、圃場の埋設、処理、調査法ともに、1-1)の稲わら分解過程簡易調査法に準じて行ない、分析法も同様に行なつた。

3) 稲わらの分解促進剤の効果 (1974～1976)

(1) 分解促進剤の効果判定試験

a 室内試験

供試稲わらは、基部より15cmの茎を材料として、4～5cmに切断し、試料100gをビニール容器に秤量した。水分は最大吸収量の50%になるように加えた。分解促進剤は、石灰窒素2g、ワラコ

ーゲン（活性剤+菌体以下微生物入り有機質資材は同じ）2g、ウロンC 3.6g、ワラクサル3g、ライズ5gを添加して、完全に密閉し5±1℃の低温下で150日放置後、乾物および全窒素、全炭素の分析を行った。

b 圃場試験

供試圃場は、多湿黒ボク土壌（農試圃場、大内統）で行った。

試験規模は、5アール圃場に1区5m²で実施した。

稲わらおよび分解促進剤の処理は、圃場内にA：秋すき込み、B：秋散布の稲わら処理区を設置し、さらに秋散布には、C：土壌改良資材の熔りんアール当り4kg、珪カル15kgと、硫安1kgを同時施用した区を設置した。それぞれに分解促進剤の無施用区と石灰窒素アール当り1kg、ウロンC（菌体0.1kg、活性剤0.7kg）0.8kg、ワラクサル（菌体+活性剤）2kg、ワラコーゲンA（菌体0.2kg、活性剤0.8kg）1kg、ワラコーゲンB（菌体0.33kg+活性剤0.1kg）0.43kg、ライズ（菌体+活性剤）3.6kgを添加した。

稲わらの埋没、処理、調査法は、1-1)の稲わら分解過程簡易調査法に準じて行ない、1974年11月7日～1975年の4月25日まで実施した。

(2) 圃場における簡易分解促進法

グライ土壌における秋散布稲わらの腐熟促進について30アール圃場内にアール当り70kgの切断稲わらを均一に施用して、1区5m²の調査区を設置

した。

稲わら分解促進剤の処理は、いずれも表面散布のみとした。各分解促進剤の施用量は、第1表に示した。稲わら分解調査試料は、1975年の岩手農試産稲わらを使用し、葉鞘+稈の第2節を含む2節間を長さ10cmに切断して、1-1)に準じて1区に5点設置した。

一方、コンバインやハーベスタ処理の稲わら分解促進は、地表面に分解剤を散布するのみでは困難な場合が多く、堆積して微生物活動を有効に活用することが望ましい。しかし、実際に圃場の切断稲わらを一ヶ所に堆積して、堆肥化の過程をとることは多大の労力を必要とすることから、10アール圃場に8～10ヶ所堆積して、稲わら分解促進剤を表面にのみ散布し、腐熟効果を検討した。

稲わらの処理と分解促進剤の施用は、グライ圃場に60～70kg相当の切断わらを堆積して、石灰窒素2kg、乾燥鶏ふん10kg、ウロンC（菌体0.1kg、活性剤0.6kg）0.7kgをそれぞれ施用した。処理期間は、1975年11月12日～1976年4月28日までとした。稲わら分解調査試料は、秋散布稲わらの腐熟促進と同一試料を堆積した稲わらの上層と下層に3点ずつ設置した。

分析法は、0.1N-NaOH熱抽出法：粉碎稲わらに0.1N-NaOHが1対300になるように加え、30分の熱抽出を行い、吸光度470mμで測定した。全窒素、全炭素、灼熱残渣は1-1)同様に行なった。

第1表 稲わら分解剤の施用量

区名	処理、施用量	備考
1. 無処理	稲わら秋散布のみ	資材
2. 石灰窒素区	石灰窒素 0.4 kg/a 成分	{ 熔りん 4 kg/a 珪カル 15 kg/a } 現物
3. 石灰窒素+資材区	石灰窒素 0.4 kg + 資材	
4. 硫安区	硫安 0.4 kg/a 成分	化成
5. 有機化成区	化成 0.4 kg/a 成分	N-P-K = 8-8-8
6. 鶏ふん少量区	鶏ふん 10 kg/a	(有機態-N 60%)
7. "多量区	" 30 kg/a	乾燥鶏ふん
8. ウロン-C+硫安区	ウロン-C 0.6 kg + 硫安 0.4 kg	N-P-K = 3.9-4.6-2.2
対照	秋鋤込無処理 秋鋤込石灰窒素+資材	稲わら秋鋤込のみ 秋鋤込+3区 地表下5～10cmに埋設した。

処理期間：1975. 11/12～1976. 4/28

2 試験結果および考察

1) 春すき込み稲わらの分解過程

春すき込み稲わらの土壌中における分解量の調査結果は、第2表と第1図に示した。稲わら埋設20日後の6月中旬には、各土壌とも乾物分解率が25%になり、さらに1ヶ月後の7月中旬には45~50%の分解率、2ヶ月後の8月中旬では50~57%の分解率を示した。その後の分解は緩まんである。

各土壌の土層別乾物分解率は、初期は明らかに上層の分解率がまさり、1ヶ月後になるとしだいに下層の分解率が高まる。この傾向は褐色低地土壌、グライ土壌で顕著である。多湿黒ボク土壌は時期別の層位による分解率の差が少ない。最終的に12月の乾物分解率は、各土壌とも60%前後となり暖地の63~95%分解率²⁾より低い値いとなっている。

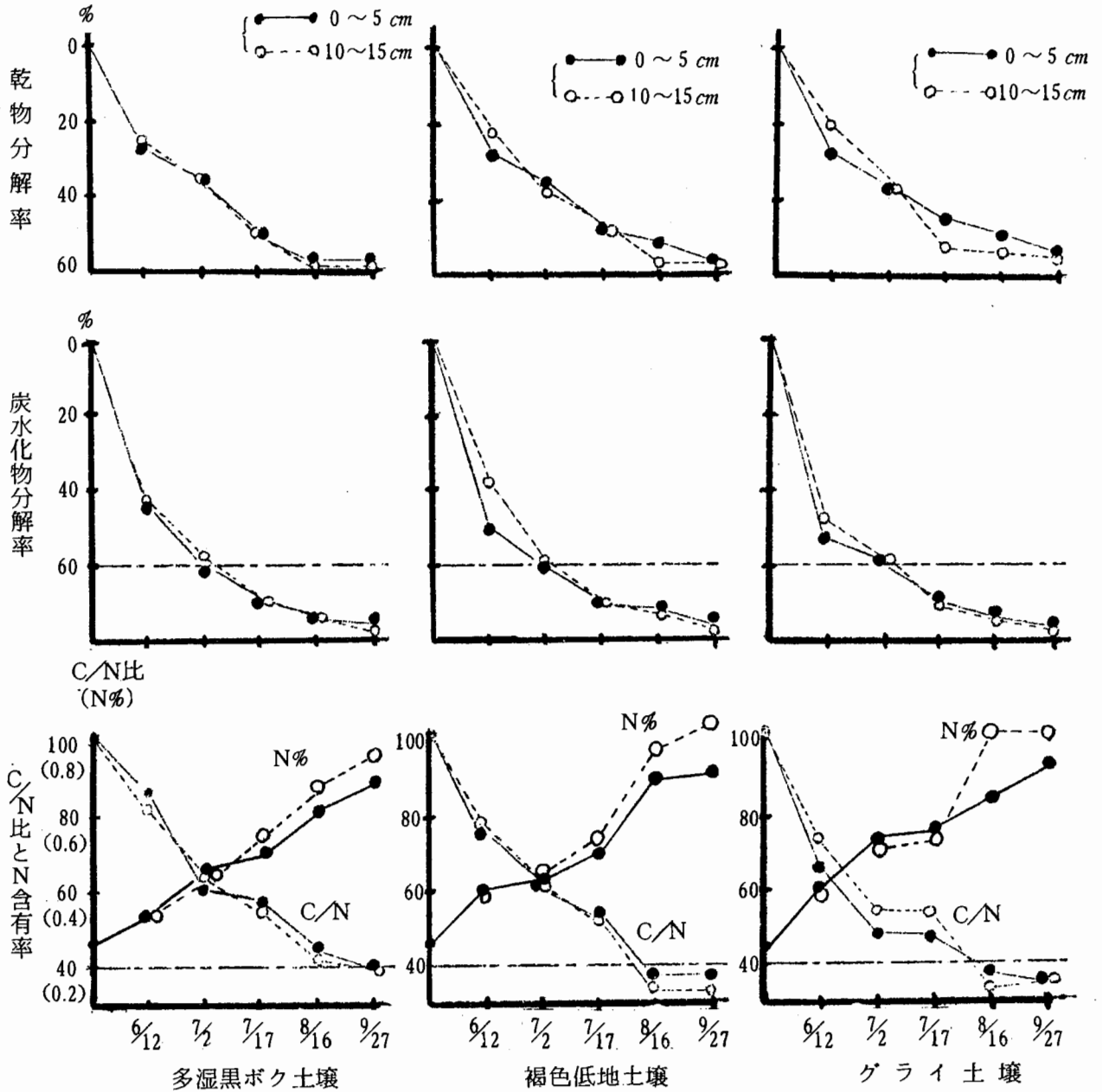
稲わらの易分解性炭水化物(0.7N-HCl加水分解性炭水化物)の分解過程は乾物分解と同様の傾向を示し、埋設後1ヶ月で約60%の分解率を示している。その後徐々に分解して12月の最終調査時には約80%の分解率となっている。これら稲わらの乾物分解率と炭水化物含有率の間には高い相関が認められ、乾物分解率30%までは、主としてセルロース以外の易分解性有機物である加水分解性炭水化物の分解と考えられた。

窒素の含有率は、乾物重の減少に対応して高まり、8月下旬で約2倍の濃度になる。そして分解の早い土壌ほど窒素含有率が高まる。土壌別では、初期の窒素含有率、全窒素量ともに、グライ土壌>褐色低地土壌>多湿黒ボク土壌となる。土壌別の窒素含有率は各土壌ともに2ヶ月以後になると下層の窒素含有率が高まる。

施用稲わらのC/N比は、分解がすすむにつれ

第2表 春すき込み稲わらの分解量(1974)

項目 区名	乾物重						有機物重					
	6/12	7/2	7/17	8/16	9/27	12/2	6/12	7/2	7/17	8/16	9/27	12/2
多湿黒ボク土壌 0~5 cm	18.8	13.4	12.4	9.7	8.3	8.4	16.3	11.3	10.1	8.0	6.9	6.5
多湿黒ボク土壌 10~15 cm	18.8	14.1	12.2	9.4	7.6	7.7	16.3	11.8	10.0	7.7	6.3	6.4
褐色低地土壌 0~5 cm	18.8	13.4	12.1	10.0	9.2	8.0	16.3	10.8	9.6	7.7	7.1	6.1
褐色低地土壌 10~15 cm	18.8	14.4	11.9	9.7	8.4	8.1	16.3	12.0	9.5	7.7	6.7	6.3
グライ土壌 0~5 cm	18.8	13.5	12.1	10.5	9.7	9.0	16.3	11.1	9.4	8.0	7.0	6.4
グライ土壌 10~15 cm	18.8	14.8	11.8	9.3	8.0	8.2	16.3	12.4	9.4	7.5	6.1	6.2
項目 区名	0.7N-HCl 分解性炭水化物 (Glucose)						0.7N-HCl 分解性炭水化物					
	6/12	7/2	7/17	8/16	9/27	12/2	6/12	7/2	7/17	8/16	9/27	12/2
多湿黒ボク土壌 0~5 cm	37.7	29.2	22.3	22.5	22.4	21.4	7.80	3.93	2.76	2.19	1.86	1.79
多湿黒ボク土壌 10~15 cm	37.7	29.2	24.5	22.9	23.4	20.2	7.80	4.10	2.99	2.16	1.77	1.55
褐色低地土壌 0~5 cm	37.7	26.7	23.2	20.6	21.1	21.2	7.08	3.59	2.80	2.06	1.95	1.70
褐色低地土壌 10~15 cm	37.7	30.6	24.0	20.8	22.2	20.0	7.08	4.41	2.84	2.03	1.87	1.61
グライ土壌 0~5 cm	37.7	25.4	24.2	20.9	20.6	20.1	7.08	3.41	2.94	2.20	1.99	1.81
グライ土壌 10~15 cm	37.7	25.4	25.2	23.3	21.4	20.3	7.08	3.76	2.96	2.08	1.71	1.66
項目 区名	灼熱残渣						全窒素量					
	6/12	7/2	7/17	8/16	9/27	12/2	6/12	7/2	7/17	8/16	9/27	12/2
多湿黒ボク土壌 0~5 cm	2.54	2.15	2.31	1.79	1.46	1.84	50.2	44.4	58.3	43.9	50.7	58.5
多湿黒ボク土壌 10~15 cm	2.54	2.30	2.18	1.68	1.28	1.34	50.2	49.1	54.6	49.9	52.5	58.4
褐色低地土壌 0~5 cm	2.54	2.54	2.47	2.34	2.11	1.92	50.2	53.4	53.0	50.0	64.9	57.0
褐色低地土壌 10~15 cm	2.54	2.39	2.37	2.01	1.76	1.76	50.2	53.5	52.7	52.6	65.8	68.8
グライ土壌 0~5 cm	2.54	2.34	2.69	2.51	2.72	2.65	50.2	57.9	67.2	61.1	63.6	68.1
グライ土壌 10~15 cm	2.54	2.40	2.34	1.84	1.91	2.01	50.2	58.9	61.1	49.9	64.3	66.9



第1図 春すき込みの稲わら分解過程 (1974)

て急激に低下する。すき込みサンプルのC/N比100(分解調査サンプルは、第3節の葉鞘を含めた茎を材料としているため、稲わら全体のC/N比60より高い値になっている)前後の値が埋設1ヶ月後に60ぐらいになって、その後徐々に低下する。土壌別ではグライ土壌のC/N比低下がすみやかで多湿黒ボク土壌はやや緩まんである。最終調査時12月のC/N比は多湿黒ボク土壌40、褐色低地土壌、グライ土壌35~38の値となり、堆肥のC/N比20前後よりやや高い値を示した。

以上のように春にすき込まれた稲わらは、温度上昇にともない急激に分解する。とくに稲わら乾

物分解率25~45%までは、主として加水分解性炭水化物、蛋白質などの易分解性の有機物が分解するためと考えられた、その後分解がしだいに緩まってくるのは、セルロース分解が主となるためと思われた。このように春すき込みの稲わらが稲作期間にかなり分解する結果になっているが、これは湛水条件ではあるが、地温、水温が高いためと思われる。しかし湛水初期における有機物の急激な分解は、水稻生育に対し、マイナスに作用する点が多く、そのため湛水までの間にできるだけ多くの分解しやすい有機物を減らしておくことが重要である。

2) 秋散布、秋すき込み稲わらの分解

秋散布、秋すき込みの稲わら分解は、第3表に示した。多湿黒ボク土壌における秋すき込みの乾物分解は、11月2日～1月下旬までの間に13%、3月中旬32%、5月上旬の入水直前に40%の分解率となっている。これに対して秋散布のみでは、各時期とも秋すき込みの約 $\frac{1}{2}$ 程度の分解率にとどまっている。

一方、グライ土壌は、県南部の北上川流域で積雪期間も短かく、秋から積雪までの間は過湿状態であり、融雪後は排水不良のため湛水状態になる

圃場である。このため全般に冬期間における分解は緩慢で、第3表に示したように3月中旬までに10～12%の分解率にとどまり、秋すき込みより秋散布の分解がややまさる傾向を示した。

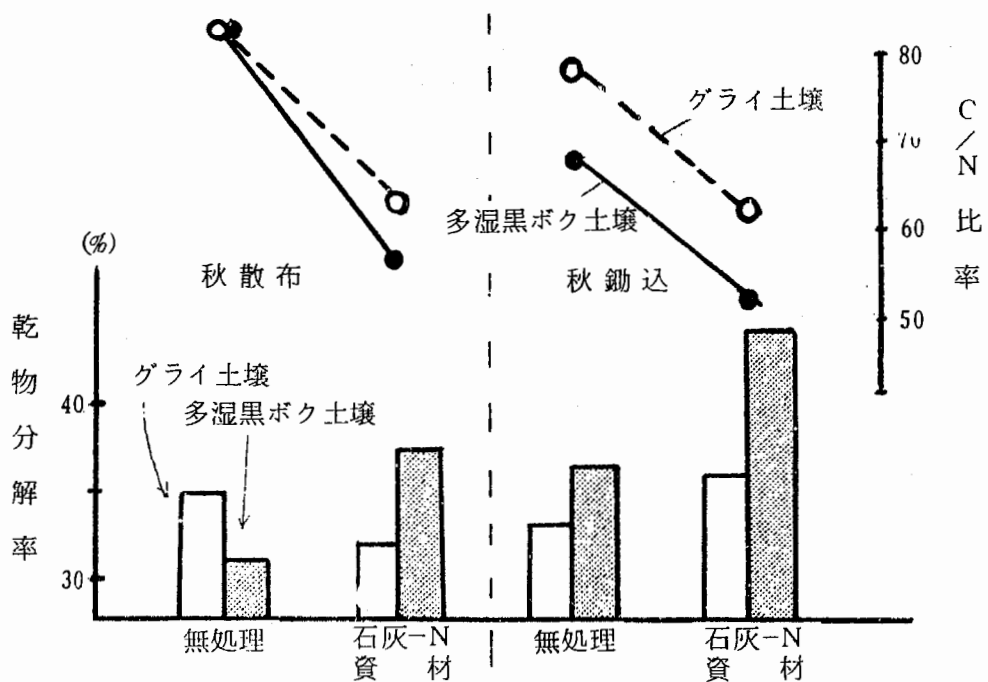
以上から両土壌の冬期間における稲わら分解量について1975年11月12日～76年5月1日まで1区5連で再試験を行なった結果、第2図に示すように多湿黒ボク土壌は、秋すき込み条件で分解が促進され、グライ土壌は秋散布のみで分解率が高い結果が得られた。

このように両土壌の稲わら分解様式が明らかに

第3表 秋散布、秋すき込み稲わらの分解過程(1975)

区名		項目	稲わら乾物重				有機物残存量			
			11/2	1/16	3/17	5/7	11/2	1/16	3/17	5/7
多湿黒ボク土壌	A 秋鋤込		8.92 ^g	7.86 ^g	6.11 ^g	5.33 ^g	7.60 ^g	6.68 ^g	5.13 ^g	4.36 ^g
	B 秋散布			8.25	7.58	7.15	7.60	6.97	6.33	5.86
グライ土壌	A 秋鋤込		8.92	8.46	8.09	—	7.60	6.98	6.51	—
	B 秋散布			8.12	7.87	—		6.76	6.52	—

区名		項目	炭素				全窒素量			
			11/2	1/16	3/17	5/7	11/2	1/16	3/17	5/7
多湿黒ボク土壌	A 秋鋤込		40.1 [%]	38.2 [%]	37.0 [%]	35.8 [%]	30.3 ^{mg}	32.2 ^{mg}	27.2 ^{mg}	24.5 ^{mg}
	B 秋散布			36.8	36.0	35.8		31.4	33.4	28.6
グライ土壌	A 秋鋤込		40.1	36.0	35.8	—	30.3	27.9	32.4	—
	B 秋散布			35.8	34.8	—		31.7	33.1	—



第2図 秋散布、秋すき込みの稲わら分解(1975)

異なるのは、低温下における分過過程を畑状態と湛水状態で比較した場合、地温10℃と15℃前後での炭水化物の減少は畑状態が早く、5℃以下の場合でも3ヶ月以上になると畑条件が良く、湛水状態の場合5℃以下では30日以後における分解が著しく遅れるとしている報告³⁾から、多湿黒ボク土壌のように透水性が良好な水田と、グライ土壌のような湿田における秋すき込みの稲わら分解能は異なると思われる。

これらのことから、本県における秋すき込み又は秋散布の稲わらの春までの分解量は、30～40%が期待できる。この分解量は、暖地の45～50%²⁾に対して低い値となっているが、湛水直前までに易分解性有機物の積極的な減少対策として重要な技術である。とくに乾田タイプの圃場では稲わらの秋すき込みが望ましく、湿田圃場では、秋に稲わらを地表面に散布しただけでも分解が期待できる。

