

# 細粒黄色土普通畑における土壌改良資材の長期連用効果

橋本真穂・林恭弘・久田紀夫<sup>1</sup>・森下年起<sup>2</sup>

和歌山県農業試験場

## Effect of Successive Application of Soil Amendment on Vegetable Crop Yield and Soil Properties in Fine-textured Yellow Soils

Maho Hashimoto, Yasuhiro Hayashi, Norio Hisada<sup>1</sup>, Toshiki Morishita<sup>2</sup>

*Wakayama Agricultural Experiment Station*

### 緒言

和歌山県の農耕地土壌には褐色森林土や黄色土、灰色低地土など九つの土壌群が分布している。このうち、黄色土群は普通畑土壌の23%を、水田土壌の30%を占め、本県における作物生産の場として代表的な土壌群となっている。また、黄色土群のなかでは細粒質台地黄色土が最も多く、水田では全黄色土の98%、畑土壌でも94%を占めている（和歌山県農業試験場 1978）。細粒質台地黄色土は、土性は粘質ないし強粘質で、透水性が不良であり、過湿、過乾の影響を受けやすく、耕起碎土が困難で作土深が浅い特徴を有している。また、保肥力は高いものの塩基、腐植の含量が少ない。このため、黄色土普通畑で作物生産を行う場合、作土深の確保、塩基と腐植の補給、透水性、保水性の向上を図る必要がある。

これまでに、和歌山県農業試験場では、本県の黄色土水田において、稲わらと珪酸カルシウム、熔製リン肥による土壌改良が水稻およびタマネギの収量を増加させることや、牛ふんオガクズ堆肥および石灰窒素の長期連用により土壌の物理・化学性を改善することで、水稻、キャベツの収量を増加させることを明らかにしている（林・森下，2001；林・森下，2002；東ら，2005）。一方、黄色土普通畑では、兵庫県や愛知県において短期の堆肥連用が土壌養分動態や土壌物理性に及ぼす影響について報告されているもの（青山ら，2003；糟谷ら，2011）、無機および有機質資材の組み合わせによる長期の土壌改良が土壌の物理・化学性や作物収量に及ぼす影響については報告されていない。

そこで本研究では、県内の代表的な農耕地土壌である細粒黄色土普通畑において、無機および有機質資材の組み合わせによる土壌改良が土壌の生産性に及ぼす影響を明らかにするため、牛ふんオガクズ堆肥、石灰窒素、BMようりんを用いた土壌改良と栽培作物の収量や養分吸収量、栽培跡地の土壌の物理・化学性の関係について検討した。

### 材料と方法

#### 1. 試験ほ場

試験は県北部紀ノ川中流域の支流、貴志川沿岸の台地水田地帯で、階段状の棚田を造成・表上処理し、

<sup>1</sup>現在：食品・生活衛生課

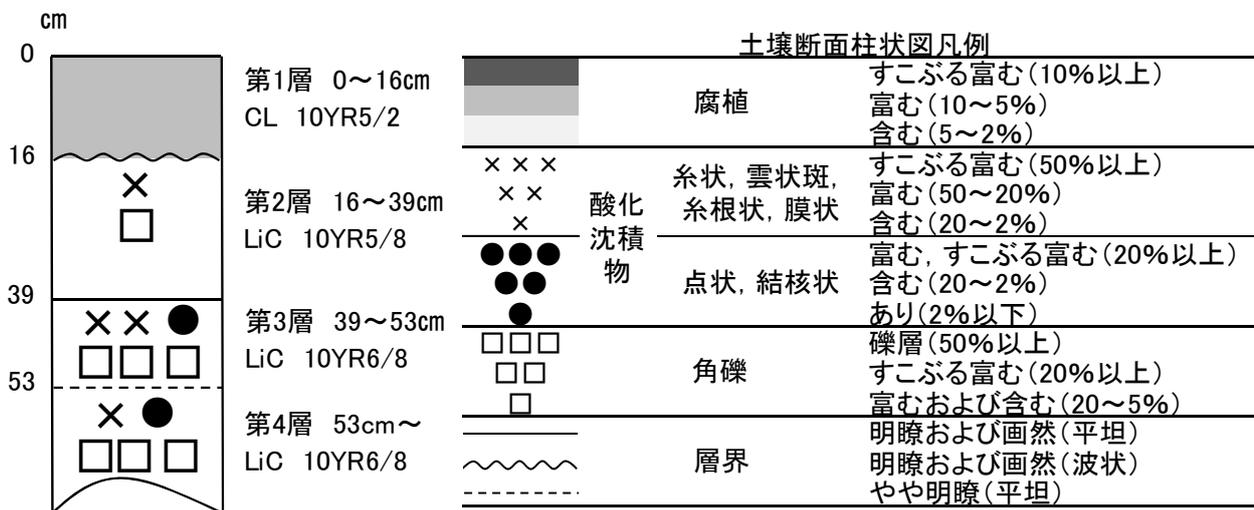
<sup>2</sup>現在：果樹試験場

平坦な普通畑に造成した和歌山県農業試験場(和歌山県紀の川市貴志川町高尾 160)内のほ場で行った。土壌は紀ノ川流域を中心とした台地水田に分布する洪積土壌で細粒質台地黄色土強粘質(細粒黄色土蓼沼統)に分類される。作土層は16cm程度で土性はCL, 下層土はLiCで70cm以下に腐朽礫を含むC層が出現する(第1図)。作土層の陽イオン交換容量(CEC)は11.8me/100gと和歌山県内の農耕地土壌の平均とほぼ等しい。また、鉍質土壌であるためリン酸吸収係数は556と低い。交換性塩基についてはCaO含量が多く、MgOおよびK<sub>2</sub>O含量が低い(第1表)。

第1表 試験ほ場の土壌理化学性

層位	T-C (%)	T-N (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	可給態リン酸 (mg/100g)	交換性塩基(mg/100g)			CEC (me/100g)	リン酸吸収係数
					CaO	MgO	K <sub>2</sub> O		
1	1.86	0.17	7.2	82.2	357	19	33	11.8	556
2	0.08	0.03	5.6	0.0	118	8	13	8.0	-
3	0.08	0.03	5.0	0.0	71	9	11	7.7	-

注)1976年の試験開始前に調査を行った。



第1図 土壌断面図

注)1976年の試験開始前に調査を行った。

2. 試験区の構成

試験区は、第2表、第2図に示すように無窒素区、化学肥料区、有機物区、石灰窒素区、総合改善区の5区を設けて1区96m<sup>2</sup>, 2連制とした。試験は、1976年の冬作から開始し、1997年の夏作までの22年間、42作継続して栽培した。

3. 耕種概要

供試作物は第3表に示すように、夏作は1977年~1987年にサツマイモを、1988年~1997年にカボチャを、冬作は1976年~1982年にレタスを、1983年~1996年にキャベツを作付けした。

各作物の栽培概要、施肥量は第4表から第5表のとおりである。また、施用した牛ふんオガクズ堆肥の成分含量は第6表に示すように、N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oの現物あたり含有率は平均で、それぞれ0.47, 0.63, 0.81%であった。

