

黄色土水田における稲わら、ケイカルと熔リンの連用が 土壤と水稻の生育に及ぼす影響

林 恭弘・森下 年起

農林水産総合技術センター 農業試験場

Effect of Successive Application of Rice straw, Silic calcium and Fused tricalcium phosphate to Paddy field in Yellow soils on Growth and Yield of Rice plant, and on Soil properties

Yasuhiro Hayashi and Toshiki Morishita

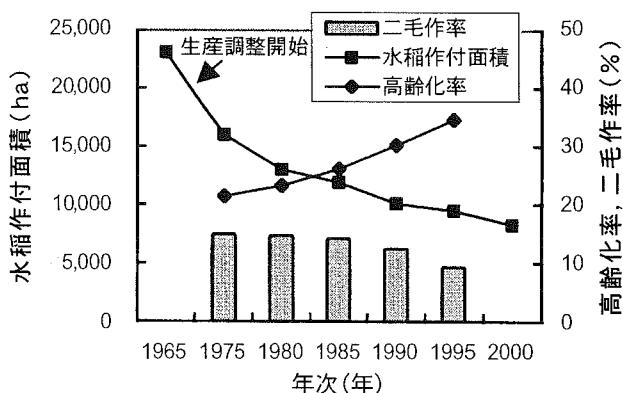
*Agricultural Experiment Station
Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries*

緒 言

水田は灌漑水による養分の供給により地力消耗の少ない農耕地として生産基盤を築いてきた。和歌山県においては河川流域を中心として水田営農に取り組んできたが、営利作物への転換、生産調整や米価の低下等により年々作付面積は減少している。1960年に27,900haあった作付面積も2000年には8,250ha（第1図、近畿農政局和歌山統計情報事務所、2000）となり、全耕地面積の20%強、水稻栽培農家も全農家戸数の43%（農林水産省統計情報部、2000）と少なくなっている。このため、水田土壤改良資材の流通量は、1968年の13,246t（（ケイカル12,355t、熔リン891t）和歌山県肥料協会、1982）を最高として、その後は減少し、2000年には4,688t（和歌山県農業協同組合連合会調べ）となっている。

近年、消費者は良食味米を求めており、生産者の高齢化、米価の低下等により重いケイ酸資材の施用量が減少、二毛作水田による田畠輪換も減少している（第1図）。しかし、一方では環境保全型農業・持続的農業生産が推進されており、県内における生産者の中でも関心が高まっている。総農家数の内4,896戸（12%）が取り組みを行っており、内1,037戸（21%）が水稻栽培（農林水産省統計情報部、2000）を行っている。このため、有機物施用を中心とした土づくりによる水稻の安定生産が求められている。

本研究では県内の河川台地に分布する黄色土水田土壤（県内水田土壤の30%（和歌山県農業試験場、1978））を対象として、新規造成水田における土壤改良効果を明らかにするため、稲わらと無機改良資材の長期連用が作物と土壤に及ぼす影響を検討、幾つかの知見が得られたので報告する。



第1図 和歌山県における水稻作付面積、高齢化率と二毛作率の推移

注)高齢化率:60歳以上

材料および方法

1 供試ほ場の条件

供試ほ場は県北部紀ノ川中流の支流・貴志川下流河岸段丘の水田地帯で、階段状の棚田を造成・表面処理し、平坦な水田に造成したほ場である。土壤は紀ノ川流域を中心とした台地水田に分布する洪積土壤で細粒黄色土・黄褐系（蓼沼統1014）に分類され、減水深の小さいほ場である。作土層は15cm程度で土性はCLである。下層土はLiCで70cm以下に腐朽礫を含むC層が出現する（第2図）。気象条件は年平均最高気温が20.0°C、最低気温は9.8°C、平均気温は14.8°Cと県内ではやや涼しい地域となる。年降水量は1600mmと県下では平均的な降水量で日照時間も比較的長い。

2 試験区

新規造成水田で1967年に均一栽培を行った後、1968年より試験を開始、水稻単作栽培を行い、1986年に試験を終了した。この間年1回秋に稻わら、ケイカルと熔リンの施用を行った。

試験区の構成と処理内容は第1表のとおりである。1968年～1974年は4試験区を設け、無改良区が3要素施用、稻わら区（稻わら600kg/10a施用）、無機改良区（ケイカル300kg、熔リン100kg/10a施用）、総合改善区（稻わら300kg、ケイカル150kgと熔リン50kg/10a施用）とした。稻わら区、無機改良区と総合改善区は3要素も施用した。無改良区と稻わら区は石灰資材による酸度矯正を行わなかった。1975年より無改良区の一部を無窒素区と化学肥料区とし、化学肥料区は3要素施用、無窒素区は窒素を除いてリン酸と加里を過リン酸石灰と塩化加里で施用するとともに、土壤pH(H₂O)の状態に応じて秋に酸度矯正のため消石灰を施用した。

