

# 有機物およびケイカルの長期連用が水田土壌の 化学性および水稲収量に及ぼす影響

酒井憲一・黒柳直彦<sup>1)</sup>・藤田彰・小田原孝治<sup>2)</sup>

(生産環境研究所)

肥沃度が高く、排水良好な水稲・麦作付け体系の砂壤土水田における稲わら、おがくず入り牛ふん堆肥およびケイカルの長期連用が、水稲収量と土壌の化学性に及ぼす影響を明らかにした。①おがくず入り牛ふん堆肥 10a 当たり 2t、または稲わら全量還元とともに 10a 当たりおがくず入り牛ふん堆肥 2t、ケイカル 140kg を連年施用すると、水稲収量は化学肥料を単用した場合よりも増加し、特に低収年において増収の程度が大きくなった。②化学肥料のみを単用し続けると、土壌中の腐植、交換性カリウム、可給態リン酸、可給態窒素および可給態ケイ酸含量は低下した。③稲わら全量還元を毎年続けると、土壌中の可給態窒素含量は維持できたが、腐植、交換性カリウム、可給態リン酸および可給態ケイ酸含量は低下した。④おがくず入り牛ふん堆肥を 10a 当たり 2t 連年施用すると、土壌中交換性カリウム、可給態リン酸および可給態窒素含量は増加したが、腐植含量は変化がみられず、可給態ケイ酸含量は低下した。⑤稲わら全量還元とともに 10a 当たりおがくず入り牛ふん堆肥 2t、ケイカル 140kg を連年施用すると土壌中の交換性カリウム、可給態リン酸、可給態窒素および可給態ケイ酸含量が高まったが、腐植含量は変化がみられなかった。

以上のことから、肥沃度が高く排水が良好な砂壤土の水田において、土壌中の腐植含量を維持し、可給態ケイ酸含量を高め、水稲収量を高位安定させるためには、稲わら全量還元とともに、10 a 当たりおがくず入り牛ふん堆肥 2 t、ケイカル 140kg を連年施用することが有効であると考えられた。

[キーワード：砂壤土、水稲、おがくず入り牛ふん堆肥、稲わら、ケイカル]

Effect of Long-term Application of Organic Matters and Calcium Silicate on Paddy Fields

SAKAI Ken-Ichi, Naohiko KUROYANAGI, Akira FUJITA, Kouji ODAHARA (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikusino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 18:8-12 (1999)

This experiment was carried out in well-drained fertile paddy soil (sandy loam) by cultivating rice, wheat and barley to investigate the effects of long-term application of rice straws, sawdust-cattle manure and calcium silicate on rice yield and on chemical properties of the soil. Rice yields increased by long-term applications of rice straws (0.5t/10a) or rice straws with the manure (2t/10a) and calcium silicate (140 kg/10a). Humus, exchangeable potassium, available phosphoric acid, available nitrogen and available silicic acid in the soil decreased when chemical fertilizer only was applied for many years. On the contrary, when all the reduced rice straws were retained for years in the paddy, the available nitrogen content in the soil remained at the same level. But, humus, exchangeable potassium, available phosphoric acid and available silicic acid contents decreased. Exchangeable potassium, available phosphoric acid and available nitrogen contents in the soil increased by long-term application of the manure. But the humus content was maintained by long-term application of the manure. Exchangeable potassium, available phosphoric acid, available nitrogen and available silicic acid contents in the soil increased by long-term application of the manure with rice straw and calcium silicate, but the humus content remained the same. Consequently, it is considered effective to apply rice straw, sawdust-cattle manure and calcium silicate for stabilizing humus content, to increase the available silicic acid in the soil and to maintain a high level and stable rice yield in well-drained fertile paddy soil.

[keywords: sandy loam, rice, sawdust - cattle manure, rice straw, calcium silicate]

## 緒 言

近年、農家の高齢化、婦女子化にともなう、堆きゅう肥等の有機物や土壌改良資材の施用が減少する傾向にあり、農耕地土壌の地力低下が懸念されている<sup>1)</sup>。地力を維持、増強するには、有機物および土壌改良資材の連年施用が有効であるが、有機物の種類、土壌条件の違いにより、効果の現れ方が異なる<sup>10)</sup>。また、有機物の連年施用により肥沃度が高まった土壌においても、有機物施用を中止すると肥沃度が経時的に低下すると予想され、そ

