

家畜ふん堆肥の30年連用が普通作物収量と土壤理化学性に及ぼす影響

相本涼子・餅田利之・森 清文・脇門英美・西 裕之^{*1}・井上健一・白尾 吏

要 約

多腐植質厚層アロフェン質黒ボク土壌（以下、多腐植質厚層黒ボク土壌）において、牛ふん、豚ふん、鶏ふんを用いて、これら堆肥の窒素施用量を化学肥料の倍量とした連用試験を30年間実施し、原料用サツマイモ・麦類の輪作体系での収量および土壤理化学性に及ぼす影響を検討した。原料用サツマイモの収量は牛ふん堆肥および鶏ふん堆肥を施用した栽培が化学肥料栽培と比べて同等以上であった。一方、麦類の収量は家畜ふん堆肥を施用した栽培が化学肥料栽培を上回り、肥料としての利用が可能であった。土壌中の交換性塩基含量の変化は、施用量と吸収量の収支に影響され、豚ふん堆肥区では交換性カリウム含量が低く推移した。豚ふん堆肥区では収量の低下がみられた。牛ふん堆肥連用による土壤物理性の改善効果は、豚ふん堆肥及び鶏ふん堆肥に比べ大きかった。家畜ふん堆肥の連用による持続的な農業生産を展開するためには、畜種ごとの養分供給量を考慮して、不足する養分をその他の資材で補いながら、家畜ふん堆肥を活用することが必要である。

キーワード：家畜ふん堆肥，原料用サツマイモ，土壤物理性，麦類，有機物連用

緒 言

鹿兒島県は全国有数の畜産県で、牛、豚、および鶏の飼養頭数が多く肉用牛は全国2位、豚は全国1位、ブロイラーは全国2位である¹⁰⁾（農林水産省畜産統計平成31年）。「鹿兒島県における家畜排せつ物の利用の促進を図るための計画」（鹿兒島県令和3年3月）によると2019年度の家畜排せつ物発生量は、年間5,776千tと推定され、このうち約76%である4,409千tが堆肥等として農業利用されていると考えられている。これら排出される膨大な量の家畜ふん尿を、有効活用することが大きな課題となっている。この豊富に存在する有機質資源を活用することにより、作物の生産性の維持を図り、土づくりおよび化学肥料を抑えた施肥など持続可能な農業生産を展開できる可能性がある。近年では、2012年に混合堆肥複合肥料の公定規格が新設され、公設試験機関や肥料メーカーにより技術開発がなされており⁴⁾、今後、堆肥の肥料としての活用も増えると考えられる。

一方、家畜ふん堆肥の有機物資源は、原料や製造方法が異なり、肥効や作物などへの影響もそれぞれである。これまで、多くの研究^{1), 3) ~ 9), 11) ~ 17)}がなされ、これらの連用による土壤物理性・化学性の改善だけでなく、養分蓄積や硝酸態窒素の溶脱¹⁶⁾、それに伴う収量への影響等が報告されている。しかしながら、気象条件、土壤条件、栽培条件が異なると連用効果も異なると考えられる。そこで、本試験では、本県の代表的な土壤である黒ボク土（多腐植質厚層黒ボク土）畑で牛ふん、豚ふん、

鶏ふんの家畜ふん堆肥のみを施用し、原料用サツマイモ・小麦・大麦・イタリアンライグラスの輪作栽培を行い、長期連用することによる収量、養分収支および土壤の理化学性への影響について検討した。本報告では森らが「家畜ふん堆肥の連用が普通畑作物収量と養分収支並びに土壤化学性に及ぼす影響」で報告した20年間の堆肥連用の結果から更に10年間試験を継続した30年間の堆肥連用試験から得られた知見を報告する。

試験材料および方法

1 耕種概要

試験場所は鹿兒島県農業開発総合センター大隅支場（鹿屋市串良町細山田）内圃場で行った。土壤は多腐植質厚層黒ボク土である。表1に耕種概要を示す。1989年から2018年に春夏作は原料用サツマイモ（コガネセンガン）を栽培し2012年までは無マルチ栽培、2013年以降、黒マルチ栽培とした。秋冬作は1989年から1992年まで小麦（アイラコムギ）、1993年から2012年まで大麦（ニシノチカラ）、2013年から2016年までイタリアンライグラス（ワセタチ）を栽培し2017年以降は栽培を行わなかった。

原料用サツマイモの栽培密度は 357×10^2 株 ha⁻¹（畝間0.8m、株間0.35m）、小麦および大麦の播種量は45kg ha⁻¹（条間0.6m）で条播種し、イタリアンライグラスの播種量は40kg ha⁻¹で全面播種した。

*1 大島支庁沖永良部事務所
連絡先 生産環境部

表1 耕種概要

年度	春夏作			秋冬作		
	作物名 (品種名)	移植期	収穫期	作物名 (品種名)	播種期	収穫期
1989 ～1992年	原料用サツマイモ (コガネセンガン)	6月	11月	小麦 (アイコムキ)	11月	5月
1993 ～2012年	無マルチ栽培	5月	10月	大麦 (ニシノチカ)	11月	5月
2013 ～2016年	原料用サツマイモ (コガネセンガン)	5月	10月	イタリアンライグラス (タチワセ)	11月	3月
2017 ～2018年	黒マルチ栽培	5月	10月	作付け無し	-	-

2 試験区の構成および30年間施用した各肥料成分の総量

家畜ふん堆肥区の三要素は窒素を化学肥料区の2倍量になるように設定し、リン酸、カリは堆肥施用量から計算した量である。秋冬作は小麦、大麦、イタリアンライグラスを栽培し、その中で栽培期間が長かった大麦の輪作体系について表2に試験区の構成およびサツマイモ-大麦体系時の肥料三要素の平均年間施用量を示す。試験区は化学肥料区、牛ふん堆肥区、豚ふん堆肥区、鶏ふん堆肥区を設定し、1区当たりの面積は15m²、3反復で行った。ただし、春夏作は2012年まで無マルチ栽培を2区制、黒マルチ栽培を1区制で行い、2013年以降は黒マルチ栽培を3区制で行った。本報告では無マルチ栽培の2区及び2013年以降の黒マルチ栽培に関して検討する。化学肥料区は化学肥料のみを施用し、窒素として硫酸、リン酸として過リン酸石灰、カリウムとして塩化加里を施用した。家畜ふん堆肥を施用した区は化学肥料に対する窒素肥効率を50%として施用量を決定し石灰質肥料およびその他土づくり資材は施用せず家畜ふん堆肥のみを施用した。化学肥料区の施用窒素成分は原料用サツマイモ80kg ha⁻¹、小麦80kg ha⁻¹、大麦60kg ha⁻¹イタリアンライグラス100kg ha⁻¹とした。

表2 試験区の構成およびサツマイモ-大麦体系時の肥料三要素の平均年間施用量(1993～2012年)

試験区	春夏作			秋冬作			年間施用量		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
化学肥料区	80	80	240	60	80	80	140	160	320
牛ふん堆肥区	160	249	271	120	215	257	280	464	528
豚ふん堆肥区	160	246	126	120	194	106	280	439	232
鶏ふん堆肥区	160	259	216	120	210	204	280	468	420

注1) 家畜ふん堆肥の化学肥料に対する窒素肥効率を50%として施用
注2) 化学肥料区の窒素は硫酸、リン酸は過リン酸石灰、カリは塩化カリを単肥で施用

表3に30年間施用した肥料成分の総量を示す。家畜ふん堆肥の窒素肥効率を50%と設定したため家畜ふん堆肥区の窒素施用量は化学肥料区のほぼ2倍量の8.58Mg ha⁻¹であった。リン酸施用量は化学肥料区4.70Mg ha⁻¹に対して牛ふん堆肥区は14.8Mg ha⁻¹、豚ふん堆肥区は15.1Mg ha⁻¹、鶏ふん堆肥区は13.3Mg ha⁻¹と約3倍量であった。カリウムの施用量は化学肥料区9.52Mg ha⁻¹に対して、牛ふん堆肥区16.0Mg ha⁻¹、鶏ふん堆肥区12.0Mg ha⁻¹で化学肥料区に対してそれぞれ1.6倍、1.3倍程度と上回ったが、豚ふん堆肥区は化学肥料区の0.7

倍の7.33Mg ha⁻¹であった。石灰は化学肥料区7.29Mg ha⁻¹に対して牛ふん堆肥区は7.71Mg ha⁻¹とほぼ同等、豚ふん堆肥区は14.8Mg ha⁻¹、鶏ふん堆肥区は18.5Mg ha⁻¹で化学肥料区の2倍量以上であった。マグネシウムは牛ふん堆肥区5.59Mg ha⁻¹、豚ふん堆肥区4.95Mg ha⁻¹、鶏ふん堆肥区4.09Mg ha⁻¹であった。

