

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報）

稲わらの施用が水稻の初期生育に及ぼす影響

長 井 武 雄

(鳥取大学農学部農芸化学科)

Studies on the Growth Retardation of Lowland Rice Plants resulting
from the Application of Straw (Part I)

The Effects of Straw-Application on the Growth of Rice Plants

Takeo NAGAI

(Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University)

The raw rice-straw was divided into five components : ether-soluble, ethanol-soluble, hot water-soluble, lignic and residual parts, by successive extraction. These components, obtained from 30 g of the straw, were mixed with 3 kg of the air-dried alluvial paddy soil or sandy soil respectively and then each mixture was placed in 4 liter pots. Immediately after submergence of the soil, the seedlings of a rice variety, Yamabiko, were transplanted.

Among the five components, the ethanol-soluble one was most effective upon the retardation of growth. An increase of fertilization level did not have the effect of relieving the retardation. Generally, the application of straw to the alluvial soil resulted in the harmful uptake of iron by rice plant. In a sandy soil low in iron content, however, the iron uptake by the rice plant was very small, though the retardation was marked because of ethanol-soluble component.

From these results it is difficult to consider that the nitrogen starvation or the harmful uptake of iron are the essential factors of retarded growth by the application of straw to the soil.

緒 言

水田への稲わら施用には、収穫に伴う不要物を如何に効率的に処理するかという面と、有機物資源として水田の地力維持、増強へ積極的に活用しようという二つの面がある。地力維持、増強に対する効果については、連年施用の影響を明らかにしなければならないが、施用当年の効果についてはNなどの肥効調整作用が重要であると考えられる。

もともと、水田へ有機物を施用すればその分解過程に Fe(II)^{1,2)}、硫化物^{3,4)}、揮発性有機酸^{5~9)}、CO₂^{10,11)} などのいわゆる有害因子、あるいは有効態Nの微生物的固定作用 (Immobilization)^{12,13)} など、多少とも水稻の初期生育を不利にする要因の生成が伴うのはさげがたい。これらの有害因子はいずれも根の健康を左右する外的要因として働き、生育初期の水稻に種々の影響を与えるが、その抑制が軽度であればかえって後期の栄養状態

を良好にし、登熟にもよい影響を与えることになる。これに反し、初期生育の障害が著しい場合には生育が遅延して出来おくれとなり、登熟が不良となって減収する。したがって、稲わらのすき込み時期、施用量あるいは土壤中における稲わらの分解過程などに関して多くの試験研究^{14,15)}が行なわれ、今日では各地域ごとの施用基準がほぼ確立されるに至っている。

しかし、稲わら施用による障害の本質もしくは原因については、必ずしも一致した見解が得られておらず、また障害にはこれらの有害因子の作用だけで説明しきれない面も含まれているようである。たとえば、西日本に限っても、稲わらの施用 12~24ton/ha という条件下でさえ水稻の有機酸による障害を明確に実証することができず、むしろ嫌気性細菌類の活発な増殖とそれに伴う N などの有効態成分の固定に起因する一時的な養分の欠乏状態に、原因を求むべきであるとする九州農試の報告⁹⁾があり、これに対し、連用 4 年目のライシメーター試験で、初期生育は著しく抑制されていても稲わら施用量が多いほど土壤 NH₄-N の含量は高く、みかけ上 N 飢餓現象はみられない、という島根農試の試験成績¹⁶⁾もある。

最近、INAMATSU¹⁷⁾によって稲わら及びそのコンポストから植物の生育阻害物質として知られている P-クマリン酸¹⁸⁾が分離され、また GUENZI ら¹⁹⁾によって、マルチ材料として使用された麦稈に由来する二、三のフェノール性カルボン酸が作物の生育阻害の原因になると報告されている。このような植物体成分の分解に由来する数種の有機化合物が、経根的に作物に吸収されて生理作用に影響を与えることは明らかであり²⁰⁾、土壤溶液中の濃度が作物の生育を十分に阻害できるほど高くなっている場合も知られている²¹⁾。これらの諸研究の結果からみると、稲わら自身に由来するか、あるいはその分解によって生ずる二、三のフェノール性カルボン酸類も水稻の初期生育を抑制する因子として無視できないように思われる。

以上のような観点から、著者は稲わらもしくはその分

解に由来する生育阻害物質が、水稻の初期生育にとって有害因子としての役割を演ずるか否かを検討し、さらにこれら阻害物質の湛水土壤中における動態を明らかにしようとして一連の研究を計画した。まず本報告においては、二、三の抽出剤を用いて稲わらから逐次抽出して得た 5 個のフラクションのうち、何れが有害な影響を与えるかを明らかにし、これによる生育の阻害と従来指摘されている N 飢餓、あるいは Fe の過剰吸収との関係につき、若干の検討を試みた。

実 験

実験 1. 稲わらから逐次抽出された 5 個のフラクションが水稻の生育に及ぼす影響

(1) 実験法

a) 供試土壤

本実験で水稻の栽培に用いた土壤は、旧鳥取県農業試験場（鳥取市吉成）水田圃場から得られた沖積土壌である。おもな性質を示すと第 1 表のとおりである。

b) 稲わらの分画

供試稲わら（品種ヤマビコ）は本学付属農場で標準栽培を行なって得られたものである。Wiley 型粉砕器で処理し、2 mm の篩を通過したものを採り、次に述べる方法で 5 個のフラクションに分別した。

エーテル抽出……わら粉末を円筒濾紙につめソックスレー脂肪抽出器を用いて 24 時間エチルエーテルにて可溶部を抽出する。抽出液のエーテルを溜去し残った固形分をアセトンに溶し、これを数倍量の水に注ぎ入れて懸濁液をつくる。ついで、水を補足しながらくりかえし減圧濃縮して出来るだけアセトンを溜去する。最後に得られた水懸濁液をエーテル可溶部として供試する。

エタノール抽出……上記エーテル抽出の残渣を還流冷却管を付した三角フラスコに入れ、80%エタノールを加えてウォーターバス中で 2 時間加熱抽出する。この抽出操作を 3 回くりかえす。抽出液を吸引濾別したのち、減圧

第 1 表 供 試 土 壌 の 性 質

pH		Y ₁	C.E.C m.e.	置換性塩基 m.e.				塩基 飽和 度 %	C %	N %	C/N	熱 HCl 可溶		磷酸 吸収 係数	可給態 SiO ₂ mg	土 性
H ₂ O	KCl			Ca	Mg	K	Na					Fe ₂ O ₃ %	MnO %			
5.80	4.92	0.265	11.78	6.84	2.44	0.08	0.04	79.8	2.23	0.16	13.9	5.74	0.15	634	15.2	SiCL