の肥沃度を維持するためには、一定量の有機物施用が必要と考えられる。しかし、肥沃度が低～中庸の土壌に対する有機物の連年効果、特に地力増強効果については多くの報告があるが<sup>1, 2, 4, 6, 7, 8, 9)</sup>、肥沃度の高い土壌における有機物の地力維持効果についての研究事例は極めて少ない。そのため、肥沃度の高い土壌における有機物の連年施用、あるいは、有機物無施用の継続による土壌肥沃度の変化について、得られている知見が少ない。

そこで、西南暖地の稲麦二毛作体系において、肥沃度が高く、排水良好な砂壤土の水田における、稲わら全量還元の有無、おがくず入り牛ふん堆肥およびケイカルの

1) 現企画課 2) 現鉦害試験地

第1表 試験開始前土壌の化学性

層位	深さ cm	pH		T-N %	T-C %	腐植 %	CEC me/100g	交換性陽イオン				塩基 飽和度 %	可給態 リン酸 mg/100g	可給態 ケイ酸 mg/100g	可給態 窒素 mg/100g
		H <sub>2</sub> O	KCl					Ca	Mg	K	Na				
1	0~15	6.1	5.2	0.23	2.77	4.78	14.2	7.50	1.00	0.34	0.21	64	43.7	19.1	15.4
2	15~22	6.6	5.3	0.15	1.60	2.76	11.2	5.96	1.01	0.42	0.14	67	27.8	11.3	-
3	22~35	6.6	5.4	0.14	1.52	2.62	11.0	5.42	1.08	0.29	0.12	63	17.8	12.3	-

第2表 試験区の構成

試験区	処 理 内 容	
	化学肥料	有 機 物
化学肥料	標準量施用	-
稲わら	標準量施用	水稲収穫後に稲わら500kg/10aすき込み
牛ふん	標準量施用	水稲収穫後におがくず入り牛ふん堆肥2t/10a施用
総合改善	標準量施用	水稲収穫後に上記2種+ケイカル140kg/10a施用

1) 試験規模は1区20m<sup>2</sup>(4m×5m)、2反復とした。

第3表 年度別の供試品種および施肥量

年 度	品 種	施 肥 量 (kg/10a)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1982年	黄金晴	6+2+1.5	6	6+2+1.5
1983年	日本晴	6+2+1.5	6	6+2+1.5
1984年	碧風	6+2+1.5	6	6+2+1.5
1985年	碧風	6+2+1.5	6	6+2+1.5
1986年	ニシホマレ	7+3+2	7	7+3+2
1987年	黄金晴	5+2+1.5	6	5.5+2+1.5
1988年	黄金晴	4+2+1.5	6	6+2+1.5
1989年	ミネアサヒ	4+2+1.5	6	6+2+1.5
1990年	ミネアサヒ	4+2+1.5	6	6+2+1.5
1991年	ミネアサヒ	4+2+1.5	6	6+2+1.5
1992年	ミネアサヒ	4+2+1.5	6	6+2+1.5
1993年	ミネアサヒ	4+2+0	6	6+2+0
1994年	夢つくし	4+2+1.5	7	8+0+0
1995年	夢つくし	4+2+1.5	7	8+0+0
1996年	夢つくし	4+2+1.5	7	4+2+1.5
1997年	つくし早生	5.5+2+0	7	5.5+2+0

連年施用が土壌化学性および水稲の収量に及ぼす影響について検討した。

なお、この調査は土壌環境基礎調査・基準点調査における1982~1997年の成績をまとめたものである。

## 試験方法

### 1 土壌条件

試験ほ場(福岡県筑紫野市大石)は、宝満川によって形成された扇状地に位置する河成堆積の水田で、追子野木統(礫質灰色低地土、灰色系)に属する。土性は砂壤土で、下層に礫層が存在し、作土深は15cmである。また、飽和透水係数は1996年水稲跡地作土および次層で、それぞれ $10^{-4}$ ~ $10^{-3}$ 、 $10^{-4}$ であり、排水が良好な乾田である。

試験ほ場は試験開始直前まで、稲わら全量還元とともに、乾燥鶏ふん、牛ふん堆肥等が長期間施用されていた。試験開始前(1981年)の土壌化学性は、全窒素、腐植含量および陽イオン交換容量(CEC)が各々0.23%、4.78%、14.2me/100gであった(第1表)。これは本県の土壌改善目標値が腐植含量3%以上、陽イオン交換容量8me/100g以上であるのに比べて、かなり高い水準となっている。