4. 収量調査

収穫期間中に数回に分け、1区につき4ヵ所で収穫適期の40株を収穫し、収量を調査した。

## 5. 土壌の理化学性、作物体の分析方法

土壌、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）に準じて行った。

### 1) 土壌

土壌の理化学性は作付け終了後に作土層の土壌を各区5ヵ所から採取し、風乾後に粉碎し2mmの篩にかけ分析に供した。pH (H<sub>2</sub>O) はガラス電極法、全炭素 (T-C) と全窒素 (T-N) はCN コーダー法、可給態リン酸はトルオグ法、交換性塩基は1N 酢酸アンモニウム抽出-原子吸光・炎光分析法、陽イオン交換容量 (CEC) はショーレンベルガー法で測定した。

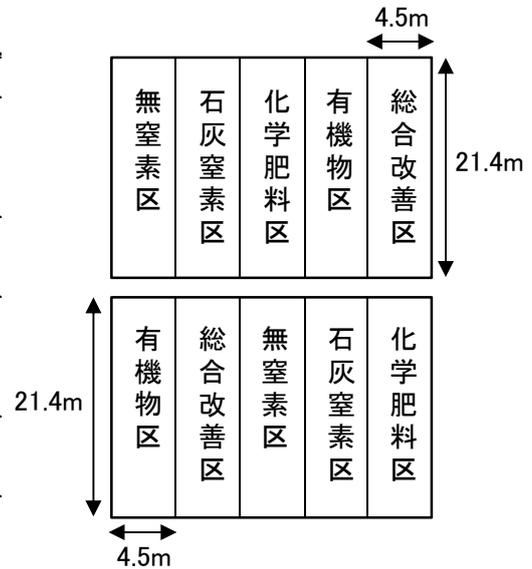
土壌の物理性は作付け終了後に作土層の土壌を各3ヵ所から100ml 採土管を用いて採取し、実容積法で孔隙率および仮比重を測定した。

### 2) 作物体

収穫期に平均的な作物体5個体程度を抜き取り熱風乾燥後粉碎して分析に供した。湿式分解後に窒素はケルダール法、リンは比色法、カルシウム、マグネシウムは原子吸光法、カリウムは炎光光度法により定量した。

第2表 各試験区の処理内容

試験区	処理内容
無窒素区	窒素肥料は無施用とし、リン酸、加里肥料は他処理区と同資材(リン酸はBMようりん、加里は塩化加里を使用)で同量施用。
化学肥料区	窒素肥料として硫酸を使用。リン酸、加里は無窒素区と同じ。
有機物区	有機質資材として牛ふんオガクズ堆肥(第6表)を毎作1.5t/10a施用。他は化学肥料区と同じ。
石灰窒素区	窒素肥料として石灰窒素を使用。他は有機物区と同じ。
総合改善区	有機物区と同じ処理をした上にBMようりんをリン酸吸収係数の1.5%相当量施用(1976~1982年平均:リン酸吸収係数571mg/100g、BMようりん43kg/10a)。



第2図 試験区の配置

注) 各区ともpHが低い場合、苦土石灰による矯正を行った。

第3表 試験期間中の作付け体系

試験年次	1976	1977	.....	1982	1983	.....	1987	1988	.....	1996	1997
夏作	←		← サツマイモ →					←		← カボチャ →	
冬作	←		← レタス →		←		← キャベツ →		←		

第4表 各作物の栽培概要

	サツマイモ	カボチャ	レタス	キャベツ
品種	高系14号	えびす	グレイトレイクス366	湖月
定植	4月下旬	4月下旬	9月下~10月上旬	9月上旬
栽培様式	マルチ露地栽培	マルチ露地栽培	マルチ露地栽培	露地栽培
栽植密度(株/a)	320	63.5	500	360
収穫	9月上旬	7月中~8月上旬	11月下~12月中旬	12月下~1月上旬

第5表 各作物の施肥量(kg/10a)

作期	栽培作物	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
夏作	サツマイモ	8	12	16
	カボチャ	16	12	17
冬作	レタス	24	11	24
	キャベツ	25	15	30

第6表 牛ふんオガクズ堆肥の成分割合(現物%)

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
最小値	0.36	0.31	0.40
最大値	0.70	1.01	1.31
平均値	0.47	0.63	0.81

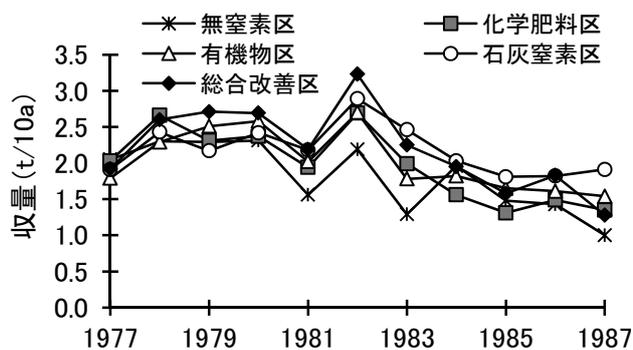
結果

1. 土壤改良法が作物の収量、無機養分含有率および無機養分吸収量に及ぼす影響

1) サツマイモ

サツマイモの収量は、3 作目以降、化学肥料区に比べて有機物区、石灰窒素区、総合改善区で増加する傾向がみられた(第3図)。1977年から1987年までの11作の平均収量は、総合改善区で最も多く、化学肥料区に比べて14%増収した。次いで石灰窒素区が11%、有機物区が4%と土壤改良を行った全ての区でサツマイモ収量の増加がみられた。無窒素区の収量は化学肥料区の94%であり減収割合が小さかった(第7表)。

サツマイモのN含有率は、塊根では石灰窒素区、総合改善区が他区に比べてやや高いがその差は小さく、茎葉では総合改善区が化学肥料区、有機物区、石灰窒素区に比べてやや低かった。K含有率は、塊根、茎葉ともに有機物区、石灰窒素区、総合改善区が化学肥料区に比べて高かった。P含有率は塊根、茎葉ともに化学肥料区と土壤改良を行った3区で差はみられなかった。N吸収量は石灰窒素区が最も多く、次いで総合改善区、有機物区の順であった。P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O吸収量は、有機物区、石灰窒素区、総合改善区が化学肥料区に比べて明らかに高い結果となった(第8表)。



第3図 土壤改良法がサツマイモの収量に及ぼす影響

第7表 土壤改良法がサツマイモの収量に及ぼす影響

試験区	平均収量 (kg/10a)	収量指数 (%)
無窒素区	1886 ± 405	94
化学肥料区	2036 ± 478	100
有機物区	2075 ± 410	104
石灰窒素区	2212 ± 342	111
総合改善区	2295 ± 505	114