下でエタノールを溜去し固形物を水に懸濁させる。これをエタノール可溶部として供試する。なお、この抽出物は乾物中28.1%の可溶性糖を含んでいた。

熱水抽出……エタノール抽出残渣をガーゼで作った袋に入れ、アルマイト製ケトル中で蒸溜水を加え2時間煮沸して抽出液を得る。これを沪別し熱水可溶部として供試する。

リグニンの分離……熱水抽出残渣を PHILLIPS 法²²⁾に従って処理し、かくして得られたアルコールリグニン含有液を圧搾分離する。アルカリ性の分離液をHClで中和し、ついで減圧下でエタノールを溜去する。残渣液を水で数倍にうすめ、これにHClを加えるとリグニンが分離し沈澱する。沈澱を遠心分離し、水でよく洗滌したのち凍結真空乾燥して粉末状のリグニンを得る。

抽出残渣……リグニンを分離した残渣を洗滌液がリトマス中性になるまで水で洗滌する。これを風乾し抽出残渣として供試する。これはHCl及びH₂SO₄で加水分解すると、それぞれ26.0%及び61.2%、合計87.2%の還元糖を生ずるので、大部分はセルローズから成り、これに少量のヘミセルローズが含まれていると判断される。

以上のようにして得られた5個のフラクション及び原稲わら粉末の三要素含有率を示すと、第2表のとおりである。

第2表 供試稲わら及び分別フラクションの三要素含有率

試料	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
稲わら	0.56%	0.22%	1.15%
エーテル可溶部	0.48	0.19	0.26
エタノール可溶部	0.52	0.27	5.22
熱水可溶部	1.38	2.75	9.09
リグニン	1.80	—	0.08
抽出残渣	0.41	0.01	0.01

これによると、それぞれエタノール可溶部はK₂O含有率、熱水可溶部はN、P₂O₅及びK₂O含有率、そしてリグニンはN含有率が高い。

c) 試験区の構成と水稻の栽培法

試験区の構成及び各区に添加された有機物量を示すと第3表のとおりである。

すなわち、3Kgの風乾土壌にそれぞれ土壌量の1%に

第3表 稲わら及び分別フラクションの1ポット当り添加量とそれに付随する三要素量

試験区	1ポット当り添加量	付随要素量		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
稲わら区	30.0g	0.17g	0.07g	0.35g
エーテル可溶部区	0.4	微量	微量	微量
エタノール可溶部区	3.2	0.02	0.01	0.17
熱水可溶部区	1.8	0.02	0.05	0.16
リグニン区	1.5	0.03	微量	微量
抽出残渣区	21.0	0.09	微量	微量

相当する30gの稲わら粉末、及びこれと同量の稲わらから分離された5個のフラクションを加えた。5個のフラクションのうちエーテル可溶部、エタノール可溶部及び熱水可溶部は水懸濁液あるいは水溶液の形で、また他のフラクションは粉末で与えた。肥料は各試験区に共通とし、基肥として塩加磷安1号(14—14—14)を用い、N1.0g相当量を有機物の添加と同時に水溶液で土壌に混和した。これらの土壌を5千分の1アール・ワグネルポットに填め、ただちに水道水を注入して湛水状態とした。湛水2日後の6月7日に未分けつ水稻苗(品種ヤマビコ)3本を1株として1ポットに1株宛移植した。追肥には幼穂形成期に塩安を用い、N0.2g相当量を与えた。

水稻の生育期間中ポットを屋外に静置し、必要に応じて病虫害防除のために薬剤撒布を行なった。対照区における出穂開始日は8月25日であった。収穫日は10月1日で、全処理区同時に行なった。なお、本試験は各処理区を2連制とした。

(2) 実験結果

水稻の生育期間中に行なった草丈及び基数の調査結果を第4表に示した。

稲わら区の水育には明らかな遅れがみとめられ、分けつ最盛期頃(7月13日)の基数は対照区の半数に過ぎない。

各種分別フラクションを添加した区についてみると、エタノール可溶部区及び抽出残渣区の水育が著しく抑制されている。エタノール可溶部には乾物中30%に近い糖が含まれており、これらが湛水後速やかに分解して強く土壌を還元し、Fe(II)など多量の有害因子を生ずることは推察に難くない。しかし、エタノール可溶部の添加量が抽出残渣の7分の1程度にすぎないけれど、生育抑制の効果がより著しいのは注目すべきである。

第4表 生育調査の結果

(1ポット当たり平均)

試 験 区	6 月 22 日 ¹⁾		7 月 13 日 ²⁾		7 月 29 日 ³⁾		9 月 7 日 ⁴⁾		収穫時 穂 数	有効茎 歩 合
	草 丈*	茎数**	草 丈	茎 数	草 丈	茎 数	草 丈	茎 数		
対 照 区	34.0	6.5	56.8	35.0	61.5	70.0	89.8	49.5	48.0	68.6
稲 わ ら 区	28.5	3.0	33.5	16.0	57.0	46.5	89.0	51.5	51.0	91.1
エーテル可溶部区	31.5	3.5	51.3	38.0	60.0	64.5	93.5	53.0	49.5	76.7
エタノール可溶部区	18.0	3.0	19.6	3.0	40.0	12.0	88.0	44.0	40.0	87.9
熱水可溶部区	32.0	4.0	51.5	34.0	63.0	66.0	92.0	50.0	50.0	75.8
リグニン区	32.0	4.5	55.0	36.5	62.5	64.0	93.5	48.5	44.5	69.5
抽出残渣区	22.5	2.5	25.0	3.0	45.5	17.0	90.0	37.5	29.5	66.3

*) cm, **) 本/ポット

1) 分けつ開始期 2) 分けつ最盛期 3) 最高分けつ期 4) 登熟期

つぎに収穫物重量の調査結果を第5表に示す。

初期における生育の抑制にもかかわらず、1%相当量の稲わらの添加は、むしろ後期の生育を旺盛にしており有効茎歩合、稔実粒数の増大など収量構成要素により影

響実粒重はそれぞれ対照区の56%及び59%を示すに止まった。

第1図に1ポット当たり茎葉重とN及びFe含有率との関係を示した。Nについてみると、エタノール可溶部区及び抽出残渣区はかなり高い値で、これらの区は生育が遅れたため後期に多量のNを吸収したことが示される。またFeについてみると、とくに抽出残渣区における生育の障害には、多量のFe吸収を伴っていることが判る。

第5表 収量調査の結果

試 験 区	茎 葉 重	穂 重	穂重/茎葉重	稔 実 粒 重
対 照 区	77.9g	63.1g	0.81	52.8g (100)
稲 わ ら 区	68.9	56.9	0.83	51.5 (97)
エーテル可溶部区	72.6	56.5	0.78	51.2 (97)
エタノール可溶部区	48.6	46.1	0.95	29.4 (56)
熱水可溶部区	83.7	66.0	0.79	61.5 (116)
リグニン区	75.2	61.1	0.81	57.4 (108)
抽出残渣区	44.6	42.1	0.94	31.4 (59)