### 2 試験区の構成

試験区は、化学肥料区、稲わら区、牛ふん区および総合改善区を設置し、1区20m<sup>2</sup>、2反復とした(第2表)。化学肥料区は稲わらを持ち出し、化学肥料のみを施用した。稲わら区は10cm程度に切断した稲わらを10a当たり500kg(稲わら全量還元に相当)、牛ふん区はおがくず入り牛ふん堆肥を10a当たり2t、麦作付け前に毎年施用した。総合改善区は、10a当たり稲わら500kg、おがくず入り牛ふん堆肥2tおよびケイカル140kgを麦作付け前に毎年施用した。稲わら、おがくず入り牛ふん堆肥およびケイカルの施用は、試験開始前年の1981年度麦作付け前から開始した。投入したおがくず入り牛ふん堆肥の現物当たり成分量は、試験期間中の平均値でT-N 0.55%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 50.76%、K<sub>2</sub>O 1.13%、水分76%であ

った。なお、前作の麦かん(小麦、大麦および裸麦)は毎年、全量持ち出しとした。

### 3 供試作物、品種および施肥量

水稲品種は1982年から1997年の試験期間中に、'黄金晴'、'日本晴'、'碧風'、'ニシホマレ'、'ミネアサヒ'、'夢つくし'、'つくし早生'を作付けした。水稲の移植期は6月14~22日で、1株当たり3本の稚苗を手植えて移植した。化学肥料は硫酸、ようりん、塩化加里を使用し、施肥量は福岡県水稲施肥基準に準じ、全区とも施肥量を同一とした(第3表)。水稲の裏作として毎年麦を作付けした。

### 4 試料採取および分析

土壌は水稲収穫直後に、作土(深さ0~15cm)を採取し、公定法<sup>3)</sup>により化学性を調査した。

第4表 有機物施用区における収量構成要素および精玄米重の化学肥料区に対する指数<sup>1)</sup>および化学肥料区の精玄米重

年度	稲  わ  ら				牛  ふ ん				総  合  改  善				化学肥料		
	穂  数	登  歩	熟  合	玄  米 千粒重	精  米	玄  米 千粒重	精  米	玄  米 千粒重	穂  数	登  歩	熟  合	玄  米 千粒重	精  米	玄  米 千粒重	精  玄 米  量
1982年	103	-	-	99	97	-	-	98	99	-	-	100	100	104	464
1983年	97	-	-	97	101	-	-	97	105	-	-	98	100	104	480
1984年	98	103	100	106	101	98	100	103	100	103	100	104	104	104	497
1985年	89	103	100	107	95	83	100	116	100	95	101	121	104	104	298
1986年	109	94	97	96	103	94	97	103	111	99	97	106	106	106	570
1987年	100	91	101	98	103	97	100	97	99	97	100	99	99	99	405
1988年	-	102	102	98	-	96	100	95	-	98	96	96	96	96	526
1989年	116	93	100	114	105	100	98	127	103	95	100	119	119	119	359
1990年	93	104	100	108	118	101	97	114	101	104	98	113	113	113	535
1991年	95	-	98	95	104	-	99	111	99	-	99	111	111	111	319
1992年	105	-	100	99	103	-	98	101	103	-	99	107	107	107	421
1993年	99	-	100	99	100	-	100	106	100	-	100	106	106	106	361
1994年	104	101	100	103	103	95	99	107	103	99	99	109	109	109	568
1995年	110	100	99	101	114	102	99	105	114	100	97	102	102	102	534
1996年	102	100	100	98	104	96	100	100	109	94	101	100	100	100	518
1997年	91	102	100	96	106	100	98	100	105	99	99	98	98	98	534
平  均	101	99	100	101	104	97	99	105	103	98	99	106	106	106	462

1)化学肥料区を100とした。

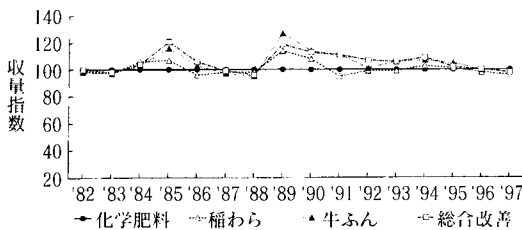
第5表 年度別の水稻検査等級

年  度	検  査  等  級 <sup>1)</sup>			
	化学肥料	稲  わ  ら	牛  ふ ん	総  合  改  善
1989年	3.5	4.0	4.5	4.0
1990年	3.0	3.0	3.0	3.0
1991年	5.0	5.0	5.0	5.0
1992年	2.0	2.0	2.0	2.0
1993年	4.5	4.5	5.0	5.0
1994年	2.0	2.0	2.0	2.0
1995年	6.0	6.0	5.0	5.0
1996年	2.0	2.0	2.0	2.0
1997年	1.5	2.0	2.5	2.5
平  均	3.3	3.4	3.4	3.4