表3 30年間施用した肥料成分の総量 (Mgha⁻¹)

試験区	項目	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
化学肥料区		4.27	4.70	9.52	7.29	
牛ふん堆肥区		8.58	14.8	16.0	7.71	5.59
豚ふん堆肥区		8.58	15.1	7.33	14.8	4.95
鶏ふん堆肥区		8.58	13.3	12.0	18.5	4.09

注1) 化学肥料区のCaOは過リン酸石灰の施用量から算出した

3 家畜ふん堆肥の施用量

表4に供試した堆肥の化学性、表5に各堆肥区における30年間年平均堆肥施用量を示す。家畜ふん堆肥区は堆肥の窒素成分量に基づいて施用量を決定している。このため、豚ふん堆肥および鶏ふん堆肥の全窒素含量が約30gkg⁻¹であるのに対して、牛ふん堆肥は全窒素含量が9.5gkg⁻¹で低いため、他の畜種の堆肥と比べて施用量が多くなった。連用試験30年間の年平均施用量は牛ふん堆肥区では40.4Mg ha⁻¹、豚ふん堆肥区では13.1Mg ha⁻¹、鶏ふん堆肥区では10.8Mg ha⁻¹であった。

表4 供試した各堆肥の化学性 (30年間60作平均、新鮮物当たり)

項目	水分	pH(H ₂ O)	T-C	T-N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	(gkg ⁻¹)	1:5	(gkg ⁻¹)	(gkg ⁻¹)		(gkg ⁻¹)	(gkg ⁻¹)	(gkg ⁻¹)	(gkg ⁻¹)
牛ふん堆肥	485	7.8	217	9.5	23	16.1	18.9	6.61	5.95
豚ふん堆肥	340	8.5	220	31.6	7	55.8	26.9	55.0	18.3
鶏ふん堆肥	236	8.6	263	30.8	9	46.6	41.8	59.1	14.2

表5 各堆肥区における30年間の年平均堆肥施用量 (Mgha⁻¹)

試験区	項目	春夏作	秋冬作	年間施用量
牛ふん堆肥区		21.6	18.8	40.4
豚ふん堆肥区		6.8	6.3	13.1
鶏ふん堆肥区		5.3	5.5	10.8

4 試験期間中の気象の推移

図1に連用30年間の鹿屋アメダスポイントの平均気温および年間降水量、図2に連用試験開始後10年ごとに連用前期(1989～1998年)、連用中期(1999～2008年)、連用後期(2009～2018年)とした場合の月別平均気温および平均月間降水量を示す。連用前期は平均気温17.2℃と平年値(1991～2020年17.6℃)より低かったが、連用中期は平年値よりやや高く、連用後期は年次間差がみられるものの、ほぼ平年並みであった。連用30年間の平均気温は、わずかながら上昇傾向であった。月ごとの平均気温では、平年値と比べ連用前期の9、10月がやや低かった。連用前期の平均降水量は2,454mm

であったが、連用中期は2,701mm、連用後期は2,857mmと増加傾向で、連用前期では1993年、連用中期では1999年が平年値を大きく上回ったが、連用後期では平年値を上回った年が多かった。特にサツマイモ栽培期間中である6月の降水量の増加は顕著で7月及び9月も増加傾向にあった。なお、30年間の平均気温は17.5°Cで、平均降水量は2,767mmであった。

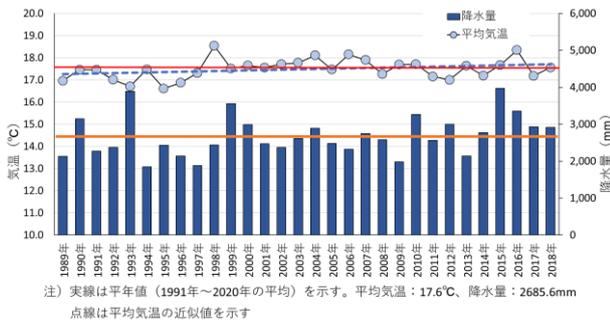


図1 平均気温および年間降水量の30年間の推移

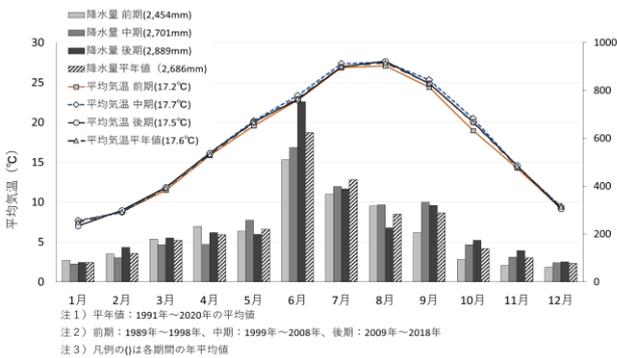


図2 連用試験開始後10年ごとの月別平均気温および降水量

5 連用試験開始前土壌の化学性

表6に連用試験開始前の土壌化学性を示す。試験開始前の1988年にサトイモ栽培時に土壌pH矯正として炭酸カルシウムを施用したため、pH(H₂O)、石灰含量、石灰飽和度は全ての区でほぼ同等レベルであった。

6 収量および乾物収量

原料用サツマイモは各区20株を収穫し、茎葉およびいもに分けて重さを測定した。いもは、50g以上をういも、50g未満をくずいもとした。これらの一部を通風乾燥機で80°C、48時間以上乾燥し乾物率を求めた。また、収穫後の茎葉およびいもは全量圃場外に持ち出した。

麦は刈り取り、掛け干したものを乾物収量とした。脱穀後わらと子実に分け、子実は電動唐箕機により風選し精麦重とした。収穫後、地上部は全て圃場外に持ち出し、刈株はそのまま鋤き込んだ。

イタリアンライグラスは1回刈りで収穫し、原料用サツマイモと同様に乾燥したものを乾物重とした。収穫後地上部は全て圃場外に持ち出し、刈り株は鋤き込んだ。

7 分析方法

作物および土壌の化学性の分析は「土壤環境基礎調査における土壌、水質および作物体分析法」に基づき以下の方法で分析した。

(1) 作物体

作物体は、部位ごとに乾燥、粉碎したものを供試した。ケルダール法により硫酸一過酸化水素水で分解した。窒素は水蒸気蒸留法で測定し、カリウム、カルシウム、マグネシウムは原子吸光光度計 (SHIMADZU SPCA-626D または PerkinElmer PinAAcle500) により測定した。リン酸はバナドモリブデン酸比色法で測定した。

これらから得られた乾物当たりの養分含有量に新鮮物重を乗じて養分吸収量を求めた。

(2) 土壌

土壌は毎作収穫後、各処理区から採取し、未風乾状態で2mmの篩を通したものを供試した。

土壌pH(H₂O)は未風乾土壌、陽イオン交換容量(以下CECと記す)、交換性塩基類、可給態リン酸は、風乾土壌を用いた。土壌pHは、土壌1に対し、蒸留水2.5を加え、十分に振とう後、ガラス電極法により測定した。全窒素は2006年春夏作まで水蒸気蒸留法で、全炭素はチューリン法で実施した。2006年秋冬作から全炭素、全窒素は元素分析装置 (J-SCIENCE JM-1000CN) を用い、燃焼法により分析した。可給態リン酸はトルオーグ法で抽出し、分光光度計で測定した。CECおよび交換性カルシウム、マグネシウム、カリウムはSchollenberger法で抽出し、CECは蒸留法で、交換性カルシウムおよびマグネシウムは、原子吸光法、交換性カリウムは、炎光法で定量した。

(3) 家畜ふん堆肥

pH(H₂O)は新鮮物1に対し蒸留水5を加え振とう後ガ

表6 連用試験開始前の土壌化学性(1989年供試土壌)

試験区	pH(H ₂ O)	T-C (gkg ⁻¹)	T-N (mgkg ⁻¹)	Truog-P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹)	CEC cmolckg ⁻¹	乾土当たり)			飽和度 (%)	
						K ₂ O (mgkg ⁻¹)	CaO (mgkg ⁻¹)	MgO (mgkg ⁻¹)	石灰	塩基
化学肥料区	6.1	85.0	4.7	76.0	29.8	15.5	505	92.7	60.4	76.9
牛ふん堆肥区	6.4	88.7	4.9	114	33.1	37.7	620	94.3	66.8	83.3
豚ふん堆肥区	6.3	86.2	4.7	140	31.1	24.0	566	83.0	65.0	79.8
鶏ふん堆肥区	6.2	78.8	4.2	100	27.9	13.2	527	77.8	67.4	82.2

ラス電極で測定した。ECは新鮮物1に対し蒸留水5を加え振とう後、電気伝導度計で測定した。2006年までの全炭素は風乾粉碎した試料をチューリン法により定量した。全窒素は新鮮物試料を硫酸分解し、セミマイクロSchollenberger法—水蒸気法により定量した。2006年以降は元素分析装置(J-SCIENCE JM-1000CN)を用いて燃焼法により分析した。硫酸分解した分解液を用いてカルシウム、マグネシウムは原子吸光光度計により測定し、カリウムは炎光法により測定した。リン酸はバナドモリブデン法により測定した。