注) 1977~1987年の平均値±標準偏差を示した。収量指数: 化学肥料区を100とした相対値。

第8表 土壤改良法がサツマイモの無機養分含有率および無機養分吸収量に及ぼす影響

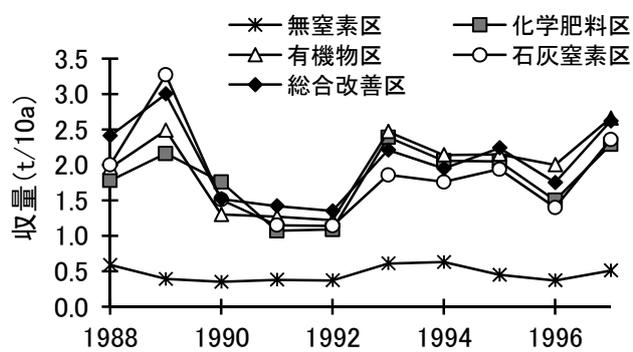
試験区	塊根の養分含有率(%)					茎葉の養分含有率(%)					養分吸収量(kg/10a)		
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
無窒素区	0.44	0.20	1.83	0.16	0.07	1.98	0.40	5.21	1.62	0.29	4.0	3.0	14.8
化学肥料区	0.58	0.17	1.47	0.18	0.07	2.35	0.35	4.62	1.60	0.39	6.9	3.2	14.8
有機物区	0.59	0.19	1.61	0.18	0.07	2.33	0.36	5.16	1.53	0.36	8.8	4.4	21.6
石灰窒素区	0.67	0.18	1.66	0.19	0.06	2.33	0.36	5.45	1.61	0.29	11.2	4.8	27.4
総合改善区	0.63	0.18	1.64	0.19	0.07	2.21	0.37	5.31	1.57	0.38	9.1	4.9	23.9

注) 1977~1987年の平均値。

## 2) カボチャ

カボチャの収量は、年次変動が大きいものの、化学肥料区に比べて有機物区および総合改善区で増加する傾向を示した(第4図)。1998年から1997年までの10作の平均収量は、サツマイモ作と同様に総合改善区が最も多く、化学肥料区に比べて14%増収した。次いで有機物区が9%増収した。石灰窒素区は化学肥料区とほぼ同等であった(第9表)。

カボチャのN含有率は、果実、茎葉ともに、化学肥料区と土壌改良を行った3区で差はみられなかった。茎葉のK含有率は石灰窒素区、総合改善区が他区に比べて高かった。N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O吸収量はともに、石灰窒素区、総合改善区が化学肥料区に比べて多かった。化学肥料区と有機物区では各養分の吸収量に差はみられなかった(第10表)。



第4図 土壌改良法がカボチャの収量に及ぼす影響

第9表 土壌改良法がカボチャの収量に及ぼす影響

試験区	平均収量 (kg/10a)	収量指数 (%)
無窒素区	465 ± 111	27
化学肥料区	1815 ± 468	100
有機物区	1966 ± 533	109
石灰窒素区	1839 ± 635	102
総合改善区	2047 ± 546	114

注) 1988~1997年の平均値±標準偏差を示した。  
収量指数: 化学肥料区を100とした相対値。

第10表 土壌改良法がカボチャの養分含有率および養分吸収量に及ぼす影響

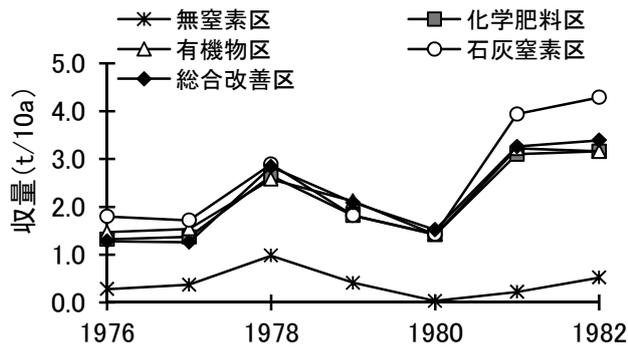
試験区	果実の養分含有率 (%)					茎葉の養分含有率 (%)					養分吸収量 (kg/10a)		
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
無窒素区	1.32	0.46	2.49	0.21	0.14	2.04	0.94	4.10	3.57	0.54	1.6	1.4	3.9
化学肥料区	1.49	0.37	2.38	0.14	0.13	2.64	0.61	4.63	3.07	0.52	9.2	4.9	17.7
有機物区	1.48	0.37	2.05	0.14	0.13	2.73	0.68	4.59	2.98	0.52	9.6	5.1	17.7
石灰窒素区	1.42	0.39	2.21	0.10	0.12	2.65	0.74	5.06	2.70	0.62	10.0	6.2	20.7
総合改善区	1.44	0.40	2.11	0.15	0.13	2.62	0.75	5.04	2.89	0.60	10.2	6.6	20.7

注) 1988~1997年の平均値。

## 3) レタス

レタスの収量は、カボチャと同様に年次変動が大きかったが、化学肥料区に比べて有機物区、石灰窒素区、総合改善区で増加する傾向を示した(第5図)。1976年から1982年までの7作の平均収量は、石灰窒素区が最も多く、化学肥料区に比べて19%増収した。次いで有機物区、総合改善区で、それぞれ6%、4%増収した(第11表)。

レタスの結球部の各養分含有率は、無窒素区を除き処理区間の差が小さかった。外葉のN、P含有率は結球部と同様に無窒素区を除き処理区間差が小さかった。K含有率は有機物区、石灰窒素区、総合改善区が化学肥料区に比べて高かった。K<sub>2</sub>O吸収量は化学肥料区に比べて土壌改良を行った3区で大きい値を示したが、その他はいずれについても差はみられなかった(第12表)。



第5図 土壤改良法がレタスの収量に及ぼす影響

第11表 土壤改良法がレタスの収量に及ぼす影響

試験区	平均収量 (kg/10a)	収量指数 (%)
無窒素区	401 ± 299	19
化学肥料区	2120 ± 827	100
有機物区	2216 ± 784	106
石灰窒素区	2556 ± 1163	119
総合改善区	2234 ± 926	104

注) 1976~1982年の平均値±標準偏差を示した。  
収量指数: 化学肥料区を100とした相対値。

第12表 土壤改良法がレタスの養分含有率および養分吸収量に及ぼす影響

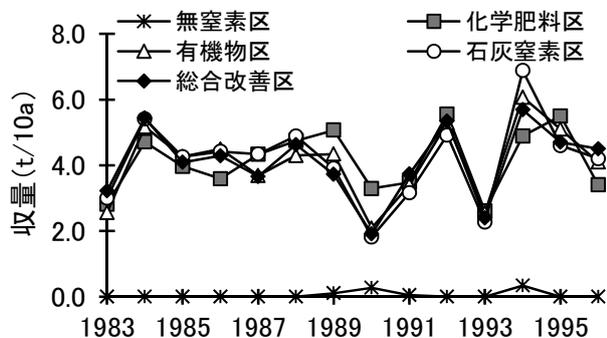
試験区	結球部の養分含有率(%)					外葉の養分含有率(%)					養分吸収量(kg/10a)		
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
無窒素区	2.12	0.62	4.79	0.58	0.16	2.11	0.45	7.50	1.43	0.29	1.3	0.3	4.0
化学肥料区	3.92	0.76	5.68	0.74	0.23	3.89	0.49	8.68	1.57	0.41	7.2	1.0	12.5
有機物区	3.82	0.79	5.95	0.70	0.21	3.79	0.50	9.16	1.47	0.39	7.5	1.1	14.0
石灰窒素区	3.92	0.76	5.79	0.80	0.21	3.84	0.50	9.06	1.68	0.39	7.9	1.2	14.2
総合改善区	3.95	0.81	6.00	0.71	0.23	3.96	0.54	9.31	1.54	0.42	7.8	1.2	14.2