実験 2. 組成の異なる稲わらが 水稻の初期生育に及ぼす影響

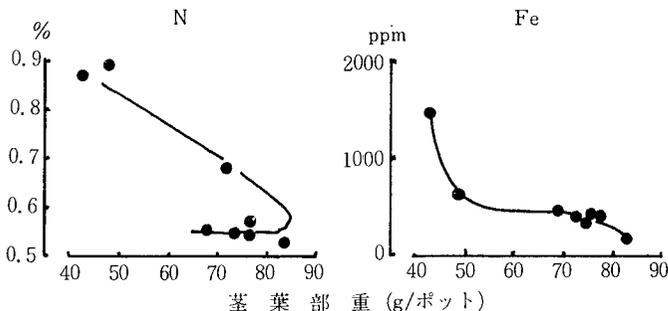
響を与えて、稔実粒重は対照区に比べてほとんど差を示していない。生育抑制が著しかったエタノール可溶部区及び抽出残渣区では、生育の回復が遅れたため、結局、

本実験においては、稲わらを構成する5個のフラクションのうち、1種あるは数種のを除去してそれぞれ組成の異なる稲わらを調製した。そしてこれらが初期生育に与える影響を調査して、前項実験1.で認めたエタノール可溶部及び抽出残渣の生育抑制効果を再検討することにした。

(1) 実験法

供試土壌及び稲わらの処理法は実験1.の場合と同様である。試験区の構成及び有機物の添加量は第6表に示すとおりである。

6月8日に3Kgの風乾土壌と各種有機物及び基肥をよく混和し、5千分の1ア



第1図 茎葉部の重量とN及びFe濃度との関係

ール・ポットに填め、直ちに水道水を注入して湛水状態とする。2日後の6月10日に水稻苗(ヤマビコ, 末分けのもの) 3本を1株として各ポットに1株宛移植した。基肥は塩加磷安 284号(12-18-14)を用い、各ポットにNとして0.8g相当量を液肥として与えた。移植後の栽培管理法は実験1の場合と同様である。

(2) 実験結果

各試験区について、対照区の分けつ最盛期頃(移植25日後)と最高分けつ期(移植39日後)に調査した茎数及び出穂開始日を第6表に示した。

これによると、エタノール可溶部が残っている稲わらを添加した場合には、生育の遅延が著しく、この影響は出穂開始日の遅れにまで及んでいる。とくにエタノール可溶部が遊離形態で添加された場合には、このフラクションが単独添加であるか、あるいは他のフラクションとの併用添加であるかに拘らず、阻害作用はいっそう著しくなっている。

た場合には、生育の抑制は遊離形態の場合ほど著しくない。出穂もせいぜい対照区から2~3日遅れて始まる程度である。

以上の結果から、稲わら施用による水稻の初期生育の抑制は、エタノール可溶部などの易溶性かつ易分解性フラクションに負うところが大きいと判断される。稲わら中のセルローズなどいわゆる膜物質を構成する炭水化物は、それ自身土壤中中で分解しやすいフラクションであるとしても、リグニン部と複合形態をなしているの、湛水初期の急速な分解がおさえられ、水稻の初期生育にエタノール可溶部ほど悪影響を及ぼさないと考えられる。

実験3. 施肥量が稲わらによる初期生育の抑制に及ぼす影響

本実験においては、稲わらの分解に伴って土壤中の可給態Nが不足し、これが初期生育の抑制にとって直接的な、また不可欠な要因として影響を与えるか否かを検討することにした。このために、稲わら粉末、同稲わら

第6表 供試稲わらの組成、添加量及び水稻の生育状況

稲わらの組成					添加量 (g/ポット)	茎数		出穂はじめ 月日	
エーテル 可溶部	エタノール 可溶部	熱可 溶部	水部	リグニン		抽 残	出 渣		移植後 25日*
●	●	●	●	●	30.0	●	12.0	42.0	8. 28
	●	●	●	●	29.5	●	12.5	34.0	8. 28
○	○	●	●	●	30.0	●	3.0	11.0	9. 1
	○	●	●	●	29.5	●	4.0	13.5	8. 31
	○				4.0		3.0	10.0	9. 2
○	●	●	●	●	30.0	●	9.5	30.5	8. 28
○		●	●	●	26.0	●	20.0	48.5	8. 27
		●	●	●	25.5	●	17.5	49.0	8. 27
			●	●	23.7	●	22.0	49.5	8. 24
				○	23.7	○	6.0	21.0	8. 28
					22.0	○	5.0	20.0	8. 30
対 照					—		27.5	69.0	8. 24

*) 対照区の分けつ最盛期頃 **) 対照区の最高分けつ期

○遊離形態

●複合形態

つぎに抽出残渣による影響をみると、このフラクションが遊離形態で添加された場合には、たとえリグニン部と共存してもエタノール可溶部と同様に著しい生育抑制を示している。しかし、リグニン部と複合形態で共存する場合、すなわち、エタノール抽出の残渣として添加され

粉末からエーテル及びエタノール可溶部を抽出除去した残渣、及び沪紙粉末をそれぞれ1%レベルでポット内の土壤に添加しN施用量を2段階として水稻を栽培した。そしてそれぞれの区における初期生育の抑制状況、植物によるN吸収量及び試験終了後における土壤中のNH₄-

N量などを互に比較した。

(1) 実験法

a) 実験材料

本実験に供試した土壌及び稲わらは実験1.の場合と同じである。沪紙粉末は市販沪紙（東洋沪紙No. 2）を細断し、さらに Wiley 式粉碎机で粉末状態にしたものである。稲わらからエーテル及びエタノールでそれぞれの可溶部を逐次抽出する方法は実験1.の方法に従った。

b) 試験区の構成及び水稻の栽培法

試験区の構成を示すと第7表のとおりである。

すなわち、何れの場合も土壌 2.5Kgと有機物25gをよく混合してからワグネルポットに填めたが、インキュベーション期間が0日の区は有機物と肥料を同時に混入し、ただちに灌水、移植を行ったもの（以下、直後灌水処理と称す）であり、また45日の区は有機物を混入したのち、畑土壌の水分状態でガラス室に静置しておき、45日経ってから施肥と共に灌水、移植を行ったもの（以下インキュベーション処理と称す）である。インキュベーションの開始は5月15日で、1日1～2度適宜に灌水し

て、土壌水分量が飽和容水量の40～60%を維持するようつとめた。インキュベーション期間中、毎日の気温と最高気温時の土壌温度（表面下7～8cmの部位）の測定結果から、おおよそ日中は25～35℃の温度で有機物の分解が進んだように考えられる。