結 果

1 収量

(1) 春夏作(原料用サツマイモ)の収量

図3に原料用サツマイモ上いも重指数の推移を示す。上いも重指数は化学肥料区を100として各家畜ふん堆肥区の上いも重を指数化して示した。家畜ふん堆肥を連用した区の原料用サツマイモの上いも重は連用17年目(2004年)までは化学肥料区と同等か上回った。特に1993年および1999年は大きく上回った。しかし、連用18年目以降、豚ふん堆肥区の上いも重は化学肥料区より少ない年が多かった。黒マルチ栽培を開始した連用開始後26年目以降、牛ふん堆肥区および鶏ふん堆肥区の上いも重は化学肥料区とほぼ同等であったが、豚ふん堆肥区は少なかった。

表7に原料用サツマイモにおける収穫調査結果を連用試験開始後10年ごとの平均値で示す。連用30年間の平均上いも重は化学肥料区が25.4Mg ha⁻¹、牛ふん堆肥区が27.9Mg ha⁻¹、豚ふん堆肥区が26.2Mg ha⁻¹、鶏ふん堆肥区が30.9Mg ha⁻¹であり、家畜ふん堆肥区が化学肥料区

より多かった。茎葉重、上いも1個重も同様の傾向で、特に、鶏ふん堆肥区が重かった。しかし、豚ふん堆肥区の連用後期の上いも重は化学肥料区と比べ少なかった。家畜ふん堆肥区および化学肥料区の上いも重は連用前期および中期と比べて連用後期が多い傾向であった。

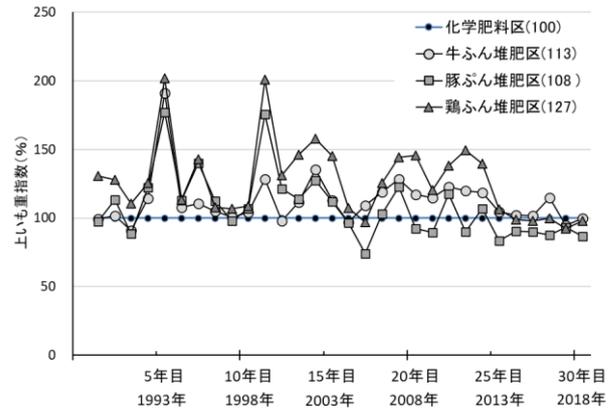


図3 原料サツマイモ上いも重指数の推移

注) 化学肥料区を100として家畜ふん堆肥区の収量を指数化
凡例内の括弧は30年間の平均収量指数

(2) 秋冬作(大麦, 小麦, イタリアンライグラス)

図4に精麦重指数の推移を示す。精麦重指数は化学肥料区を100として各家畜ふん堆肥区の前麦重を指数化して示した。連用開始4年目までの小麦栽培では、家畜ふん堆肥の前麦重は化学肥料区と比べて同等またはやや少なかった。大麦栽培では1993年から1997年は、家畜ふん堆肥区の前麦重は化学肥料区と同程度で推移した。2000年から2004年の精麦重は牛ふん堆肥区、豚ふん堆肥区では同等、鶏ふん堆肥区は化学肥料区よりも少なかった。家畜ふん堆肥区の前麦重は2006年、2008年および2009年を除いた2005年以降、化学

表7 原料用サツマイモにおける収穫調査結果の連用試験開始後10年ごとの平均

試験区	茎葉重 (Mgha ⁻¹)				上いも重 (Mgha ⁻¹)				上いも個数 (×10 ³ 個ha ⁻¹)				上いも1個重 (g)			
	前期	中期	後期	30年間	前期	中期	後期	30年間	前期	中期	後期	30年間	前期	中期	後期	30年間
化学肥料区	20.0	13.9	17.5	17.1	23.4	22.6	30.2	25.4	106	111	113	110	221	207	267	231
牛ふん堆肥区	20.2	18.3	21.6	20.0	25.1	25.9	32.6	27.9	109	122	119	117	242	214	275	244
豚ふん堆肥区	22.0	15.9	19.8	19.2	26.4	24.6	27.6	26.2	115	115	110	113	233	214	252	233
鶏ふん堆肥区	22.9	21.2	24.2	22.8	28.5	30.6	33.5	30.9	120	129	117	122	244	238	285	256

注1) 期間：前期：1989年～1998年、中期：1999年～2008年、後期：2009年～2018年

表8 麦類及びイタリアンライグラスの収量

試験区	わら重				精麦重				イタリアン乾物重 25～28年
	10年 20年 24年			24年間	10年 20年 24年			24年間	
	(前期)	(中期)	(後期)		(前期)	(中期)	(後期)		
化学肥料区	4.14	4.64	3.97	4.32	3.43	3.41	2.41	3.25	10.3
牛ふん堆肥区	4.23	5.19	4.83	4.73	3.21	3.85	3.27	3.49	8.82
豚ふん堆肥区	4.11	4.52	4.82	4.40	3.50	3.57	3.18	3.48	9.46
鶏ふん堆肥区	4.49	4.41	4.70	4.49	3.13	3.24	2.98	3.15	10.4

注1) 期間：10年：1989年～1998年、20年：1999年～2008年、24年：2009年～2012年

肥料区と比べ多かった。

表8に麦類およびイタリアンライグラスの収量を示す。連用試験開始後10年ごとの家畜ふん堆肥区の平均精麦重は牛ふん堆肥区では連用前期と比べて連用中期が多く、豚ふん堆肥区および鶏ふん堆肥区ではほぼ同等であった。家畜ふん堆肥区の連用後期(24年)の平均精麦重は連用中期と比べて少なかった。連用24年間の平均精麦重は化学肥料区 3.25 Mg ha^{-1} 、牛ふん堆肥区 3.49 Mg ha^{-1} 、豚ふん堆肥区 3.48 Mg ha^{-1} 、鶏ふん堆肥区 3.15 Mg ha^{-1} であり、牛ふん堆肥区および豚ふん堆肥区の精麦重は化学肥料区と比べて多かった。

連用25~28年目に栽培したイタリアンライグラスの4年間の平均乾物重は化学肥料区 10.3 Mg ha^{-1} 、牛ふん堆肥区 8.82 Mg ha^{-1} 、豚ふん堆肥区 9.46 Mg ha^{-1} 、鶏ふん堆肥区 10.4 Mg ha^{-1} であり、牛ふん堆肥区および豚ふん堆肥区の収量は化学肥料区よりも少なかった。

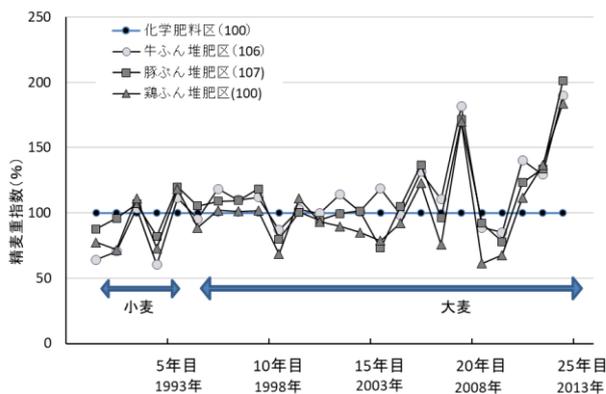


図4 麦類の精麦重指数の推移

注) 化学肥料区を100として家畜ふん堆肥区の収量を指数化
凡例内の括弧は24年間の平均収量指数

2 養分収支

連用試験開始後10年ごとのみかけの養分収支(合計施用量—合計養分吸収量)として図5に連用前期(1989~1998年)、図6に連用中期(1999~2008年)、図7に連用後期(2009~2018年)を示す。全窒素の収支は30年間ほぼ同等の傾向で、化学肥料区では施用量に比べて吸収量が多く、マイナスであったが、家畜ふん堆肥区ではいずれの区もプラス収支となった。全窒素の収支を期間ごとに比較すると、家畜ふん堆肥区では、連用前期と比べると中期、後期の余剰量は少なく、化学肥料区でも、連用前期と比べ中期、後期の不足分が多かった。リン酸の収支も30年間同様の傾向を示し、全試験区で施用量が吸収量より多かった。特に、家畜ふん堆肥のリン酸余剰量は化学肥料区の3倍以上であった。カリウムの収支は牛ふん堆肥区では前期から後期までプラスだった。豚ふん堆肥区及び鶏ふん堆肥区では前期から後期までマイナスで推移し、特に豚ふん堆肥区が著しかった。カルシウムの収支は各期間全ての試験区においてプラスとなっており、豚ふん堆肥区及び鶏ふん堆肥区は化学肥料区と同等で約 4.0 Mg ha^{-1} のプラスだった。マグネシウムの収支は家畜ふん堆肥区で30年間 $1.0 \sim 2.0 \text{ Mg ha}^{-1}$ プラスで、化学肥料区はマイナスであった。