3) 稲わらの分解促進剤の効果

(1) 分解促進剤の効果判定試験

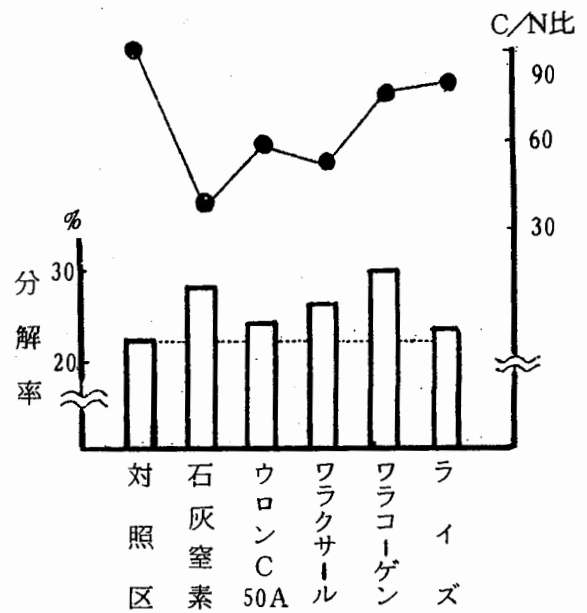
稲わらや他の粗大有機物は、十分な水分状態で堆積されると、微生物活動が活発となって発酵をはじめ。とくに稲わらの成分は窒素が少なく炭水化物が多いが、ヘミセルローズとセルローズは微生物によって分解される。しかし微生物菌体のC/N比は、およそ5対1とされていることと、稲わらのC/N比が60～80前後であることから微生物が分解する有機態炭素の0.4%に相当する窒素が菌体合成に必要であるとされ、このことから実際に稲わらの分解促進法として、窒素の施用が技術化されてきたところである。

とくに秋から湛水直前までの稲わら分解促進剤として石灰窒素の施用効果は高く、熔りんと珪カ

ルの資材併用効果が高い(第2図)。しかし、近年機械化体系がすすみ稲わらの還元面積が増大するにつれて、石灰窒素以外の市販の各種稲わら分解促進剤がでまわり、実際現地において使用されるようになって来ている。

a 室内試験

これら稲わら分解促進剤の施用効果について、冬期間の分解能を想定し、5±1℃の温度条件下で150日間放置した実験結果を第3図に示した。稲わらの乾物分解率は、対照区に対して各資材ともに、3～8%の分解促進効果が認められた。各資材別の分解率は、石灰窒素>ワラコーゲン>ワラクスール>ウロンCの傾向を示した。



第3図 低温条件下での稲わら分解剤の効果(1975)

b 圃場試験

実際の圃場における各種稲わら分解促進資材の

第4表 稲わら分解促進剤の効果(1975)

区名	乾物分解率			有機物残存量			C/N比		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1. 対照	43.5%	31.3%	37.1%	3.57g	4.42g	4.00g	80.7	90.6	69.7
2. 石灰窒素	50.1	35.0	38.1	3.08	4.11	3.91	57.6	70.7	58.5
3. ウロンC-50A	46.6	32.0	41.0	3.40	4.35	3.67	80.8	78.0	62.4
4. ワラクスール	45.0	29.9	35.5	3.50	4.35	4.02	83.6	75.2	67.8
5. ワラコーゲンA	44.5	35.0	37.3	3.51	3.93	3.93	82.7	72.6	68.7
6. ワラコーゲンB	40.5	34.1	39.4	3.77	4.16	4.15	83.8	73.7	59.9
7. Lise	42.3	30.6	35.1	3.56	4.49	3.99	74.8	92.4	70.7

注) A=秋すき込み、B=秋散布、C=秋散布(改良資材、硫酸)

施用効果は第4表に示した。秋すき込みに対する分解促進剤の施用は、稲わらの乾物分解率で比較すると、石灰窒素>ウロンC>ワラクサル>ワラコーゲンの順となった。また秋から春までの稲わら有機物残存量、稲わらのC/N比低下率は、いずれも市販の分解促進剤は石灰窒素におよばなかった。

稲わらを秋に表面散布した条件で、資材の分解促進を検討した結果においても、乾物分解率、有機物残存量、C/N比低下ともに市販の分解促進剤は石灰窒素の分解量におよばない。しかし市販の分解促進剤に土壤改良資材として従来より水田に施用されてきた熔りんと珪カルを同時に散布し、さらに窒素源を供給することによってウロンC、ワラコーゲン等の分解促進剤の施用効果が高まることが認められた。

(2) 圃場における簡易分解促進法

グライ土壤における秋散布稲わら(コンバイン処理)の簡易な分解および腐熟促進について、各種分解促進剤を地表面散布のみので、稲わらの分解量をみたのが第5表である。

グライ土壤における資材の表面散布は、稲わら、乾物分解量の差が少ない。しかし、C/N比の低下率、0.1N-NaOH熱抽出の可溶性腐植は、石灰窒素と熔りん、珪カルの土壤改良資材の同時施用、乾燥鶏ふんの表面施用によって明らかに高まっている。

一方、同一圃場に切断稲わらを簡易に堆積して、分解促進剤を表面に散布した場合の腐熟促進効果をみたのが第6表である。石灰窒素の表面散布は堆積した下層の腐熟促進がすすみ、上層部分の分解、腐熟がやや緩まになる。

第5表 秋散布稲わらの分解量(1976)

(グライ土壤、秋散布)

区名	乾物分解量	乾物分解率	灼熱残渣	T-N	T-C	C/N	※O. D 470
1. 無処理区	3.62 ^g	35.4%	18.7%	0.42%	35.1%	83.6	0.368 ^{mμ}
2. 石灰窒素区	3.56	34.8	20.8	0.42	30.9	73.6	0.387
3. 石灰窒素+資材区	3.26	31.9	21.4	0.51	32.4	63.5	0.437
4. 硫安区	3.57	34.9	20.3	0.51	33.9	66.5	0.342
5. 有機化成区	3.60	35.2	20.5	0.48	33.0	68.8	0.398
6. 鶏ふん少量区	3.54	34.6	20.9	0.53	31.3	59.1	0.453
7. "多量区	3.64	35.6	21.4	0.60	32.2	53.7	0.485
8. ウロン-C+硫安区	3.58	35.0	22.0	0.48	33.6	70.0	0.485
秋鋤込							
無処理区	3.44	33.6	23.7	0.42	32.8	78.1	0.479
石灰窒素+資材区	3.69	36.1	24.2	0.47	29.4	62.6	0.466

注) ※ 0.1N-NaOH熱抽出、吸光度 470 mμ

第6表 堆積稲わらの腐熟促進効果(1976)

区名	分解サンプル位置	乾物分解量	乾物分解率	T-N	T-C	C/N	灼熱残渣	※O. D 470
1. 無処理区	上部	2.94 ^g	28.7%	0.38%	35.1%	92.4%	17.5%	0.464 ^{mμ}
	下部	2.86	28.0	0.42	34.1	81.2	18.1	0.417
2. 石灰窒素区	上部	2.90	28.3	0.68	34.3	50.4	18.9	0.458
	下部	3.17	31.0	0.56	33.4	59.6	19.2	0.496
3. 鶏ふん区	上部	3.87	37.8	1.03	34.1	33.1	21.0	0.570
	下部	3.95	38.6	0.89	35.1	39.4	20.7	0.514
4. ウロン-C区	上部	3.46	33.8	0.89	33.0	37.9	20.2	0.476
	下部	2.70	26.4	0.52	33.9	65.2	18.5	0.436

注) ※ 0.1N-NaOH熱抽出、吸光度 470 mμ

またウロンC(菌体1kgと活性剤0.6kg)を表面にのみ散布した場合は逆に下層部の分解が停滞する。堆積した稲わらが均一に分解して腐熟が促進されるのは、乾燥鶏ふんを表面散布した場合に認められた。

3 小 括

本県における秋から春までの稲わら分解は、冬期間の気温低下で、市販の堆肥化促進効果を持つ微生物入り有機肥料の分解促進効果は判然としない。稲わらのように新鮮粗大有機物は、堆積によってヘミセルローズ、セルローズの減少をみるが、堆積しないで直接圃場に秋散布、秋すき込みする場合、微生物の活性条件がよりよく発現される土壌管理を目指す必要がある。本試験の結果では、基本的に稲わらのC/N比を調整することが冬期間の炭水化物減少に最も有効であることが示され従来から技術化されてきた石灰窒素の施用効果は高い。さらに土壌改良資材として熔りんと珪カルの同時施用によって分解が促進され、稲わら直接還元の基本技術として確認された。

また秋散布、秋すき込み稲わらに対して有用菌入り分解促進剤を施用する場合でも、窒素源としての窒素質肥料の施用が望ましい。さらに積極的にコンバイン、ハーベスター処理した稲わらを分解、腐熟促進するには、圃場の数ヶ所に稲わらを堆積して表面にのみ資材を添加する簡易な方法によって、堆肥化がはかれる。とくに稲わら1ヶ所60~70kg程度の堆積であれば、乾燥鶏ふん10kg程度を表面に散布し、翌春の耕起直前まで放置しておくことにより簡易に分解、腐熟を促進することができる。

これら稲わらの安全施用と関連した腐熟度の判定に関しては統一された方法はないが、堆肥として従来からのC/N比20前後の値⁶⁾と、最近の成果から乾物として窒素含量2%以上、還元糖割合35%以下という線⁷⁾が考えられている。本試験の坂井⁴⁾らによる分解過程簡易調査法にもとづいた分析結果から、C/N比20に接近する技術は、圃場内の堆積による方法以外はなく、窒素含量2%以上、還元糖割合35%以下を充たす分解促進技術はない。また稲わらの腐熟指標として示されている0.1N-NaOH熱抽出吸光度470m μ 値0.6前後の値⁸⁾は、圃場内に堆積した稲わらについて得られ

ていることから、基本的には本格的な堆積による腐熟促進がのぞましいことであるが、簡易に堆積して分解促進剤の表面散布による方法においても実用的には有効であると考えられる。

III 稲わら施用による水田の土壌動態と養分吸収

水田土壌の特徴は、水稻作付期間の湛水条件によって作土層における旺盛な微生物活動によって酸化還元状態が発達することである。水田土壌の酸化還元程度は、窒素、リン、カリ、鉄、マンガ、イオウなどの形態変化に関係するといわれている⁹⁾。

とくに水田作土層における還元化の遅速や程度は、土壌の易分解性有機物含量と酸化力の相互関係で決まる。また湛水による作土層の還元化にともなって、土壌中では微生物による有機態窒素からのアンモニア態窒素の生成が活発になることが知られている。これら水田におけるアンモニア態窒素の消長を規制する要因は易分解性有機物窒素の質と量が主である。

稲わらと堆肥を水田に施用した場合のちがいで最も大きいのは、これら分解しやすい有機物含量の差であるといえる。したがって稲わらを直接水田に還元した場合の土壌環境の変化と可給態養分の動向について、土壌タイプ別に明らかにする必要がある。

一方、稲わら施用は土壌中の窒素を有機化することによって、水稻に対する窒素養分の供給を一時抑制したり、土壌中における分解過程で異常還元となり、有機酸や二価鉄の生成によって根の機能が弱められ、養分吸収が阻害されることが知られている。これら土壌養分の動態と養分吸収の相互関係について、定量的に明らかにしようとした。とくに水稻の生育収量に最もかかわりの深い窒素吸収について、重窒素硫酸を利用して稲わら施用による施肥窒素と土壌窒素の吸収、利用の解析を試みた。

1 試験方法

1) 稲わら施用による土壌環境の変化と可給態養分の動向

(1) 塩ビポット圃場埋設試験(1975)

供試土壌は、多湿黒ボク土壌(岩手農試水田作

第7表 供試土壌の化学性

供試土壌	土性	pH (H ₂ O)	T-C	T-N	CEC	置換性塩基			磷酸吸 収係数	可給態 磷 酸	温度上 昇効果	乾 土 効 果
						CaO	MgO	K ₂ O				
多湿黒ボク 土 壤	CL	6.2	% 5.10	% 0.38	me 18.9	mg 213	mg 32	mg 7.9	2,440	mg 8.4	mg 4.6	mg 0.2
褐色低地 土 壤	LiC	5.3	2.49	0.23	21.2	229	55	17.8	1,040	52.7	9.6	2.8
グライ土壌	LiC	5.5	3.44	0.26	22.8	221	112	13.9	1,280	26.8	3.7	2.0

土、大内統)、褐色低地土壌、グライ土壌(北上
市二子水田作土、屋形統と保倉統)を使用した。
供試土壌の化学性は第7表に示した。

多湿黒ボク土壌は、岩手火山に由来する中性腐
植質火山灰土壌で、粘土鉱物はアロフェンが主体
であり、りん酸吸収係数が高く、置換性加里含量
がやや低い土壌である。そして乾土効果によるア
ンモニヤ生成量が少ない土壌である。褐色低地土
壌とグライ土壌は、いずれも河成沖積土壌であり、
粘土鉱物は2:1型鉱物のモンモリナイトを主体
とした土壌で、土性は粘質が強く、土壌の化学性
がほぼ類似している。しかし褐色低地土壌は、可
給態りん酸含量が高く、温度上昇によるアンモニ

ヤ生成量が多い土壌である。

試験規模は、内径 160 mm×高さ 150 mmの無底の
塩ビポットで行い、塩ビポットは農試水田圃場に
埋設した。

塩ビポット内の稲わら添加量、土壌改良資材お
よび窒素、りん酸、加里の施肥量は第8表に示し
た。塩ビポットの埋設は、代かき後の水田に埋設
して、塩ビポット内15cmの作土をとりのぞき、各
土壌に稲わらと資材および施肥を行ない作土深12
cm~14cmに相当する量を填充した。その後均一に
代かきを行い常時湛水処理とした。そして経時的
に塩ビポット内の土壌を採取して分析に供した。

分析法は、pH:ガラス電極法、Eh:白金電極

第8表 各土壌の稲わら添加量と土壌改良資材および添加量

区 名	資 材			施 用 量			改良資材	備 考
	稲わら	N 質	改良資材	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
1. 対 照 区	-	標	珪カル	kg/a 1.0	kg/a 1.5	kg/a 1.5	kg/a 15	稲わら標
2. 稲 わ ら 標	標	標	珪カル	1.0	1.5	1.5	15	70 kg/a 相当
3. " 多	多	標	珪カル	1.0	1.5	1.5	15	稲わら多
4. 稲わら標+N増	標	多	珪カル 熔りん	2.0	1.5	1.5	15	140 kg/a 相当
5. 稲わら標+改良資材	多	標	珪カル多	1.0	1.5	1.5	熔りん 2 珪カル 30	裸地(湛水)

法、二価鉄:AlCl₃浸出のαα-dipyridil法、アン
モニヤ態窒素:10% KCL浸出の蒸溜法、可給態り
ん酸:Bray No.2法(1:10)、置換性加里、石灰、
苦土:pH 7.0N-CH₃COONH₄浸出後の原子吸光
法によった。

(2) 室内実験(1974~1975)

a 稲わら添加による土壌のアンモニヤ生成
様式

前記、塩ビポットの圃場埋設試験に供試した3
土壌を供して、稲わら添加による土壌のアンモニ

ヤ生成様式について検討した。

実験方法は、湿潤土壌を2mmのフルイでとおし、
内径45mm×高さ80mmの小型保温ビンに40g秤量
して粉状稲わらをアール当り70kg相当になるよう
に添加して30℃湛水インキュベートを静置後14、
28、42、56、70、80日まで密閉状態で行なった。

b 土壌の肥沃度と稲わら添加によるアンモ
ニヤ生成(1976)

稲わら添加による土壌のアンモニヤ生成は、ア
ロフェンを主体とした腐植質火山灰土壌のアンモ

ニヤ生成が著しく低下することと、沖積土壌で2:1型鉱物を主体とした土壌は、窒素肥沃度と関連し、肥沃度が低い場合に湛水保温初期の有機化が大きくなり後期に無機化量が増大する。肥沃度が高い土壌は、稲わら添加によって原土のアンモニア生成様式に変化が生じがたいことから、さらに県内の窒素肥沃度が異なる水田土壌を供試して、a試験同様に稲わら添加による湛水インキュベート実験を行なった。

供試土壌は、飯岡水田作土（厚層腐植質多湿黒

ボク土、深井沢統）、八重畑水田作土（灰色低地土、灰褐系、金田統）、湯本水田作土（グライ台地土、滝川統）、飯豊水田作土（表層腐植質多湿黒ボク土、篠永統）の4水田土壌について行なった。各土壌の理化学性は、第9表に示した。

実験方法は、稲わら無添加、稲わらアール当り70kg相当添加（粉状）と稲わら添加に硫安（アール当り0.6kg成分量相当）添加の条件でa、試験に準じて、小型保温ビンによる湛水インキュベートを行なった。

第9表 供試土壌の窒素肥沃度

供試土壌	土性	pH (H ₂ O)	T-C	T-N	C/N	CEC	アンモニア生成量			乾効	土果	温度上昇効果
							生土 30℃	風乾土 30℃	生土 40℃			
飯岡	LiC	5.7	5.6%	0.45%	12.4	24.1 ^{me}	4.2 ^{mg}	20.2 ^{mg}	10.5 ^{mg}	15.9 ^{mg}	6.3 ^{mg}	
八重畑	CL	5.9	1.9	0.25	7.4	14.2	1.7	11.7	4.1	10.0	2.4	
湯本	LiC	5.9	2.9	0.33	8.9	21.7	5.1	22.2	13.7	17.2	8.6	
飯豊	LiC	5.8	5.6	0.48	11.6	34.9	3.7	20.3	12.8	16.6	9.1	

2) 稲わら施用による水稻の初期生育と養分吸収

(1) ポット試験 (1974)

供試土壌は、1)-(1)の同一水田土壌を用いて行い、1/2,000アールポットに切断稲わらをアール当り70kg相当を施用した。施肥は硫安、過石、塩加でそれぞれ0.5g成分を施用した。品種はフジミノリ（畑苗）を6月5日に3株移植した。ポットは農試の水田圃場に埋設して、1区2連制で実施した。調査は6月28日、7月15日、7月30日の初期にのみ限った。

水稻の初期生育における相対生長率（RGR）と純同化率（NAR）は次式によった。

$$RGR = \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} \quad (W: \text{乾物重}, t: \text{日数})$$

$$NAR = \frac{1}{L} \cdot \frac{dW}{dt} \quad (L: \text{葉面積}, W: \text{乾物重},$$

t: 日数)

(2) 重窒素利用による稲体の窒素吸収様式の解明 (1975) — 現地圃場枠試験 —

現地のグライ土壌に30×60cm×深さ40cmのトタン枠を埋設して、稲わらアール当り70kg相当を施用した。施肥窒素は、アール当り0.6kg成分量を(15NH₄)₂SO₄、5atom%で対照区と同一量施用した。りん酸と加里はアール当り成分量で1.2

kgと1.0kgを、それぞれ過石と塩加で施用した。

供試品種は、ササミノリ（農試畑苗育苗）を枠内に1株3本で4株移植した。移植後10日後に管理用水が枠内に入水するようにセットした。

分析試料は、水稻の生育時期別に1枠内4株全部を採取して、葉身、茎部に調整して分析試料とした。

試料調整と分析法は、熊沢¹⁰⁾、狩野¹¹⁾らの方法に準じて発光分析法によって重窒素を定量した。粉砕した試料をケルダール分解後、蒸留してNH₃を希塩酸に吸収させる。次にその液から一定量を取り、0.5μg/ml程度の濃度に濃縮し、濃縮液をマイクロチューブに採取、乾燥させて後にパイレックス放電管に燃焼剤、吸収剤とともに入れ端を封じる。550℃で1時間程度加熱、ガス化する。封じ込めた放電管は日本分光工業の¹⁵Nアナライザーで発光分析して¹⁵Nを定量した。