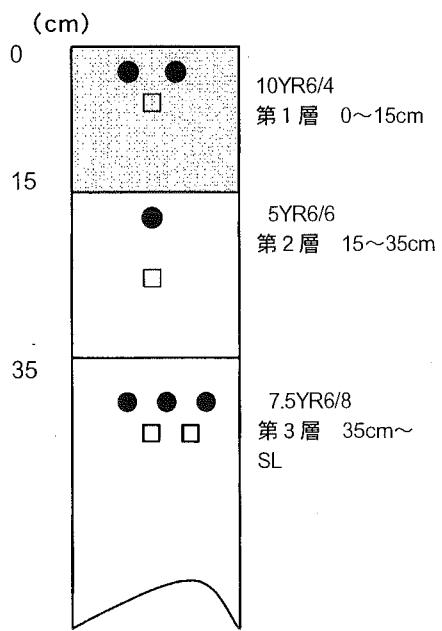
第1表 試験区の構成

試験区名	処理内容	備考
無改良	3要素施用	(1968～1986)
稻わら	稻わら600kg/10a	3要素施用(1968～1986)
無機改良	珪カル300kg、熔リン100kg/10a	3要素施用(1968～1986)
総合改善	稻わら300kg、珪カル150kg、熔リン50kg/10a	3要素施用(1968～1986)
無窒素	過リン酸石灰と塩化加里	酸度矯正(1975～1986)
化学肥料	3要素施用	酸度矯正(1975～1986)

稻わらの組成は第2表のとおりで、稻わらを2～5cmに自動カッターで裁断し、11月に全面散布した。試験規模は1区100m²、1連制で試験を行った。土壤の移動を防ぐため畦シートで囲って水田の代かきを行った。

3 耕種概要

作付けは水稻のみとし、品種「日本晴」を用いて、播種を5月下旬、移植を6月中旬、収穫を10月上旬に行った。1968～1983年は苗代育苗一手植え、1984～1986年はペーパーポット育苗一手植えによる栽培を行った。



第2図 土壌断面図（試験開始前）

注)細粒黄色土(蓼沼統1014)

第2表 施用した稻わらの養分組成 (単位:乾物%)

	N	P	K	Ca	Mg	SiO ₂
平均値	0.68	0.13	1.74	0.37	0.10	10.8

注) 1975～1983年、平均値

施肥量は第3表に示すとおりで概ね県の基準に従った。栽植密度と病害虫防除等の一般管理は当地域慣行栽培に準じて行った。

4 生育、収量調査

生育調査は1区につき3ヶ所で30株を調査した。水稻は最高分けつ期と成熟期に調査を行った。収量調査は1区約3~4m²の2~3反復とした。水稻の収量構成要素は成熟期に平均的な株を抜き取り、調査を行った。

5 土壤の理化学性、作物体等の分析方法

土壤、作物体の採取と分析は常法（農林水産省農蚕園芸局農産課、1979）に基づいて実施した。

1) 土壤

土壤の物理性は実容積法による三相分布を測定した。

土壤の理化学性は作付け終了後作土層の土壤を各区5ヶ所から採取し、風乾粉碎後に2mmの篩にかけ分析に供した。pH (H₂O) とpH (KCl) はガラス電極法、全炭素 (T-C) と全窒素 (T-N) はNCコーダ法、交換性塩基の石灰・苦土・加里はシューレンベルガー法、有効態リン酸はトルオーグ法、有効態ケイ酸はpH4.0の酢酸抽出法で測定した。

2) 作物体

成熟期（収穫期）に平均的な作物体5株程度を抜き取り乾燥粉碎後分析に供した。湿式分解後に窒素はケルダール法、リンは比色法、石灰・苦土は原子吸光法、加里は炎光法、ケイ酸は重量法により定量した。

結 果

1 水稻の生育と収量

第4表に最高分けつ期の生育を示した。1968~1974年の生育は各処理区とも大きな差は認められなかった。1975~1986年の草丈は稻わらを施用している稻わら区と総合改善区が無改良区と無機改良区より明らかに高く、茎数も多かった。酸度矯正を行った化学肥料区の生育は無改良区より優れていた。

第5表に成熟期の生育を示した。1968~1974年の稈長は稻わら区が20.5cmと他区よりも長く、稈長と穗数に差は認められなかった。無改良区の稈長と穗長は他区よりも短かい傾向であった。1975~1986年の稈長は無改良区が70.3cmと他区より低く、稻わら区が76.6cmと最も長くなかった。化学肥料区の稈長は無改良区より高いが、稻わら区、無機改良区と総合改善区より低くなかった。稈長と穗数に大きな差は認められなかった。

第6表に収量と収量構成要素を示した。わら重、粉重と精玄米重は稻わら、ケイカルと熔リンの土壤改良により増加する傾向が認められ、無改良区に対する施用効果は土壤改良期間が長いほど大きい。また、稻わらを施用している稻わら区と総合改善区でわら重が大きく、無改良区を酸度矯正した化学肥料区は無改良区に比べてわら重、粉重と精玄米重が増加した。

第3表 試験年次別の栽植密度と3要素の施肥量

試験年次	栽植密度 (株/m ²)	施肥量 (kg/10a)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1968~1984	16.0	9.0	9.8	10.7
1985~1986	19.8	9.2	6.9	11.2