6月30日、両処理とも同時に施肥、灌水、移植を行った。肥料は塩加磷安284号を用い、施用量はNとして1ポット当たり1.0gと0.2gの2段階とした。供試苗は品種ヤマビコ、末分けつものを選び、各ポットに2本宛1株として移植し7月20日まで20日間栽培を続けた。各区2連制とし、栽培期間中3回、すなわち移植10日後、15日後及び20日後に毎回500mlずつポットの排水口より排水を採取した。

c) ポットの排水及び跡土壌の採取と分析法

各ポットの排水口につめたゴム栓に、内径6mmのガラス管を挿入しておき、これに長さ10cm程度の黒ゴム管を付し、通常、先端を二つ折りにしピンチコックで止めておく。排水の受器として、先端部が底までとどく導入用ガラス管を付けた1ℓ容三角フラスコを用いる。

排水の採取に際しては、フラスコの導入用ガラス管をポット排水口の黒ゴム管に連結する。排水500mlの採取には30分ほどを要するので、その間採取した水が空気と接触するのをさけるため、フラスコ内に予め少量の流動パラフィンを入れて置き、このパラフィン膜が常に採取した排水の表面を被るようにした。また、重力水の大部分が流出した状態で、排水量が500ml程度になるよう通常灌水量を調節しながら栽培を続けた。

同一処理を行った2ポットの排水のうち、1ポットについてはpHと電気伝導度（東亜電波、GM-3M型を使用）を、また他の1ポットについてはFe(II)濃度（ α , α' —ジピリジル法による比色²³⁾）とNH₄—N濃度（ネスラー法による比色）を測定した。

3回目の排水を抜きとったのち、Fe(II)及びNH₄—Nの濃度測定に使用したポットに径50mmの円筒採土器を差込み、2ヶ所から跡土壌分析用試料を採取した。これを直ちに2～3mmの薄層に広げ、天日下で乾燥した。

第7表 試験区の構成

試験区	N 施与量 (g/ポット)	インキュベーション期間 (日) (畑地状態)	添加有機物
1. 1.0—0—O	1.0	0	—
2. 1.0—0—S	1.0	0	稲わら*
3. 1.0—0—R	1.0	0	抽出残渣**
4. 1.0—0—C	1.0	0	沪紙***
5. 1.0—45—O	1.0	45	—
6. 1.0—45—S	1.0	45	稲わら
7. 1.0—45—R	1.0	45	抽出残渣
8. 1.0—45—C	1.0	45	沪紙
9. 0.2—0—O	0.2	0	—
10. 0.2—0—S	0.2	0	稲わら
11. 0.2—0—R	0.2	0	抽出残渣
12. 0.2—0—C	0.2	0	沪紙
13. 0.2—45—O	0.2	45	—
14. 0.2—45—S	0.2	45	稲わら
15. 0.2—45—R	0.2	45	抽出残渣
16. 0.2—45—C	0.2	45	沪紙

*) 2mm篩通過の粉末, **) 稲わら粉末からエーテル及びエタノール可溶部を抽出した残渣。

***) 東洋沪紙 (No. 2) を細断し粉末にしたもの。

(2) 実験結果

湛水移植後10日経ってから、5日毎に3回に亘って抜きとった排水の分析結果を示すと、第8表のとおりである。

区の生育が最も劣り、そしてその抑制程度は施肥量の多少にほとんど影響されていないようである。インキュベーション処理をした区では、有機物添加による生育の抑制は全くみとめられず、本実験のインキュベーション処

第8表 排水の分析結果

試験区	pH			比伝導度(m Ω , 25 $^{\circ}$ C)			Fe ²⁺ 濃度 (ppm)				NH ₄ -N 量 (mg)			
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	平均	第1回	第2回	第3回	合計
1.0 —0—O	6.6	6.5	6.5	1.61	1.10	1.22	5.6	8.4	6.8	6.9	109	64	51	244
" —S	6.3	6.6	6.5	1.75	1.30	1.32	68.3	106.6	93.0	89.4	122	96	77	295
" —R	6.6	6.7	6.6	1.96	1.24	1.20	29.6	99.0	53.0	60.5	118	80	57	255
" —C	6.7	6.6	6.6	2.17	1.31	1.16	4.8	9.2	31.0	14.3	145	78	55	279
1.0 —45—O	6.8	6.8	6.7	2.50	1.38	1.18	0.2	0.1	0.2	0.2	146	83	39	268
" —S	6.8	6.7	6.5	1.92	1.31	1.49	0.5	0.8	2.0	1.1	103	70	52	225
" —R	6.9	6.8	6.6	1.89	1.25	1.20	0.8	0.9	1.9	1.8	111	72	41	224
" —C	7.0	6.9	6.7	2.27	1.40	1.35	5.0	8.2	18.5	10.6	126	79	51	256
0.2 —0—O	6.7	6.7	6.7	0.73	0.60	0.57	2.2	4.8	5.6	4.2	15.5	10.8	3.8	50
" —S	6.6	6.7	6.6	1.14	0.81	0.86	63.0	101.6	98.0	87.5	31.5	21.3	23.0	76
" —R	6.8	6.8	6.7	1.03	0.70	0.71	22.0	54.0	46.0	40.7	16.5	16.0	14.3	47
" —C	6.9	6.7	6.7	1.05	0.55	0.53	1.1	9.8	26.0	12.3	14.8	8.5	1.8	25
0.2 —45—O	7.2	7.2	7.1	1.05	0.70	0.59	0.1	0.1	0.2	0.2	8.5	5.0	1.2	15
" —S	7.1	7.0	6.8	0.93	0.78	0.78	0.4	0.4	1.6	0.8	8.0	5.3	1.5	15
" —R	7.2	7.0	6.9	0.90	0.64	0.61	0.3	0.1	0.6	0.3	6.3	3.8	1.0	11
" —C	7.2	7.1	7.0	0.91	0.66	0.66	1.8	5.5	8.5	5.3	9.5	4.4	2.3	13

Fe (II) 濃度を3回の試料の平均濃度でみると、直後湛水処理の区では、稲わら添加区が最も高く抽出残渣添加区がこれに次いでいる。沪紙添加区は有機物無添加区よりわずかに高い値を示す。いずれの場合も、施肥量が多いと濃度が高くなる傾向を示すが、この施肥量による差は極めて少ない。インキュベーション処理の区では沪紙粉末添加区が最も大きな値を示している。しかし、直後湛水の区に比べると著しく小さい。

排水と共に流出した NH₄-N の量は初回に多く、回数を経るにつれて漸減している。流出合計量をみると、直後湛水処理の区では稲わら添加区が大きく、インキュベーション処理の区では概して有機物無施用区が大きい。

20日間栽培を続けて3回目の排水採取を終えたのち、直ちに植物体を抜きとり、茎葉と根に分け乾物重を測定した。ただし、跡土壌を採取したポットについては地下部を収穫しなかった。得られた結果を第9表に示す。