連用試験開始後30年間の養分施用量と作物吸収量および施用量に対する吸収量の比を、原料用サツマイモ、麦類および原料用サツマイモ-麦類の合計についてそれぞれ、表9、10、11に示す。原料用サツマイモの窒素吸収量は化学肥料区および牛ふん堆肥区が約 3.0 Mg ha^{-1} で豚ふん堆肥区が 3.5 Mg ha^{-1} 、鶏ふん堆肥区が 4.4 Mg ha^{-1} であり、施用量に対する吸収量の比(以下、吸収

表9 連用試験開始後30年間の原料用サツマイモ養分施用量と作物吸収量および吸収/施用比

試験区	施用量 (Mg ha^{-1}) A					吸収量 (Mg ha^{-1}) B					吸収/施用比 B/A				
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
化学肥料区	2.40	2.40	7.20	3.72	0	2.98	1.37	6.13	2.39	0.67	1.24	0.57	0.85	0.64	
牛ふん堆肥区	4.80 (2.40)	7.80	8.21	4.53	2.96	3.14	1.92	8.16	1.97	0.89	0.65 (1.31)	0.25	0.99	0.43	0.30
豚ふん堆肥区	4.80 (2.40)	8.10	3.86	8.37	2.58	3.53	1.75	5.46	2.32	0.99	0.74 (1.47)	0.22	1.41	0.28	0.38
鶏ふん堆肥区	4.80 (2.40)	7.15	5.81	9.24	2.16	4.37	1.93	7.85	2.74	1.06	0.91 (1.82)	0.27	1.35	0.30	0.49

表10 連用試験開始後30年間の麦類の養分施用量と作物吸収量および吸収/施用比

試験区	施用量 (Mg ha^{-1}) A					吸収量 (Mg ha^{-1}) B					吸収/施用比 B/A				
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
化学肥料区	1.87	2.30	2.32	3.57	0	2.33	0.90	4.61	0.65	0.30	1.25	0.39	1.99	0.18	
牛ふん堆肥区	3.78 (1.89)	6.96	7.76	3.18	2.63	2.35	1.01	4.58	0.53	0.37	0.62 (1.24)	0.15	0.59	0.17	0.14
豚ふん堆肥区	3.78 (1.89)	7.01	3.47	6.46	2.38	2.42	1.10	4.02	0.64	0.41	0.64 (1.28)	0.16	1.16	0.10	0.17
鶏ふん堆肥区	3.78 (1.89)	6.15	6.16	9.25	1.93	2.35	1.04	4.84	0.64	0.37	0.62 (1.24)	0.17	0.78	0.07	0.19

表11 連用試験開始後30年間原料用サツマイモ-麦類の合計養分施用量と作物吸収量および吸収/施用比

試験区	施用量 (Mg ha^{-1}) A					吸収量 (Mg ha^{-1}) B					吸収/施用比 B/A				
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
化学肥料区	4.27	4.70	9.52	7.29	0	5.31	2.27	10.74	3.04	0.97	1.24	0.48	1.13	0.42	
牛ふん堆肥区	8.58 (4.29)	14.8	16.0	7.71	5.59	5.49	2.93	12.74	2.50	1.26	0.64 (1.28)	0.20	0.80	0.32	0.23
豚ふん堆肥区	8.58 (4.29)	15.1	7.33	14.8	4.95	5.95	2.85	9.47	2.96	1.40	0.69 (1.39)	0.19	1.29	0.20	0.28
鶏ふん堆肥区	8.58 (4.29)	13.3	12.0	18.5	4.09	6.72	2.97	12.68	3.38	1.43	0.78 (1.57)	0.22	1.06	0.18	0.35

注1) Nの()内は化学肥料に対する窒素肥効率50%とした時の施肥窒素量

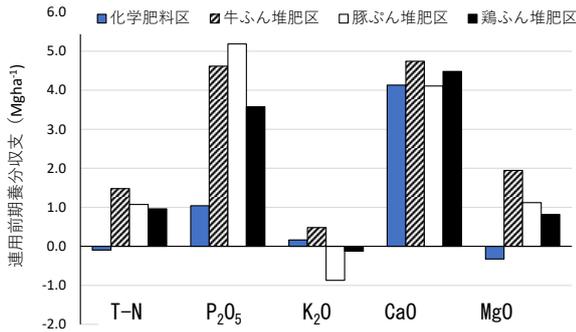


図5 連用前期(1989～1998年)の養分収支

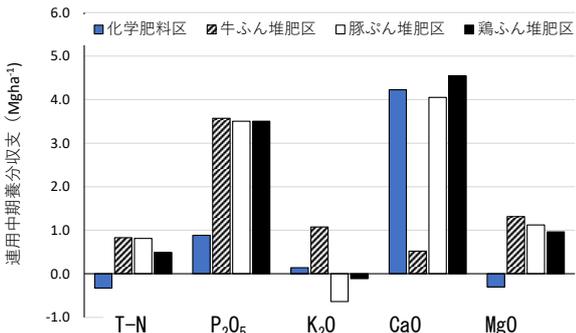


図6 連用中期(1999～2008年)の養分収支

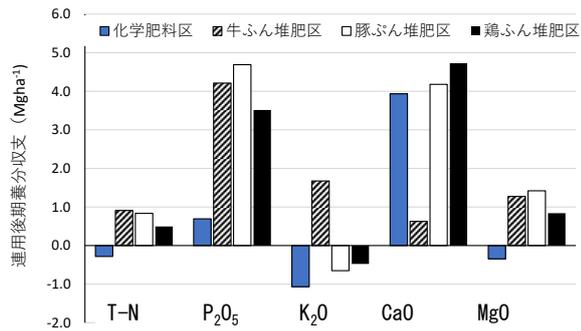


図7 連用後期(2009～2018年)の養分収支

／施用比と示す)は化学肥料区が1.2に対し、牛ふん堆肥区および豚ふん堆肥区が0.7、鶏ふん堆肥区が0.9と化学肥料と比べ小さかったが、化学肥料に対する窒素肥効を50%とすると化学肥料区より大きく、特に鶏ふん堆肥は1.8と大きかった。麦類の窒素吸収量は化学肥料

区と家畜ふん堆肥区で2.3～2.4 Mg ha⁻¹とほぼ同等であった。吸収/施用比は化学肥料区が1.3で家畜ふん堆肥は概ね0.6で化学肥料区より小さかった。リン酸の吸収/施用比は原料用サツマイモでは、化学肥料区が0.6、牛ふん堆肥区及び鶏ふん堆肥区では0.3、豚ふん堆肥区では0.2、麦類では化学肥料区が0.4、家畜ふん堆肥区が0.2と施肥量に対して吸収量が少なかった。カリウムの吸収/施用比は原料用サツマイモでは大きく、化学肥料区は0.9で家畜ふん堆肥区はおよそ1以上あった。麦類では化学肥料区及び豚ふん堆肥区が1以上で、牛ふん堆肥区0.6、鶏ふん堆肥区が0.8であった。カルシウム及びマグネシウムの吸収/施用比は小さく、原料用サツマイモでは0.7未満、麦類では0.2未満であった。

3 土壌化学性の変化

原料用サツマイモ跡地土壌と麦類跡地土壌の化学性の経年変化はほぼ同様の傾向であることから、原料用サツマイモの跡地土壌で検討した。表12に連用試験開始後10年ごとの土壌化学性の平均値を示した。

また、図8～19に示した土壌の化学性の経年変化はデータの平滑化のため3年間の移動平均値で示し。なお、図12、図14～16の土壌診断基準値は「土壌肥料および施肥改善指針」(鹿児島県農政庁発行7訂版2020年)を基にCECを30として試算した基準値である。

(1) pH(H₂O)の推移

図8にpH(H₂O)の推移を示す。連用試験開始前の土壌pH(H₂O)は化学肥料区が6.1、家畜ふん堆肥区が約6.4であったが、連用15年目まで低下傾向で推移した。

特に、化学肥料区の低下が大きく、家畜ふん堆肥区が、約0.5低下したのに対し、化学肥料区は約1.0低下した。その後横ばい傾向で推移し、連用試験開始後30年目では、化学肥料区が5.3、家畜ふん堆肥区が6.1であった。