2 試験結果および考察

1) 稲わら施用による土壌環境の変化と可給態養分の動向

(1) 塩ビポットの圃場埋設試験

水田土壌中における還元状態の指標は、酸化還元電位（以下Ehと略記する）の変化が適切とされ

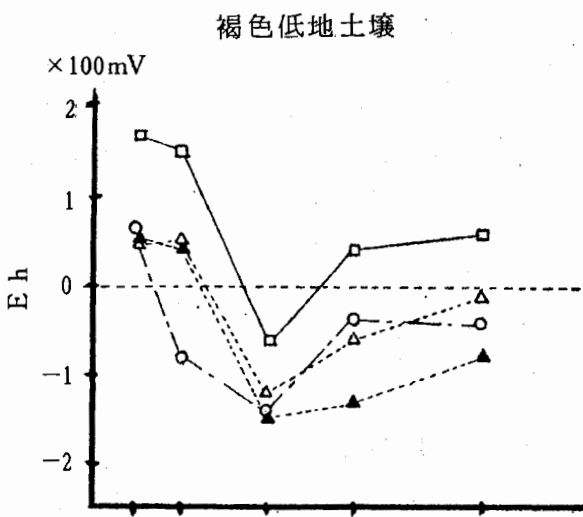
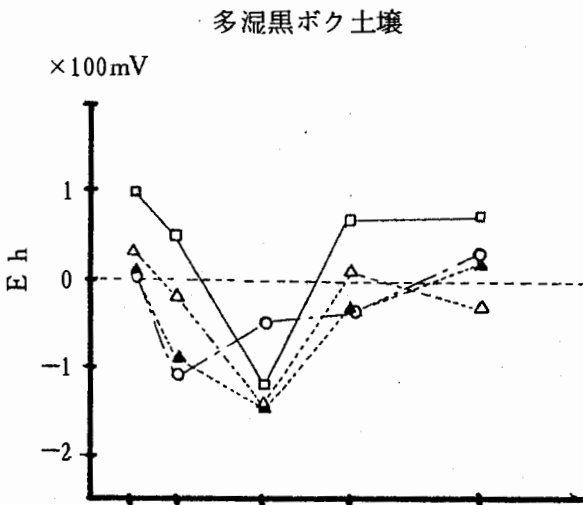
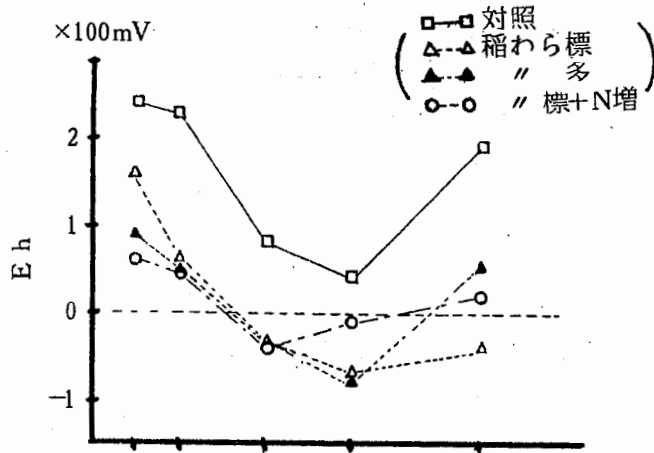
ている。稲わら添加による塩ビパイプ中の Eh 値の変化を第 4 図に示した。各土壌とも稲わら添加によって Eh の低下が著しくとくに 6 月下旬～7 月上、中旬にかけて温度の上昇にともなって、稲

わら施用による土壌の急激な還元化が明らかである。

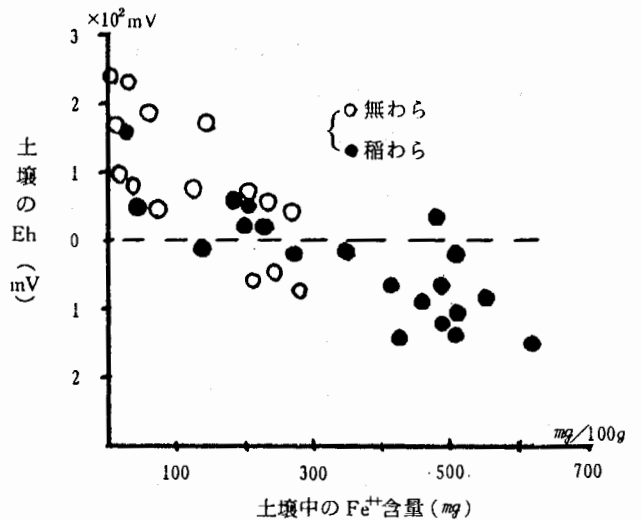
多湿黒ボク土壌は、稲わら施用による還元の進行が緩慢で、7 月下旬に Eh が -100mv まで低下するが再び上昇する。そして稲わら添加の多少による差が少なく、湛水期間中の変動も少ない。

褐色低地土壌とグライ土壌は、稲わら無施用であっても湛水後の温度上昇にともなって Eh が低下してくる。稲わらを施用した場合は、湛水直後より土壌の Eh が急激に低下する。両土壌ともに 6 月下旬までに -100mv に低下し、7 月中旬には -150mv まで低下する。とくに褐色低地土壌の還元進行が早く、稲わら多施用、窒素増肥程初期の低下が著しい。グライ土壌においては、稲わらに施肥窒素を増肥した場合に湛水直後の還元進行が早まっている。さらにグライ土壌の場合稲わら多施用によって水稻の生育後期まで強還元になっていることが特徴的である。

稲わらの施用による土壌中の Eh 低下と二価鉄の生成は第 5 図に示すように関係が深く、Eh -100mv 前後で $400\sim 500\text{mg}$ 程度の二価鉄生成量になっている。土壌別では多湿黒ボク土壌が湛水後徐々に二価鉄が増大するのに対して、褐色低地土壌とグライ土壌は急激に二価鉄生成が増加して 6 月下旬で $500\sim 600\text{mg}$ にも達している。稲わらのように易分解性有機物を多量に含んでいるものを水田に施用することによって土壌中の二価鉄生成量が著しく増加することは古くから多くの研究成果が報告^{9), 12), 13), 14), 15)} されており、主として土壌の微生物作用に起因していると考えられるが、一部は土



第 4 図 稲わら施用による Eh の推移 (1975)



第 5 図 土壌 Eh と土壌中の Fe⁺⁺ 含量 (1975)

壤中で嫌氣的条件下で生成される各種有機化合物の可溶化と、それと同じ過程で生成された還元物質によって化学的に還元される量も多いと思われる。

稲わら施用による土壌pHの変化は、第10表に示した。多湿黒ボク土壌は稲わら無施用と施用による差が少ない。褐色低地土壌とグライ土壌は、稲わら施用によって湛水初期から土壌中のpHが上昇し、6月中、下旬で0.3~0.5高く推移している。

第10表 稲わら施用による土壌中のpH推移 (1975)

区名	6/16	6/27	7/10	7/29	8/26	9/30	
多ボク土黒壤	対照	6.52	7.01	6.80	6.80	6.60	6.49
	稲わら標	6.60	6.85	6.90	6.90	6.58	6.26
	"多	6.60	6.80	6.80	6.80	6.57	6.19
褐色低地壤	対照	6.69	6.98	7.00	6.70	6.65	6.42
	稲わら標	6.95	7.00	6.90	6.60	6.42	5.90
	"多	7.00	7.12	7.12	6.71	6.60	6.10
グライ壤	対照	6.25	6.80	6.80	6.33	6.60	6.74
	稲わら標	6.70	6.91	6.91	6.52	6.45	6.10
	"多	6.90	7.10	6.20	6.82	6.60	6.20

これら稲わら施用に伴う湛水土壌中の易分解性有機物の存在と還元過程の二価鉄の生成や土壌pHの変化については数多くの研究成果があり¹³⁾ 14), 15), 16), 17)、水田土壌は高温時の湛水と易分解性有機物の施用等によって嫌氣的な微生物の作用を受けて、土壌中で酸化剤として働く酸素、NO₃⁻、Fe³⁺、Mn⁴⁺、SO₄²⁻などが湛水日数の経過と共に急激に減少して、土壌のEhが低下すると同時にFe²⁺、Mn²⁺、NH₄⁺などの生成が著しく高まることが知られている。また土壌中の二価鉄生成と土壌pHの関係では、土壌pHが6.5~7.0の間で二価鉄生成が最大になること、さらに二価鉄生成と土壌温度の関係は、土壌温度が10℃~15℃から30℃~35℃に上昇した場合に土壌中のEh低下と二価鉄の生成が著しく促進されることが明らかにされている。

一方、還元過程に対する透水効果が土壌中の易分解性有機物量に支配されることとして、易分解性有機物量が多いと、浸透水中の溶存酸素供給が好気性細菌の生育を刺激し、透水に伴う有害物質の除去等により微生物活性を増大させるなどの原因で透水が還元過程を促進させ、逆に易分解性有

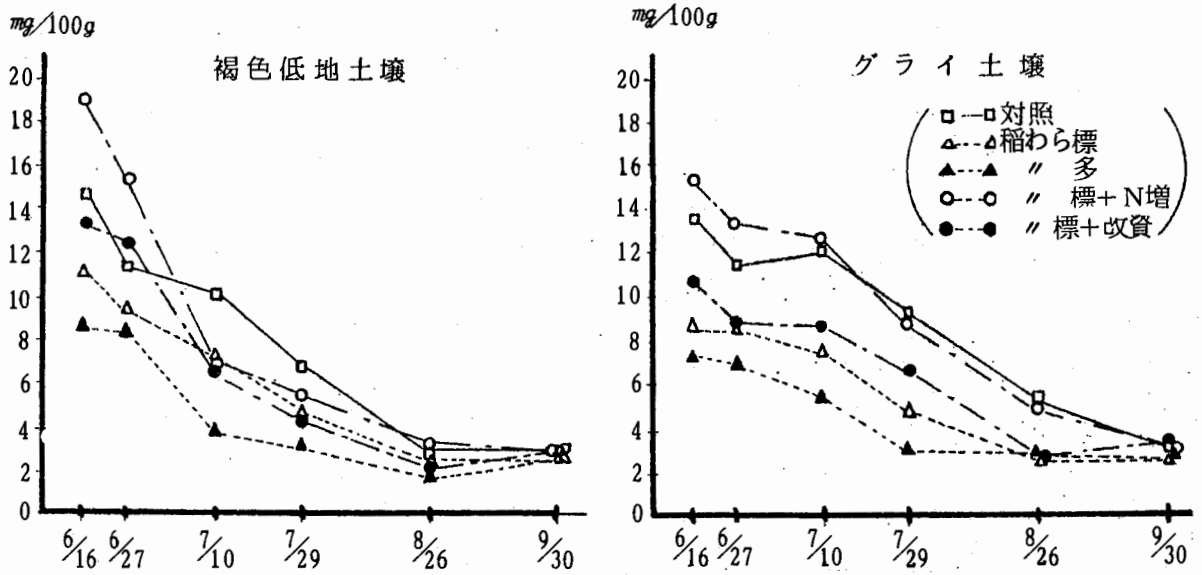
機物の少ない場合は、透水により基質を低下させ微生物活性を弱め還元化を抑制することから、稲わら施用による異常還元に対して、多湿黒ボク土壌は、粘土鉱物がアロフェン主体であるため土壌中で電子受容体(酸化剤)として働く酸素、硝酸、マンガン、鉄等の活性が高く、さらに孔隙率が高くなって透水が多くなり酸素の補給速度も十分なため、稲わら施用による異常還元が進行しにくい条件にあるといえる。

このような土壌中における還元の進行と二価鉄の生成は、土壌中の易分解性有機物の嫌氣的な分解と密接な関係にあって、土壌中のアンモニア生成と並行的に進行することがよく知られている^{18), 19)}。

稲わらを施用した塩ビポット内の土壌中のアンモニア態窒素の動向は、第6図に示した。褐色土壌、グライ土壌ともに稲わら施用区のアンモニアが減少し、初期より稲わら分解による有機化や固定にとりこまれている。とくに、6月中、下旬の稲わら標区は、対照区に対して、褐色低地土壌は20~30%、グライ土壌で30~40%の減少になっている。さらに両土壌ともに施肥窒素を増肥しても7月中旬以後になると対照区以下に低下している。しかし、稲わら施用と同時に土壌改良資材の熔りんと珪カルを同時に施用することによって、初期のアンモニアの減少が少なく、土壌中のアンモニアは高く推移する。とくにグライ土壌でこの傾向が強い。

稲わら施用による土壌中の置換性加里、石灰、苦土含量の推移は第11表に示した。置換性加里は各土壌とも稲わら施用によって高まり、稲わら多>稲わら標>稲わら無施用の傾向を示した。また置換性石灰と苦土含量は逆に稲わら施用によって低下した。

土壌中の加里の増加は、稲わらそのものに比較的多量に含まれる加里の大部分が可給態であることを示している。一方、置換性石灰と苦土の減少は、稲わら施用による孔隙率の増加による透水付与と、無作付条件での硫安、塩加の施用が、土壌中の石灰と苦土の溶出に関与したと思われる。とくに苦土は多湿黒ボク土壌の減少が著しく、グライ土壌の低下が少ないこと、さらに圃場で乾湿をくり返す8月以後の減少が大きいことから浸透による溶脱と推定される。置換性石灰は稲わら施用



第6図 稲わら施用によるNH₄-Nの動向(1975)

第11表 稲わら施用による土壌中のK₂O、CaO、MgOの推移(1975)

供試土壌	区名	K ₂ O						CaO		
		6/16	6/27	7/10	7/29	8/26	9/30	6/16	6/27	7/10
		mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
イ 多湿黒ボク土壌	1. 対照	25	19	17	18	15	13	232	218	232
	2. 稲わら標	36	32	18	19	15	23	224	207	199
	3. 稲わら多	48	28	22	22	17	13	269	202	182
ロ 褐色低地土	1. 対照	58	50	46	42	36	35	358	325	313
	2. 稲わら標	72	65	59	55	51	40	339	325	288
	3. 稲わら多	89	76	71	65	58	47	325	313	271
ハ グライ土	1. 対照	55	52	54	49	44	32	313	297	291
	2. 稲わら標	71	65	60	60	50	42	297	280	285
	3. 稲わら多	93	88	75	66	66	59	297	277	266
供試土壌	区名	CaO			MgO					
		7/29	8/26	9/30	6/16	6/27	7/10	7/29	8/26	9/30
		mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
イ 多湿黒ボク土壌	1. 対照	230	269	207	28	23	25	25	42	22
	2. 稲わら標	213	179	358	24	21	18	17	15	35
	3. 稲わら多	193	162	210	23	18	15	14	11	10
ロ 褐色低地土	1. 対照	313	311	313	56	51	48	47	47	47
	2. 稲わら標	280	274	285	53	45	38	37	35	38
	3. 稲わら多	257	266	271	48	42	34	30	30	34
ハ グライ土	1. 対照	297	285	274	65	61	60	60	58	54
	2. 稲わら標	257	263	263	68	54	53	44	45	45
	3. 稲わら多	252	280	213	58	49	44	42	32	27

(pH 7.0 N-NH₄CH₃COOで抽出後原子吸光法)

量が増加する程低下し、稲わらから溶出する加里との置換が考えられ、さらに7月上、中旬の還元進行が著しいときに低下していることから還元条件下でCa-Fe(II)の交換反応で促進されたとも推定される。

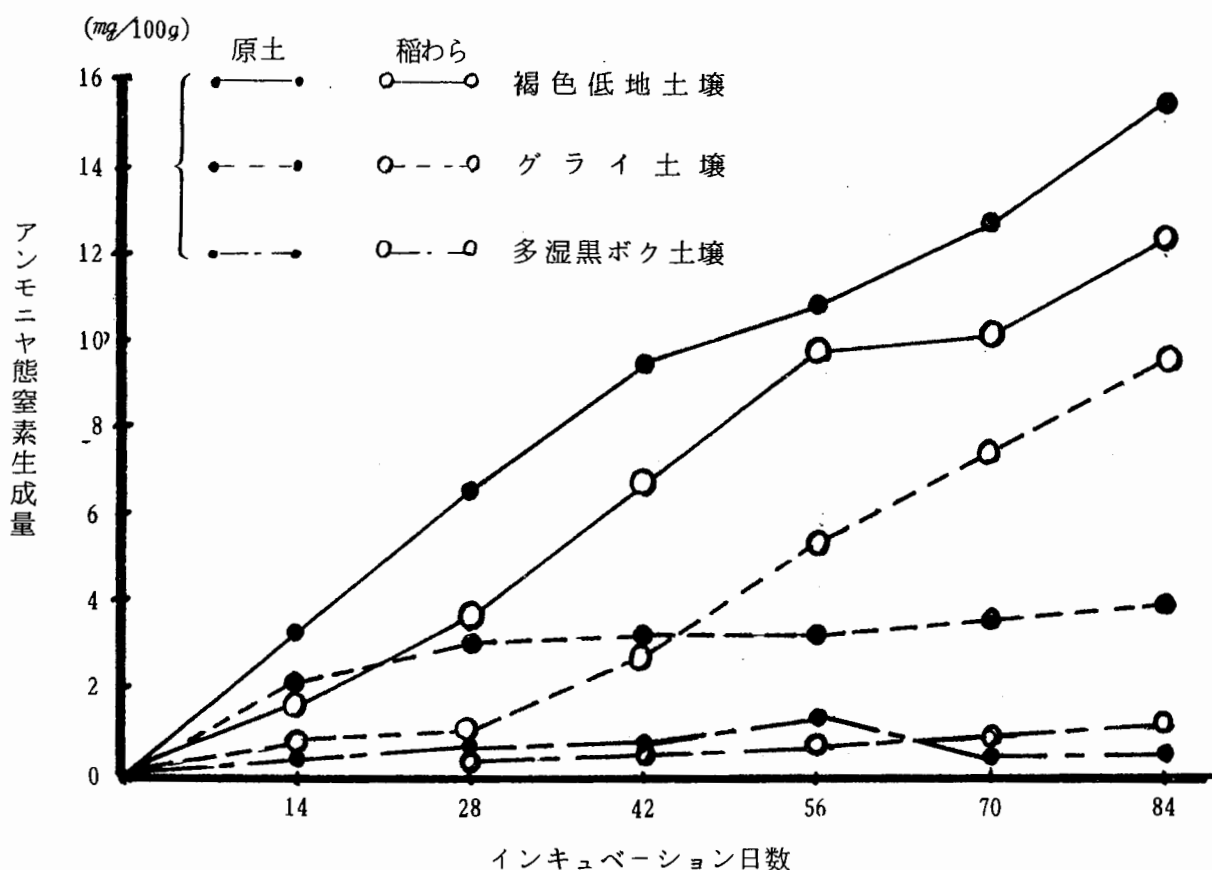
(2) 室内実験

a 稲わら添加による土壌のアンモニア生成様式

稲わらを施用した塩ビポットの圃場埋設試験では、土壌中の有機化による固定量と無機化過程が判然としないため、同一土壌を用いて稲わら添加による30℃湛水インキュベートを行ない、各土壌

のアンモニア生成量を検討したのが第7図である。

稲わら添加は、いずれの土壌においても湛水初期に有機化し固定され、原土のアンモニア生成量が低下する。土壌別のアンモニア生成様式は、原土のアンモニア生成量の少ない土壌ほど稲わら添加によって湛水初期より有機化にとりこまれる量が多く、湛水静置日数が経過するにしたがい稲わら添加区のアンモニア生成量が原土よりうわまわる。一方、原土のアンモニア生成量が直線的に増大する土壌にあっては、稲わら添加によって全期間2~3mg低下し原土のアンモニア生成とほぼ平行に推移する。



第7図 稲わら添加による土壌別アンモニア生成 (1974)

b 土壌の肥沃度と稲わら添加によるアンモニア生成

県内の肥沃度が異なる水田土壌を供試して、稲わら添加による湛水インキュベート実験を行なった結果は、第12表に示した。各土壌とも稲わら添加によって湛水保温日数14日(積算温度420℃)まで、原土のアンモニア生成量にかかわりなく有機化にとりこまれている。

稲わら添加によって、湛水初期に有機化されたアンモニアは、各土壌とも湛水保温日数28日目になると無機化してくる。初期の無機化量は、飯豊、飯岡土壌が原土の52~54%、湯本土壌37%、八重畑土壌14%となり、供試土壌のT-N、C/N比、CEC、アンモニア生成量と密接に関係している。しかし、湛水保温日数42日以後になると初期に無機化量が多い飯豊、飯岡土壌の1日当りアンモニ

第12表 肥沃度が異なる水田土壌の稲わら添加と窒素発現(1975)

区名	14日	28日	42日	56日	70日	84日
飯岡 Control	2.20	4.24	5.27	8.68	10.92	13.26
飯岡 稲わら添加	0	2.20	4.97	6.43	5.71	7.85
飯岡 稲わら+N添加	6.79	7.99	8.48	8.87	11.75	10.53
八重畑 Control	1.03	1.66	2.24	4.00	4.68	7.31
八重畑 稲わら添加	0	0.59	1.90	4.49	5.85	7.99
八重畑 稲わら+N添加	2.98	4.39	6.68	6.53	6.73	6.73
湯本 Control	3.52	5.07	7.60	9.89	11.89	12.67
湯本 稲わら添加	0	1.90	4.73	9.92	8.19	8.38
湯本 稲わら+N添加	3.47	6.14	8.29	9.36	13.94	13.64
飯岡 Control	2.39	3.71	5.02	7.75	10.63	10.53
飯岡 稲わら添加	0	2.00	4.14	5.41	5.65	7.51
飯岡 稲わら+N添加	6.06	8.48	9.55	13.45	15.40	14.91