茎葉重をみると、稲わらを添加して直後湛水処理した

理によって、障害の要因がとり除かれたことを示している。

第9表 収穫物の重量 (1ポット当り)

試験区	茎葉重	根重
1.0 —0—O	4.14 g	0.89 g
" —S	2.33	0.64
" —R	3.81	0.98
" —C	4.91	1.12
1.0 —45—O	5.65	0.93
" —S	5.45	0.91
" —R	5.88	1.11
" —C	5.44	1.08
0.2 —0—O	5.62	1.09
" —S	2.05	0.69
" —R	3.13	0.90
" —C	5.99	1.44
0.2 —45—O	5.73	1.41
" —S	5.91	1.59
" —R	6.46	1.35
" —C	5.90	1.41

第10表 収穫物の分析結果

試験区	含有率 (%)						吸収量 (mg)			
	茎葉				根		N		Fe	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe*	N	Fe	茎葉	根	茎葉	根
1.0-0-O	3.82	0.88	2.35	216	2.47	2.16	158	22	0.9	19.2
〃-S	2.72	0.68	1.73	646	1.81	1.81	63	12	1.5	11.6
〃-R	2.90	0.72	1.84	480	2.30	1.59	92	23	1.8	15.6
〃-C	3.40	0.87	2.19	364	2.23	0.90	168	25	1.8	10.1
1.0-45-O	3.54	1.12	2.35	150	2.44	0.30	200	23	0.9	2.8
〃-S	3.68	1.06	2.41	139	2.18	1.26	201	20	0.7	11.7
〃-R	3.82	1.08	2.45	136	2.25	0.78	225	25	0.8	8.7
〃-C	3.84	1.05	1.97	208	2.45	0.93	209	27	1.1	10.0
0.2-0-O	3.18	0.89	2.35	200	2.07	1.47	179	23	2.1	16.0
〃-S	2.38	0.70	1.73	752	1.56	1.74	49	11	1.6	12.0
〃-R	2.56	0.76	1.91	534	1.79	1.78	80	16	1.8	16.0
〃-C	2.64	0.80	2.19	360	1.45	1.08	158	21	1.5	15.6
0.2-45-O	2.94	0.94	2.06	156	1.71	0.28	168	24	1.7	3.9
〃-S	3.02	0.88	2.06	168	1.67	1.01	178	25	1.7	15.2
〃-R	2.93	0.87	2.05	200	1.74	0.85	197	24	1.7	11.5
〃-C	2.62	0.87	1.95	220	1.84	1.10	155	26	1.8	15.5

*) ppm

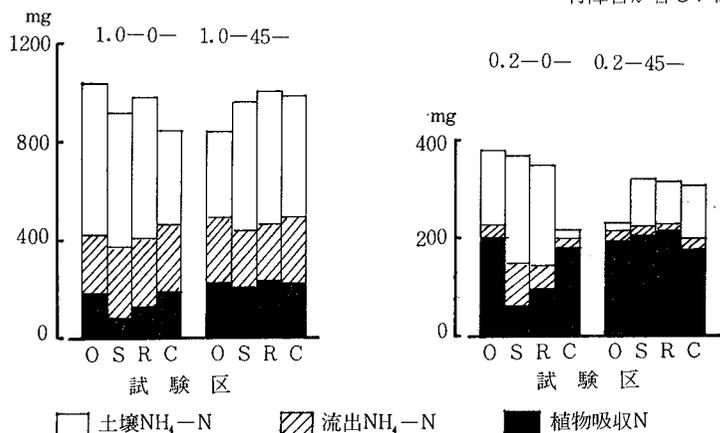
収穫物の分析結果を示した第10表によると、直後湛水処理をした稲わら添加区及び抽出残渣添加区は、茎葉部三要素含有率がいずれもかなり低下している。

各区について、1ポット当りの植物体によるN吸収量、排水と共に流出したNH₄-N量及び跡土壌の10% KCl 浸出 NH₄-N 量を算出して、これらを図示すると第2図のとおりである。

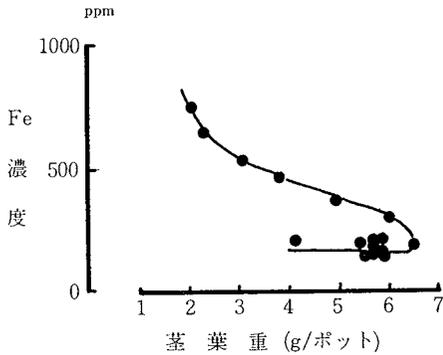
植物体による吸収N量は、生育抑制の著しい直後湛水処理をした稲わら添加区及び抽出残渣添加区が明らかに小さい。しかし、両区の流出 NH₄-N 量は比較的大きく、また跡土壌に見出される NH₄-N 量は対照区(有機物無施用)に比べて必ずしも少ないとは云えない。

茎葉の Fe 濃度と生育量を示した第3図によると、生育障害が著しい区では茎葉のFe濃度も高くなる傾向があり、稲わらの分解に伴って生成する多量の Fe (II) が阻害要因の1つとして生育に大きな影響を与えることも考慮する必要がある。

以上の諸結果からみれば、施用稲わらの分解に伴う土壌中のN不足は、水稻の初期生育の抑制にとって不可欠の条件ではないと云ってよい。第10表にみられるNあるいは P₂O₅ などの含有率の低下は、易分解フラクション自身に含まれているか、あるいは分解に伴って生



第2図 各区における植物吸収N、流出 NH₄-N 及び跡土壌の NH₄-N の合計量 (mg/ポット)

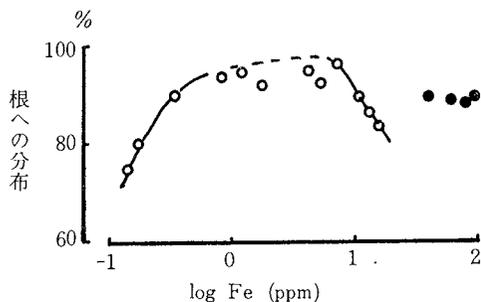


第3図 茎葉の生育量と Fe 濃度の関係

ずる有害因子の作用により、これら要素の吸収が妨げられた結果であると解すべきであろう²⁴⁾。

水稻においては、根の代謝活性が旺盛であれば根中に侵入する Fe の量は少なく、また侵入しても根の表面または内部で酸化されて、地上部への移行は非常に少なくなり、根における分布割合が増加する²⁵⁾。Fe (II) 自身ある濃度以上でこのような Fe の侵入を防ぐ根の機能を低下させるらしく、この根における分布割合が頂点となる外液の Fe (II) 濃度が限界濃度で、その限界濃度を超えると、急激に Fe の地上部への移行がはじまり、このために生育が阻害されると云われている²⁶⁾。