注) 1976~1982年の平均値。

#### 4) キャベツ

キャベツの収量はカボチャおよびレタスと同様に年次変動が大きかった(第6図)。1983年から1996年までの14作の平均収量は、有機物区、石灰窒素区、総合改善区とも化学肥料区と同等の収量であり、土壤改良資材による増収効果が認められなかった(第6図、第13表)。

キャベツの結球部の各養分含有率は、レタスと同様に無窒素区を除き処理区間の差が小さかった。外葉のK含有率はレタスと異なり石灰窒素区、有機物区、総合改善区が化学肥料区に比べて低かった。外葉のCa含有率は石灰窒素区が他区に比べて高かった。N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O吸収量はともに、無窒素区を除き処理区間の差が小さかった(第14表)。



第6図 土壤改良法がキャベツの収量に及ぼす影響

第13表 土壤改良法がキャベツの収量に及ぼす影響

試験区	平均収量 (kg/10a)	収量指数 (%)
無窒素区	55 ± 111	1
化学肥料区	4140 ± 968	100
有機物区	4101 ± 1150	99
石灰窒素区	4149 ± 1296	100
総合改善区	4094 ± 1097	100

注) 1983~1996年の平均値±標準偏差を示した。  
収量指数: 化学肥料区を100とした相対値。

第14表 土壌改良法がキャベツの養分含有率および養分吸収量に及ぼす影響

試験区	結球部の養分含有率(%)					外葉の養分含有率(%)					養分吸収量(kg/10a)		
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
無窒素区	1.74	0.38	2.63	1.05	0.21	1.34	0.25	2.18	2.18	0.28	1.5	0.6	3.0
化学肥料区	2.60	0.40	2.65	1.04	0.22	2.32	0.34	2.69	2.80	0.38	20.5	6.4	24.4
有機物区	2.60	0.42	2.71	0.99	0.23	2.33	0.34	2.60	2.78	0.43	20.5	6.7	24.8
石灰窒素区	2.56	0.38	2.49	1.09	0.19	2.33	0.32	2.09	3.80	0.35	20.5	6.3	22.5
総合改善区	2.62	0.41	2.63	1.03	0.25	2.40	0.34	2.34	3.18	0.52	20.9	6.7	23.8

注)1983~1996年の平均値.

## 2. 土壌改良法が施用窒素の利用率に及ぼす影響

各作物における牛ふんオガクズ堆肥中窒素を含む施用全窒素の見かけの利用率を第15表に示した.作物別の窒素利用率は,キャベツが最も高く59~76%,次いでサツマイモが35~52%,カボチャが33~48%,レタスが最も低く20~25%であった.カボチャ,レタス,キャベツにおいては,化学肥料区の利用率が最も高かった.これらの作物では,牛ふんオガクズ堆肥を施用した有機物区,石灰窒素区,総合改善区の利用率が,化学肥料区に比べて5~17%低下した.サツマイモでは,化学肥料区と石灰窒素区の利用率は同等であり,有機物区,総合改善区は他の3作物と同様に14%程度利用率が低下した.

第15表 土壌改良法が各作物の窒素利用率に及ぼす影響

栽培作物	施用窒素利用率(%)			
	化学肥料区	有機物区	石灰窒素区	総合改善区
サツマイモ	49.7	35.3	52.1	36.8
カボチャ	47.5	35.5	33.8	36.5
レタス	24.8	20.2	21.5	21.2
キャベツ	75.9	59.1	59.1	60.5

注)窒素利用率=(各区の窒素吸収量-無窒素区の窒素吸収量)÷施用窒素×100

施用窒素=施肥窒素+牛ふんオガクズ堆肥中窒素

牛ふんオガクズ堆肥の窒素含有率は現物当たり0.47%とした.

## 3. 土壌改良法が土壌の理化学性に及ぼす影響

土壌pHは,無窒素区,石灰窒素区では試験期間を通じて試験開始時とほぼ同じ値を維持した.しかし,他の3区は年々低下傾向にあり,特に,化学肥料区,有機物区で大きく低下した(第7図).

交換性CaO含量は,石灰窒素区において,22年間の試験期間を通じてほぼ一定の水準を保った.しかし,他の4区は年々減少傾向にあり,特に化学肥料区で減少が著しく,試験終了時には当初の半分以下となった(第8図).

交換性MgO含量は,いずれの試験区においても1982年まで増加傾向にあり,特に総合改善区で大きく増加した.その後,無窒素区では増加傾向を示し,石灰窒素区はほぼ同じ値を保った.化学肥料区,有機物区,総合改善区は減少傾向を示し,特に化学肥料区では試験後半の1987年~1997年において,他区に比べて明らかに低い値で推移した(第9図).

交換性K<sub>2</sub>O含量は無窒素区で最も高く推移していた.牛ふんオガクズ堆肥を施用した有機物区,石灰窒素区,総合改善区は化学肥料区に比べて高く推移し,1987年頃までは増加傾向を示し,それ以降は50

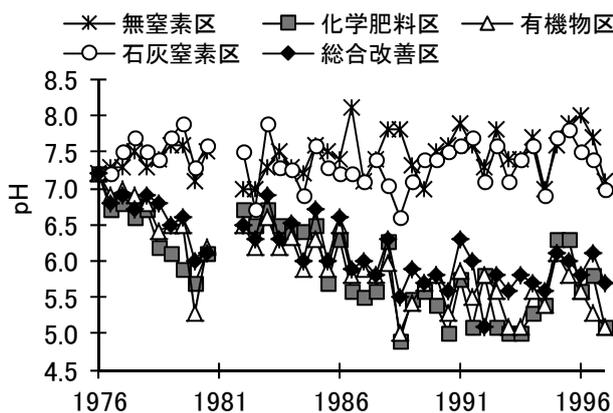
～60mg/100g でほぼ一定であった（第10図）。

可給態リン酸含量は石灰窒素区が最も高く、次いで無窒素区となった。この2区は試験期間を通じて増加傾向を示し、試験終了時には石灰窒素区では 250mg/100g、無窒素区では 180mg/100g 程度まで増加した。有機物区、総合改善区は 1982 年頃までは増加傾向を示し、その後、有機物区は 100mg/100g、総合改善区は 150mg/100g 程度で推移した。化学肥料区は年により増減はあるものの、70mg/100g 前後で推移していた（第11図）。