ヤ生成量が低下し、湛水保温日数56~70日では無機化が停滞する。逆に初期の無機量が少ない八重畑、湯本土壌は、湛水保温日数45日以後の1日当りアンモニヤ生成量が増加する。とくに八重畑土壌は湛水保温日数56日以後になると、原土のアンモニヤ生成を上廻る量が無機化してくる。

これら稲わら添加と土壌のアンモニヤ生成は、いずれも粉碎稲わらを添加しているため、粉碎稲わら程湛水土壌中の窒素固定としてのアセチレン還元能が低下するという報告²⁰⁾があり、稲わら添加と土壌肥沃度の関係は、さらに検討する必要がある。

2) 稲わら施用による水稻の初期生育と養分吸収

(1) ポット試験

前記Ⅱ-1)-(1)試験に供試した同一土壌を用いてポット試験を行なった。水稻の初期生育調査結果を第13表に示した。

多湿黒ボク土壌は稲わら施用によって初期より草丈がやや低く経過するが、茎数の抑制は見られない。また乾物生産の低下も少ない。これに対して褐色低地土壌は、湛水初期より草丈茎数の抑制が認められ、グライ土壌は、湛水日数を経過するにしたがい草丈、茎数の抑制が著しい。

第13表 稲わら施用による草丈、茎数、葉面積の推移(1974)

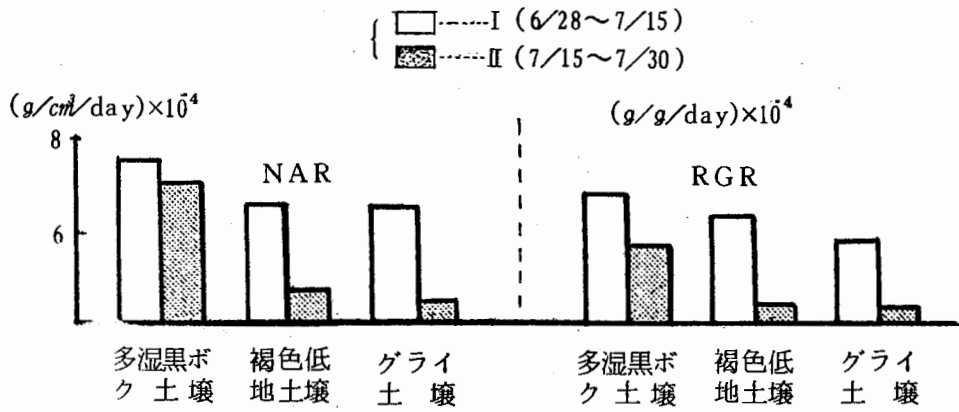
区名	草 丈			茎 数			葉 面 積		
	6/28	7/15	7/30	6/28	7/15	7/30	6/28	7/15	7/30
多湿黒ボク土壌 対照	38.1	55.2	63.4	4.8	15.7	16.0	120	226	783
	cm	cm	cm	本	本	本	cm ²	cm ²	cm ²
多湿黒ボク土壌 稲わら	35.9	53.8	62.1	5.0	15.1	16.7	129	187	754
褐色低地土 対照	41.4	56.5	65.4	7.5	17.7	18.0	182	303	929
	cm	cm	cm	本	本	本	cm ²	cm ²	cm ²
褐色低地土 稲わら	37.3	51.5	64.0	5.6	14.1	16.3	142	209	824
グライ土 対照	40.3	58.4	70.1	5.3	13.8	15.5	149	216	733
	cm	cm	cm	本	本	本	cm ²	cm ²	cm ²
グライ土 稲わら	37.2	52.9	64.7	4.8	11.1	12.5	118	178	642

また褐色低地土壌とグライ土壌は、第8図に示すように稲わら施用によって、葉面積(LAI)、相対生長率(RGR)、純同化率(NAR)の低下度が著しい。さらに両土壌とも土壌中の稲わら分解

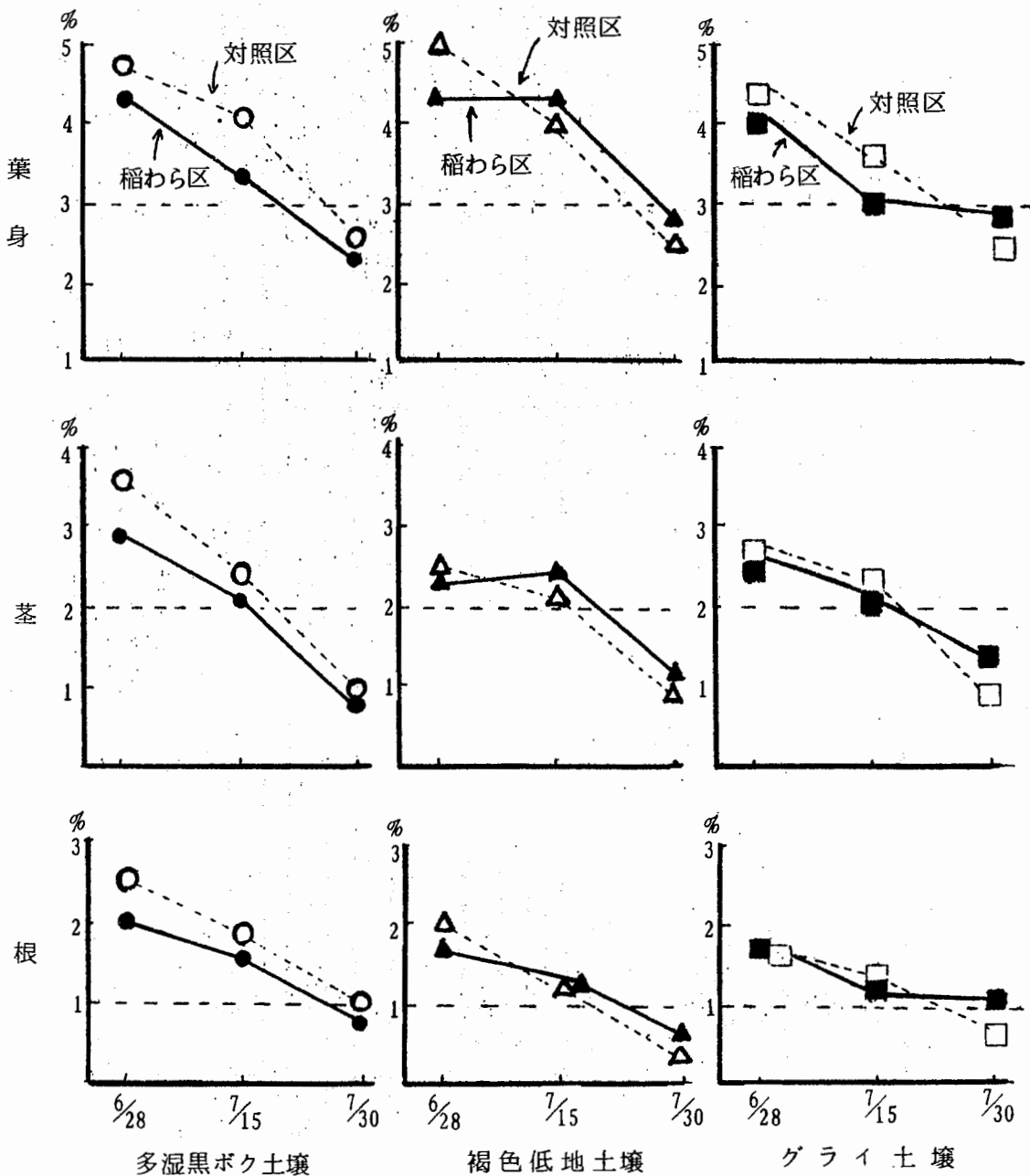
がすすむにつれて地下部の阻害程度が高くなることが特徴的である。

これら稲わら施用による初期の生育抑制は、水稻の養分吸収に深く関係し、土壌によって養分吸

水田における稲わら施用と稲作の安定化



第8図 稲わら施用による初期のNAR、CGR (1974)

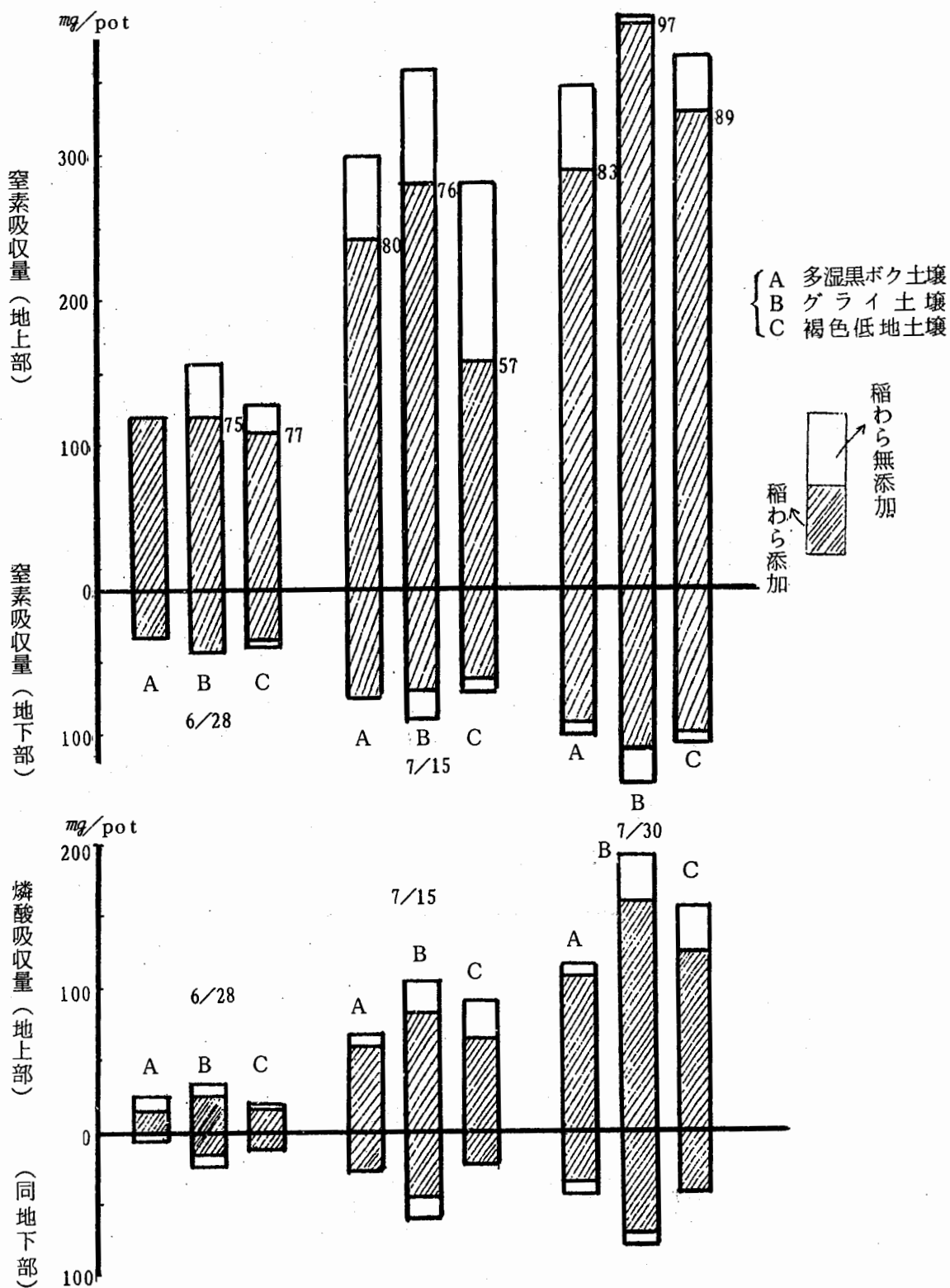


第9図 稲わら施用による部位部窒素含有率 (1974)

収様式が異なる。第9図には、土壌別に葉身、茎、根の部位別窒素含有率を示した。

多湿黒ボク土壌は稲わら施用によって地上部の草丈、茎数、乾物生産の抑制が少なく、地下部の阻害が少ないにもかかわらず、水稻の部位別窒素含有率は、各生育時期とも低濃度で推移した。褐色低地土壌は地上部生育同様湛水初期の窒素含有率低下が著しく、部位別では葉身>根>茎の順に含有率が低下している。グライ土壌の部位別窒素含有率は、褐色低地土壌のように急激な濃度低下はなく、稲わら分解にともない徐々に濃度が低下し、7月下旬には各部位とも稲わら施用区が高ま

色低地土壌は地上部生育同様湛水初期の窒素含有率低下が著しく、部位別では葉身>根>茎の順に含有率が低下している。グライ土壌の部位別窒素含有率は、褐色低地土壌のように急激な濃度低下はなく、稲わら分解にともない徐々に濃度が低下し、7月下旬には各部位とも稲わら施用区が高ま



第10図 稲体の窒素、りん酸吸収量(1974)

る傾向にある。また稲体の部位別りん酸含有率は各土壌ともに窒素含有率とほぼ同様の傾向を示した。

これら稲わら施用による乾物生産と部位別養分含有率から、水稻の窒素、りん酸吸収量を第10図に示した。多湿黒ボク土壌は、初期の窒素吸収抑制は少ないが稲わらの分解が進むにつれて地上部の窒素吸収が減少して約20%の吸収抑制となっている。褐色低地土壌、グライ土壌は初期より23~25%の窒素吸収量が低下し、さらに稲わら分解がすすむにつれて吸収抑制が著しく7月15日の窒素吸収量は褐色低地土壌で24%、グライ土壌は43%の窒素吸収量が低下している。りん酸の吸収量は、窒素吸収と類似した傾向を示した。

とくに、本試験で供試したグライ土壌は、生育抑制と養分吸収の阻害が著しく、実際に現地の稲わら施用上最も技術的に問題が多い土壌タイプであると考えられた。

(2) 重窒素利用による稲体の窒素吸収様式の解明
— 現地圃場枠試験 —

以上のように、グライ水田土壌は稲わら施用上問題が多い土壌であるので重窒素を利用して、稲わら施用による窒素吸収様式と利用について解析を試みた。稲わらを施用しない対照区と稲わら施用区の時期別窒素含有率、窒素吸収量、重窒素の吸収量と分配率は、第14表に示した。また施肥窒素と土壌窒素の吸収と利用率は第11図に示した。

稲体の窒素含有率は、稲わら施用によって、初期の葉身、茎部とも明らかに低下した。とくに分

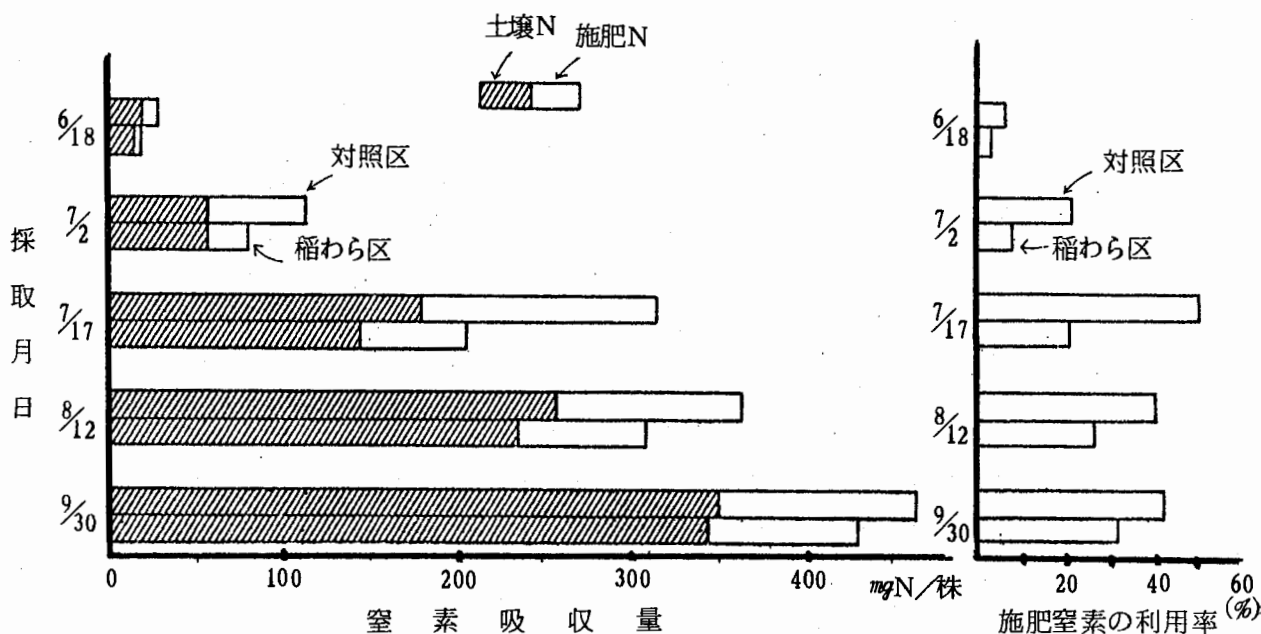
けつ期6月18日の窒素含有率は、葉身、茎ともに約1%の濃度低下を示した。幼穂形成期の7月17日以後には逆に葉身、茎とも稲わら施用区の窒素含有率が高まる。

水稻の施肥窒素吸収と利用は、稲わら無施用が分けつ初期より施肥窒素の吸収が旺盛で、7月中旬で利用率が最大となって施肥窒素は消失する。これに対して稲わら施用区は、分けつ期の6月18日で施肥窒素が35%の吸収抑制となり、7月上旬~7月下旬の施肥窒素の吸収は、無施用区の約1/2にとどまっている。しかし、稲わら施用区の施肥窒素吸収は、幼穂形成期以後の吸収、利用が増加していることから、初期に稲わら分解によって有機化にとりこまれた施肥窒素が再無機化によって徐々に吸収利用されていることを示している。最終的な施肥窒素の利用率は、稲わら施用区が31%、無施用区が41%となった。

一方、土壌窒素の吸収は、稲わら施用による分けつ期の吸収量に差がなく、幼穂形成期~出穂期の土壌窒素の吸収が低下する。そして出穂期~成熟期における後期の土壌窒素吸収は低下しないことから、幼穂形成期~出穂期にかけて土壌窒素の吸収低下は、温度が上昇して土壌中の稲わら分解が旺盛となり、土壌窒素の稲わらへの有機化によるとりこみと、初期の施肥窒素吸収抑制による地上部生育量低下が影響していると考えられる。さらに異常還元と稲わらの分解過程で生成する阻害物質²¹⁾による養分吸収の阻害もあるものと思われる。

第14表 稲わら施用による時期別窒素吸収とその割合(1975)

区 名	6月18日		7月2日		7月17日		8月12日			9月30日			
	葉	茎	葉	茎	葉	茎	葉	茎	穂	葉	茎	穂	
対 照 区	窒素含有率	5.05	2.52	4.67	2.13	3.80	1.72	1.97	0.59	1.18	0.69	0.42	0.95
	窒素吸収量	16.2	9.3	71.9	39.4	208	107	169	142	54	45	92	328
	excess (%)	1.74	2.03	2.48	2.35	2.07	1.96	1.44	1.37	1.31	1.29	1.09	1.15
	¹⁵ N 分配率	37.7	44.1	53.4	50.6	44.6	42.2	31.0	29.5	28.2	27.8	23.5	24.8
	¹⁴ N 分配率	62.3	55.9	46.6	49.4	55.4	57.8	69.0	70.5	71.8	72.2	76.5	75.2
	部位別分配率	59.8	40.2	65.8	34.2	67.2	32.8	47.8	38.3	13.9	10.9	18.6	70.5
稲 わ ら 区	窒素含有率	4.13	1.56	4.35	2.16	4.22	1.97	2.30	0.68	1.19	0.67	0.43	0.99
	窒素吸収量	11.6	6.1	48.3	27.5	138	64	159	103	45	34	81	315
	excess (%)	0.91	1.09	1.28	1.35	1.35	1.29	1.16	1.05	1.05	1.00	0.85	0.93
	¹⁵ N 分配率	19.8	23.0	27.6	29.1	29.1	27.8	25.0	22.6	22.6	21.6	18.3	20.0
	¹⁴ N 分配率	80.2	77.0	72.4	70.9	70.9	72.2	75.0	77.4	77.4	78.4	81.7	80.0
	部位別分配率	62.2	37.8	62.4	37.6	69.4	30.6	54.3	31.8	13.9	8.7	17.4	73.8



第11図 稲わら還元初年目の施肥窒素と土壌窒素の吸収と利用 (1975)