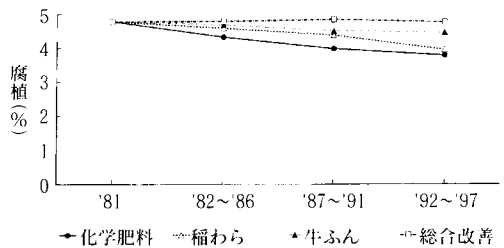
1)検査等級は1(1等上)~9(3等下)で示し、各試験区の平均値を示した。

となり、牛ふん区および総合改善区で、穂数の確保による減収抑制効果が認められた。一方、低収年次以外の収量指数の平均値は、稲わら区100、牛ふん区102、総合改善区103で、牛ふん区、総合改善区の化学肥料に対する増収効果は低収年次に比べて小さかった(第4表)。

試験期間中の平均値で見ると、稲わら区は、穂数、登熟歩合、千粒重ともに化学肥料区とほぼ同等であり、収量および検査等級も同等であった(第4表、第5表、第1図)。これに対して、牛ふん区および総合改善区では、化学肥料区に比べて穂数が増加し、登熟歩合はわずかに低下したものの、収量は高まった(第4表、第1図)。また、検査等級は両区とも化学肥料区とほぼ同等であった(第5表)。



第1図 水稻収量指数の推移

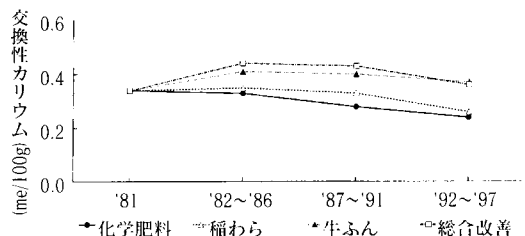


第2図 水稻跡地土壌の腐植含量の推移

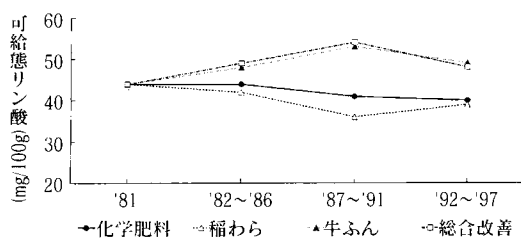
## 結 果

### 1 収量の推移

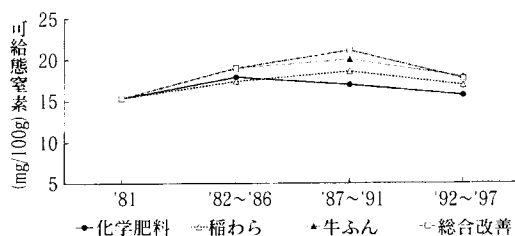
1985、1987、1989、1991~1993年は生育期前半の低温、多雨、日照や登熟期の高夜温、多雨、台風などの気象要因により、全区とも低収となった。しかし、1989、1992年は、稲わら区、牛ふん区、総合改善区で、1991年は牛ふん区で化学肥料区を上回る穂数が確保された。そのため、低収となった年次における収量指数の平均値は、稲わら区102、牛ふん区110、総合改善区111



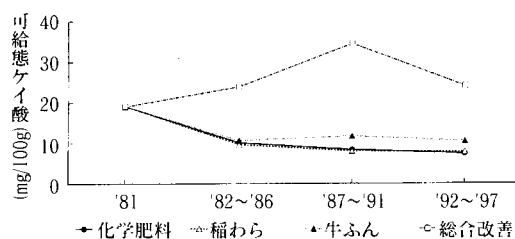
第3図 水稻跡地土壌の交換性カリウム含量の推移



第4図 水稲跡地土壌の可給態リン酸含量の推移



第5図 水稲跡地土壌の可給態窒素含量の推移



第6図 水稲跡地土壌の可給態ケイ酸含量の推移

## 2 土壌化学性の推移

土壌化学性の推移を第2～7図に示した。調査結果は1981年（試験開始前）、1982～1986年（1～5年目）、1987～1991年（6～10年目）および1992～1997年（11～16年目）等の各試験期間ごとの平均値で示した。