全炭素含有率は、無窒素区、および化学肥料区に比べて、有機物区、石灰窒素区、総合改善区で高い値を示した。牛ふんオガクズ堆肥を施用したこの3区は 1987 年まで増加傾向にあり、その後はほぼ一定の値で推移した。化学肥料区では 1987 年頃まで減少傾向を示し、その後はほぼ一定の値で推移した。無窒素区は試験期間を通じて減少傾向を示した（第12図）。全窒素含有率も全炭素含率と同様の傾向を示した（第13図）。

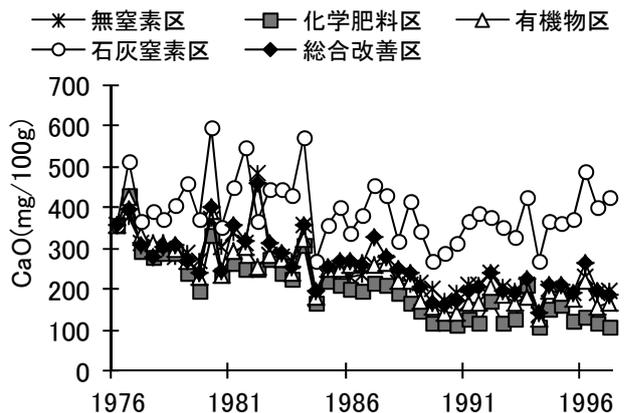
1982 年～1991 年における CEC は、牛ふんオガクズ堆肥を施用した有機物区、石灰窒素区、総合改善区において化学肥料区に比べて、2～3me 程度高い値を示した（第14図）。また、土壌の全炭素含有率と CEC との間には強い正の相関が認められた（第15図）。

土壌の仮比重は、無窒素区>化学肥料区>有機物区=石灰窒素区>総合改善区の順に小さな値を示し、牛ふんオガクズ堆肥を施用した3区で化学肥料区に比べて減少した。孔隙率はこれらの結果とは逆に、牛ふんオガクズ堆肥を施用した3区で化学肥料区に比べて増加した（第16図）。

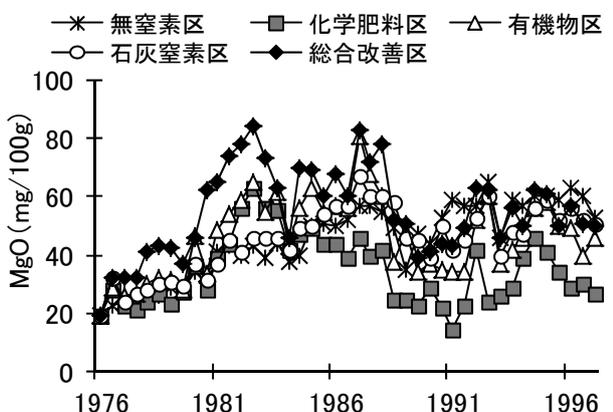


第7図 土壤改良法が土壌pHに及ぼす影響  
注)1981年のデータは欠損。

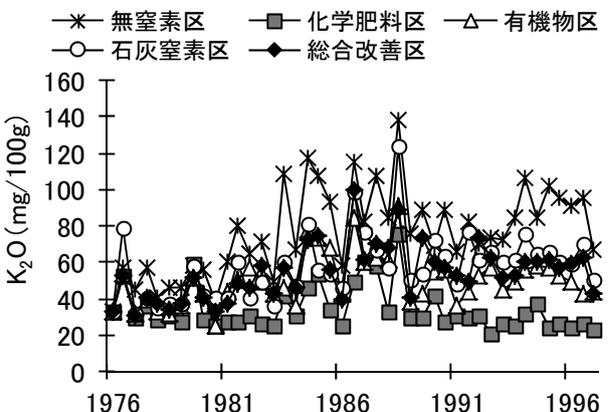
調査は年2回、作付終了後に行った。



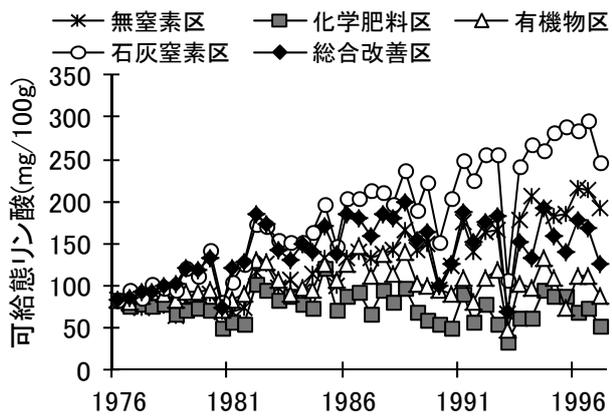
第8図 土壤改良法が交換性CaO含量に及ぼす影響  
注)調査は年2回、作付終了後に行った。



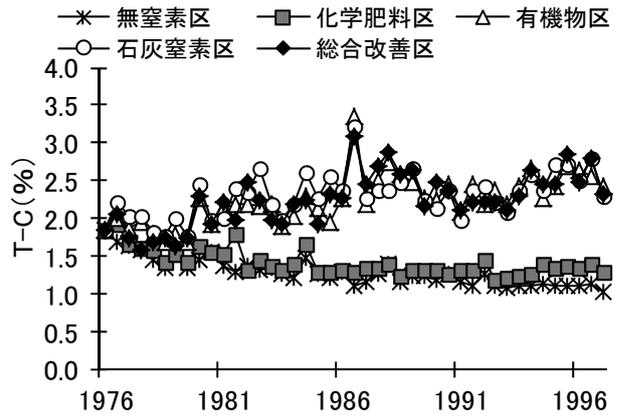
第9図 土壤改良法が交換性MgO含量に及ぼす影響  
注)調査は年2回、作付終了後に行った。



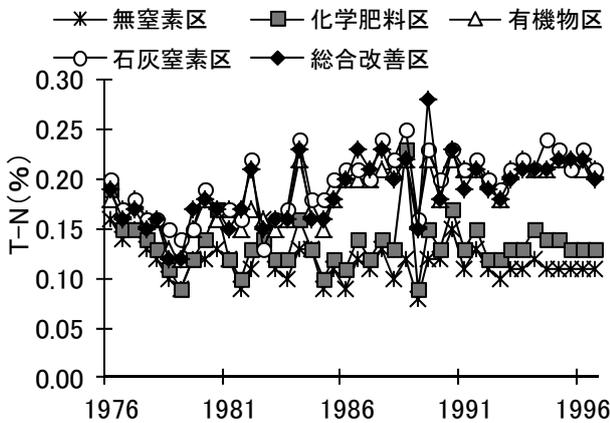
第10図 土壤改良法が交換性K<sub>2</sub>O含量に及ぼす影響  
注)調査は年2回、作付終了後に行った。