3. 小 括

稲わら施用による土壌動態は、温度上昇にともなう急激な還元進行と二価鉄の生成が特徴的である。分けつ期の6月下旬でEh-100mv以下となり、二価鉄は500~600mg以上になる。また土壌中の稲わら分解によるアンモニヤの有機化による固定は、分けつ期の6月中、下旬で約25~35%みこまれる。これら稲わら施用による土壌環境の悪化や窒素の有機化、固定は、グライ土壌ほど顕著である。

これら土壌環境の変化は、水稻生育に直接関係する。とくに稲わらの分解がすすむにつれて草丈、茎数の抑制がみられる。また水稻の養分吸収は、初期の窒素吸収が抑制され、分けつ期の6月中旬で20~25%の吸収低下となり、土壌の有機化、固定による減少量と対応した。

とくにグライ水田土壌は、稲わら施用上問題が多い土壌であることから、重窒素による窒素吸収について検討した結果、稲わら施用によって初期の施肥窒素吸収が著しい。しかし、初期に稲わら分解によって有機化にとりこまれた施肥窒素は、再無機化により生育後期まで徐々に吸収利用される。

IV 稲わら施用田における栽培改善技術の実証

本県の稲わら施用と収量性は、稲作期間の圃場地下水水位が低く、透水が付与される土壌タイプで

は堆厩肥と同等かそれ以上の収量が期待でき、稲わらの連用によって増収の可能性が示されている²²⁾。しかし地下水水位が高く、粘質の強い土壌程、稲わら連用によって、低温時の分解停滞や高温による急激な分解による障害がみられている。

現実に県内の稲わら施用農家は、従来の堆厩肥施用と異なる肥培管理を行うことが多く、秋耕、石灰窒素や熔りん、珪カルの秋施用、除草機による中耕、ガス抜き作業、それに早期の中干し作業や溝切りによる表面水の排除等の改善技術によって、本田における稲わら分解促進と障害の除去をはかっている。

これら稲わら施用田の技術対策について、とくに低温少照下の阻害要因の解析と現地の土壌タイプごとに改善技術の実証を試みるとともに、稲わら長期連用田の施肥改善と土壌の肥沃度について検討した。

1. 試験方法

1) 寒冷地水田の稲わら施用による阻害要因解析 (1975) —ポット圃場埋設試験—

寒冷気象下の稲わら施用について、冷水条件と土壌の種類、窒素施肥量、稲わら施用量、中干し等の要因相互の関係を明らかにするためL₃₂の直交表²³⁾にわりつける多因子計画法によった。因子と水準は第15表に示した。

試験は、農試圃場内に地下1mにビニールを敷

第15表 因子と水準

(L₃₂ 多因子計画法)

要因	水準	第 I 水準	第 II 水準	備考
A 日 照		cont	遮光処理	出穂15日
T 水 温		温 水	冷 水	冷水かけ流し処理
S 土 壌 の 種 類		沖積土壌	火山灰土壌	沖積(礫石)、火山灰(農試)
N 窒素施用量		少 肥	多 肥	少肥1g/ポット、多肥2g/ポット
M 中 干 し		あ り	な し	7月8日~7月23日処理
E 稲わら施用量		50 kg/a	100 kg/a	稲わら5~7cm切断

いた4m×7mの温水田と冷水がかけ流しできる圃場を造成した。試験規模は、1/2,000アールのポットで行い、処理は32区とした。品種はフジミノリ(畑苗)でポット当り2株とした。ポットは冷水田、温水田にランダムに埋設した。中干し処理は7月8日~7月23日(15日間)、遮光処理は、温水区8月11日~8月23日、冷水区8月29日~9月12日まで黒寒冷紗600番(遮光率51%)で行なった。

データの解析は、奥野²⁴⁾らのプログラムを用い「農林研究計算センター」のコンピューターで分散分析ならびに主要因の各水準の平均値と2因子交互作用水準組合せ別平均値(2元表)もこれによって計算された。なお本研究の試験設計、直交表のわりつけにさいして農業技術研究所、試験設計研究室、塩見正衛氏に指導と助言を賜った。

2) 現地圃場における稲わら還元技術の実証(1974~1976)

(1) 稲わらの土壌型別施用試験

現地の土壌条件が異なる水田において、従来の堆肥と稲わらの秋すき込みおよび春すき込みの肥効を検討するとともに、有機物のちがいによる水稻生育相の解析に役立てようとした。

供試圃場：厚層多湿黒ボク土壌(農試圃場、大内統以下同じ)、褐色低地土壌(北上市中島、屋形統以下同じ)、グライ土壌(北上市二子、保倉統以下同じ)の三ヶ所とした。

試験規模：多湿黒ボク土壌33m²、1連、褐色低地とグライ土壌50m²、2連制で実施した。

供試品種：多湿黒ボク土壌：ハヤニシキ、褐色低地とグライ土壌：トヨニシキ

耕種の概要：各現地ともに稚苗機械移植栽培、移植期は、農試圃場が5月14~15日(22~24/m²、株)、北上圃場5月12日~13日(18~21/m²、

株)、稲わらの処理は、秋散布が11月上旬、春施用は5月上旬に行ない、いずれもトラクターによるロータリー耕によった。施肥は多湿黒ボク土壌のみ基肥アール当りN-1.0kg、P₂O₅-3.0kg、K₂O-1.5kg成分量に分けつ期2回追肥と幼穂形成期追肥1回の計3回追肥とした。追肥量は、1回アール当り0.2kgの成分量を窒素と加里について施用した。北上圃場は、N-0.8kg、P₂O₅-1.2kg、K₂O-1.0kgの成分量を高度化成で施用し、不足分は単肥で補った。穂肥は施用しない。

(2) 稲わらすき込み時期と量に関する試験および窒素施肥法と土壌改良資材の施用試験

稲わらすき込み時期と量は、秋すき込み条件と、秋に散布しておいて春にすき込む方法、さらに春直接すき込む三つのすき込み条件に、それぞれ稲わらアール当り40kgと70kgの施用量水準を対応させて解析した。窒素施肥法と土壌改良資材の施用は、稲わらの処理を秋すき込みの同一条件とし、石灰窒素の同時散布の有無と基肥窒素の増肥、さらに土壌改良資材の施用効果を検討した。

供試圃場は、前記2-1)の褐色低地土壌とグライ土壌で行ない、試験規模、供試品種、耕種の概要は同様である。ただし石灰窒素同時施用量は、アール当り2kgの現物施用である。また基肥窒素増肥は、秋に石灰窒素2kg施用し、春の基肥量をアール当り0.2kg成分量の増肥である。土壌改良資材は、熔りん4kgと珪カル15kgの同時施用とした。

(3) 稲わら施用田のりん酸用量試験

現地の土壌中における畜積りん酸が高い圃場を選定して、稲わらの施用と無施用区に、施肥りん酸を減肥する用量試験を実施した。

供試圃場：表層腐植質多湿黒ボク土壌(都南村飯岡、三輪統)

土壌のりん酸：全りん酸 260～280 mg、可給態りん酸 90～100 mg（りん酸吸収係数 800～1,000）

試験規模：1区、100 m²、1連制

りん酸用量：0、0.4 kg、0.8 kg、1.2 kg 1アールの4水準とした。

供試品種：トヨニシキ（稚苗機械移植）

耕種の概要：稲わらの施用量は、コンバイン処理による全量還元とした（60～70 kg/アール）。石灰窒素アール当り 1 kg と珪カル 12 kg は、稲わら

無施肥区と施肥区に同一量施用した。施肥は、1974年の基肥窒素がアール当り 0.6 kg 成分で、他は 0.7 kg を硫酸で施用した。加里は 0.6 kg を塩加で施用した。追肥は幼穂形成期にアール当り 0.2 kg の成分を NK 化成で施用した。移植月日は 5月 5日～10日（23～24 株/m²）に行なった。

これら各試験の供試条件および施肥量について第16表に示した。また本試験を実施した1974～1976年の稲作期間の気象条件と生育概況は、1974

第16表 現地の稲わら還元技術実証の試験条件

試験別	区名	有機物	施肥量			備考	
			窒素	りん酸	加里		
(1) 稲わらの 土壌型別施用 試験	1. 堆 厩 肥	堆 厩 肥	140	0.8	1.2	1.0	石灰窒素 (稲わら秋施用)
	2. 稲わら秋施用	稲わら	70	0.8	1.2	1.0	
	3. " 春施用	稲わら	70	0.8	1.2	1.0	
	4. 無有機物	-	-	0.8	1.2	1.0	
(2) 稲わらす き込み時期と 量、および窒 素施肥法と土 壌改良資材施 用試験	1. 堆 厩 肥	堆 厩 肥	140	0.8	1.2	1.0	石灰窒素 (秋すき込み) 秋散布
	2. } 秋すき込み 40	稲わら	40	0.8	1.2	1.0	
	3. } " 70	"	70	0.8	1.2	1.0	
	4. } 秋 散 布 40	"	40	0.8	1.2	1.0	
	5. } 春すき込み 70	"	70	0.8	1.2	1.0	
	6. } 春すき込み 40	"	40	0.8	1.2	1.0	
	7. } " 70	"	70	0.8	1.2	1.0	
(3) 稲わら施 用田のりん酸 用量試験	1. 石灰窒素無	稲わら	70	0.8	1.2	1.0	石灰窒素なし } 石灰窒素
	2. " 有	秋すき込み	70	0.8	1.2	1.0	
	3. 基肥 N 増肥	"	70	1.0	1.2	1.0	
	4. 土壌改良資材	"	70	0.8	1.2	1.0	
(3) 稲わら施 用田のりん酸 用量試験	1. 無りん酸	無わら		0.7	0	0.6	基肥 N 0.6 (1974) 幼穂形成期 0.2 (NK化成)
	2. りん酸少肥	稲わら		0.7	0.4	0.6	
	3. りん酸中肥	(70)		0.7	0.8	0.6	
	4. りん酸多肥			0.7	1.2	0.6	

注) (1) 試験の農試圃場：基肥 1.0 - 3.0 - 1.5、追肥 3回 (NK化成)

(1)～(3)の石灰窒素 2 kg 現物秋施用

年が移植前後の高温、多照で活着良好であった。しかし6月下旬～7月下旬の低温と登熟後期の低温、少照で、作況指数99となった。1975年は、移植期の低温、強風で活着不良、7月中旬からの高温多照と登熟期の好天で作況指数109の豊作、1976年は、8月からの異常気象で作況指数82の大冷害と変動の大きい気象条件となっている。

3) 稲わら連用田の施肥改善と土壌肥沃度(1976)

(1) 稲わら連用田の水稲生育解析と窒素施肥法

稲わら連用田の施肥改善試験は、稲わら14年連用農家圃場と近接の堆厩肥連用農家圃場で行った。稲わら連用田は、1963年以後コンバイン刈取りによる稲わら全量秋すき込みの圃場である。同時に石灰窒素アール当り 1 kg、熔りん 2 kg、珪カル 16 kg を施用している。堆厩肥連用田は、牛厩肥アール当り 100 kg 前後を連用している。

圃場は、北上川中流域の左岸に位置する石鳥谷町新堀地区の河成沖積土壌である。両圃場ともに

1955年頃区画整理され、その後土壌の移動がなく近接した圃場であり灰褐色低地土壌（深井沢統）になっている。

試験は、両圃場の施肥量を同一にして窒素基肥アール当り0.6kg、りん酸、加里はそれぞれ1.7kg、0.7kgとした。また稲わら長期連用田には、基肥窒素0.3kgの減肥区を設け、さらに穂肥の組合せ試験を実験した。両圃場ともに稚苗機械移植栽培で、品種はトヨニシキを使用し同一苗で同時移植とした。

(2) 稲わら連用田における施肥窒素の利用試験

稲わらの長期連用田において、基肥と穂肥追肥窒素に重窒素硫酸を使用して、土壌窒素の発現と穂肥窒素の吸収、利用について調査した。基肥の重窒素硫酸は、土壌を耕起前に採取して、代かき後30cm×60cmの枠を設置して枠内の作土をとり出し、採取土壌に重窒素硫酸(5 aton%) : 4.3g、過石 : 15.9g、塩加 : 3gを施肥し、均一に代かきを行い、品種トヨニシキを枠内に4株移植した。穂肥の重窒素硫酸は、基肥窒素アール当り0.3kgと0.6kgの施用区における生育の均一な4株を選んで、追肥直前に30cm×60cmの枠を設置した。穂肥は、幼穂形成期と減数分裂期に重窒素硫酸(5 aton%) 1.72gを施用した。試料調整と重窒素分析法は、1-1)-(2)に準じて行なった。

(3) 稲わら連用田の土壌肥沃度調査

前記Ⅳ-2)-(1) 試験と稲わら長期連用田の近接田における稲わら連用田の跡地土壌における土壌の理化学性分析を中心に土壌肥沃度の解析を行

なった。

分析法は、pH : ガラス電極法、全窒素 : ケルダール法、全炭素 : チューリン法、塩基置換容量 : セミマイクロ改良法、置換性塩基 : pH 7.0 N-NH₄CH₃COO抽出、原子吸光法、可給態りん酸 : トルオーグ法、可給態珪酸 : pH 4.0 酢酸緩衝液浸出、モリブデン青の比色法、遊離酸化鉄 : 浅見・熊田法 (Na₂S₂O₄-EDTA法)、易還元性マンガン : 0.2% ハイドロキノ含有の中性N酢酸アンモニウム浸出、原子吸光法、可給態窒素 : 小型保温ビン(内径26mm×高さ90mm)密閉潜水状態のインキュベート法、有機態窒素の分画定量法 : STEWARTらの方法²⁵⁾に準じて塩酸と水酸化ナトリウムを用いて3つの画分にわけける方法によった。腐植の形態分析法 : 弘法、大羽法²⁶⁾に準じた土壌肥料総括会議、土壌生成分類部会の共通法によった。

2. 試験結果および考察

1) 寒冷地水田の稲わら施用による阻害要因解析

全区に稲わらを処理して、温水と冷水、土壌の種類、施肥窒素の多少水準による草丈、茎数に対する時期別要因効果をみたのが第17表である。初期生育は、水温の影響が強く、冷水処理による草丈、茎数の抑制があきらかである。

これら冷水下の稲わら施用を中心とした要因相互の関係は第18表に示した。水温と土壌(T×S)、水温と窒素量(T×N)、窒素量と土壌の種類(N×S)、土壌の種類と稲わら施用量(S×E)の交互作用に有意差が認められ、冷水下の稲わら施用

第17表 冷水下における稲わら施用と初期生育の要因効果(1975) (**1%、*5%、+10%)

要因	水準	草 丈			茎 数		
		6/23	7/4	7/18	6/23	7/4	7/18
T. 水 温	温 水	46.0 ⁺	51.9 [*]	74.6 [*]	10.4 [*]	17.1 [*]	24.8 [*]
	冷 水	33.4	42.8	56.2	3.3	5.0	12.8
S. 土 壤	沖積土	40.8 ^{**}	46.5 [*]	65.3	6.7 ⁺	11.0	18.1 ⁺
	火山灰	38.5	48.2	65.5	7.0	11.1	19.5
N. 窒 素	少 肥	39.1 ⁺	46.6 [*]	64.2 ^{**}	6.6 ⁺	10.5 [*]	17.4 ^{**}
	多 肥	40.3	48.1	66.6	7.1	11.6	20.2
E. 稲 わ ら	少	40.6 ^{**}	48.9 ^{**}	66.3 ^{**}	6.9	11.6 [*]	20.1 ^{**}
	多	38.7	45.8	64.5	6.8	10.5	17.5
総 平 均		39.7	47.4	65.4	6.8	11.0	18.8
l. s. d (一次)							
l. s. d (二次)		1.44	1.36	1.64	0.46	0.84	1.35

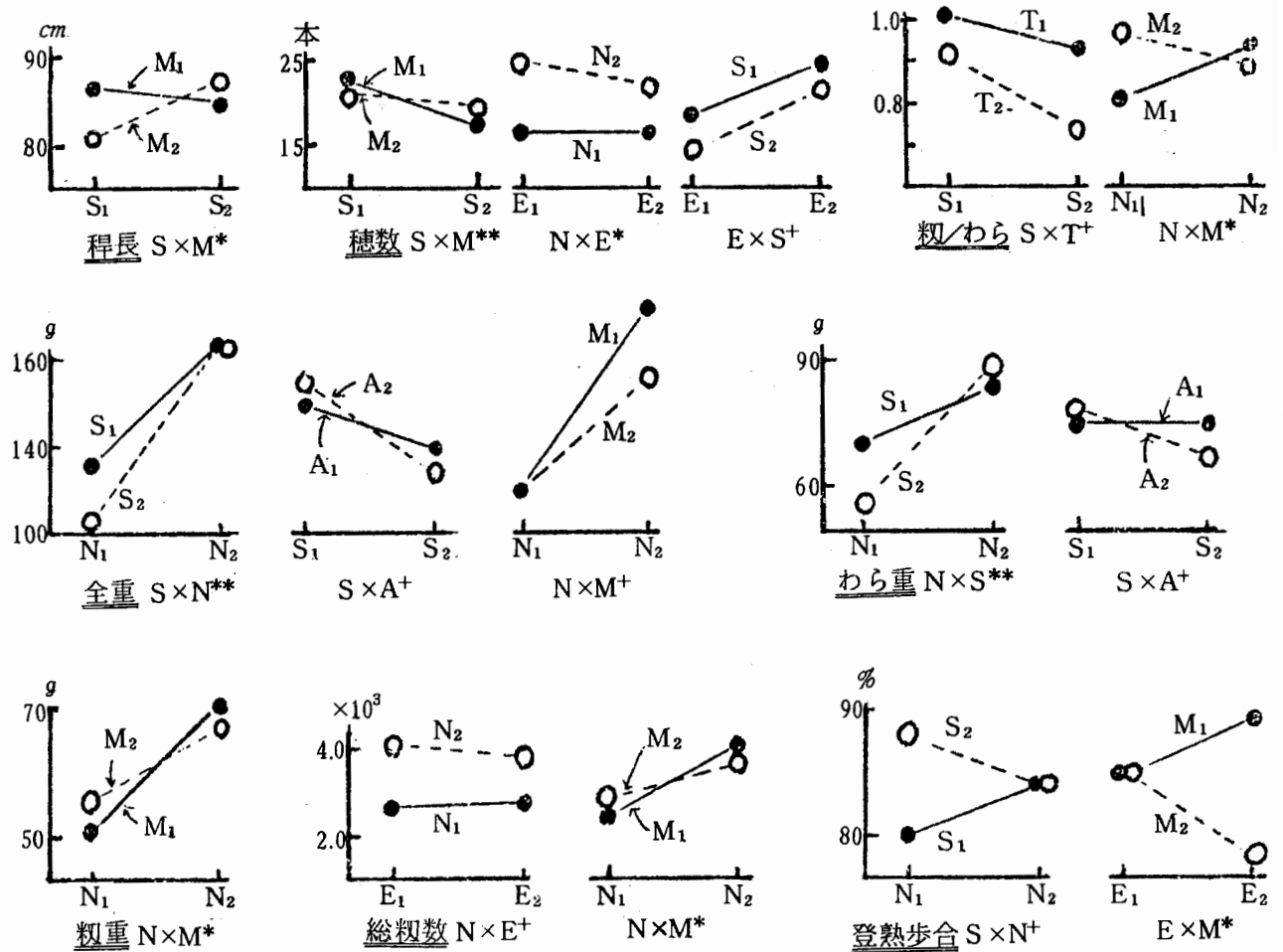
第18表 冷水下における稲わら施用の交互作用 (1975)

草			丈			茎			数					
6. 23			7. 4			7. 18			6. 23		7. 4			
S ₁		S ₂	S ₁		S ₂	S ₁		S ₂	E ₁	E ₂	N ₁ N ₂			
	cm	cm		cm	cm		cm	cm	本/株	本/株	T ₁	本/株	本/株	
T ₁	45	46	T ₁	50	54	T ₁	75	73	S ₁	6.3	7.1	T ₁	16.0	17.3
T ₂	36	31	T ₂	43	42	T ₂	55	57	S ₂	7.0	7.1	T ₂	4.0	6.0
	E ₁	E ₂		E ₁	E ₂		E ₁	E ₂		E ₁	E ₂		E ₁	E ₂
N ₁	41	38	N ₁	49	54	N ₁	66	62	T ₁	11.0	10.0	S ₁	10.0	12.0
N ₂	41	40	N ₂	49	57	N ₂	67	66	T ₂	3.0	3.4	S ₂	11.0	11.0
	N ₁	N ₂					N ₁	N ₂					E ₁	E ₂
T ₁	45	46				T ₁	72	77				T ₁	18.0	16.0
T ₂	32	35				T ₂	55	57				T ₂	5.3	4.8