第4表 土壤改良法が最高分けつ期における水稻の生育に及ぼす影響

処理区	1968~1974年		1975~1986年	
	草丈(cm)	茎数(本/m ²)	草丈(cm)	茎数(本/m ²)
無改良	61.1±6.7	398.6±68.3	67.3±6.0	378.6±69.8
稻わら	61.1±6.6	391.3±83.5	73.3±5.5 ^{aa, cc}	410.6±84.9 ^{aa}
無機改良	62.7±7.2 ^b	399.8±78.6	70.0±6.7	386.9±84.2
総合改善	62.6±8.3	396.1±63.8	72.9±6.3 ^{aa, cc}	413.6±84.5 ^{aa, cc}
無窒素	—	—	61.4±51	258.3±44.9
化学肥料	—	—	70.4±7.6 ^d	422.9±85.0 ^a

注) aa, aは1%, 5%水準で無改良区に対して有意差があることを示す。

bb, bは1%, 5%水準で稻わら区に対して有意差があることを示す。

cc, cは1%, 5%水準で無機改良区に対して有意差があることを示す。

dd, dは1%, 5%水準で総合改善区に対して有意差があることを示す。

1穂粒数は稻わら、ケイカルと熔リンの施用区で増加傾向が認められ、無機改良区が最も高くなつた。登熟歩合は稻わら区で86%程度と低くなつたが、総合改善区において値が高いため、ケイカルと熔リン施用の効果により総合改善区では登熟が向上したと考えられる。千粒重は試験後半に無改良区と化学肥料区で高くなつたが、1穂粒数が少ないためであると考えられる。

第5表 土壤改良法が成熟期における水稻の生育に及ぼす影響

処理区	1968~1974年			1975~1986年		
	稈長 (cm)	穗長 (cm)	穗数 (本/m ²)	稈長 (cm)	穗長 (cm)	穗数 (本/m ²)
無改良	71.6±3.4	19.7±0.6	331.7±40.6	70.3±4.4	20.2±1.1	305.9±43.3
稻わら	74.8±3.1 ^a	20.5±0.5 ^{aa,cc,dd}	333.1±44.5	76.6±3.9 ^{aa,c}	20.7±0.9	314.2±41.6
無機改良	74.9±4.5	19.9±0.5	332.4±50.0	75.0±3.6 ^{aa}	20.3±1.1	298.3±25.4
総合改善	74.7±4.3	20.1±0.5 ^a	331.4±30.4	75.3±3.4 ^{aa}	20.4±0.9	297.3±18.3
無窒素	—	—	—	62.5±2.4	19.3±1.1	199.8±26.9
化学肥料	—	—	—	74.0±3.5 ^{a,bb,cc,d}	20.5±1.1	302.5±29.5

注) aa, aは1%, 5%水準で無改良区に対して有意差があることを示す。

bb, bは1%, 5%水準で稻わら区に対して有意差があることを示す。

cc, cは1%, 5%水準で無機改良区に対して有意差があることを示す。

dd, dは1%, 5%水準で総合改善区に対して有意差があることを示す。

第6表 土壤改良法が水稻の収量と収量構成要素に及ぼす影響

調査期間	わら重 (kg/10a)	粒重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	1穂粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
処理区	(年)					
無改良	1968~1974	625.0	580.1	475.3	83.0	90.0
	1975~1986	619.2	552.1	445.3	79.6	87.8
稻わら	1968~1974	707.9 ^a	640.7 ^{aa}	521.6 ^{aa}	88.3	85.6 ^a
	1975~1986	774.5 ^{aa,c}	642.0 ^{aa}	512.5 ^{aa}	91.5 ^a	86.1
無機改良	1968~1974	683.6 ^a	663.9 ^{aa}	540.6 ^{aa}	92.4 ^a	89.2
	1975~1986	715.2 ^a	655.8 ^{aa}	525.8 ^{aa}	92.9 ^{aa}	91.0 ^b
総合改善	1968~1974	722.7	651.6 ^{aa}	529.0 ^{aa}	94.3 ^a	88.2
	1975~1986	760.5 ^{aa,cc}	657.3 ^{aa}	526.8 ^{aa}	90.5 ^{aa}	88.8
無窒素	1975~1986	432.5	390.5	315.6	76.3	91.5
化学肥料	1975~1986	710.2 ^{a,cc,dd}	626.2 ^{aa,cc}	507.2 ^{aa,cc}	84.5 ^c	87.1

注) aa, aは1%, 5%水準で無改良区に対して有意差があることを示す。

bb, bは1%, 5%水準で稻わら区に対して有意差があることを示す。

cc, cは1%, 5%水準で無機改良区に対して有意差があることを示す。

dd, dは1%, 5%水準で総合改善区に対して有意差があることを示す。

第3図に無改良区に対する収量指數の推移を示した。土壤改良により試験当初より10%程度の增收となり、特に試験開始10年以降で収量指數が大きくなつた。1975年より酸度矯正している化学肥料区は稻わら区、無機改良区と総合改善区に比べると試験開始初期に減収するが、その後は僅かに減収する程度であった。