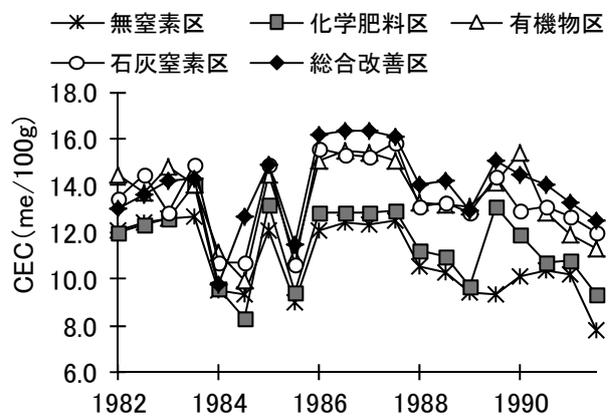
第11図 土壌改良法が可給態リン酸含量に及ぼす影響  
注) 調査は年2回, 作付終了後に行った。



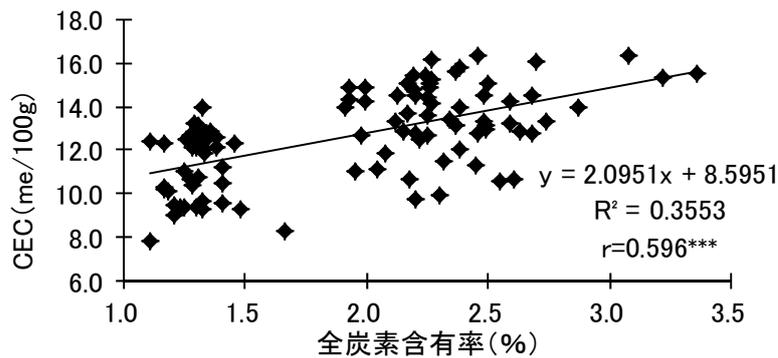
第12図 土壌改良法が全炭素含有率に及ぼす影響  
注) 調査は年2回, 作付終了後に行った。



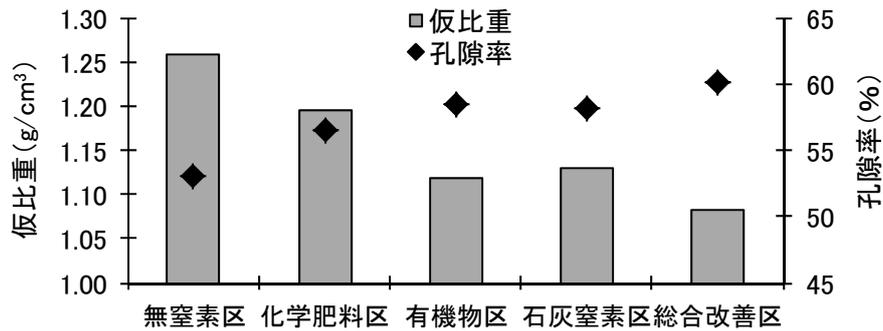
第13図 土壌改良法が全窒素含有率に及ぼす影響  
注) 調査は年2回, 作付終了後に行った。



第14図 土壌改良法がCECに及ぼす影響  
注) 1982~1991年のみ調査。  
調査は年2回, 作付終了後に行った。



第15図 土壌の全炭素含有率とCECとの関係  
注) \*\*\*: 0.1%水準で有意。 1982~1991年調査。



第16図 土壌改良法が土壌の仮比重及び孔隙率に及ぼす影響  
注) 値は1992～1997年の平均値

4. 土壌改良資材の施用による土壌化学性の改善が作物収量に及ぼす影響

各作物の収量指数と土壌分析値指数との相関を第16表に示した。各作物の収量指数は化学肥料区の収量を100とした場合の各試験区の相対値、土壌分析値指数は化学肥料区の土壌分析値を100とした場合の各試験区の土壌分析値の相対値とした。

サツマイモの収量指数は、T-C, T-N, CaO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>と正の相関があり、特にP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>と強い相関関係を示した。カボチャはT-N, レタスはCaOとの正の相関が認められた。キャベツの収穫指数と土壌分析値指数との間に相関は認められなかった。

第16表 各作物の収量指数と土壌分析値指数との相関係数

栽培作物	pH	T-C	T-N	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
サツマイモ	0.127	0.504 **	0.465 **	0.423 *	0.076	0.539 **	0.729 ***
カボチャ	-0.270	-0.181	0.432 *	-0.193	0.183	-0.213	-0.143
レタス	0.041	0.406	0.179	0.423 *	-0.310	0.264	0.206
キャベツ	-0.048	0.013	-0.092	0.046	-0.122	0.233	0.088

注) \*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5, 1, 0.1%水準で有意であることを示す。

収穫指数: 化学肥料区の収量を100とした場合の各試験区の収量の相対値。

土壌分析値指数: 化学肥料区の土壌分析値を100とした場合の各試験区の土壌分析値の相対値。

5. 土壌改良資材の長期連用が土壌の理化学性に及ぼす影響

作付回数と各土壌分析値の増加量との相関を第17表に、牛ふんオガクズ堆肥区の作付回数とT-C増加量との関係を第17図に示した。牛ふんオガクズ堆肥の施用による土壌分析値の増加量は、有機物区と化学肥料区の土壌分析値の差を、石灰窒素の施用による土壌分析値の増加量は、石灰窒素区と有機物区の土壌分析値の差を、BMようりんの施用による土壌分析値の増加量は、総合改善区と有機物区の土壌分析値の差とした。

牛ふんオガクズ堆肥の施用は、T-CおよびT-Nと非常に強い正の相関を示した。また、MgO, K<sub>2</sub>O, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>とも正の相関を示した。石灰窒素の施用は、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の増加量と非常に強い正の相関を示した。また、pH, CaOと強い正の相関を、MgO, K<sub>2</sub>Oとも正の相関を示した。BMようりんの施用は、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>と強い正の相

関を示し, pH, K<sub>2</sub>Oとも正の相関を示した.

第17表 資材施用による土壌分析値の増加量と作付回数との相関係数

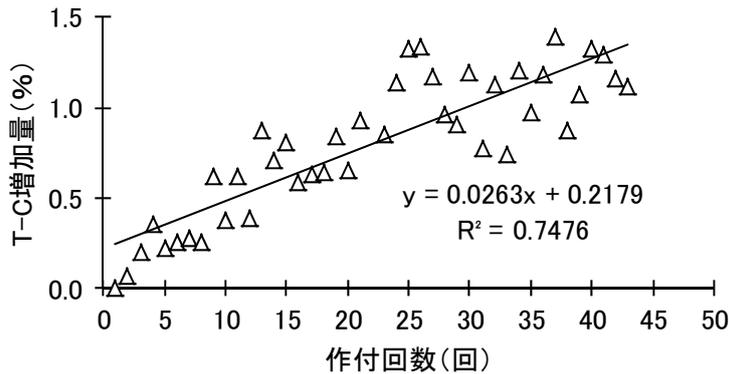
土壌改良資材	pH	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	T-C	T-N
牛ふんオガクズ堆肥	-0.125	0.344 *	0.545 ***	0.559 ***	0.412 **	0.865 ***	0.764 ***
石灰窒素	0.632 ***	0.587 ***	0.458 **	0.366 *	0.928 ***	-0.279	-0.006
BMようりん	0.358 *	0.229	-0.173	0.375 *	0.659 ***	0.127	-0.037

注)\*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5, 1, 0.1%水準で有意であることを示す.