による初期生育抑制は、土壤条件によって異り、腐植質多湿黒ボク土壤の稲わら施用は冷水条件によって初期の草丈、茎数抑制が著しい。また冷水の稲わら施用による窒素施肥反応は、温水条件下の窒素増肥による生育量増大と異り肥効が緩まんである。しかし稲わら多量施用した場合は、冷水

ほど窒素増肥による草丈、茎数への効果がかがわれる。

稲わら施用による収量性と各収量構成要素の要因効果は、第12図に示した。各形質ともに、土壤の種類と中干し(S×M)、稲わら施用量および窒素施肥量と中干し(E×N、E×M、N×M)の交互

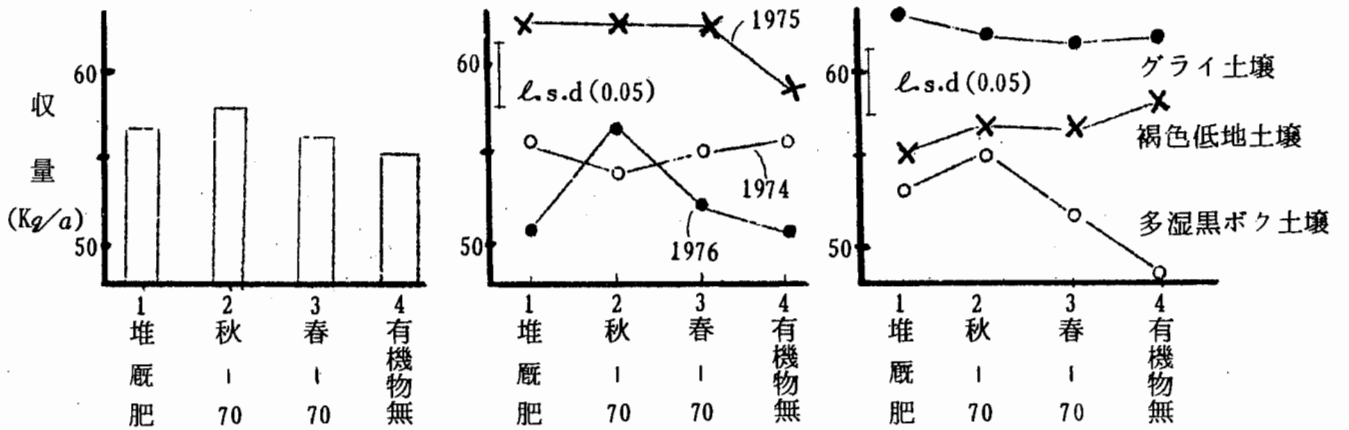


第12図 冷水下の稲わら施用による収量構成要素の交互作用 (1975)

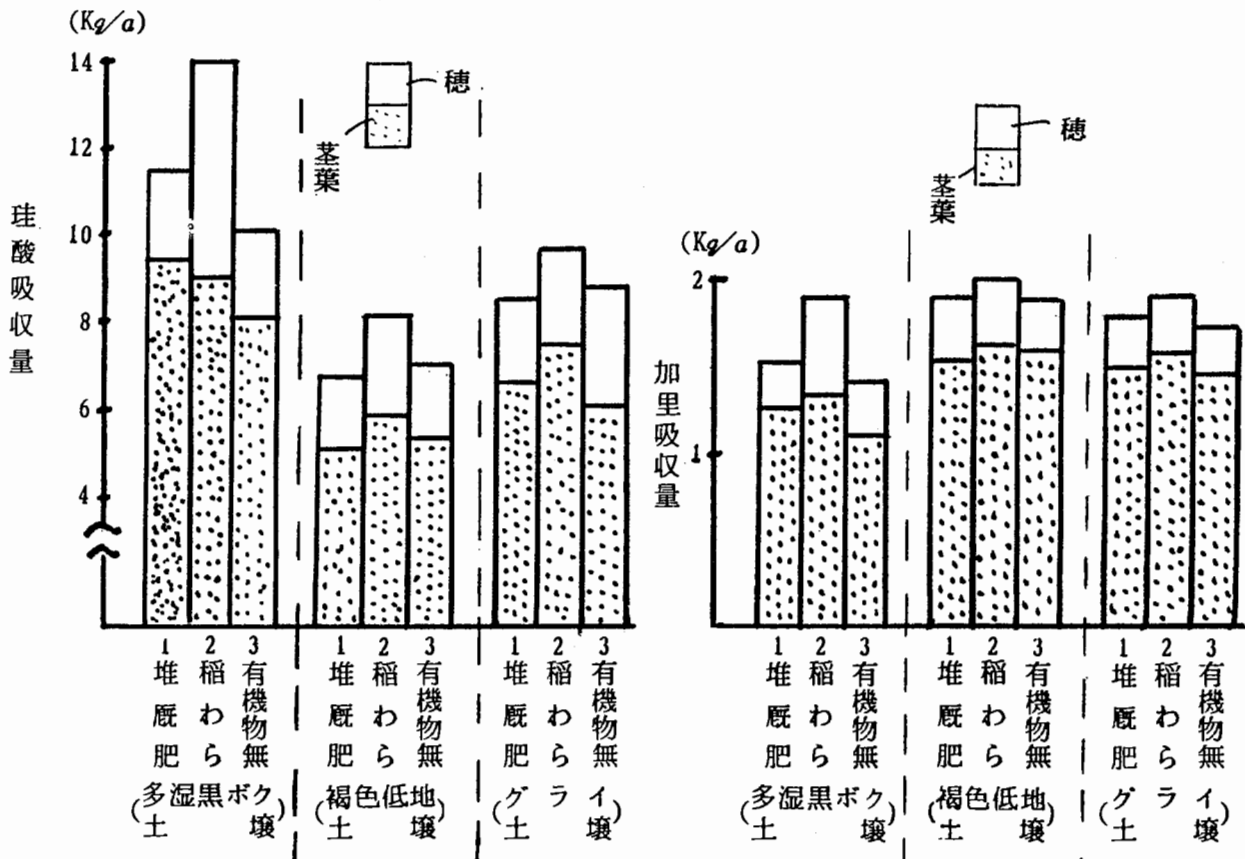
作用が有意となり、重要なかわりあいをもっている。とくに多湿黒ボク土壌のように窒素保持力が弱く、透水過多の土壌では窒素増肥による生育確保が重要である。また沖積土壌の場合は、稲わら多施用、窒素増肥による生育反応の変動が大きく、きめの細かい水管理技術による生育調整が要求される。このように冷水下での稲わら施用の阻害要因は、稲わら分解による土壌中の窒素とりこみと、分解停滞による長期間の生育抑制に加え、少照条件は

明らかに遅延型冷害の生育相をたどり、減収の危険度が高まる²⁷⁾。また土壌肥沃度が高い土壌の稲わら多施用や基肥窒素の増肥は、冷水条件によって一層出穂遅延になり易く、さらに生育後期に窒素の肥効がずれてくるため、登熟歩合は著しく低下する。この場合、いずれも中干し処理による技術効果が高くなっている。

- 2) 現地圃場における稲わら還元技術の実証
 (1) 稲わらの土壌型別施用試験



第13図 稲わらおよび堆厩肥の土壌と年次による玄米収量 (1974~1976)



第14図 稲体の珪酸と加里吸収量 (1976)

現地の土壌条件が異なる水田において稲わらの秋すき込みと春すきこみ、さらに堆厩肥と有機物無施条件による現地実証試験を三ヶ年間行ない、各有機物処理間の主効果および有機物と年次、有機物と土壌型の分散分析結果を第13図に示した。

土壌条件および年次をこみにして、有機物処理間の主効果をみると、稲わら秋すき込み>堆厩肥>稲わら春すき込み>有機物無施用の順となり、稲わらの秋すき込み技術は、堆厩肥と同等かそれ以上の収量水準が期待できる。しかし、本試験を実施した1974~1976年は、稲作期間の年次変動が大きく、1974年の稲わら還元初年目は、堆厩肥に対して稲わら施用がやや減収となっている。1975年は、稲作期間の気象条件が良好で有機物施用効果が著しく高まり、堆厩肥と稲わら施用の収量差が認められない。また1976年の冷害年は、8月に入って異常な低温少照条件のため登熟不良で減収する中で稲わら秋施用は、生育初期の生育抑制が少なく穂首分化期頃の肥効が調整され過剰穎花とならず登熟歩合を高めて収量の安定に結びついた。

さらに稲わら施用における特徴として、第14図に示すように水稻の珪酸、加里の養分吸収が増加することである。これは稲わらそのものに比較的

多量に含まれる珪酸、加里の大部分が水稻に吸収、利用されることを示している。

(2) 稲わらすき込み時期と量に関する試験および窒素施肥法と土壌改良資材施用試験

a. 稲わらのすき込み時期と量に関する試験

試験を行なった褐色低地土壌とグライ土壌における三ヶ年の玄米収量結果は第19表に示した。両土壌ともに、稲わらの秋すき込みおよび秋散布、春すき込みと春に施用したいずれの稲わら還元時期によっても、稲わらアール当り40kgと70kgの施用量による収量差が認められず、稲わら全量還元の可能性が示唆される。とくに、褐色低地土壌は、還元初年目に稲わら多施用でやや減収の傾向を示すが連用によって、各すき込み時期ともに稲わら多施用による減収がなくなる。またグライ土壌においても稲わら施用量40kgと70kgの収量差が少なく、稲わら多施用は、春散布して春にすき込んだ区で収量がやや高まる傾向を示した。しかし、1976年の冷害年は、秋すき込み以外の稲わら多施用区がやや減収していることから、グライ土壌のように透水不良で異常還元になり易い土壌にあっては、稲わら施用量を減らすことも考えられるが、平年の気象条件下では、全量還元の可能性があると思われる。

第19表 稲わらのすき込み時期と量の収量性(1974~1976)

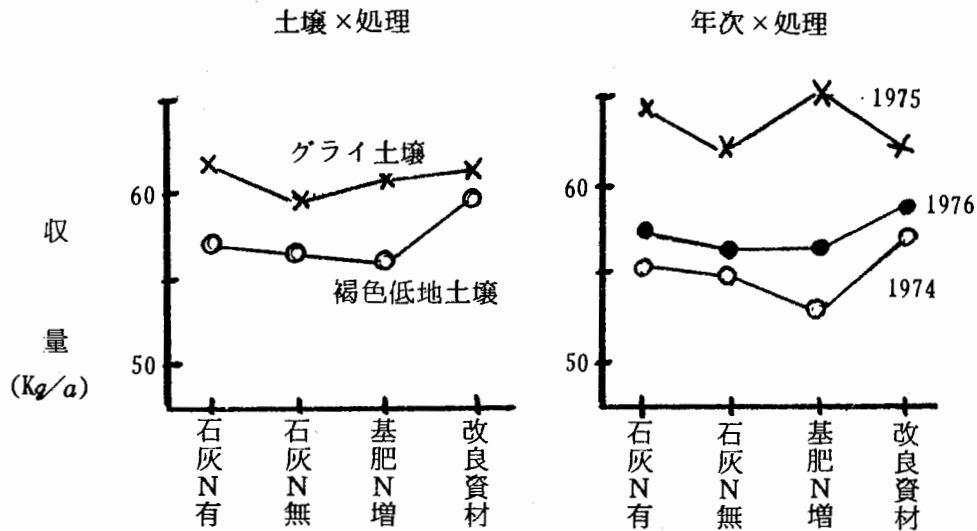
区名	褐色低地土壌			グライ土壌		
	1974	1975	1976	1974	1975	1976
秋すき込み	40	60.4	55.2	55.3	65.4	60.5
	70	60.6	55.7	56.5	69.5	60.2
秋散布	40	58.7	53.3	55.2	70.1	62.5
	70	58.1	54.5	56.8	69.0	59.5
春すき込み	40	60.8	53.0	58.4	66.9	58.3
	70	61.4	54.7	60.1	68.3	56.6

b. 窒素施肥法と土壌改良資材施用試験

前記、a試験と同一圃場における稲わら分解促進としての石灰窒素施用の有無と基肥窒素増肥、および土壌改良資材の熔りん、珪カルの同時散布効果について検討した結果を第15図に示した。稲わら秋すき込みにおける石灰窒素の施用効果は、両土壌ともに認められ、とくにグライ土壌において増収となった。基肥窒素増肥は、1975年の気象条件が良好な場合に増収となるが、他の年次では

明らかでなく、年次による変動が大きい。また土壌改良資材の熔りん、珪カルの施用効果は、褐色低地土壌 グライ土壌ともに増収効果が認められる。とくに1974年の稲わら還元初年目と1976年の冷害年において増収効果が顕著である。

このように、稲わら施用田の石灰窒素と土壌改良資材の施用効果は、前記Ⅱ項で小括したとおり稲わらの分解促進に役立ち、さらに現地の増収効果が確認され、稲わら還元技術の基本技術として



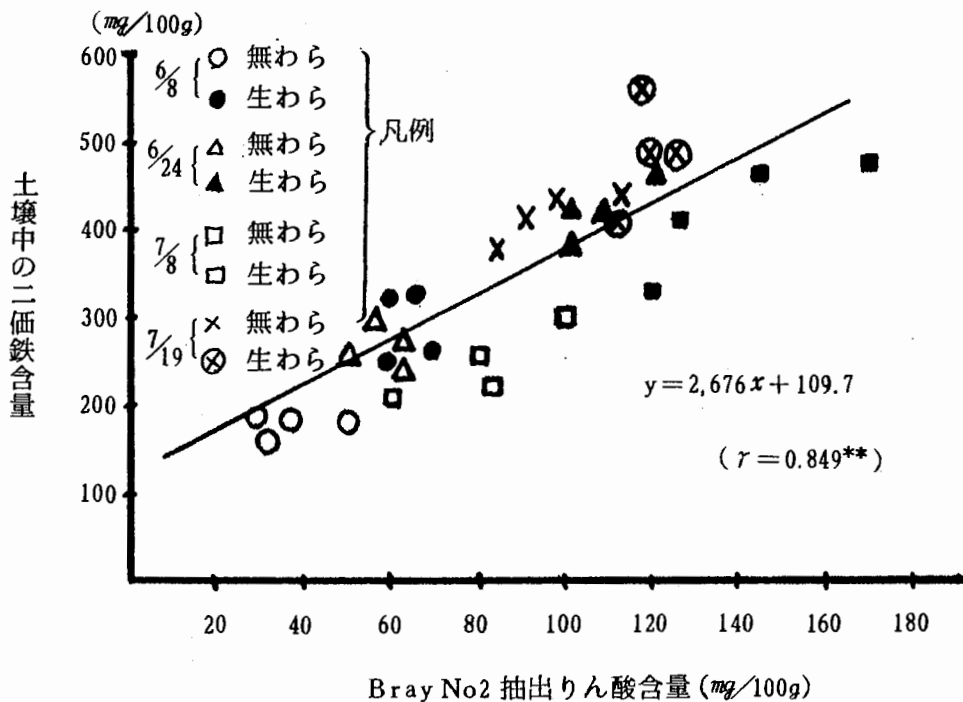
第15図 稲わら秋すき込みの石灰窒素および土壌改良資材の施用効果 (1974～1975)

実証された。

(3) 稲わら施用田のりん酸用量試験

稲わら施用と無施用の土壌中における可給態りん酸の動向について、二価鉄の生成と関連でみたのが第16図である。稲わら施用によって土壌の還元化が進行し、二価鉄の生成が増加する。それにともなって土壌中の可給態りん酸含量は明らかに高まる。

とくに、分けつ期(6月8日、24日)の稲わら施用と無施用の二価鉄生成と可給態りん酸含量は、同一施肥りん酸量であっても稲わら施用で高まる。またこの時期における稲体のりん酸含有率²⁸⁾は、稲わら施用によって高まり、りん酸吸収量もやや多くなっていることから、土壌中の蓄積りん酸含量が多い土壌にあっては、稲わら施用による初期の弱還元化によって、蓄積りん酸の有効化と吸収

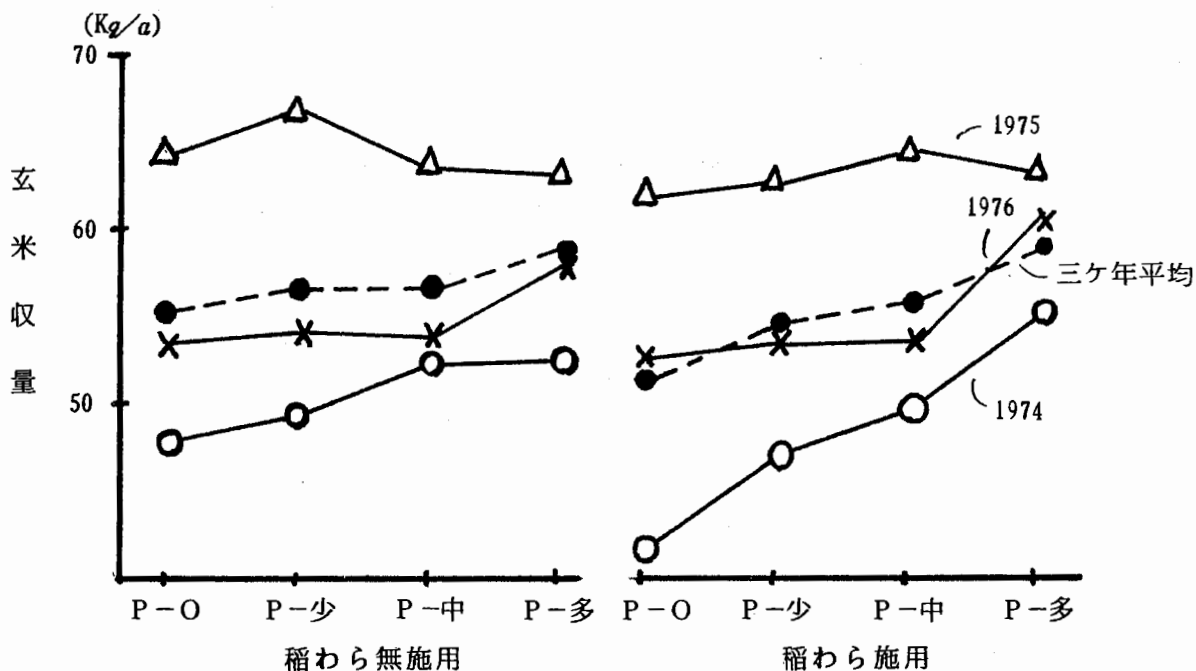


第16図 稲わら施用、無施用水田の二価鉄生成と Bray No. 2 法抽出りん酸の関係 (1976)

利用に役立ったのではないかと推定した。

一方、稲わら施用の有無と施肥りん酸用量試験における収量結果は第17図に示した。玄米収量の三ヶ年平均で見ると、稲わら施用区のりん酸減肥による収量低下が明らかである。また年次別では、1975年の高温、多照で稲作期間の気象条件が良好

な場合、稲わら施用と無施用およびりん酸減肥による収量差が認められないのに対し、1974年の稲わら還元初年目と1976年の冷害年は、稲わら施用区のりん酸減肥によって収量が低下する。よって寒冷地水田の稲わら施用は、施肥りん酸の肥効が重要であり、りん酸増施が望ましいといえる。



第17図 稲わら施用、無施用田のりん酸施用量と玄米収量(1974～1976)

3) 稲わら連用田の施肥改善と土壌肥沃度

(1) 稲わら連用田の水稻生育解析および窒素施肥法

稲わら長期連用田と堆厩肥連用田における同一施肥条件における草丈と茎数の推移を第20表に示した。両圃場の初期における草丈伸長の差は認められない。稲わらと長期連用田の茎数の推移は、5月下旬～6月下旬までやや抑制されるが最高分けつ期における茎数の差はない。しかし、7月下旬の茎数は、堆厩肥連用田の低下が著しい。

稲わら長期連用田における基肥窒素量アール当たり0.3kgと0.6kg(成分量)の生育反応は、基肥多肥によって7月上旬～中旬にかけて草丈、茎数が急激に増加してくる。これに対して、基肥少肥は、窒素減肥による生育初期の草丈、茎数の低下が少なく、急激な生育増加による過剰生育とならず、期待生育相に近い生育経過を示した。

稲わらおよび堆厩肥連用田の収量構成要素と玄米収量結果について第21表に示した。堆厩肥連用田は、単位面積当たり穂数が十分であり、粒数も43

第20表 稲わらおよび堆厩肥長期連用田の草丈と茎数の推移(1976)