2 水稻の無機養分含有率と無機養分吸収量

第7表にわらと粒における無機養分含有率の平均値(1982~1986年)を示した。無機改良区と総合

改善区におけるわらの窒素、リンと石灰含有率は無改良区より低くなつたが、苦土とケイ酸は高くなつた。稲わら区と化学肥料区はわらと粉の窒素含有率が高く、ケイ酸含有率も無改良区より高くなつた。無改良区は他区に比べてわらと粉の石灰含有率が高かつた。粉における窒素含有率は各処理区とも無改良区より高くなつたが、ケイカルと熔リン施用区は稲わら区と化学肥料区よりも窒素含有率が低かつた。

第8表に成熟期水稻の無機養分吸収量の平均値(1984~1986年)を示した。窒素吸収量は無改良区が9.7kg/10aと最も低く、稲わら区が13.0kg/10aと最も高かつた。

リン酸は無改良区と無機改良区が低くなつた。ケイ酸と苦土は無機改良区と総合改善区で高く、稲わら区は化学肥料区よりも高くなつた。石灰の吸収量は化学肥料区と無改良区で高くなつた。

3 土壤理化学性と物理性

第9表に試験開始時の土壤理化学性と年次変動を、第4図に全炭素含有率の推移を示した。新規造成水田であるため全炭素(T-C), 交換性石灰(CaO), 交換性苦土(MgO), 有効態ケイ酸(SiO₂)は当県の水田土壤改良目標値(和歌山県農林水産部, 2000)より低い。

第7表 土壤改良法が成熟期水稻の無機養分含有率に及ぼす影響

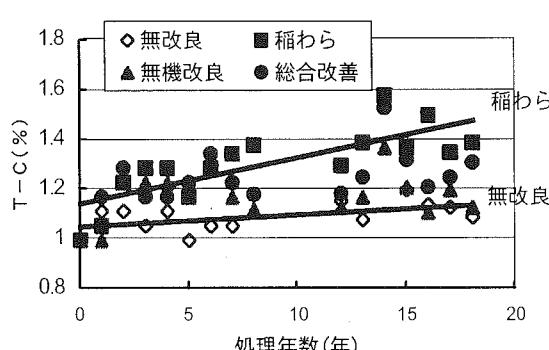
処理区	無機養分含有率(%)					
	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	SiO ₂ (%)
わら 無改良	0.64	0.12	1.50	0.49	0.09	6.14
稲わら	0.71	0.12	1.63	0.39	0.10	8.98
無機改良	0.61	0.07	1.57	0.41	0.13	12.62
総合改善	0.61	0.09	1.59	0.37	0.11	11.61
無窒素	0.51	0.10	1.48	0.40	0.09	11.55
化学肥料	0.71	0.13	1.61	0.43	0.17	7.35
粉 無改良	1.07	0.27	0.35	0.06	0.11	2.53
稲わら	1.21	0.26	0.39	0.05	0.10	3.49
無機改良	1.14	0.28	0.35	0.04	0.12	4.02
総合改善	1.10	0.28	0.36	0.04	0.11	4.39
無窒素	1.07	0.29	0.32	0.04	0.10	4.14
化学肥料	1.25	0.27	0.33	0.04	0.09	2.86

注) 1982~1986年

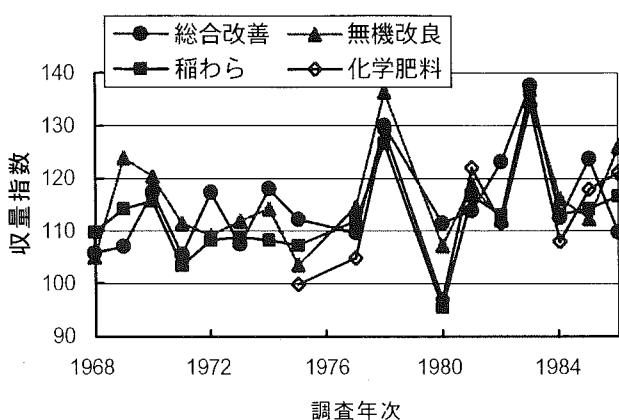
第8表 土壤改良法が成熟期水稻の無機養分吸収量に及ぼす影響

	吸収量(kg/10a)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂
無改良	9.7	5.3	13.2	4.7	2.0	53.5
稲わら	13.0	6.0	19.4	4.5	2.4	96.3
無機改良	11.4	5.2	16.9	4.3	2.9	117.8
総合改善	11.5	5.7	18.6	4.4	2.7	125.2
無窒素	6.1	3.3	8.9	2.8	1.5	65.5
化学肥料	12.6	5.8	17.6	5.0	2.4	63.0

注) 1984~1986年



第4図 土壤改良法が全炭素含有率の年次変動に及ぼす影響



第3図 無改良に対する収量指数の年次変動

注) 化学肥料: 無改良区を酸度矯正(1975~)