土壌分析値の増加量:牛ふんオガクズ堆肥:有機物区の土壌分析値-化学肥料区の土壌分析値.

石灰窒素:石灰窒素区の土壌分析値-有機物区の土壌分析値.

BMようりん:総合改善区の土壌分析値-有機物区の土壌分析値.



第17図 牛ふんオガクズ堆肥の施用が全炭素含有率増加量に及ぼす影響

注)全炭素含有率増加量:牛糞オガクズ堆肥:有機物区-化学肥料区

## 考察

### 1. 有機物および無機質土壌改良資材の連用が作物収量に及ぼす影響

サツマイモ, カボチャ, レタスの収量は, 土壌改良資材を施用した有機物区, 石灰窒素区および総合改善区で増加する傾向を示した(第4, 5, 6図, 第7, 9, 11表). 一般的に土壌の物理性は作物収量に大きく影響を及ぼすが, 渡辺・児玉(1965)は特に土壌硬度や土壌の通気性と作物収量との間に強い相関がみられたことを報告している. 本研究においても, 特に牛ふんオガクズ堆肥を施用した有機物区, 石灰窒素区および総合改善区で土壌孔隙率の増加が認められた(第15図). このことから, 牛ふんオガクズ堆肥の長期連用による土壌の膨軟化がサツマイモ, カボチャ, レタスの収量を向上させた要因の一つであると推察される.

サツマイモの収量指数は, T-C, T-N, CaO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>と正の相関を示し, カボチャはT-N, レタスはCaOと正の相関が認められたことから(第17表), サツマイモ栽培時には, 牛ふんオガクズ堆肥施用によるT-C, T-N, 交換性K<sub>2</sub>Oの増加を図るとともに, 石灰窒素とBMようりんの施用より交換性CaOと可給態リン酸の増加を図ることが増収に効果的であると考えられる. また, カボチャは牛ふんオガクズ堆肥による全窒素含有率, すなわち地力窒素の増加, レタスは石灰窒素施用による交換性CaO含量の増加が増収に寄与したと考えられる.

以上のことから, サツマイモ, カボチャ, レタスの収量性の向上を図るためには, 牛ふんオガクズ堆肥の長期連用による土壌の物理・化学性の改善が重要であり, 石灰窒素やBMようりんなどの無機質土壌

改良資材はその効果をより増加させることが明らかとなった。一方で、これまでに実施された堆肥施用試験では、土壤理化学性の改善と増収とともに、窒素利用率の低下が報告されている（上山ら，1995）。本研究においても、牛ふんオガクズ堆肥施用区で窒素利用率の低下が認められた（第15表）。堆肥施用に伴う窒素利用率の低下は、堆肥由来窒素の大部分が有機態窒素であることに起因するが、土壤中での過剰な有機態窒素の蓄積は可給態窒素量の増加とそれに伴う硝酸性窒素の溶脱や一酸化二窒素の放出など環境負荷につながる。糟谷ら（2011）は、黄色土における5年間の牛ふん堆肥の多量施用により、雨期に多量の硝酸性窒素溶脱が生じると報告している。これらのことから、家畜ふん堆肥を長期連用する場合には、堆肥由来窒素を勘案した施肥設計を行う必要があると考えられる。

## 2. 有機物および無機質土壤改良資材の連用が土壤の物理・化学性に及ぼす影響

一般的に、黄色土は腐植含量および交換性塩基含量が低く、また、保水性および透水性に乏しいため、有機物や無機質土壤改良資材による土壤改良が必要であるとされている（和歌山県農業試験場，1978）。本研究で供試した試験ほ場においても、試験開始時における全炭素含有率、交換性MgO、交換性K<sub>2</sub>O含量は低かったが、22年間にわたり牛ふんオガクズ堆肥、石灰窒素、BMようりんによる土壤改良を継続した結果、土壤の物理・化学性において土壤改良資材の施用効果が顕著に認められた。

土壤pHおよび交換性CaO含量は石灰窒素区において試験開始時の値を維持し、pHおよびCaO含量の増加量が石灰窒素の施用と強い正の相関を示したことから（第7、8図、第17表）、土壤pHおよび交換性CaO含量の維持には石灰窒素の施用が有効であると考えられた。また、一般的に家畜ふんを含む堆肥を連用すると土壤pHおよび交換性CaOが増加するといわれ（和歌山県農林水産部，2011）、本試験でも牛ふんオガクズ堆肥の施用とCaO増加量には正の相関がみられたものの（第17表）、有機物区では土壤pHおよび交換性CaOの減少が認められたことから（第7、8図）、牛ふんオガクズ堆肥を年間3t/10a施用しても土壤pHおよび交換性CaO含量の維持は困難であることが示唆された。

交換性MgO含量は、試験後半において土壤改良資材施用区において化学肥料区に比べ増加する傾向を示し、特に牛ふんオガクズ堆肥の施用と交換性MgO含量の増加量に強い正の相関が認められたことから（第9図、第17表）、交換性MgO含量の増加には牛ふんオガクズ堆肥の施用が有効であると考えられた。

交換性K<sub>2</sub>O含量は、土壤改良資材施用区において化学肥料区に比べて増加する傾向を示し、牛ふんオガクズ堆肥の施用と交換性K<sub>2</sub>O含量の増加量が高い正の相関を示したことから（第10図、第17表）、牛ふんオガクズ堆肥の施用が交換性K<sub>2</sub>O含量を増加させたことが示唆された。一般的に、牛ふんを含む堆肥はカリウム含量が多いため、牛ふん堆肥の連用は土壤の交換性K<sub>2</sub>O含量を増加させる（黒柳ら，1996）。近年では、牛ふん堆肥の長期連用や多量施用による土壤K<sub>2</sub>O含量の増加に起因する作物の生理障害の報告もみられる（鎌田，2009）。本研究では、試験開始時の交換性K<sub>2</sub>O含量が小さかったため22年間の連用後も交換性K<sub>2</sub>O含量が大きく増加することはなかったが、さらに連用を続ける場合には交換性K<sub>2</sub>O含量の挙動に注意する必要がある。

土壤の可給態リン酸含量は、石灰窒素区と総合改善区で化学肥料区に比べて高い値を示し、土壤の可給態リン酸増加量と石灰窒素の施用には非常に強い正の相関が、またBMようりんの施用とも強い正の相関が認められたことから（第11図、第17表）、石灰窒素およびBMようりんの施用により可給態リン酸が増加することが明らかとなった。BMようりに比べて、石灰窒素の施用により可給態リン酸量がより顕著に増加した要因の一つとして土壤pHの矯正が考えられる。一般的に、酸性条件下では施肥リン酸の大部分が土壤中のアルミニウムや鉄と結合し、難溶性無機リン酸を生成するが（松田ら，1984）、石灰窒素施用により土壤pHが中性付近に保たれたため、施肥リン酸が土壤に固定されにくかったものと推察さ