区名		草 丈					茎 数				
		5/27	6/10	6/24	7/10	7/24	5/27	6/10	6/24	7/10	7/24
対 照 田	N-6	cm 12	cm 25	cm 37	cm 50	cm 71	本/m ² 102	本/m ² 235	本/m ² 476	本/m ² 1,045	本/m ² 780
稲 わ ら	N-3	15	28	38	50	65	100	174	458	828	746
連 用 田	N-6	15	29	36	53	73	98	173	460	1,053	912

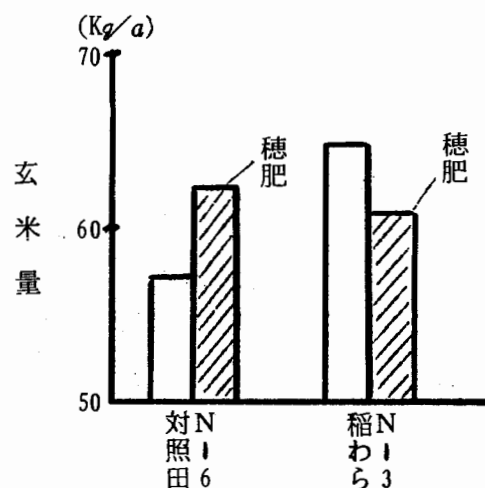
第21表 稲わらおよび厩肥長期連用田の収量構成要素と収量（1976）

区名		稈長 cm	m ² 当り 穂数 本/m ²	総穎花数		登熟歩合 %	千粒重 g	玄米重 kg/a
				一穂当り	m ² 当り×10 ³			
対照田	N-6	91.0	612	70	43.0	67.8	21.0	57.5
稲わら	N-3	87.3	505	77	39.1	66.9	21.8	65.2
連用田	N-6	94.8	605	80	48.5	73.8	21.3	63.1

×10³粒と適正穎数を確保しながら、稲わら長期連用田に比較すると減収となっている。このことは、第18図に示すように堆厩肥連用田の穂肥施用による増収効果が高くなっていることから堆厩肥連用田は、穂首分化期を中心とした土壌窒素の放出が少ないため、幼穂形成期の穂肥効果が高く、穂肥を施用しない場合は、後期の肥効が低下して減収したものと推定される。

一方、稲わら連用田の収量は、基肥窒素少>基肥窒素多施用の結果になって、基肥多施用ほど7月中旬以後の肥効が急激に増大し、単位面積当り穎数が48×10³粒以上の過剰穎花となり、さらに長稈化によって受光態勢の悪化と倒伏によって減収となった。これらのことから稲わら長期連用田の場合、基肥窒素を減肥する方向で施肥体系を考える必要がある。

(2) 稲わら連用田における施肥窒素の利用試験
稲わら長期連用田と堆厩肥連用田の農家圃場に



第18図 堆厩肥と稲わら連用田の穂肥効果

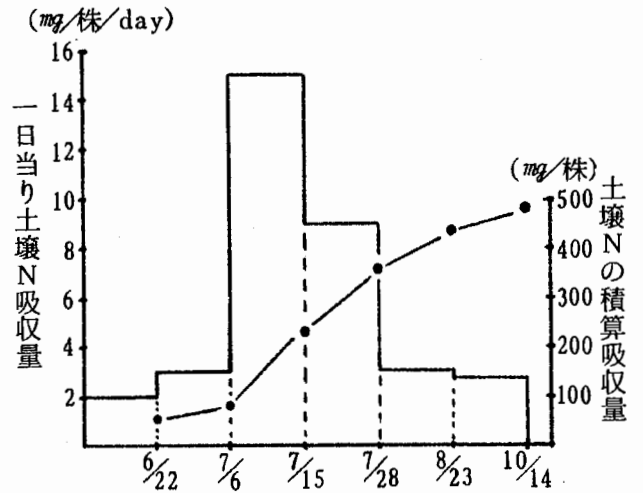
における生育相解析を行った結果稲わら連用田の窒素発現様式が異なることから重窒素を利用して稲体の施肥窒素と土壌窒素の吸収、利用について検討した結果を第22表に示した。

第22表 元肥窒素の時期別窒素吸収およびその割合

時期	部位	乾物重 g/株	N %	N 吸収量 mg/株	¹⁵ N excess %	N		分布比率		¹⁵ N 部位別 分配率 %	元肥N 利用率 %
						肥料 mg/株	土壌 mg/株	¹⁵ N %	¹⁴ N %		
6/22	L	1.05	4.48	47.0	1.57	15.9	31.1	33.8	66.2	67.4	21.0
	S	1.13	2.03	22.9	1.56	7.7	15.2	33.6	66.4	33.6	
	total	2.18		69.9		23.6	46.3				
7/6	L	2.80	3.26	91.3	1.58	38.2	53.1	32.8	67.2	68.1	49.8
	S	4.00	1.36	54.4	1.52	17.8	36.6	33.2	66.8	31.9	
	total	6.80		145.7		56.0	89.7				
7/15	L	7.02	3.20	225.0	1.54	74.6	149.6	33.2	66.8	69.9	47.8
	S	9.46	1.28	121.0	1.28	33.4	87.7	27.6	72.4	30.1	
	total	16.48		346.0		108.0	237.3				
7/28	L	11.60	2.75	318.0	1.18	80.8	236.8	25.4	74.6	69.3	51.8
	S	17.80	0.93	165.0	1.00	35.6	129.6	21.5	78.5	30.7	
	total	29.40		483.0		116.4	366.4				
8/23	L	12.00	2.00	240.0	1.08	55.8	184.0	23.3	76.7	42.5	51.5
	S	34.60	0.63	218.0	0.91	42.8	175.3	19.6	80.4	40.5	
	E	8.00	1.14	91.0	0.88	17.2	73.5	19.0	81.0	17.0	
	total	54.60		549.0		115.8	432.7				
10/13	L	5.90	0.87	51.3	1.02	11.3	40.0	22.0	78.0	9.9	47.4 (50.5)
	S	21.40	0.47	100.6	0.86	18.7	82.0	18.5	81.5	16.4	
	E	36.50	1.11	405.1	0.80	69.9	335.3	17.2	82.8	61.5	
	枯葉	5.80	0.48	27.8	1.14	6.8	21.0	24.6	75.4	6.0	
	total	69.60		584.8		106.7	478.4				
根	5.70	0.85	46.4	0.69	6.9	39.5	14.9	85.1	6.2		

稲わら長期連用田の基肥施肥窒素は、移植後1ヶ月で約21%利用される。施肥窒素の吸収、利用は7月中旬で消失する。その後吸収される大部分は土壌由来の窒素である。7月中旬から7月下旬にかけて施肥窒素のとりこみがわずかに認められ、稲わら施用によって一時的に有機化へとりこまれた窒素の再無機化による吸収利用と思われるが、II-2)項で示した重窒素利用の稲わら還元初年目における施肥窒素の固定、再無機化量より著しく少ない量になっている。最終的に基肥施肥窒素の利用率は47%とやや高い値となった。

稲体の土壌窒素吸収量から、稲わら連用田における土壌由来窒素の積算吸収量と1日当たり土壌由来窒素の吸収様式について第19図に示した。土壌由来の窒素吸収は、施肥窒素が消失する7月中旬～下旬にかけて急激に土壌窒素の無機化が促進され吸収、利用されている。このことは農家圃場の7月中旬以後における生育量増大と対応しており、稲わら長期連用田の土壌窒素の有効化が幼穂形成



第19図 稲わら長期連用水田における土壌窒素の発現様式(1976)

期を中心とした稲作の重要な時期に発現量が増加してきている。

一方、基肥施用量多少水準に対する幼穂形成期の穂肥施肥窒素の吸収と利用は第23表に示した。

第23表 稲わら連用田の元肥多少と穂肥Nの動向(1976)

区名	部位	DW	N	N 吸収量	N		分布比率		穂肥分配率	元肥 + 土壌Nの分配率
					¹⁵ N	¹⁴ N	¹⁵ N	¹⁴ N		
元肥 N 3	葉身	6.4	0.75	48.1	8.0	40.1	16.6	83.4	11.9	7.7
	茎	21.7	0.49	106.3	13.8	92.5	13.0	87.0	20.5	17.8
	枯葉	5.6	0.52	29.1	2.2	26.9	6.9	93.1	3.3	5.2
	穂	38.5	1.05	402.2	43.3	358.9	10.8	89.2	63.3	69.2
	T	72.2	—	585.7	67.3	518.4	11.5	88.5	—	—
元肥 N 6	葉身	9.6	1.05	100.3	10.6	89.7	10.6	89.4	13.1	11.6
	茎	26.8	0.58	155.4	14.1	141.3	9.1	90.9	17.5	18.3
	枯葉	6.3	0.60	37.7	1.6	36.1	4.2	95.8	2.0	4.7
	穂	47.1	1.19	560.5	54.4	506.1	9.7	90.3	67.4	65.5
	T	89.8	—	853.9	80.7	773.2	9.4	90.5	—	—

成熟期の乾物、稲体の窒素含有率、全窒素吸収量ともに、基肥窒素多施用によって増大している。また幼穂形成期の穂肥由来の窒素吸収量も基肥多施用で増加している。しかし、逆に各部位別の穂肥由来窒素の分布比率は、基肥少肥に対して基肥多肥は減少している。このように、稲わら長期連用田の基肥多施用は、全窒素吸収量が著しく増加するばかりでなく、穂肥の窒素施肥によって土壌窒素の無機化を促進し、生育後期まで土壌由来のとりこみがみられる。したがって稲わら連用田の窒

素施肥法は、基肥窒素の適正化と土壌窒素発現を考慮した穂肥の施用時期と量を決定する必要がある。

(3) 稲わら連用田の土壌肥沃度調査

現地の農家圃場で堆肥連用田と稲わら連用田における土壌の理化学性を中心に土壌肥沃度の解析を行なった。調査地域は、北上川中流域左岸に位置する沖積地で、同一集落内の地形および堆積様式が類似している近接の圃場を選定して実施した。A圃場は稲わら全量還元で14年の長期連用田、

B圃場はA圃場の隣接している堆厩肥アール当り100 kg程度を長期に連用している水田である。C圃場は稲わら全量還元で5～6年の連用田、D圃場は牛厩肥をアール当り150 kg程度を長期に連用している水田である。

各農家圃場の跡地土壌分析結果は、第24表に示した。稲わら14年連用、5～6年連用土壌ともに稲わら還元によって土壌中の全有機物が増加し、C/N比が高まる。また塩基置換容量が高くなる傾向を示し、とくに置換性加里含量の富化が著しいことが特徴的である。土壌の固相率や孔隙率の

物理性については、堆厩肥連用土壌と大差がなかった³⁰⁾。

また水田に施用した稲わらは、土壌中で1年以上経過すると、堆厩肥と同等の組成になることが知られている。しかし、稲わらのような粗大有機物の連用は、土壌中の易分解性有機物の質と量に直接影響することから、稲わら連用跡地土壌を中心に有機態窒素の分画と腐植の形態分析を行った。供試土壌は、褐色低地土壌とグライ土壌の三ヶ年連用土壌および稲わら5～14年の長期連用土壌について実施した。

第24表 稲わらおよび堆厩肥連用田の土壌理化学性(1975)

有機物連用土壌	層位	pH (H ₂ O)	T-C	T-N	C/N	CEC	置換性塩基			可給態成分	
							CaO	MgO	K ₂ O	りん酸	珪酸
A 稲わら14年連用	I	6.35	4.84	0.40	12.1	24.9	544	60	18	87	38
	II	6.80	3.46	0.24	14.4	26.2	526	83	12	5	20
B 堆厩肥1t連用	I	6.50	4.04	0.41	9.9	24.4	526	69	15	111	62
	II	6.33	3.23	0.30	10.8	22.8	403	72	4	6	19
C 稲わら6年連用	I	6.01	5.31	0.45	11.8	26.9	481	57	29	93	25
	II	6.13	7.04	0.54	13.0	29.7	586	82	23	14	22
D 堆厩肥1.5t連用	I	6.40	7.61	0.60	12.7	31.8	526	66	12	59	29
	II	6.43	8.54	0.59	14.5	33.3	611	78	12	35	29

有機物連用土壌	層位	遊離酸化鉄	易還元性マンガン	アンモニヤ生成			ち密度	固相	気相	孔隙率	含水率
				30℃		40℃					
				生土	風乾土	生土					
A 稲わら14年連用	I	0.62	113	2.9	18.3	7.9	7	26.3	5.9	73.7	49.6
	II	0.46	20	—	—	—	18	31.7	7.0	68.3	42.2
B 堆厩肥1t連用	I	0.43	236	2.9	19.7	9.3	5	26.1	8.9	74.9	50.6
	II	0.59	23	—	—	—	15	38.5	2.7	61.5	36.7
C 稲わら6年連用	I	0.66	203	3.1	19.3	8.0	8	25.0	6.0	75.0	52.5
	II	0.94	113	—	—	—	17	33.1	3.9	66.9	42.8
D 堆厩肥1.5t連用	I	0.50	89	3.8	28.0	8.4	9	22.2	8.9	77.8	54.6
	II	0.90	84	—	—	—	15	22.7	6.3	77.3	55.5

稲わら連用土壌の有機態窒素分画は、第25表に示した各土壌ともに稲わら連用によって、全窒素に対する全有機態窒素の占める割合が明らかに高まっている。また全有機態窒素の内、土壌の易分解性有機態窒素の大部分を占める酸加水分解性可溶性全窒素は堆厩肥>稲わら>有機物無施用の含有量となった。土壌別では、透水不良のグライ土壌は、稲わら連用によって未同定部分の酸不溶性

画分の増加がみられる。褐色低地土壌は、稲わら連用によって酸可溶性窒素画分で土壌窒素の放出と発現に関係の深い酸可溶性非留出性窒素のアミノ酸窒素が増加する。稲わら長期連用土壌は、酸不溶性画分が減少して、褐色低地土壌同様に易分解性有機態窒素の酸可溶性非留出窒素の割合が高くなり、土壌窒素の発現量に強く関与しているものと推定される。

第25表 有機物連用田の有機態窒素の分画 (1976)

土 壤	区 名	T-N	O-N	酸可溶性-N			酸不溶性 (c)	O-N / T-N	(b) / O-N
				T-N	留 出 (a)	非留出 (b)			
グ ラ イ	1. 有機物無施用	0.25	212.7	143.1	55.4	87.7	69.6	85	41
	2. 稲 わ ら	0.25	229.9	155.6	54.6	101.0	74.3	92	44
	3. 堆 厩 肥	0.28	242.0	171.6	58.1	113.5	70.4	86	47
褐 色 低 地	1. 有機物無施用	0.27	230.3	158.2	56.1	102.1	72.1	85	44
	2. 稲 わ ら	0.26	254.2	175.5	55.7	119.8	78.7	98	47
	3. 堆 厩 肥	0.29	269.6	188.3	66.3	122.2	81.3	93	45
	稲わら14年連用	0.41	352.8	258.1	84.2	173.4	94.7	86	49
	稲わら7年連用	0.45	367.5	258.1	88.5	169.4	109.4	82	46

第26表 腐植の形態分析 (1976)

土 壤	区 名	T-C	乾土1g、0.1N-KMnO ₄			腐植抽 出割合	腐植酸 / フルボ酸	腐植酸の光学性		
			腐 植	フルボ酸	腐植酸			K 400	K 600	$\Delta \log k$
グ ラ イ	1. 有機物無施用	3.21	32.5	14.2	18.5	41	1.30	0.57	0.17	0.525
	2. 稲 わ ら	3.45	32.1	17.1	15.0	37	0.88	0.50	0.15	0.522
	3. 堆 厩 肥	3.00	33.7	15.5	18.2	45	1.17	0.65	0.19	0.534
褐 色 低 地	1. 有機物無施用	2.71	32.1	17.1	15.0	51	0.88	0.57	0.17	0.525
	2. 稲 わ ら	3.21	34.9	16.0	18.9	44	1.18	0.70	0.20	0.544
	3. 堆 厩 肥	3.45	38.4	19.9	18.2	45	0.93	0.61	0.16	0.584

一方、土壌の腐植形態分析結果は、第26表に示した。腐植抽出量は、褐色低地土壌が堆厩肥>稲わら>無有機物の順になり、グライ土壌における全炭素は稲わら施用によって明らかに増加するのに対し、腐植抽出量の差は判然としない。とくに両土壌とも稲わら連用土壌の腐植抽出割合が低下し、アルカリ溶液で抽出される土壌中で比較的遊離の状態で存在する腐植含量が低下している。この傾向はグライ土壌ほど顕著である。グライ土壌は、稲わら連用によって腐植酸/フルボ酸比が低下し、腐植酸溶液の $\Delta \log k$ 値も小さいことから、堆厩肥と比較すると腐朽程度に差が認められる。

しかし腐植物質のかなりの部分は、粘土や鉄、アルミニウム、カルシウムなどの無機成分さらにはリグニン、タンニン、ポリフェノール、キノン化合物などの有機成分と結合している場合が多く^{6), 31)}、稲わら連用はこれらの結合腐植が高いともいえる。それ以上に稲わら施用によって増加している全炭素は、土壌中の微生物の栄養源ある

いはエネルギー源として分解、利用されて、土壌環境を健全に保つ上で重要な役割を果たす総合的な栄養腐植として考えるならば、稲わらは土壌有機物の補給源として高く評価しなければならない。

3. 小 括

寒冷地水田における稲わら施用による阻害要因は、水温である。とくに冷水下では、稲わらの分解停滞によって、土壌窒素の有機化等による生育抑制が長期化する。さらに出穂期前後の少照条件は、遅延型冷害の生育相をたどり減収の危険度が高まる。この場合中干し処理等の水管理技術が重要であることを指摘した。

土壌条件が異なる現地圃場における稲わら還元技術の実証を行なった結果、稲わらの秋すき込みは、石灰窒素と土壌改良資材の熔りん、珪カル施用によって堆厩肥と同等かそれ以上の収量性が得られる。またグライ水田においても稲わら全量還元の可能性が示唆された。

また、稲わら連用田は、水稻の生育抑制が軽減され、土壌中からの窒素供給量が増大してくることから、基肥窒素を減肥する必要がある。さらに基肥多水準ほど穂肥窒素の施用によって、土壌窒素の無機化が促進されて生育後期まで土壌由来の窒素がとりこまれることから、稲わらの長期連用田ほど窒素施肥法の改善が必要である。

一方、稲わらのような粗大有機物を水田に直接還元して長期連用した場合、従来堆肥がはたしてきた水田の総合的な地力維持、増強の役割を代替できるかどうかについて、現在の技術水準で評価しておく必要がある。とくに稲作における土壌肥沃度の重要性や地力増強の実証は、すでに多くの積み重ねがある。しかし水稻生産の場では、気象条件や肥培管理法などの他の要因が大きく関与するため、有機物施用による土壌肥沃度だけの効果を評価することはむずかしいが、寒冷地の稲作ほど地力が高い所で多収が得られやすいとする報告^{32),33)}からして、稲わらを還元して土壌肥沃度を高め栄養腐植を供給することは、水田の地力維持、増強にとって重要なことである。

V 総合考察

現在の機械化稲作における水稻の収穫は、大部分がコンバインやバインダーの機械刈取りになっている。また本県の収穫後における稲わらの利用実態をみると、水田に稲わらを直接還元する農家が年々増加してきている。

これまでの寒冷地稲作における稲わら施用は、水稻の初期生育抑制や出穂遅延による不安定な収量性が指摘されてきた^{1),3)}。しかし、寒地においても稲わらを数年間連用することによって生育の抑制が軽減され、収量が増加する傾向が認められている^{22),34),35)}。これら稲わらの施用に関して、土壌中の異常分解による阻害物質²¹⁾や、窒素の有機化、固定と無機化^{36),37),38)}による肥効調整^{3),20)}、さらには、連用土壌の窒素供給力増大^{29),35),39)}など、粗大有機物がもつ特性を十分考慮したうえで、従来の堆肥と異った作業精度や肥培管理がとられなければならない。