このような観点から本実験においても、3回に亘って採取した排水の平均 Fe (II) 濃度と植物体の根における Fe の分布割合との関係を求めて第4図に示した。



第4図 ポット排水の Fe (II) 濃度と根への Fe の分布

平均 Fe (II) 濃度を以ってこのような処理をするのは必ずしも適当であると思われないが、この値が各処理による土壤溶液中の Fe (II) 濃度の差異を十分に反映していると考えて第4図をみると、平均 Fe (II) 濃度

が0.1 ppm から 1 ppm まで、その増加につれて根への Fe の分布割合は高くなり、さらに 10 ppm を超すと急激に低下する傾向がみられる。しかし、図中黒丸で表わした直後湛水処理の稲わら区と抽出残渣区の場合、排水の平均濃度が 100 ppm 近い値であっても、Fe の根における分布割合は相対的に高い値を示している。

実験4. 稲わらによる生育抑制と水稻の Fe 吸収との関係

前項実験 3. においては、根における Fe の分布割合から、Fe (II) の侵入を防ぐ根の機能は稲わらの添加によって必ずしも低下していないように見受けられた。しかし、この Fe の分布は苗が移植された時点ではまだ稲わらの分解が進んでおらず、したがって、土壤 Fe (II) 濃度も小さいけれど、その後急速に Fe (II) 濃度が増加するにつれて苗の生育が進展した場合の結果である。水稻の Fe 吸収に及ぼす稲わら施用の影響について考察するためには、稲わらの分解がさらに進み、Fe (II) 濃度もかなり高まっている土壤条件で苗の生育が始まる場合の Fe の吸収、分布についても知る必要がある。

このために本実験においては、これまでの実験で供試した沖積土壌と、これに比べて Fe 含量の少ない砂質土壌を用い、これらの土壌に稲わらあるいは抽出残渣を添加したのち、ただちに湛水して2週間放置し、あらかじめ Fe (II) の蓄積を計ってから苗を移植した場合の生育、及びFeの吸収状況を検討した。

(1) 実験法

供試土壌は実験 1.~3. において使用した沖積土壌及び本学付属砂丘利用研究施設の構内から得られた砂質土壌の2種類である。砂質土壌の主な性質を第11表に示した。

5月26日、これらの土壌 2.5Kg に実験 3. で用いた稲わら及び抽出残渣の 25g をよく混合して 5 千分の 1 アール・ワグネルポットに詰め、ただちに湛水状態としてガラス室内に静置した。同一処理をしたポットを 3 個用意しておき、その内 1 ポットについては無植生のまま、湛水後 2 週間経った 6 月 9 日に実験 3. で述べたと同じ方法で、500ml の灌水を追加しながらポットの排水口から合計 1 l の排水を採取した。残りの 2 ポットには、同日、施肥と同時に水稻苗（ヤマビコ）2 本を 1 株として移植した。肥料は塩加磷安 284号を用い、1 ポット当り N としてそれぞれ沖積土壌では 1.0g、また砂質土壌では 0.8g を施用した。栽培は移植後 3 週間続けられたが最終日

第 11 表 供 試 土 壤 の 性 質

pH		C.E.C m.e.	置 換 性 塩 基 m.e.				塩 基 飽 和 度 %	C %	N %	C/N	熱 塩 酸 可 溶		土 性
H ₂ O	KCl		Ca	Mg	K	Na					Fe ₂ O ₃ %	MnO %	
6.15	5.20	2.84	0.26	1.23	0.11	0.09	59.5	0.179	0.012	14.9	1.50	0.02	128 s

の6月30日に1ℓの排水を採取した。

(2) 実験結果

苗の移植時及び栽培終了時における排水のFe(II)濃度と、植物体の生育量及びFe吸収量を第12表に示した。

である。

沖積土壌の移植時と終了時におけるFe(II)濃度を平均すると、稲わら区、抽出残渣区ともに同程度の値となり、また収穫物による1ポット当りFe吸収量はそれぞれ23.2及び22.3mgであって、あまり差がみられない。しかし、茎葉部における蓄積量は6.8及び3.6mgで稲わら区

第 12 表 排水のFe(II)濃度と植物による吸収

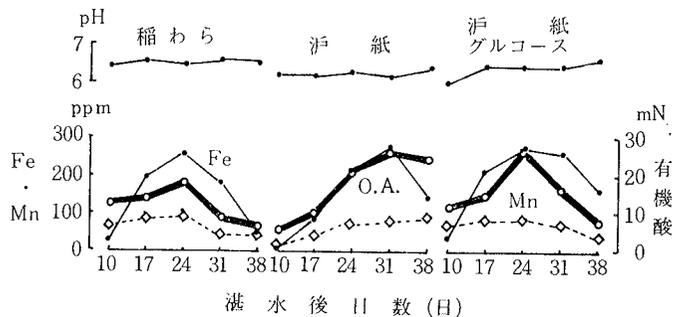
試 験 区		排 水 の Fe ²⁺			収 穫 物 重 量		収 穫 物 Fe 濃 度		収 穫 物 Fe 吸 収 量	
		移植時	終了時	平均	茎 葉	根	茎 葉	根	茎 葉	根
		ppm	ppm	ppm	g	g	ppm	%	mg	mg
沖 種 土 壤	対 照 区	0.7	7.1	3.9	7.51	1.76	200	0.80	1.5	14.1
	稲 わ ら 区	41.0	80.5	60.8	3.20	0.54	2125	3.03	6.8	16.4
	抽 出 残 渣 区	16.5	96.0	56.3	3.27	0.81	1100	2.31	3.6	18.7
砂 質 土 壤	対 照 区	微量	1.6	0.8	6.85	2.06	160	0.17	1.1	3.5
	稲 わ ら 区	8.7	26.8	17.8	2.01	0.82	250	0.57	0.5	4.7
	抽 出 残 渣 区	5.1	30.5	17.8	3.37	1.11	300	0.78	1.0	8.7

排水のFe(II)濃度をみると、沖積土壌の稲わら添加区では移植時すでに41ppmという高い値に達しており、これがさらに栽培終了時には80.5ppmまで増大している。抽出残渣区では栽培終了時96.0ppmで、稲わら区より高い値であるが、移植時には16.5ppmでかなり低い。抽出残渣の分解がおそく、苗の移植後急速な分解によって多量のFe(II)が生成したのであろう。他方、砂質土壌の稲わら区及び抽出残渣区においては、Fe(II)増加の様子は沖積土壌の場合に類似しているが、Fe(II)の蓄積量は著しく少ない。

つぎに栽培終了時の茎葉重をみると、両土壌ともに有機物の添加によって生育が抑制されていることが判る。その程度はとくに砂質土壌の稲わら区において著しい。この区の排水Fe(II)濃度及び茎葉のFe濃度は、沖積土壌の稲わら区に比べてかなり低いので、稲わら施用による初期生育抑制には常にFeの過剰吸収を伴っているとは限らないよう