れた。これらのことから、土壌改良資材として石灰窒素を施用する場合にはリン酸資材の施用は必要ないと考えられた。

土壌の全炭素含有率は、牛ふんオガクズ堆肥を施用した試験区で増加する傾向を示し、牛ふんオガクズ堆肥の施用と非常に高い正の相関を示したことから(第12図, 第17表), 牛ふんオガクズ堆肥の施用が土壌の全炭素含有率を増加させたと考えられた。また, CECも牛ふんオガクズ堆肥を施用した試験区で増加する傾向を示した(第14図)。一般的にCECの向上には堆肥などの有機物の施用による腐植含量の増加が効果的であるとされ, 本試験でも土壌の全炭素含有率とCECの間には有意な正の相関が認められたことから(第15図)牛ふんオガクズ堆肥の施用による腐植の増加がCECを増加させたと推察された。牛ふんオガクズ堆肥区の作付回数とT-C増加量, T-CとCECの関係から, 牛ふんオガクズ堆肥を1作あたり1.5t/10a施用し20作連用すると, 土壌の全炭素含有率は0.5%, CECは約1me/100g増加することになる(第15, 17図)。このように, 黄色土の露地野菜畑において保肥力の向上を図るためには, 長期の堆肥連用が必要であることが示唆される。

土壌の仮比重は, 無窒素区に比べ化学肥料区で減少し, さらに牛ふんオガクズ堆肥の施用により減少する傾向を示した一方, 土壌の孔隙率は無窒素区に比べて化学肥料区で増加し, さらに牛ふんオガクズ堆肥の施用により増加する傾向を示したことから(第16図), 牛ふんオガクズ堆肥の連用や, 収量の増加に伴う植物根由来の有機物量の増加により土壌孔隙量が増加したものと推察された。有機物の施用による土壌物理性の改善については, 土壌孔隙量の増加による軽量化や膨軟化のほかに通気性や保水性, 透水性の向上も多数報告されていることから(黒柳ら, 1997; 藤川ら, 2013), 本研究においても, 牛ふんオガクズ堆肥の施用により土壌の通気性や保水性, 透水性が向上していたと考えられた。

## 摘要

1976年から1997年までの22年間, 黄色土普通畑において, 無窒素区(BMようりん+塩化加里), 化学肥料区(窒素肥料に硫安を使用, 他は無窒素区と同じ), 有機物区(牛ふんオガクズ堆肥1.5t/10a施用, 他は化学肥料区と同じ), 石灰窒素区(窒素肥料に石灰窒素を使用, 他は有機物区と同じ), 総合改善区(リン酸吸収係数の1.5%相当量のBMようりんを施用, 他は有機物区と同じ)の各連用試験を行い, サツマイモ, レタス, カボチャ, キャベツの収量と養分吸収量, 跡地土壌の変化について調べた。

1. 牛ふんオガクズ堆肥を1作あたり1.5t/10a施用して連作すると, 土壌の全炭素含有率, 交換性マグネシウム含量, 交換性カリウム含量が増加し, 土壌の孔隙率が増加した。10年間20作の連用で土壌の全炭素含有率は0.5%増加し, CECが1me/100g増加した。
2. 石灰窒素を1作あたり150~200kg/10a施用して連作すると, 土壌pH, 交換性カルシウム含量が維持され, 可給態リン酸含量が増加した。
3. BMようりんをリン酸吸収係数の1.5%相当量施用して連作すると, 土壌の可給態リン酸量が増加したが, 増加量は石灰窒素施用時より小さかった。
4. サツマイモ, カボチャ, レタスは土壌改良資材の施用により収量が増加した。特に, 牛ふんオガクズ堆肥の施用による土壌物理性の改善と地力窒素, 交換性 $K_2O$ の増加や石灰窒素およびBMようりんの施用による可給態リン酸および交換性 $CaO$ の増加による効果が認められた。一方, キャベツでは土壌改良による増収効果は認められなかった。

## 謝辞

本報告は、有機物連用効果を明らかにすることを目的とした土壤保全対策事業「土壤環境基礎調査・基準点調査」のうち、1976年から1997年までの22年間の成績を取りまとめたものである。本研究の実施にあたり、野見陽一郎氏、林純一氏、鎌塚拓夫氏、平田滋氏、藤井孝夫氏、岩橋信博氏、岩尾和哉氏、上田長和氏、橋本博史氏に深く感謝の意を表します。

## 引用文献

- 青山喜典, 松浦克彦, 時枝茂行, 小林保, 置塩康之. 2003. オガクズ入り牛ふん堆肥多施用による強粘質土壤の早期熟畑化. 近中四農研報. 3: 9-5.
- 東卓弥, 垣内仁, 林恭弘. 2005. 黄色土水田における牛糞オガクズ堆肥, 石灰窒素の連用が水稻, キャベツの生育と土壤理化学性に及ぼす影響. 和歌山農林水技セ研報. 6: 45-56.
- 林恭弘, 森下年起. 2001. 黄色土水田における稲わら, 珪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. 和歌山農林水技セ研報. 2: 99-114.
- 林恭弘, 森下年起. 2002. 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およぼす影響. 和歌山農林水技セ研報. 3: 57-66.
- 藤川智紀, 中村貴彦, 駒村正治. 2013. 堆肥の施用による土壤物理性改良効果の評価. 東京農大農学集報. 57: 267-274.
- 鎌田淳. 2009. 家畜ふん堆肥の連用によるカリ過剰とブロッコリーの花蕾黒変症について. 日本土壤肥料学会要旨集. 55: 214.
- 糟谷真宏, 荻野和明, 廣戸誠一郎, 石川博司, 鈴木良地. 2011. 牛ふん堆肥または豚ふん堆肥を連用する黄色土野菜畑における5年間の養分動態. 愛知農総試研報. 43: 137-149.
- 黒柳直彦, 兼子明, 渡辺敏朗, 藤田彰, 小田原孝治. 1996. 畑地における有機物の長期連用効果 第1報 作物収量と土壤理化学性. 福岡農試研報. 15: 64-68.
- 黒柳直彦, 藤田彰, 小田原孝治, 兼子明, 渡辺敏朗. 1997. 畑地における有機物の長期連用効果 第2報 作物収量と土壤物理性. 福岡農試研報. 16: 64-68.
- 松田敬一郎. 1987. 土壤の有効態成分. P. 159-162. 松田敬一郎ら共著. 土壤学. 文永堂出版. 東京.
- 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, 水質および作物体分析法. 土壤保全調査事業全国協議会. 東京.
- 上山紀代美, 藤原俊六郎, 船橋秀登. 1995. 牛ふん堆肥連用が作物収量と土壤の化学性に及ぼす影響. 神奈川総研研報. 136: 31-40.
- 和歌山県農業試験場. 1978. 地力保全基本調査総合成績書. P. 319-322.
- 和歌山県農林水産部. 2011. 土壤肥料対策指針(改訂版). P. 115-121.
- 渡辺和之, 児玉敏夫. 1965. 土壤の物理性と作物の生育および収量との関係 第1報 作物の初期生育におよぼす土壤の粗密の影響. 日作紀. 33: 409-413