第9表 土壤改良法が水稻栽培跡地土壤における土壤理化学性に及ぼす影響

処理区	調査年次	pH	pH	全炭素	全炭素	交換性塩基(mg)			有効態(mg)	
		(H ₂ O)	(KCl)	T-C (%)	T-N (%)	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂
無改良	1968	—	4.6	0.99	0.11	112	15	12	12	13
	1973	5.7	4.3	0.99	0.12	93	12	12	6	5
	1978	5.4	4.3	—	—	80	12	9	6	8
	1984	5.3	4.3	1.13	0.11	76	11	10	7	6
稻わら	1968	—	4.6	0.99	0.11	112	15	12	12	13
	1973	5.8	4.3	1.16	0.13	103	13	16	7	6
	1978	5.4	4.5	—	—	97	15	16	7	12
	1984	5.2	4.2	1.49	0.14	81	12	16	7	10
無機改良	1968	—	4.6	0.99	0.11	112	15	12	12	13
	1973	7.4	6.2	1.16	0.13	229	31	10	45	54
	1978	7.1	6.4	—	—	240	39	9	57	112
	1984	7.0	6.1	1.10	0.12	237	77	23	67	192
総合改善	1968	—	4.6	0.99	0.11	112	15	12	12	13
	1973	6.7	5.5	1.22	0.13	180	23	15	21	24
	1978	6.7	5.9	—	—	189	31	13	21	65
	1984	6.8	5.9	1.20	0.11	200	34	9	19	84
無窒素	1978	6.3	5.2	—	—	164	21	11	18	21
	1984	6.1	5.3	1.07	0.11	149	16	8	12	6
化学肥料	1978	6.2	5.1	—	—	139	19	8	17	16
	1984	5.5	4.6	1.18	0.11	112	13	7	11	7

注) 1968年: 試験開始前土壤

無改良区は全炭素含有率に変化を認めなかつたが、稻わら区は増加し、全窒素と交換性加里(K₂O)も増加した。この両区は無機養分の減少に伴い土壤pH(H₂O, KCl)が低下し、無改良区は1973年に全ての項目が水田土壤改良目標値を下回つた。無機改良区はケイカルと熔リンによる土壤改良を反映して、処理5年目にはpH(H₂O)が7.4と高く、交換性石灰・苦土、有効態リン酸と有効態ケイ酸は増加、全炭素も微増した。総合改善区は無機改良区と同様の傾向を示し、ケイカルと熔リンの施用量が半量であるため、土壤中の含有量も無機改良区より少なかつたが、全炭素は稻わら区に次いで多くなつた。化学肥料区は無改良区を酸度矯正したため、石灰を除いて無改良区と同程度の化学性であった。

1984～1986年に実容積法による土壤物理性の測定を行つた(第10表)。稻わらを施用している稻わら区と総合改善区で固相率と仮比重が小さく、孔隙率が高くなつた。逆に無機改良区は固相率と仮比重が最も大きく、孔隙率が最も低くなつた。

第10表 土壤改良法が土壤物理性に及ぼす影響

処理区	固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)	孔隙 (%)	仮比重
無改良	45.4	32.4	22.3	54.6	1.24
稻わら	42.3	34.0	23.7	57.7	1.14
無機改良	46.4	34.3	19.3	52.6	1.27
総合改善	42.2	34.1	23.7	57.8	1.15
無窒素	45.5	30.4	24.1	54.5	1.20
化学肥料	44.5	31.1	24.4	55.5	1.21

注) 1984～1986年

考 察

1 ケイカルと熔リンの連用が水稻の生育と収量に及ぼす影響

和歌山県における生産者の高齢化率（60歳以上）は第1図に示したとおりで、1975年に21.4%，1985年に26.1%，1995年に34.6%と増加している（農林水産省統計情報部，1975～1995）。このため、米価の低下等の影響もあるが、重いケイ酸資材の施用量が減少している。ケイ酸資材の施用により玄米中窒素含有率が低下（松森・郡司掛，2001）することから、良食味米の生産が可能である。このため、消費者ニーズに適応するには、同資材の施用が必要となる。また、ケイ酸資材施用によりいもち病の発生が抑制（林・森下，2000）されることから、農薬散布回数を減らすためにもケイ酸資材の施用は必要不可欠であろうと考えられる。

本研究は無機養分に乏しい新規造成水田で試験を開始したところ、比較的早い時期より稻わら、ケイカルと熔リンの施用効果による增收効果が認められた。ケイカルと熔リンを施用している無機改良区と総合改善区ではわらのケイ酸含有率が高く、吸収量は他の無機養分に比べて非常に多いことから、両区における增收にケイ酸が関与していると考えられる。

ケイ酸が水稻生育に及ぼす影響として、今回の試験では草丈の伸長（生育の促進）、わら重・粒重の増加（乾物生産量の増加）、1穗粒数の増加が認められた（松尾，1990）。この他にもケイカルの多量施用により粒の窒素含有率低下（第7表）も認められることから食味改善効果も示唆された。

稻わら区、無機改良区と総合改善区では稈長が無改良区と化学肥料区に比べて長くなっている、稻わら施用区では稻わら由来窒素による影響も考えられるが、無機改良区では施用していないためケイ酸の施用により稻体中ケイ酸含有率が高まり、伸长期における養分転流が円滑に進むのではないかと考えられる。水稻の健全な生育には多量のケイ酸が必要（松尾，1990）という見地から考えると、本研究開始時の土壤は有効態ケイ酸含有量が少なく、また、灌漑水である紀ノ川支流・貴志川水系・山田ダムのケイ酸含有量が2.3ppmと極めて低いなど天然供給量が不足していたためケイ酸の增收効果が顕著に現れたと考えられる。