表12 連用試験開始後10年ごとの土壌化学性の平均値

乾土当たり

試験区	pH(H ₂ O) 1:5			T-C(gkg ⁻¹)			T-N(gkg ⁻¹)			CEC (cmol(+)kg ⁻¹)			Truog-P ₂ O ₅ (gkg ⁻¹)		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期	前期	中期	後期	前期	中期	後期	前期	中期	後期
化学肥料区	5.8	5.4	5.4	79.8	86.3	89.5	4.41	4.68	4.76	35.2	36.1	28.9	63.4	80.9	123
牛ふん堆肥区	6.2	5.8	6.1	84.4	86.8	92.8	4.87	4.96	5.17	38.4	38.6	32.9	111	140	208
豚ふん堆肥区	6.2	5.8	6.0	82.1	82.9	89.2	4.76	4.74	5.09	37.2	37.2	32.2	132	167	242
鶏ふん堆肥区	6.3	6.0	6.2	74.4	75.5	79.6	4.28	4.26	4.46	34.5	33.7	29.1	114	162	269

試験区	CaO (mgkg ⁻¹)			MgO (mgkg ⁻¹)			K ₂ O (mgkg ⁻¹)			塩基飽和度 (%)			可給態窒素 (mgkg ⁻¹)		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期	前期	中期	後期	前期	中期	後期	前期	中期	後期
化学肥料区	3,546	2,689	2,634	290	110	88.5	136	102	114	41	28	35	29	34	28
牛ふん堆肥区	4,994	3,816	3,793	731	628	546	259	272	301	57	44	51	54	62	49
豚ふん堆肥区	4,609	4,202	4,384	588	488	490	148	97	112	53	47	56	43	44	40
鶏ふん堆肥区	5,103	4,421	4,361	486	436	446	138	145	163	60	54	61	34	45	40

注1) 期間：前期：1989年～1998年、中期：1999年～2008年、後期：2009年～2018年

注2) 可給態窒素の前期：1994年～1998年

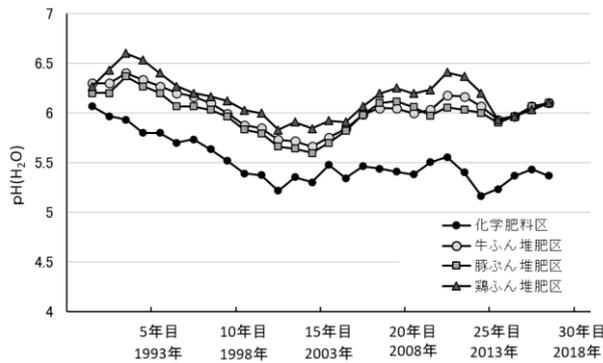


図8 pH(H₂O) の推移

注) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

(2) 全炭素含量および全窒素含量の推移

図9に全炭素含量の推移を示す。牛ふん堆肥区および豚ふん堆肥区的全炭素含量は化学肥料区と同等で連用に伴って微増傾向であった。鶏ふん堆肥区的全炭素含量は他の区と比べ少なく、連用試験開始後30年目には、化学肥料区および豚ふん堆肥区は89 mg kg⁻¹、牛ふん堆肥区は91 mg kg⁻¹に対して鶏ふん堆肥区は82 mg kg⁻¹であった。

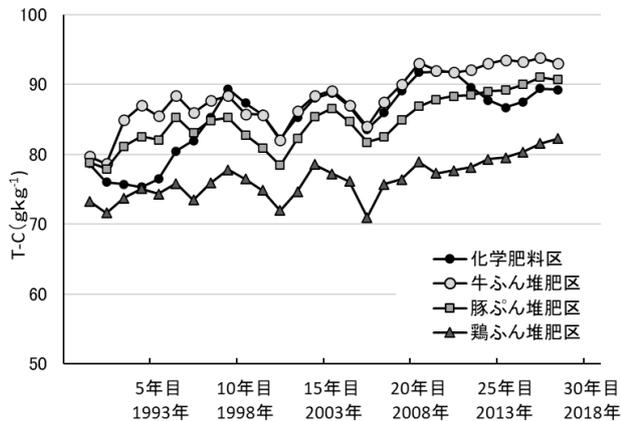


図9 全炭素含量の推移

注) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

図10に全窒素含量の推移を示す。家畜ふん堆肥の全窒素含量は化学肥料区と比べて牛ふん堆肥区および豚ふん堆肥区では、多い傾向で推移し、鶏ふん堆肥区では、少ない傾向で推移した。家畜ふん堆肥区的全窒素含量は連用試験開始後8年目までは減少傾向で推移し、それ以降は横ばいから増加傾向であった。化学肥料区も同様に横ばいで推移したが、2012年以降、減少傾向で推移した。

(3) 陽イオン交換容量 (CEC) の推移

図11にCECの推移を示す。牛ふん堆肥区および豚ふん堆肥区のCECは化学肥料区と比べ概ね大きく、鶏ふん堆肥区は化学肥料と比べ概ね小さく推移した。いずれの試験区でも連用試験開始後4年目までは増加し、

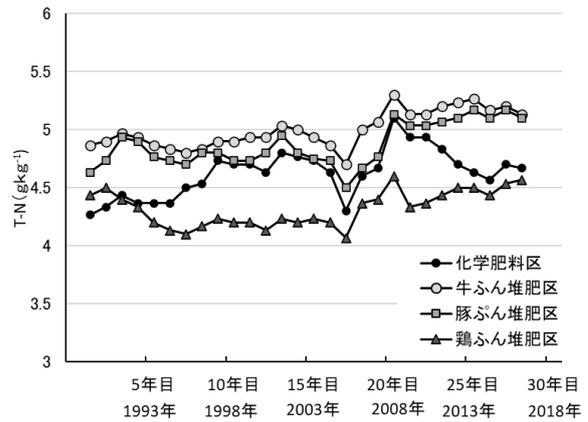


図10 全窒素含量の推移

注) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

連用15年目までは横ばい傾向で連用15年目から22年目まで減少し、この間のCECの大きさは牛ふん堆肥区 > 豚ふん堆肥区 > 化学肥料区 > 鶏ふん堆肥区であった。連用22年目以降は牛ふん堆肥区および豚ふん堆肥区、鶏ふん堆肥区および化学肥料区がそれぞれ同程度で推移し、連用30年目のCECはそれぞれ約33 cmolc kg⁻¹、約30 cmolc kg⁻¹であった。

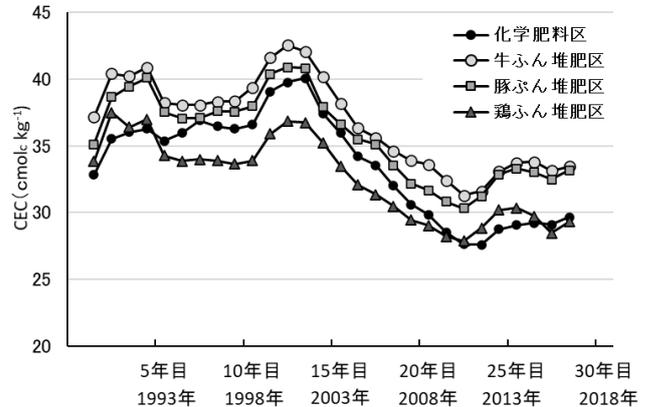


図11 CECの推移

注) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

(4) トルオーグリン酸含量の推移

図12にトルオーグリン酸含量の推移を示す。

家畜ふん堆肥のトルオーグリン酸含量は増加傾向で推移し、その量は化学肥料区と比べて多かった。特に連用17年目以降その差は大きくなり、その中でも鶏ふん堆肥区の増加が著しかった。化学肥料区は家畜ふん堆肥区に比べると推移の増加は緩やかであり、トルオーグリン酸含量も少なかった。リン酸含量の基準値は50~500 mg kg⁻¹であり家畜ふん堆肥区の蓄積量が増えても基準値内であった。

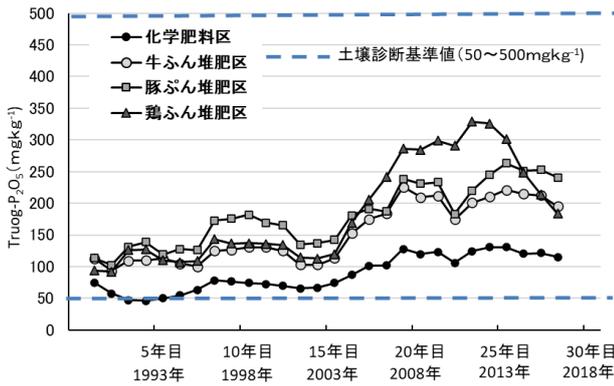


図12 トルオーグリン酸含量の推移

注) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

(5) 可給態窒素の推移

図13に1992年度からの可給態窒素の推移を示す。家畜ふん堆肥区の可給態窒素は化学肥料区と比べ多かった。牛ふん堆肥区の可給態窒素は連用4年目から18年目まで約60 mg kg⁻¹で推移し、それ以降は約50 mg kg⁻¹程度で推移した。豚ふん堆肥区および鶏ふん堆肥区は約50~40 mg kg⁻¹で推移し、化学肥料区は約30 mg kg⁻¹程度で推移した。牛ふん堆肥区の可給態窒素は連用中期が多く、連用後期ではそれ以前より少なかった。