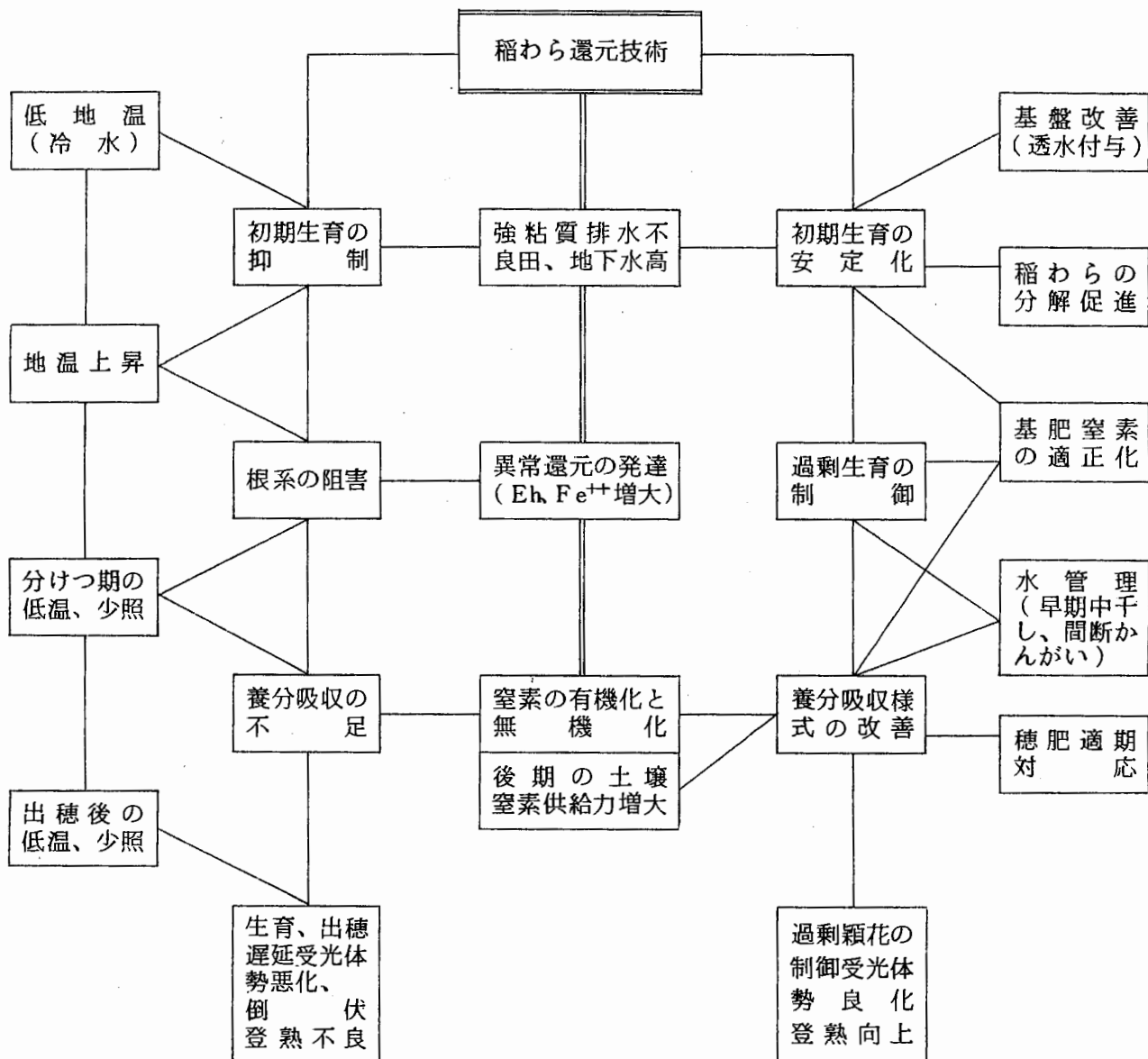
そこで実際に稲わら施用によっておこる、阻害発生の機構と技術対策について、稲作期間の気象条件および土壌基盤の不良性から、水稻の生育阻害過程を総合的に模式化するとともに、稲わらを水田に直接還元することによって生じる肥効調整

機能を稲作の安定化に結びつける具体的な肥培管理方式について、次のような機構の相互関連を示した(第20図)。

この中で稲わら還元による水稻の生育抑制は、水田圃場の地下水位の位置や湛水期間中の透水性を主とした基盤条件と地形、地質、土壌生成からの土壌型の影響が強い。本県の水田土壌型の分布をみると⁴⁰⁾、奥羽山系の東麓や洪積台地およびこれに隣接する低地に分布する多湿黒ボク土が、38,200 haと最も広く、次いで河川流域の低地に分布する灰色低地土 17,700 ha、褐色低地土 10,100 ha、グライ土 8,400 haであり、さらに台地上に灰色台地土、黄色土、グライ台地土がそれぞれ 8,000~9,000 haの分布となっている。本研究で対象とした土壌型は、主に多湿黒ボク土、褐色低地土、グライ土である。稲わら還元による水稻反応の特性は、土壌条件によって明らかに異って来ていることから、阻害発生機構と技術対策について各土壌ごとに検討した。

多湿黒ボク水田土壌は、腐植質火山灰土を主要な母材とするが、地形的に台地と低地に分布する土壌の性格は異なる場合が多い。高標高地で寒冷地の多湿黒ボク水田圃場(農試)における稲わら秋すき込みの分解率は、春の入水直前までに易分解性有機物の約40%前後の分解が期待できる。また石灰窒素施用と熔りん、珪カルの同時散布による分解促進効果が高く、積極的に秋すき込みの技術がのぞましい^{41),42)}。

さらに稲わら施用による本田の生育は、土壌の還元の進行が緩まんで、生育初期の草丈や葉面積、純同化率(NAR)、相対生長率(CGR)の低下が少ない。しかし稲体の養分吸収は、稲わら施用によって、分けつ初期のりん酸吸収量の低下と分けつ盛期以後の窒素吸収抑制がみられ、生育量が低下するケースが多く、施肥技術によって肥効増大をはかる必要がある。とくに台地上の多湿黒ボク水田ほど、冷水条件下で基肥施肥窒素減肥によって生育量が低下することと、稲わらの有機化、固定によってとりこまれた窒素の再無機化量が少なく、最高分けつ以後の窒素供給ものぞめないため、基肥施肥窒素の増肥と分けつ期の追肥が有効である。また低地の多湿黒ボク水田は、土壌中の有効態りん酸含量が多い土壌であっても施肥りん酸量の減肥で明らかに生育、収量が低下することから、窒素施肥改善のみでなく施肥りん酸は基準量⁴³⁾以下



第20図 稲わら還元技術と稲作の安定化(生育障害発生機構と技術対策を中心として)

にしないようにする。

グライ水田土壌は、北上川中南部流域に位置する沖積地(北上市二子)の試験が主である。秋すき込みの稲わら分解量は30~35%と少ない⁴¹⁾。グライ水田の場合、稲わらは堆肥として施用するのがぞましい。しかしコンバインやハーベスター切断わらを集積して堆肥化するには多大の労力を要することから、圃場の数十ヶ所に稲わら50~70kg相当を簡易に堆積して、表面にのみ石灰窒素や乾燥けいふん、市販の分解促進剤を散布しておくことによって腐熟促進の効果が高いことを示した。

グライ水田は、稲わら還元によって本田初期から土壌中の Eh が低下し、二価鉄の生成量が急激

に増加して異常還元状態になり易く、水稻の初期生育や窒素、りん酸の吸収量が低下する。とくに稲わら還元初年目の現地グライ水田における重窒素利用による施肥窒素と土壌窒素の吸収利用は、稲わら無施用に対して分けつ期の施肥窒素吸収が1/3~1/2減少し、土壌窒素吸収低下が少ないことから、稲わら分解にともなう初期窒素の有機化と固定は施肥窒素が主である。しかし有機化、固定された施肥窒素は、再無機化によって幼穂形成期~出穂期にかけて徐々に吸収利用されており、施肥窒素の後期利用がなされている。このことは、志賀⁴⁴⁾、関矢等⁴⁵⁾が報告しているように、寒地稲作ほど幼穂形成期~出穂期の窒素吸収が重要であり、

この期の吸収量は土壌由来の窒素の他に基肥窒素の有機化、無機化のターンオーバー、下層移動集積分の吸収がなされ基肥窒素の緩効化と地力的な供給として重要であることを指摘しており、稲わら還元技術はいっそうこのことを特徴づけている。

また現地のグライ水田圃場における稲わら還元による阻害程度は、限られた規模のポットや枠試験と異り、三ヶ年の大規模圃場で実証した結果、同一基肥窒素量で穂肥無施用条件の場合、稲わら秋すきこみと石灰窒素同時施用は、堆厩肥と同等かそれ以上の収量水準を得た。さらに稲わらアール当り70kgと40kgの施用量による収量差が認められないことから、グライ水田においても全量還元の可能性が示唆された。

褐色低地水田土壌は、灰色低地水田と同様、主に河川流域の沖積地に分布する 경우가多く、湛水期間の透水が得られ易く、肥沃度が高い土壌が多い。また県中南部の稲作期間における温度条件が恵まれた地帯の分布が多く現在の稚苗機械移植栽培⁴⁶⁾、過大生育となり易く、過剰穎花による登熟不良が懸念される土壌タイプである。稲わら還元に伴う土壌のEh低下や二価鉄生成は、グライ水田土壌なみに進行するが短期間で回復が早く、水稻の初期生育抑制もグライ水田土壌ほどではない。また土壌の肥沃度が高く、酸化のために稲わら施用によって原土のアンモニア生成様式に大きな差異がなく、土壌中の蓄積りん酸が高い水田にあっては、稲わら施用によって土壌りんの有効化がうかがわれる。

さらに褐色低地水田土壌の稲わら還元は、施肥窒素の有機化や無機化によって、稲体の肥効調整機能が生じ、受光態勢を改善し、過剰穎花を防止するとともに後期の窒素供給力の増大、珪酸、加里等の養分吸収増加によって登熟機能を高め収量向上に役立つことを明らかにした。

一方、稲わらを水田に長期にわたって還元している連用農家は、県中南部の稲作地帯で機械移植の導入が早く、透水が得られ易い水田の土壌基盤や土壌型が選ばれている場合が多い。実際に稲わらを14年以上連用している圃場において窒素の施肥反応を中心に解析した結果、従来の堆厩肥連用田と異り、温度上昇によって土壌窒素の無機化が急激に促進され、とくに基肥窒素量が多水準ほど過大生育となり易く、稲わら長期連用田は基肥窒素の減肥が必要である。また穂肥窒素の施用によ

って土壌窒素の無機化が促進され生育後期まで土壌窒素のとりこみがみられることから、稲わら長期連用田は、基肥窒素の適正化のみでなく、土壌窒素の発現量を考慮した穂肥の施用時期、量を決定する必要がある²⁹⁾。

さらに現地の稲わら長期連用田は、土壌中の全有機物が増加し、炭素/窒素比が高まる。また全窒素に対する全有機態窒素の割合が明らかに高まり、塩基置換容量の増大も見られ、置換性加里含量の富化が著しいことが特徴的である。土壌の物理性においては、堆厩肥連用田との差異がなく、従来堆厩肥がはたして来た水田の総合的な地力維持、増強の役割は十分はたしていると思われ、稲わら連用によって土壌の有機物水準は明らかに高まる。

稲わらは、稲作の地力培養として、優れた有機物資源である。今後の機械化稲作における稲わらの直接還元は、粗大有機物として稲わらの特性を有効に活用するとともに、積極的に土壌の有機物水準を高め⁴⁷⁾、水田の総合的な地力維持、向上をはかる必要がある。

VI 摘 要

1. 春すき込みの稲わらは、温度上昇にともなって急激に分解する。稲わらの乾物分解率は、6月中旬で25%、7月上旬40%、8月中旬に50~60%の分解率を示す。易分解性の炭水化物の分解量も乾物分解と同様の傾向を示し、7月中旬で約60%の分解率を示す。

2. 本県における稲わらの秋散布、秋すき込みの分解量は、30~40%となり、この分解量は、暖地の40~50%分解量に対して低い値となった。

3. 稲わらの秋散布、秋すき込みの各種分解促進剤施用効果は、いずれも石灰窒素におよばない。しかし各種有用菌入り分解促進剤は、土壌改良資材と窒素質肥料の同時散布によって分解率が高まる。またコンバインやハーベスター処理の切断稲わらは、1ヶ所60~70kg程度堆積し、表面に石灰窒素や乾燥鶏ふんの散布によって簡易に堆肥化がはかられる。

4. 稲わら施用による土壌環境の変化と可給態養分の動向は、土壌条件によって異り、多湿黒ボク土壌は土壌の還元進行が緩慢である。褐色低地土壌とグライ土壌は、湛水直後よりEhの低下が著しく、二価鉄の生成量が多い。

土壌中のアンモニア窒素は、稲わら施用によ

て25～35%減少した。また置換性加里は、各土壌ともに稲わら施用によって高く推移する。

5. 水稻の初期生育におよぼす稲わら施用の影響は、草丈、莖数、葉面積、相対生長率、純同化率いずれも、グライ土壌>褐色低地土壌>多湿黒ボク土壌の順に阻害度が高まった。

6. 水稻の養分吸収は、多湿黒ボク土壌は、初期の窒素吸収抑制が少ない。しかし、稲わらの分解がすすむにつれて吸収が抑制され最高分けつ期までに約20%の吸収量低下となった。褐色低地土、グライ土壌は、分けつ初期から窒素吸収が抑制され、23～25%低下した。さらに分けつ盛期には、褐色低地土壌24%、グライ土壌43%の吸収抑制となった。その後褐色低地土壌の吸収量は回復し、グライ土壌の回復は緩慢である。

7. 現地のグライ水田における重窒素利用による施肥窒素の吸収、利用は、稲わら施用によって、分けつ期間中の施肥窒素吸収量が約 $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ に減少し、利用率も低下した。しかし、稲わらの有機化、固定にとりこまれた施肥窒素は再無機化によって徐々に吸収、利用される。

8. 現地圃場における稲わら還元技術を実証した結果、稲わらの秋すき込みで石灰窒素と土壤改良資材の同時施用効果が高く、稲わら施用の基本技術として重要である。またグライ水田において、稲わら全量還元の可能性を示した。

9. 稲わらの長期連用田は、土壌の窒素供給力が増大して、基肥多水準ほど過大生育となり易く、生育収量が不安定になることから、減肥することのぞましい。

また稲わら長期連用田ほど、温度上昇によって土壌窒素の無機化量が急激に増大し、幼穂形成期を中心とした稲作期間の最も重要な時期に発現する。さらに穂肥の施用によっても土壌窒素の無機化が促進され、後期まで土壌由来窒素のとりこみが増大する。

10. 稲わら連用土壌は、土壌中の全有機物が増加し、炭素/窒素比が高まる。そして全窒素に占める全有機態窒素の割合が高まり、塩基置換容量がやや高く、置換性加里含量の富化が著しいことが特長である。また土壌の物理性は、堆厩肥連用土壌と差異がなく、従来堆厩肥がはたして来た水田の総合的な地力維持、増強の役割は十分はたしている。

引用文献

- 1) 農林水産省技術会議事務局：水田における稲わらの施用法と施用基準 1～199(1968)
- 2) 中国地域技術連絡会議事務局：水田における稲、麦わらの施用法に関する研究 1～149(1970)
- 3) 吉沢孝之：水田における稲、麦わらの施用とその効果(1～3) 農業技術 26 349, 407, 456(1971)
- 4) 坂井 弘：生わらの土壌における分解過程の簡易調査法について 中国農業研究 34 26～27(1966)
- 5) 作物分析法委員会：栽培植物分析測定法 285 養賢堂(1975)
- 6) 熊田恭一：土壌有機物の化学 171～198 東大出版会(1977)
- 7) 農林水産省農蚕園芸局農産課(井ノ子昭夫編)：堆厩肥等有機物分析法 — 各種有機物の腐熟度の考え方 — 1～37(1979)
- 8) 北海道立上川農業試験場：寒冷地における水田の地力増強等による稲作の安定化資料(1976)
- 9) 川口柱三郎：水田土壌学 1～457 講談社(1978)
- 10) 熊沢喜久雄：分光法による重窒素の定量：RADIOISOTOPES Vol 21 No 10 37～47(1972)
- 11) 狩野広美、米山忠克、熊沢喜久雄：発光分析法による重窒素の定量について 土肥誌 45 549～559(1974)
- 12) 塩入松三郎：土壌肥料講話 朝倉書店(1953)
- 13) 高井康雄：水田土壌の還元と微生物代謝 農業技術 16 1～4, 51～53, 122～126, 162～166, 213～216(1961)
- 14) 木村 悟：水田土壌における二価鉄の役割について 農業技術研究報告 B-21 1～114(1969)
- 15) 浅野輝男：水田土壌における遊離酸化鉄の行動に関する研究 土肥誌 41(1～4) 4, 45, 48, 56(1970～1971)
- 16) 山根一郎・佐藤和夫：湛水土壌の Eh 測定法に関する二、三の問題点 土肥誌 39 535～542(1968)

- 17) 後藤重義・鬼鞍 豊：稲わら存在下における有機酸の生成と水稻の生育 九州農試報 13 173 (1969)
- 18) 原田登五郎：水田土壌の地力窒素に関する研究と水稻安全多収栽培の基礎 原田登五郎教授退官記念事業会 17～82 (1974)
- 19) 林 龍三：土壌の易分解性有機態窒素に関する研究 九大農肥料学研究室報告 3 1～96 (1965)
- 20) 松口龍彦：水田の生物的窒素固定と稲わらの施用効果 土肥誌投稿中
- 21) 長井武雄：稲わら施用による水稻の初期生育障害に関する研究(第1～第2報) 鳥取大学農学部研報 25 1～13、14～20、(1973)
- 22) 千葉満男・平野 裕・佐々木信夫：沖積水田における地下水位の高低と堆肥、生ワラ連用に関する研究 土肥講要 20 PART II 21 (1974)
- 23) 農林水産技術会議事務局：農林水産試験研究のための統計的、数学的方法 187～210 (1972)
- 24) 奥野千恵子：2 m型直交表実験の解析 農林研究センター報告 A-1 35～42 (1967)
- 25) 土壌養分測定委員会：土壌養分分析法 201～205 養賢堂 (1970)
- 26) 大羽 裕：土壌腐植研究法Ⅱ、弘法、大羽法 ペトロジェスト 8 108～116 (1940)
- 27) 農林水産省東北農試編：昭和51年度異常気象による水稻 畑作物被害の実態と解析 1～313 (1979)
- 28) 岩手県農業試験場：土壌肥料に関する成績書(水稻) (1974～1976)
- 29) 千葉満男・島津了司・青木信夫・内田修吉：稲わら連用田の施肥法 東北農業研究 21 105～106 (1978)
- 30) 岩手県農業試験場：昭和51年地力実態調査成績書 36～42 (1977)
- 31) 甲斐秀昭・橋本秀教：土壌腐植と有機物 1～206 農文協 (1976)
- 32) 志賀一一・関矢信一郎：高位収穫田の環境と水稻生育特性の解析 北海道農試彙報 99 30～40 (1971)
- 33) 本谷耕一：稲作多収の基礎条件 1～190 農文協 (1966)
- 34) 南 松男：寒冷地水田におけるイネ、ワラ連用の影響について 北海道立農試集報 23 71～79 (1971)
- 35) 上野正夫・斉藤昭四郎・小南 力・鈴木 正：水稻に対する有機物および土壌改良資材の施用効果 山形農試研究報告 12 57～85 (1978)
- 36) 西村征夫・久末 勉：有機物(堆肥、稲わら)からの窒素供給 東北農業研究 21 109～110 (1978)
- 37) 浅見輝男：水田土壌中における窒素化合物の有機化および無機化に関する研究(4) 土肥誌 42 97～102 (1972)
- 38) 武藤和夫・千葉満男・内田修吉：岩手における稲わら還元と稲作の安定化 第2報 稲わら施用による土壌環境の変化と水稻の養分吸収 土肥講要 24 PART II 34 (1978)
- 39) 高坂 巖：水稻に対する有機物施用の効果 農業技術 29 7～11 (1974)
- 40) 岩手県農業試験場：地力保全基本調査総合成績書 1～714 (1978)
- 41) 島津了司・千葉満男・内田修吉：岩手における稲わら還元と稲作の安定化 第1報 稲わらの分解過程について 土肥講要 24 PART II 33 (1978)
- 42) 千葉満男・島津了司・内田修吉：岩手における稲わら還元と稲作の安定化 第3報 稲わら還元の技術要因と土壌タイプ別稲わら施用法 土肥講要 24 PART II 34 (1978)
- 43) 岩手県農務部：農作物の施肥基準 1～30 (1979)
- 44) 志賀一一・関矢信一郎：寒地における高収水稻のための窒素供給法 北海道農試研究報告 116 121～137 (1976)
- 45) 関矢信一郎・志賀一一：北海道における水田土壌中の窒素の動態と水稻の窒素吸収パターンについて 土肥誌 46 280～285 (1975)
- 46) 千葉満男・清原悦郎：岩手県南地方におけるササニシキの窒素施肥法に関する研究 岩手農試報告 21 1～35 (1978)
- 47) 山下鏡一：水田における有機物の効果と問題点 土肥誌 49 特集号 52～60 (1978)