なお、県内主要河川の中流におけるケイ酸含有量（1999年）は第11表（平田，1999）に示した10～12ppmであり、全国における灌漑水質平均値の18.2ppm（高橋，1981）と比較すると非常に低く、ケイ酸資材施用効果が十分に現れると推察される。

ケイ酸の利用率について化学肥料区を対象にして差し引き法により推定すると稻わら区で51%，無機改良区で50%，総合改善区で64%となる。稻わら全量還元を基準としてケイ酸の補給必要量を無機改良区と総合改善区からの差し引きより算出すると22～29kg/10aとなり、この値はケイカル72～96kg施用量に相当する。

今回の研究では初期稻体のリン含有率を調査していないが、試験後期においては熔リンの施用によるリン含有率の増加は認められない。リン酸の効果として初期の茎数を増加させ、最高分け期を早めるという報告（藤原・大平，1959）もあるが、試験初期の生育は各処理区とも同程度であり、試験後期においては稻わら施用区より生育の劣る傾向が認められ、黄色土水田におけるリン酸資材の多量連用による生育向上効果は認められなかった。しかし、筆者らの研究（林・森下，2001）では更なるケイカルと熔リンの連用により初期分けと穗数の減少が確認された。また、稻わら区では有効態リン酸が減少しているにも関わらず、生育への影響は認められないため、土壤改良目標値（乾土10mg/100g）を上回っていれば、リン酸供給は稻わら全量還元と施肥のみで対応することで十分であると考えられた。

2 稻わらの連用が水稻の生育と収量に及ぼす影響

稻わらの施用により稻の窒素、リン酸、カリとケイ酸吸収量が無改良区と化学肥料区より増加し、

第11表 県内主要河川の中流におけるケイ酸濃度

河川名	SiO ₂ (ppm)
紀ノ川	10.3
日高川	11.3
南部川	11.6
富田川	9.8
日置川	10.1
古座川	12.2

わら重、粒重、精玄米重、草丈、稈長、穂数、1穂粒数の増加することが認められた。これらの効果は試験後半で大きく、細粒黄色土においても長期施用で窒素放出率が増加（農業研究センター、1985）すると考えられ、施用初年度における稻わらの窒素取込による減収は認められないことから、温暖地では前年秋に施用すれば問題ないと考えられる。

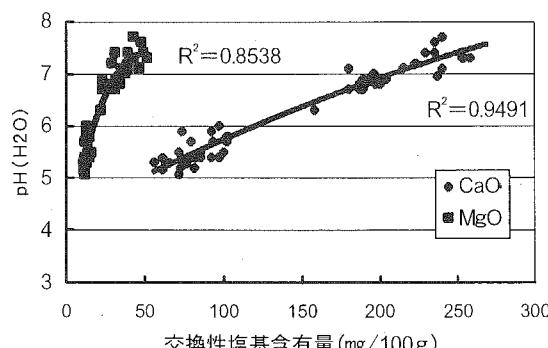
稻わら全量還元（600kg）に伴う養分補給量は、無改良区を対照として本研究の施用稻わらから推察すると、窒素が4.1kg、リン酸が1.8kg、カリが12.6kg、石灰が3.1kg、苦土が1.0kg、ケイ酸が64.8kg/10a供給されている。1984～1986年のデータを基に無改良区を基準として差引き法によりその利用効率を推察すると、稻わら由来の無機養分利用率は窒素82%、リン酸38%、カリ49%、苦土40%、ケイ酸66%となり、無機養分の供給効果が高い。

稻わら区は酸度矯正を行っていないため無改良区同様にpH (H_2O , KCl)、交換性石灰・苦土や有効態リン酸は低下しているが、収量レベルはケイカルと熔リンの施用区に2～3%減収する程度である。無改良区との養分含有率を比較すると窒素、ケイ酸とカリ等の含有率が高く、石灰を除いた無機養分の増加が認められ、これら養分の補給が収量増に関与していると考えられる。

以上のことから、新規造成水田における土壤改良として、収量性向上のためには稻わらの全量還元とケイ酸資材の施用が重要であると考えられる。稻わら施用の効果として、無機養分の供給効果が大きく、石灰資材による酸度矯正を行わずとも長期間高収量を維持することが可能である。ケイ酸資材の併用施用では2～3%の増収しか期待できないが、稻わら施用のみでは窒素含有率が高いため、現在の消費者嗜好である良食味米や低農薬栽培を行うにはケイ酸資材の併用が必要不可欠である。リン酸についてはケイカルとの併用施用では含有率と吸収量が低下したが、稻わらと施肥だけでは有効態リン酸が減少しているため、土壤改良目標値以下の水田では適正量による土壤改良を行う必要がある。