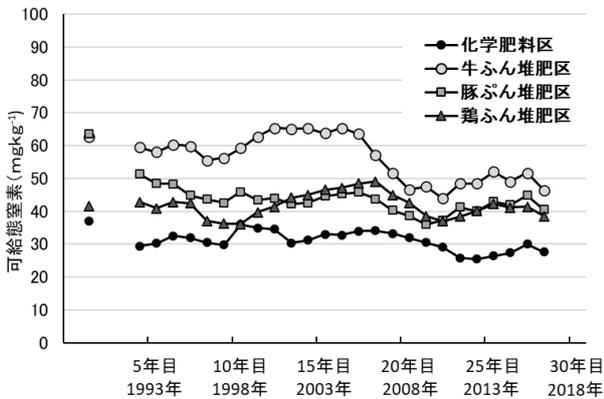


図13 可給態窒素の推移

注) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

(6) 交換性塩基および塩基飽和度の推移

図14に交換性カルシウム含量の推移を示す。家畜ふん堆肥区の交換性カルシウム含量は化学肥料区と比べて多い傾向で推移し、連用15年目までは減少しており、それ以降は横ばいで推移した。特に化学肥料区の減少は著しく、連用開始後10年間の平均値は3,546 mg kg⁻¹で牛ふん堆肥区が4,994 mg kg⁻¹、豚ふん堆肥区が4,609 mg kg⁻¹、鶏ふん堆肥区が5,103 mg kg⁻¹であった。連用開始後10年目までの家畜ふん堆肥区の交換性カルシウム含量は、鶏ふん堆肥区>牛ふん堆肥区>豚ふん堆肥区で推移したが、連用13年目以降は、牛ふん

堆肥区と豚ふん堆肥区が逆転し、豚ふん堆肥区および鶏ふん堆肥区>牛ふん堆肥区の傾向で推移した。

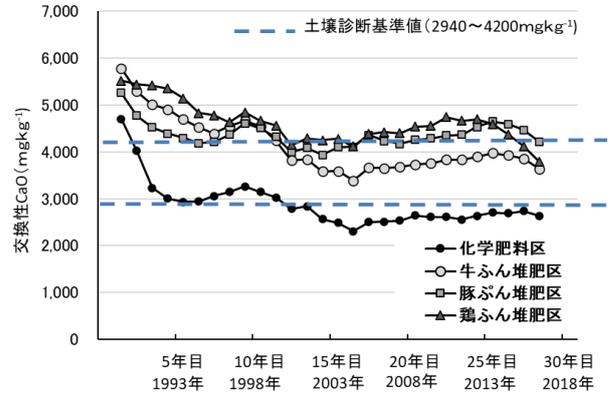


図14 交換性カルシウムの推移

注1) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

注2) 土壌診断基準値は「土壌肥料及び施肥改善指針」(鹿児島県農政部発行7訂版2020年)を基にCECを30として試算した基準値である。

図15に交換性マグネシウム含量の推移を示す。連用30年間の家畜ふん堆肥区の交換性マグネシウム含量は化学肥料区と比べると多いが緩やかな減少から横ばい傾向を示し、牛ふん堆肥区>豚ふん堆肥区>鶏ふん堆肥区で推移した。一方、化学肥料区の交換性マグネシウム含量は連用開始5年で急激に減少し、それ以降は100~200 mg kg⁻¹で推移した。

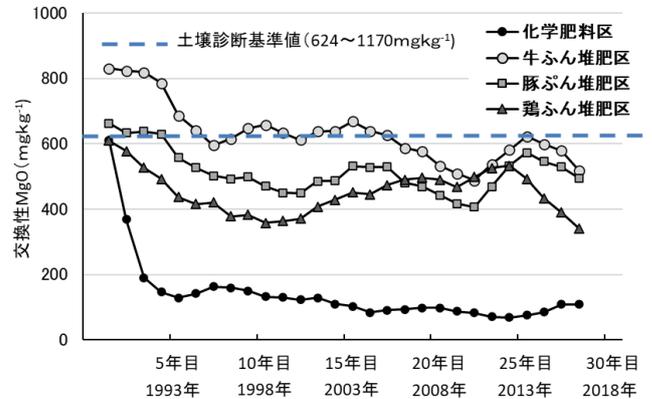


図15 交換性マグネシウムの推移

注1) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

注2) 土壌診断基準値は「土壌肥料及び施肥改善指針」(鹿児島県農政部発行7訂版2020年)を基にCECを30として試算した基準値である。

図16に交換性カリウム含量の推移を示す。牛ふん堆肥区の交換性カリウムは化学肥料区と比べ多かった。豚ふん堆肥区では年次変動はあるが、化学肥料区と同等の傾向で推移した。家畜ふん堆肥区および化学肥料区の交換性カリウム含量は連用4年目までは減少し、その後、連用10年まではほぼ横ばいで推移した。連用10年から25年までは、豚ふん堆肥区の交換性カリウム含量は化学肥料区と同様に減少傾向で推移し、鶏ふん堆肥区は増加傾向で推移した。

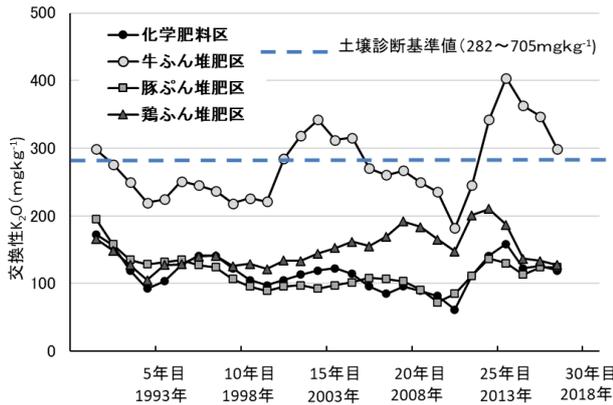


図 16 交換性カリウム含量の推移

注1) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。
 注2) 土壌診断基準値は「土壌肥料及び施肥改善指針」（鹿児島県農政部発行7訂版2020年）を基にCECを30として試算した基準値である。

図 17 に塩基飽和度の推移を示す。家畜ふん堆肥区および化学肥料区では連用開始時の塩基飽和度は60~70%あったが、連用3年目まで減少した。特に化学肥料区の減少が大きく、塩基飽和度は30%程度と家畜ふん堆肥区と比べ低く、その後も横ばい傾向で推移した。家畜ふん堆肥区の塩基飽和度は、連用11年目までは鶏ふん堆肥区>牛ふん堆肥区>豚ふん堆肥区で推移したが、連用13年目以降牛ふん堆肥区と豚ふん堆肥区が逆転し、鶏ふん堆肥区>豚ふん堆肥区>牛ふん堆肥区で推移した。これは、交換性カルシウム含量の牛ふん堆肥区と豚ふん堆肥区の推移と同様の傾向であった。

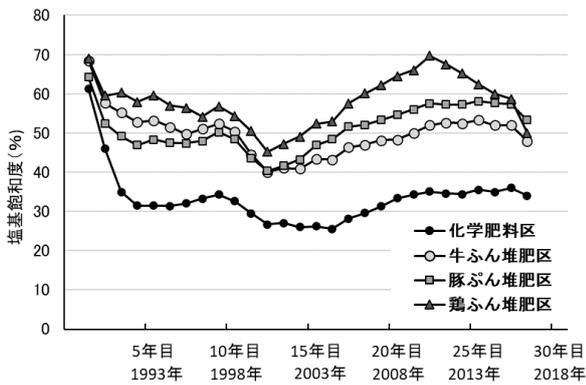


図 17 塩基飽和度の推移

注) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

4 土壌物理性の変化

図 18 に原料サツマイモ跡地土壌の仮比重の推移を図 19 に原料サツマイモ跡地土壌の孔隙率の推移を示す。全試験区の仮比重は連用5年目まで増加傾向で推移し、その大きさは牛ふん堆肥区<豚ふん堆肥区および鶏ふん堆肥区<化学肥料区であった。連用6年目以降経年変化はあるものの横ばいで推移した。連用6年から18年目まで牛ふん堆肥区の仮比重はその他の堆肥区と比べ

小さく、また、孔隙率も大きく、物理的改善効果がみられた。連用25年以降の鶏ふん堆肥区の仮比重は化学肥料区およびその他家畜ふん堆肥区と比べて大きく、孔隙率も低下し物理性の悪化がみられた。

表 13 に連用1作目および57作目原料用サツマイモ跡地土壌の物理性を示す。連用57作目では、家畜ふん堆肥区は化学肥料区と同様に連用1作目と比べると固相、液相、仮比重の項目は大きくなった。鶏ふん堆肥区は化学肥料区と比べて仮比重は大きく、孔隙率は小さかった。