腐植含量は、化学肥料区と稲わら区は漸減傾向を示し、土壌改善目標値の3%をやや上回る程度にまで低下した。牛ふん区および総合改善区は試験開始時の水準、またはそれに近い水準を維持した（第2図）。

交換性カリウム含量は、化学肥料区および稲わら区で漸減傾向を示した。牛ふん区および総合改善区では1982～1986年頃まで漸増傾向を示し、その後安定的に推移した（第3図）。

可給態リン酸含量は、化学肥料区および稲わら区で漸減傾向を示したが、牛ふん区および総合改善区は、1987～1991年頃まで漸増傾向を示し、土壌改善目標値の上限值である50mg/100gに近い水準で経過した（第4図）。

可給態窒素含量は、化学肥料区および稲わら区では、当初の水準を維持した。牛ふん区および総合改善区では1987～1991年頃まで増加し、土壌改善目標値の上限值である20mg/100gに近い水準で安定した（第5図）。

可給態ケイ酸含量は、ケイカルを施用した総合改善区で1987～1991年頃まで増加したが、その他の区では漸減傾向を示し、1982～1986年頃から土壌改善目標値の15mg/100gを下回った（第6図）。

## 考 察

稲わら全量還元の効果についてみると、本試験における稲わら区の生育収量は化学肥料区とほぼ同等であり、その効果は判然としなかった。また、土壌中の可給態窒素含量は当初の水準を維持できたが、腐植含量は低下する傾向を示した。野地ら<sup>4)</sup>は、細粒黄色土で試験を行った結果、稲わら全量還元により、土壌中腐植および可給態窒素含量が増加し、水稲の生育収量が化学肥料単用に比べ優ったと報告している。また、津田ら<sup>5)</sup>は、中粗粒灰色低地土で試験を行ったところ、稲わら全量還元により、土壌中腐植および可給態窒素含量が維持されたと報告している。これらの試験と本試験の結果との相違は、試験ほ場における土壌の種類、試験開始時の土壌肥沃度の違いにより、土壌中における腐植の分解溶脱の程度が異なったためと考えられる。すなわち、野地らの試験ほ場は、強粘質で排水が悪く、肥沃度が低い土壌条件であったため、腐植および可給態窒素が集積しやすく、有機物の連用による地力増強効果が顕著に現れたものと考えられる。また、津田らの試験ほ場は、野地らの試験ほ場に比べ透水性がやや良好で肥沃度も中庸であったため、現状維持にとどまったものと考えられる。ところが、本試験ほ場は試験開始時の土壌における腐植の集積がかなり進んでおり、排水も良好であるため、土壌中の腐植の分解溶脱が稲わら全量還元に伴う集積を上回り、含量が低下したものと考えられる。また、可給態窒素は腐植含量の推移と異なり、減少しなかった。これは土壌微生物による稲わらの分解過程において、稲わら中の炭素は微生物の菌体中に取り込まれてエネルギー源として利用され、二酸化炭素やメタンなどのガスとなって大気中に放出するのに対して、稲わら中の窒素は菌体中に取り込まれ、タンパク質として同化されるため、その大部分が土壌中に残存したためと考えられる。

次に、牛ふん堆肥施用の効果については、津高ら<sup>6)</sup>の報告では土壌肥沃度が中庸で排水性がやや不良である埴壌土の礫質黄色土に、10a当たりおがくず入り牛ふん堆肥2tを連年施用すると、化学肥料単用に比べて水稲収量は増加し、腐植含量は漸増傾向を示した。また、藤田ら<sup>7)</sup>は、土壌肥沃度が中庸の中粗粒灰色低地土に、稲わら全量還元とともに10a当たりおがくず入り牛ふん堆肥2t、ケイカル140kgを連用すると、化学肥料単用に比べて水稲収量は増加し、土壌中の腐植含量が増加したと報告している。これに対して、本試験ではおがくず入り牛ふん堆肥2t施用および総合改善処理とも、化学肥料単用に比べて水稲収量は増加したものの、腐植の集積が進まなかったが、これは前述の様に、本試験の土壌条件によるものと考えられる。