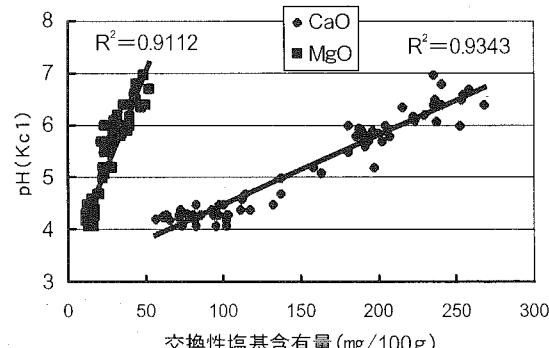
3 稲わら、ケイカルと熔リンの運用が土壤理化学性に及ぼす影響

土壤pHは H_2O とKCl抽出法とともにケイカルと熔リンを施用している無機改良区と総合改善区で高く推移した。無機改良区の栽培跡地土壤における値は施用開始5年目以降pH (H_2O) が7.0を上回っている。総合改善区においても5年目以降は6.7程度と比較的高く推移した。今回の研究では水稻への影響がほとんど認められなかつたが、筆者らの研究では異なるケイカルと熔リン施用により茎数と穂数が減少する傾向を認めている（林・森下、2000）。土壤pH (H_2O , KCl) と交換性石灰・苦土の間に相関関係が認められ、pHの高い土壤で交換性石灰と苦土が高くなり、土壤改良を反映した（第5,6図）。また、全炭素の分析結果から黄色土では稻わらを施用しなくとも、水稻単作の場合土壤改良前の全炭素含有率が約1%と低い場合には、土壤改良前の全炭素含有率を維持することが可能である。



第5図 交換性塩基含有量とpH (H_2O) の関係

注) 細粒黄色土



第6図 交換性塩基含有量とpH (KCl) の関係

注) 細粒黄色土

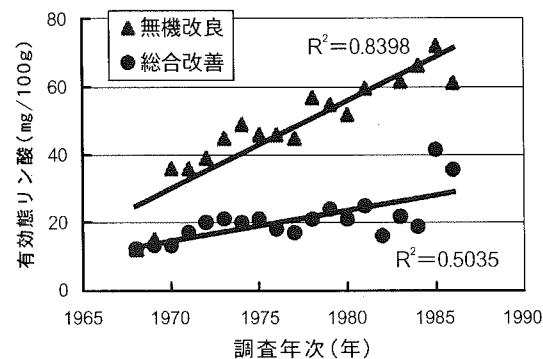
1975年より無改良区を酸度矯正した化学肥料区の生育は無改良区より優れている。酸度矯正による効果は本研究によると窒素、リン酸、カリ、石灰、苦土、ケイ酸の全ての養分吸収量増加につながつており、安定生産のためには酸度矯正が必要であると考えられる。

有効態リン酸は無施用では含有量が減少しているが、稻わら全量還元をベースとすると本研究結果

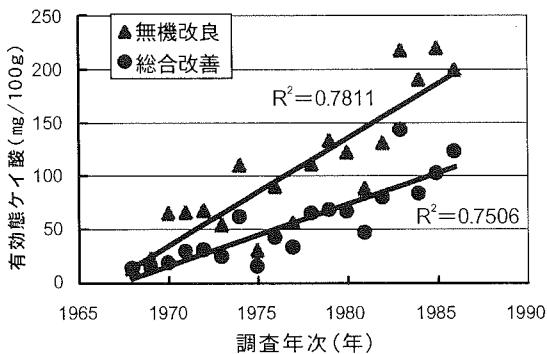
より乾土 7 mg /100g 以上であれば生育に影響は及ぼさないと考えられるが、土壤改良当初の含有量を維持・増加させるためには稲わら全量還元と併せてリン酸資材の施用が必要である。しかしながら、ケイカルとの併用施用では稻体のリン酸吸収量が低下し、熔リン施用量の少ない総合改善区でも土壤蓄積するため、黄色土水田へのリン酸補給量は本研究の施用レベルより低い値が望ましいと考えられる。熔リンの施用区は試験年数と有効態リン酸の增加に相関（無機改良区 $R^2=0.8398$ 、総合改善区 $R^2=0.5035$ 、第7図）が認められている。水田における有効態リン酸蓄積が環境に及ぼす影響として、大橋（1989）は有効態リン酸の増加に伴い水溶性リン酸が増加、代かき時の流亡が大きいとしており、これらの点も今後検討が必要である。

有効態ケイ酸は無施用で増加が認められないことから、適正量を連年補給する必要がある。有効態ケイ酸についてはケイ酸資材の施用区で増加しており、その増加量に相関が認められている（無機改良区 $R^2=0.7811$ 、総合改善区 $R^2=0.7506$ 、第8図）が、水稻の生育や養分含有率との相関は認められない。高橋（1981）は土壤中ケイ酸の分析法として、湛水保温静置法を提案しており、この方法による土壤ケイ酸溶出量と稻体含有率に相関が認められており、筆者の試験結果においても同様の値を得ている（第9図）。