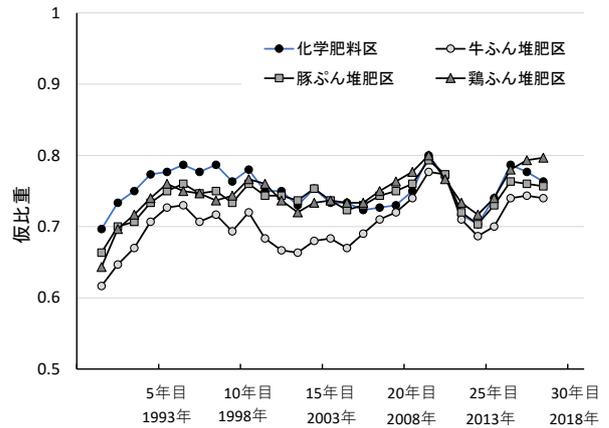


図 18 原料サツマイモ跡地土壌の仮比重の推移

注) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

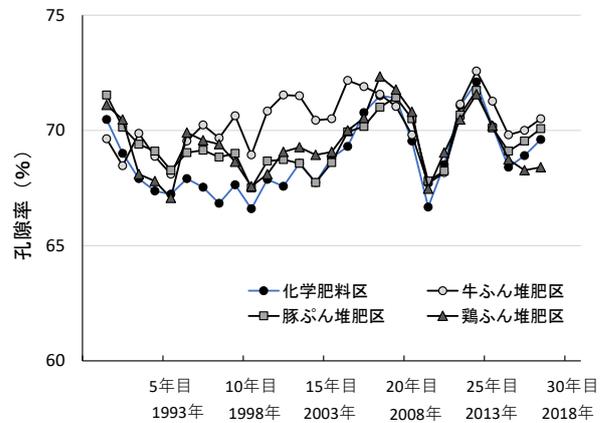


図 19 原料サツマイモ跡地土壌の孔隙率の推移

注) 基準を1年目とした3年間の移動平均値で示す。

表13 連用1作目及び57作目の原料用サツマイモ跡地土壌の物理性（作土層）

項目	三相分布 (%)			仮比重	孔隙率 (%)
	固相	液相	気相		
試験区					
連用1年目1作目					
化学肥料区	27.3	31.0	41.8	0.65	72.8
牛ふん堆肥区	24.6	28.2	47.2	0.57	75.4
豚ふん堆肥区	25.8	29.0	45.2	0.60	74.2
鶏ふん堆肥区	27.0	27.3	45.7	0.54	73.0
連用30年目57作目					
化学肥料区	30.4	37.4	32.1	0.77	69.6
牛ふん堆肥区	29.4	39.0	31.6	0.75	70.6
豚ふん堆肥区	29.6	37.2	33.2	0.76	70.4
鶏ふん堆肥区	31.3	37.4	31.2	0.80	68.7

考 察

1 収量と気象の影響

家畜ふん堆肥のみを連用して栽培した原料用サツマイモおよび小麦・大麦の収量は年次変動があるが、化学肥料区とほぼ同等以上であった。特に、降雨量の多かった1993年、1999年では家畜ふん堆肥区の原料用サツマイモ収量は化学肥料区を大きく上回った。このことは、脇門らの報告¹⁶⁾にもあるように、降水量の多い条件下では、家畜ふん堆肥区は化学肥料区と比べて養分の溶脱量が少ない³⁾ため減収程度が小さかったと考えられる。連用後期の降水量はそれ以前の20年間と比べて多く、栽培期間(5月～10月)の降水量の差は174mmであった。特に原料サツマイモの栽培期間である6月から9月の降水量は多く、連用21年目である2008年から2012年までは牛ふん堆肥区および鶏ふん堆肥区の収量は化学肥料区と比べ多かったが、2013年から化学肥料区と同等の収量となったのはマルチ栽培に変更したことで、特に化学肥料区で養分の溶脱が抑制されたためと考える。また、大麦の家畜ふん堆肥区の収量は化学肥料区と比べて2010年から著しく多かった。このことは、連用後期は連用前期および中期と比べて降水量が増加したことにより、化学肥料区の施肥窒素の溶脱量が増加したため収量比の差が大きくなったと考えられた。

2 収量と土壌化学性および養分収支の関係

黒マルチ栽培開始後の2013年から豚ふん堆肥区の収量は化学肥料区を下回って推移した。これは、降雨量の影響が少ない環境であることにより化学肥料区の収量が増えたこと、連用試験20年間を取りまとめた森らの報告⁷⁾でもあるように、原料用サツマイモの塊根肥大に必要なカリウムの供給が他の試験区と比べて豚ふん堆肥区で少なく、連用30年間のカリウムの収支がマイナスであったことが影響していると考えられた。なお、原料用サツマイモの施肥量に対する吸収量の比は1.41で供給量が不足していた。鶏ふん堆肥区の原料用サツマイモの施肥量に対する吸収量の比が1.35と豚ふん堆肥区同様に高いにもかかわらず収量が化学肥料区と同等以上である要因は、鶏ふん堆肥区ではカリウムの施肥量が豚ふん堆肥区より多く、原料用サツマイモ・麦類の合計の収支は1.06とほぼ釣り合っていることから、原料用サツマイモへのカリウム供給量は豚ふん堆肥区および化学肥料区と比べて充足していると推察される。

窒素施肥量と作物の吸収量をみると化学肥料区の窒素の吸収/施肥比は1を超えているが、家畜ふん堆肥区は0.6～0.8程度である。家畜ふん堆肥は化学肥料に対して窒素肥効を50%と想定しており、施肥窒素量を半

量と考えた場合、吸収/施肥比は1を超える。全窒素含量の推移は連用8年目まではやや減少傾向であるがそれ以降は横ばいから増加傾向である。また、脇門らの連用試験開始後9年間の報告から、可給態窒素含量はいずれの区でも連用試験開始後5年目までは減少傾向となっており、堆肥連用初期での可給態窒素の消耗が推察される。このことから、窒素施肥量を化学肥料の倍量とした家畜ふん堆肥区は、連用5年までは窒素吸収量が施肥量の半量を上回り土壌中の窒素が消費されるが、それ以降は家畜ふん堆肥を連用することで単年度では利用されなかった窒素が蓄積されるとともに時間の経過により可給化し作物へ供給されると推測された。ただし、鶏ふん堆肥区は窒素肥効率を勘案した原料用サツマイモの吸収/施肥比が1.8と大きく、また、化学肥料区、牛ふん堆肥区および豚ふん堆肥区と比べると全窒素含量は少なく推移した。このことは、鶏ふん堆肥は牛ふん堆肥や豚ふん堆肥と比べて分解されやすい窒素であることと、他の家畜ふん堆肥区の茎葉と比べて鶏ふん堆肥区は繁茂していることから堆肥の窒素は作物に速やかに吸収されたと考える。

3 土壌化学性への影響

家畜ふん堆肥長期連用による土壌化学性への影響については森らが報告したものと同様の傾向がみられた。重久ら¹¹⁾や上山ら¹⁴⁾による有機物連用試験でも報告されているが、土壌pH、交換性カルシウム含量、交換性マグネシウム含量は連用が長くなるにともない低下し、連用15年以降は横ばいで推移した。いずれの項目でも化学肥料区の低下が大きかった。家畜ふん堆肥と化学肥料区の施肥量が異なることが一つの要因ではあるが、化学肥料区と牛ふん堆肥区の石灰施肥量は大きく変わらない。しかしながら、化学肥料区の交換性カルシウム含量の推移は家畜ふん堆肥区と比べ下回っている。このことは、八木らの報告¹⁷⁾でもあり、化学肥料由来の硝酸態窒素が降雨等によって溶脱するのに伴い陽イオンが溶脱しやすいことに影響していると考えられる。養分収支においてカルシウムはプラス収支にもかかわらず交換性カルシウムが減少しているのはこのことが要因と考える。

家畜ふん堆肥区のトルオーグリン酸含量は連用により増加傾向で、灰色低地土では増加が4-7年で頭打ちになるとの報告¹⁴⁾もあるが、多腐植質黒ボク土では25年以上増加傾向であり、家畜ふん堆肥を連用することでリン酸の蓄積が認められた。家畜ふん堆肥を30年連用してもリン酸含量は土壌診断基準値内であるが、それは、