の地上部へのFeの移行量は抽出残渣区の倍量に近い。

2.5Kgの風乾土壌にそれぞれ2%に相当する稲わら粉末、沬紙粉末及び沬紙粉末とグルコースの混合物(グルコース10%含有)を加え、5千分の1アール・ポットに埋め、6月5日から7月13日まで無植生のまま湛水状態でガラス室内に静置し、湛水後10日経ってから1週間毎に500mlづつ5回、これまでと全く同様の方法で排水を抜きとり、pH、揮発性有機酸²⁷⁾、Mn及びFe(II)濃度を測定して第5図に示した。



第 5 図 湛水後の日数経過が排水のpHとFe(II)及び揮発性有機酸に及ぼす影響

これによると、稲わらなど易分解性のフラクシオンを含んでいる場合には、これらの分解がすみやかに進み、まだ Fe (II) 濃度がごく低い初期の段階ですでに Mn (II) 及び揮発性有機酸の濃度は相対的に高いレベルを保っている。そして、紙粉末の分解が盛んとなり揮発性有機酸などの生成が著しく高まる頃には、稲わら区の分解は一段落しており、Mn (II) や揮発性有機酸の生成も停滞もしくは減退している。

以上のような諸結果を総合すると、稲わらのエタノール可溶部自身に含まれているか、あるいはこのフラクシオンの分解によって生ずるある種の阻害要因の影響により、水稲は養分の吸収を妨げられて初期生育は著しく抑制されるが、Fe 含量の高い土壌であれば、有機物の分解に伴って土壌中の Fe (II) 濃度が漸増するので、水稲は多量の Fe を吸収することになると考えられる。この場合、稲わらの分解がごく初期の段階では根に止まる Fe の割合は比較的大きく、根が過剰の Fe を排除する能力はあまり低下していないようである。しかし、エタノール可溶部などの分解が一段落し、Fe (II) 濃度もある程度高まった段階に至ると、地上部への Fe の移行量が増大し、Fe 吸収が過剰状態となっていっそう生育抑制が助長されると考えられる。

考 察

本研究の実験 1. 及び 2. で得られた結果によれば、稲わらからエタノール可溶性フラクシオンを除くと生育の抑制が著しく軽減される。恐らく、このフラクシオンの分解過程が初期生育の抑制に大きく関係しているのであろう。しかし、一般にこの抑制は湛水下における有機物の分解とこれに伴う土壌の強還元化によって生ずるものと思われ、従来水稲の生育抑制に関係深い因子として重要視されている諸因子のうち、揮発性有機酸、CO₂ などによる害作用については多少の問題がある。

最近 TANAKA²⁸⁾ が行った研究によると、これらの害作用は pH によって異なるようで、まず有機酸についてみれば、pH が高いとイオン化するので水稲による吸収が困難となって害作用を示さない。たとえば、酢酸、酪酸ともに pH 6 では 2×10^{-2} N まで濃度が増加しても悪影響を与えていない。つぎに CO₂ の影響をみると、培地に CO₂ が含まれている場合には HCO₃⁻ としてよりは H₂CO₃ として水稲に吸収されるらしく、pH が高くなれば吸収が減少する傾向を示し、また根の代謝が活発であれば根中で代謝過程にとり込まれ^{29,30)}、地上部に移動して生育阻害的な影響を及ぼさないと云って

よい。

ポットの排水調査から根圏の局所的な土壌溶液の状態を正確に知ることはできないけれど、本研究の実験 3. においても、生育抑制の著しい少肥一稲わら区の排水 pH が 6.5 以上であること (第 8 表)、また 2% に相当する倍量の稲わらを添加した場合でも、毎回の排水中の総揮発性有機酸濃度は 2×10^{-2} N を超えていないこと (第 5 図) などの結果から、揮発性有機酸が初期生育抑制の原因になった可能性は低いと考えられる。

また生育抑制が著しい区の排水の比伝導率はいずれも 2 mmho/cm 以下であった。水稲の干拓地での塩害発生の限界が 8 mmho/cm であると言われていたので、多量の有機酸及び HCO₃⁻ などが生成したことによる高塩状態が水稲根に阻害的に作用したということも考えられない。

従来、稲わらを水田に施用して湛水すると、わらの分解によって土壌中に N 飢餓が起り、水稲の初期生育にとって N 不足の状態になるという指摘^{9,15)} がある。第 8 表によれば、稲わら区の流出 NH₄-N 量は抽出残渣区より合計量で 30~40mg 多い。エタノール可溶部中の N 量は 20mg 足らずであるから、稲わらの施用によって NH₄-N の流出が促進されたと解することもできる。水田では一定の減水があるので、稲わらの施用により NH₄-N の下降移動が促進されるとすれば、これが有機物の分解に伴う一時的な N の有機化と相俟って初期生育の抑制を助長する可能性は考慮に値しよう。

しかし、実験 3. では生育障害を示した少肥区の植物体 N 含有率がかなり低下していても、これに対する N 増施の効果は明らかでなく、また栽培終了後における土壌中の NH₄-N 量もとくに稲わら施用による減少は認められない。このことから考えると、稲わら施用による初期生育の抑制にとって N 飢餓は不可欠の条件にならないようである (第 9 表、第 2 図)。

一般的に云って、稲わらの施用によって湛水後の還元が促進され、急激に土壌溶液中の Fe (II) 濃度が高くなると、水稲は Fe 吸収が過剰となり、これによって生育が抑制される場合は多いと考えられる。これに関連して、有機物の分解によって CO₂ が急速に発生している状態下では H₂S 濃度も高まり、これが根の Fe 排除機能を阻害して Fe 過剰症を発生させるといふ報告もある^{31,32)}。本研究の砂質土壌を用いた栽培結果によれば、稲わら施用による生育抑制には土壌の Fe (II) 濃度の影響と無関係な面も含まれていることが示唆されるので、Fe の過剰吸収もまた初期の生育抑制にとって不可

欠の要件でない。

以上これまでに考察したところによれば、揮発性有機酸、CO₂、Fe(II)などのそれぞれ単独の作用をもって稲わらの施用に伴う生育障害を説明するという事は困難であるという他ない。これらの諸因子は稲わらの分解に特異的な生成物でなく、微生物的エネルギー源となる有機物の嫌氣的分解とそれによる土壌の強還元化によって、一般的に形成されるものであるから、各因子はそれぞれ土壌条件、あるいは地域的气候条件によって生成蓄積量変動し、水稻の生育に与える影響もそれぞれの生成条件の如何によって差異を生ずるのは当然であろう。