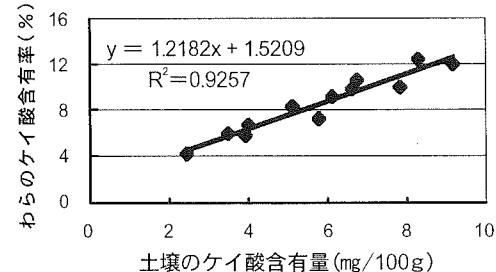
以上のことから、水田においては稲わらの全量還元とケイ酸資材を中心とした土づくりを行うことが重要であると考えられる。しかし、ケイ酸資材の多量施用は有効態ケイ酸蓄積につながるとともに、土壤のアルカリ化を招き、水稻への生育に影響が懸念されるため、適正 pH を維持する程度に施用することが望ましい。今後、土壤診断と作物栽培を結びつけるために湛水保温静置法による土壤と品種別のデータ蓄積が必要である。当県における水田の有効態リン酸に関しては、本研究の黄色土水田では有効態リン酸が 7 mg /100g でも生育に影響が認められないため、黄色土では県土壤改良目標値 10 mg /100g（和歌山県農林水産部、2000）以下の場合は熔リン等リン酸資材を用いて土壤改良を行うことが無難であると考えられるが、野菜後水田の様に有効態リン酸が蓄積しているほ場では施肥や土壤改良により、更なる蓄積を生むため、リン酸の少ない施肥体系を取り入れる必要があると考えられる。



第7図 熔リンの施用が土壤有効態リン酸含有量に及ぼす影響



第8図 硅カルの施用が土壤有効態ケイ酸含有量に及ぼす影響



第9図 湛水静置法による土壤ケイ酸溶出量と稲わらのケイ酸含有率の関係

注) 2000年、品種：キヌヒカリ

摘要

1968年から1986年の19年間、黄色土水田において無改良（3要素）、稲わら600kg/10a、ケイカル300kg・熔リン100kg/10a（年1回施用）、稲わら300kg・ケイカル150kg・熔リン50kg/10a（年1回施用）の連用試験を行い、1975年から1986年には無改良の一部を無窒素、3要素施用（酸度矯正）として水稻の生

育、養分吸収量と跡地土壤の変化について検討した。その結果は以下のとおりである。

- 1) 稲わら、ケイカルと熔リンの施用により水稻の增收効果が認められ、水稻增收効果はケイ酸の吸収量増加に伴う1穂粒数の向上であった。
- 2) 酸度矯正を行わない稻わら施用では窒素供給と他の無機養分が供給され、土壤中の無機養分が減少するものの、ケイカル施用の2~3%減収にとどまった。
- 3) 土壤全炭素含有率が0.99%と低い場合、単作ほ場では有機物を施用しなくとも当初の全炭素率を維持したが、稻わらの施用により全炭素含有率は増加する。
- 4) ケイカルと熔リンの施用により土壤中の有効態ケイ酸と有効態リン酸が蓄積することから、土壤診断による適切な施用が重要である。
- 5) 稲わら全量還元を前提として水稻に対するケイカルの施用量を試算すると72~96kg(ケイ酸30%含有)であった。

謝　　辞

終わりに本研究の実施にあたり長年にわたり調査を継続された現和歌山県農林水産総合技術センター総括専門員の広部純氏、とりまとめにあたりご指導を頂いた同農業試験場の平田滋氏に深く感謝の意を表します。また、収穫および調査に多大のご協力を頂いた当場職員の西岡義高氏、アルバイト職員の小西君子氏と北橋恵美子氏に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 大橋恭一. 1989. 農耕地におけるリン酸の動態に関する研究. 滋賀県農研特報16:3-86.
- 高橋和夫. 1981. 鉱さいの水稻に対する肥効と水田土壤中の有効態ケイ酸に関する研究. 四国農試報38: 75-114.
- 農業研究センター. 1985. 農耕地における有機物施用技術. P.8-28. 茨城県.
- 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壤、水質及び作物体分析法. P. 1-202. 土壤保全調査事業全国協議会. 東京.
- 林恭弘・森下年起. 2000. 黄色土水田における稻わら、ケイカルと熔リンの連用が水稻、タマネギと土壤に及ぼす影響. 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告2.99-114.
- 平田滋. 1999. 和歌山県内主要河川中溶解性成分濃度調査. 平成11年度-東海・近畿ブロック土壤保全対策事業成績検討会-府県関係資料Ⅱ.
- 藤原彰夫・大平幸次. 1959. 高等植物における磷の生理的機能に関する研究(水稻編)第1報. 土肥誌30. 162-170.
- 松尾孝嶺. 1990. ケイ酸の吸収と生理. 稲作大成第2巻生理編. 321-331. 農村漁村文化協会. 東京
- 農林水産省統計情報部. 1975, 1980, 1985, 1990, 1995. 和歌山県統計書. 農業センサス.
- 松森信・郡司掛則昭. 2001. 水稻の養分吸収および玄米品質に及ぼすケイ酸質資材の影響. 九州農業研究63. 60.
- 和歌山県農業試験場. 1978. 地力保全基本調査総合成績書. P. 47-49. 和歌山県農業試験場. 和歌山.
- 和歌山県肥料協会. 1982. 和歌山県肥料史. P. 218-223.