水稲による土壌中のケイ酸持ち出し量は、概ね10a当たり年間100kgである。稲わらのケイ酸含有率が試験期間中の平均値で約13%であることから、稲わらを10a当たり500kg還元すると、約65kgのケイ酸が供給されることになる。また、かんがい水からもケイ酸が供給されるが、本地域は周辺土壌の母材が花崗岩であり、水系も短いため、供給量は少ないと考えられる。このため、

本試験では、稲わらを全量還元した場合には、作物による収奪と溶脱による土壤中可給態ケイ酸含量の減少をくい止めることができなかつたと考えられる。しかし、ケイカルを施用した総合改善区では土壤中可給態ケイ酸含量の増加が認められた。これは、排水良好な砂壤土の水田では、稲わらやかんがい水からの供給に依存するのではなく、ケイカル等のケイ酸質資材の施用が必要であることを示唆している。

以上のことより、肥沃度が高く排水が良好な砂壤土の水田において、土壤中の腐植含量を維持するためには、おがくず入り牛ふん堆肥を10a当たり2t連年施用する必要があり、稲わら全量還元する場合においても、同様におがくず入り牛ふん堆肥を2t程度施用することが必要であると考えられる。また、可給態ケイ酸含量を増加させるためには、稲わら全量還元とともに10a当たりケイカル140kgを連年施用することが必要であると考えられる。ただし、必要以上の有機物施用は、土壤養分の下層への溶脱量を増加させ、環境負荷の一因となることが懸念されるため、土壤診断に基づいて適正に施用することが必要である。そのため、本試験ほ場のように肥沃度が極めて高いほ場は、土壤診断を定期的に行い、土壤中腐植含量が土壤改善目標値を下回らないことを目標として、有機物の施用量の削減や施用の一時中止といった調整を行う必要があると考えられる。また、牛ふん堆肥を施用する場合は、牛ふん堆肥の肥料成分含量と肥効率から化学肥料と同等の肥効を示す成分量を算定し、それに相当する量の化学肥料を減肥することで、過剰施肥とならないようにする必要がある。さらに、このような漏水しやすい土壤条件の水田において、土壤養分の下層への溶脱を防止し、環境負荷を軽減させるためには、有機物の適正施用とあわせてほ場の漏水対策を講じる必要がある、ペントナイトの施用や床締めが有効であると考えられる<sup>9)</sup>。

## 引用文献

- 1) 藤田彰・三宅規夫・神屋勇雄(1984)有機物及び土壌改良資材の連年施用が土壌の理化学性に及ぼす影響について。福岡農総試研報 **A-3**:63-66.
- 2) 神谷啓明・大石達明・嶋田昭史・水本順敏・堀兼明(1994)中粗粒灰色低地土水田における有機物および珪カルの連用が土壌及び水稲に与える影響。静岡農試研報 **38**:1-10.
- 3) 農林水産省農蚕園芸局農産課編(1979)土壤環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法
- 4) 野地良久・藤谷信二・上野通宏・沢本敬男(1993)有機物の長期連用が土壌の理化学性と水稲の生育に及ぼす影響。大分農技七研報 **23**:1-12.
- 5) 沼尾林一郎(1961)ペントナイトの土壌改良への利用及びその効果に関する研究。群馬農試研報 **3**:1-89
- 6) 小野芳郎・平岡正夫・川中弘二(1989)岡山県南部水田における稲わら連用の効果。岡山農試研報 **7**:18-24.
- 7) 高柳英夫・久保田勝・岩本信義・長井隆(1983)粘土質水田における稲わらの連用が水稲の生育収量および土壌の理化学性に及ぼす影響。新潟農試研報 **83**:95-105.
- 8) 津田和久・片山理・小林秀臣・文屋千代・城山豊(1995)灰色低地土水田における有機物とけいカルの連用効果(第1報)土壌の理化学性に及ぼす影響。京都農研報 **17**:51-59.
- 9) 津高寿和・砂野正・堀江溢雄・田中平義(1986)水稲に対する有機物の連用効果と土壤養分の推移。兵庫農総七研報 **34**:9-12.
- 10) 上沢正志(1991)化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析。農業技術 **46**(9):1-5.
- 11) 渡邊敏朗・兼子明・黒柳直彦・小田原孝治・藤田彰(1996)福岡県における水田土壌の理化学性の実態と経年変化。福岡農総試研報 **15**:18-21.