本研究では全て無硫酸根肥料を使用したもので、土壌還元進行に伴う硫化物の生成量を調査しなかった。しかし、実験3の場合についてみれば、生育が抑制された水稻の根は試験終了時においても硫化物によると思われる黒変現象、あるいは根腐れを示していない。また、Feの侵入を防ぐ根の機能も、根におけるFeの分布割合から判断してあまり低下していないように見受けられた。第5図によると、稲わらの分解がはじまったごく初期にはFe(II)濃度がまだ低けれど、揮発性有機酸の濃度は相対的に高いレベルにある。このような場合、もし有機酸が根でGlycolate cycle^{33,34)}を経て同化されるならば、根におけるFeの酸化機能³⁵⁾を高く維持することができ、これによってFe(II)の有害作用が幾分かは軽減されるかも知れない。

しかしながら、湛水下であらかじめ稲わらの分解を計ってから苗を移植した実験4の場合のように、易分解性フラクションの分解が一段落し、有機酸の生成も停滞もしくは減退するような段階に至ると、根のFe排除機能はかなり低下することが推察される。第12表にみられるように、エタール可溶部を除いた残渣では原稲わらの場合ほど地上部へのFe移行量が大きくないので、エタール可溶フラクションがFe排除機能の低下に深く掛かり合っていると考えらる。これが単に易分解性フラクションとしてその分解過程で生ずる因子が問題になるのか、あるいはエタール可溶部に含まれる種々の物質の化学的性質が特異的に関係しているのかについては、更に検討を進める必要がある。

要 約

稲わら施用による水稻の生育障害の原因について究明するため、稲わらを逐次抽出法によってエーテル可溶部、80%エタール可溶部、熱水可溶部、リグニン部及

び抽出残渣の5個のフラクションに分別し、それぞれが水稻の初期生育に与える影響をポット試験によって明らかにした。さらにまた、稲わら施用による生育障害とN飢餓、あるいはFeの過剰吸収との関係について若干の検討を行った。

得られた結果はつぎのとおりである。

(1) 土壌量の1%に相当する稲わらの施用によって、移植水稻の初期生育は著しく阻害されたが、これにはエタール可溶部が最も大きな影響を与えている。

(2) セルロースなどの膜物質を構成している炭水化物は、リグニンと複合体を形成しているので湛水下での分解は遅れ、水稻の初期生育に与える影響は小さい。

(3) 苗の移植後20日間、稲わらの施用によって土壌中の可給態Nがとくに減少する傾向は認められなかった。しかし、この期間に生育抑制を示した水稻が吸収したN量は対照に比べて著しく少ない。また、これに対するN増施の効果は明らかでなかった。

(4) 沖積土壌における生育抑制にはFeの過剰吸収を伴っている。とくに、エタール可溶部などの易分解性フラクションの急速な分解が一段落し、揮発性有機酸の生成も減退するような時期に移植すると、地上部へのFe移行量が増大する傾向を示した。

(5) Fe含量の少ない砂質土壌でも、稲わら施用によって初期生育は著しく抑制された。この場合、水稻によるFe吸収量は極めて少なかった。

終りに臨み、本報告のとりまとめに際して種々助言を賜った藤堂誠教授に深謝いたします。

文 献

- 1) Gotoh, S and Yamashita, K. : *Soil Sci. and Plant Nutr.*, **12**, 230(1966).
- 2) 浅見輝男: 土肥誌, **41**, 1 (1970).
- 3) 塩入松三郎: 土壌学研究, 77頁 (1952) 朝倉書店.
- 4) 三井進午・麻生末雄・熊沢喜久雄: 土肥誌, **22**, 46 (1951).
- 5) 高井康雄: 土肥誌 **28**, 435 (1958); **29**, 77 (1958).
- 6) 三井進午・熊沢喜久雄・菱田孝: 土肥誌, **30**, 411, (1959).
- 7) 滝島康夫: 土肥誌, **32**, 193 (1961).
- 8) 佐藤和夫・山根一郎: 東北大農研報, **17**, 17 (1965).
- 9) 後藤重義・鬼鞍豊: 九州農試集報, **12**, 235 (1967); **13**, 173 (1967).

- 10) 齊藤文次：九州農試彙報, **2**, 283 (1954).
- 11) 山根一郎・佐藤和夫：土肥誌, **27**, 271 (1956).
- 12) 川島次夫：宮崎農試研究報告, **No.1**, 1 (1962).
- 13) 鬼鞍豊・仲谷紀男・後藤重義：九州農試彙報, **13**, 157 (1967).
- 14) 農林省水産技術会議研究調査官編：水田におけるいねわらの施用法と施用基準 (1968).
- 15) 吉沢孝之：農業技術, **26**, 349, 407, 456 (1971).
- 16) 山根忠昭・松浦一人：中国地域共同研究成果集録 **No. 5**, 73 (1970).
- 17) Inamatsu, K. : *Soil Sci. and Plant Nutr.*, **14**, 62 (1968).
- 18) Leopold, A. C. : *Plant growth and Development*, p. 144 (1964), Mc Graw- Hill.
- 19) Guenzi, W. D. and Me Cella, T. M. : *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **26**, 456 (1962).
- 20) Söchtig, H. G. R. and et al. : *Isotope and Radiation in Soil Organic-Matter Studies*, p. 531 (1968).
- 21) McLaren, A. D. and Peterson, G. H. : *Soil Biochemistry*, 127 (1967), Dekker.
- 22) Phillips, M. : *J. Am. Chem. Soc.*, **49**, 2037 (1927).
- 23) Kumada, K. and Asami, T. : *Soil Sci. and Plant Nutr.*, **3**, 187 (1958).
- 24) 奥田東・高橋英一：土肥誌, **33**, 1 (1962).
- 25) 田中明・但野利秋：土肥誌 **40**, 380, 469 (1969).
- 26) 石塚喜明・田中明・藤田収：土肥誌, **32**, 97 (1961).
- 27) 浅見輝男・高井康雄：土肥誌, **41**, 48 (1970).
- 28) Tanaka, A. and Navasero, S. A. : *Soil Sci. and plant Nutr.*, **13**, 25 (1967).
- 29) Jacobson, L. : *Plant physiology*, **30**, 264 (1955).
- 30) Graf, G. E. and Aronoff, S. : *Science*, **12**, 211 (1955).
- 31) Tanaka, A, Mulleriyawa, R. P. and Yasu, T. : *Soil Sci. and Plant Nutr.*, **14**, 1 (1968).
- 32) 田中明：農及園, **44**, 1189 (1969).
- 33) Harley, J. L. and Beevers, H. : *Plant Physiology*, **38**, 117 (1963).
- 34) Oakas A. and Beevers, H. : *Plant Physiology*, **39**, 431 (1964).
- 35) 三井進午・熊沢喜久雄：土肥誌, **32**, 433 (1961).