黒ボク土のリン酸吸収係数が高いためリン酸を固定していることが要因と考える。

可給態窒素含量は家畜ふん堆肥を連用することで増加し、特に牛ふん堆肥区で顕著であった。本県の気象条件下で30年間、牛ふん堆肥を毎年約40Mg ha⁻¹施用した結果、可給態窒素は50mg kg⁻¹で安定し、豚ふん堆肥約13 Mg ha⁻¹、および鶏ふん堆肥約10 Mg ha⁻¹施用すると可給態窒素は40 mg kg⁻¹で安定した。有機物連用に関する試験での多くは、連用の効果として、全窒素含量、全炭素含量およびCECの増大および上昇が報告^{1), 6), 7)}されている。しかし、本試験では全窒素含量および全炭素含量の増加はわずかながら認められるものの本試験の施用量では、土壤炭素の貯留や肥沃度に関連する可給態窒素の増加などの「大きな効果を発生する」より、作物を栽培しても土壤の養分等が「維持」されていると考える。その要因としては、多腐植質厚層黒ボク土がもともと肥沃な土壤であることと、温暖な気候のため微生物の活動が活発で有機物を施用しても炭素等の消耗が大きいが考えられる。

4 土壤物理性への影響

土壤物理性は経年変化から連用による改善が判然としなかった。ただし、連用試験開始後8~20年間の牛ふん堆肥区では化学肥料区、豚ふん堆肥区および鶏ふん堆肥区と比べると仮比重は小さく、孔隙率も高い傾向がみられ、牛ふん堆肥による物理性の改善効果が認められた。しかし、連用試験開始後20年目以降、化学肥料区および豚ふん堆肥区と同等に推移した。このことは、サンプル採取時に土壤が攪乱され、データに乱れが生じた可能性があると考えられる。黒マルチ栽培を開始した2013年以降、鶏ふん堆肥区は他の家畜ふん堆肥区と比べて仮比重は大きく、孔隙率は低く推移し、土壤物理性の悪化が認められた。これは、鶏ふん堆肥は牛ふん堆肥および豚ふん堆肥と比べて易分解性有機物が多く、夏季のマルチ栽培により、微生物による有機物の分解が急激に進んだことも一因と考える。

ま と め

年間牛ふん堆肥を40Mg ha⁻¹、豚ふん堆肥を13 Mg ha⁻¹および鶏ふん堆肥10 Mg ha⁻¹を単独で30年連用した麦-原料用サツマイモ栽培は化学肥料栽培と同等以上の収量が得られ、肥料として家畜ふん堆肥の活用が可能ということが分かった。また、化学肥料栽培と比べて土壤養分も含めた土壤肥沃度の維持が可能であった。しかし、豚ふん堆肥の場合、カリウムの吸収量に対する供給量の不足により原料用サツマイモの収量が低下した。一方、

牛ふん堆肥連用ではカリウムなどの蓄積がみられた。家畜ふん堆肥の連用でカルシウムは減少し、pHは低下するがその程度は化学肥料栽培より小さく、15年以上連用すると横ばいになり維持される。トルオーグリン酸は蓄積がみられ、特に鶏ふん堆肥連用でトルオーグリン酸の蓄積が多かった。牛ふん堆肥を連用することで物理性の改善が認められた。

持続的な農業を展開するためには、畜種ごとの特性および養分供給量を考慮して、その他の資材で過不足分を補いながら家畜ふん堆肥を活用することが必要である。

謝 辞

本研究の試験は、鹿児島県農業開発総合センター大隅支場において実施したもので、栽培管理等においてご協力いただいた大隅支場環境研究室の室長をはじめ研究員および技術補佐員の方々に深く感謝申し上げます。また、本研究の実施に際してご協力いただいた関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 葉上恒寿・高橋良学・佐藤喬・中野亜弓・佐藤千秋・小田島ルミ子・新毛晴夫・小野剛志・多田勝郎 2009. 非アロフェン質黒ボク土における有機物連用効果, 岩手県農業研究センター研究報告, 9: 1-19
- 2) 鹿児島県農政部 2020. 鹿児島県土壤管理指針 18
- 3) 柿内俊輔・三角正俊・古賀 進 1999. 堆肥および化学肥料の施用法の違いが作物収量および作土からの窒素の溶脱に及ぼす影響, 熊本県農業研究センター研究報告, 8: 15-25
- 4) 片峯美幸・亀和田國彦・鈴木康夫・伊藤良治・中山喜一・内田文雄 2000. 黒ボク土畑における各種有機物の20年間連用が作物生育ならびに土壤理化学性に及ぼす影響, 栃木県農業試験場研究報告, 50: 25-32
- 5) 加藤雅彦・荒川祐介・見城貴志・小宮山鉄兵・森次真一・棚橋寿彦・上野秀人・西田瑞彦 2017, 混合複合肥料の開発とこれから, 土肥誌, 88: 272-276
- 6) 香西清弘・平木孝典 1997. 牛ふんたい肥の連用が土壤の理化学性に及ぼす影響, 香川県農業試験場研究報告, 49: 61-67
- 7) 森 清文・西 裕之・古江広治・脇門英美・松元順・渋川 洋・相本涼子・小玉泰生・井上健一・永田茂穂・山下純一・森田重則・後藤 忍 2012. 家畜ふん堆肥の連用が普通畑作物収量と養分収支並びに土壤化学性に及ぼす影響, 鹿児島県農業開発総

- 合センター研究報告, 6: 39-48
- 8) 長坂克彦・中村保一・松野篤 1999. 有機物の長期連用が淡色黒ボク土の理化学性および物理性に及ぼす影響, 山梨県総合農業試験場研究報告, 9: 1-10
 - 9) 中津智史・田村元 2008. 30年間の有機物(牛ふんパーク堆肥および収穫残渣)連用が北海道の淡色黒ボク土の全炭素, 全窒素および物理性に及ぼす影響, 土肥誌, 79: 139-145
 - 10) 農林水産省 畜産統計 2019
 - 11) 重久綾子・上山紀代美・石森裕康・井上裕理・安藤有一 2012. 腐植質黒ボク土における有機物の連用が作物収量および土壌化学性に及ぼす影響, 神奈川県農業技術センター研究報告, 155: 25-34
 - 12) 高間由美・廣澤美幸 2008. 土壌の化学性, 作物収量および周辺環境への影響から判断した黒ボク土畑の有機物連用手法, 栃木県農業試験場研究報告, 63: 35-45
 - 13) 田淵浩康・川原崎秀志・桑村友章・山田和生・横田克長・宮島一人・鈴木忠史・後藤正夫・木嶋利男 2017. 有機物連用による連作栽培がキャベツの生育と土壌化学性に及ぼす影響, 有機農業研究, vol.9: 69-78
 - 14) 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壌の化学性に及ぼす影響, 神奈川県農業総合研究所研究報告, 136: 31-42
 - 15) 脇門英美・松元 順・和合由員・小玉泰生・永田茂穂・森清文・鳩野哲也・山下純一・森田重則・市来征勝 2000. 家畜ふん堆肥の連用が普通作物の収量に及ぼす効果, 鹿児島県農業試験場研究報告, 28: 1-11
 - 16) 脇門英美・小玉泰生・井上健一・上村幸廣 2002. 家畜ふん堆肥の連用と気象変動が原料用甘しょの収量に及ぼす影響, 鹿児島県農業試験場研究報告, 30: 17-25
 - 17) 八木哲生・谷 昌幸 2003. 長期有機物連用圃場における黒ボク土の荷電性, 土肥誌, 74: 743-748

Effect of Continuous Use of Livestock Manure Compost for 30 Years on Yield of Field Crops (Sweet Potato - Wheat or Barley) and Physicochemical Properties of Soil

Ryoko Aimoto, Toshiyuki Mochida, Kiyofumi Mori, Hidemi Wakikado, Hiroyuki Nishi,
Kenichi Inoue and Tsukasa Shirao

Summary

In this study, we investigated the effect of continuous use of livestock manure compost for 30 years on the yield of field crops and the physicochemical properties of the soil in the Cumulic high-humic Allophanic Andosols, which is a common soil in Kagoshima Prefecture. Cattle manure compost, hog manure compost and poultry manure compost were used as livestock manure compost. In the crop rotation system of sweet potato and wheat or barley, the nitrogen application rate of livestock manure compost was twice that of chemical fertilizer.

The yield of sweet potatoes was equal to or higher than that of chemical fertilizer cultivation when cattle manure compost and poultry manure compost were applied. On the other hand, the yield of wheat and barley was higher than that of chemical fertilizer cultivation in livestock manure compost, so that livestock manure compost could be used as fertilizer for wheat and barley.

The commutative base content in the soil was affected by the balance between the application rate and the absorption amount, and the commutative potassium content remained low in the hog manure compost plot. In addition, the yield decreased in the hog compost plot.

The effect of continuous use of livestock manure compost for 30 years was greater in cattle manure compost than in hog manure compost and poultry manure compost.

In order to develop sustainable agricultural production through continuous use of livestock manure compost, it is necessary to utilize livestock manure compost while considering the amount of nutrient supply for each livestock species and supplementing the shortage of nutrients with other materials.

Keywords : continuous use of livestock manure compost, livestock manure compost,
soil physicochemical properties, sweet potato, wheat or barley