

南西諸島の極強酸性土壌における牛ふん堆肥・豚ふん堆肥施用による ソバ (*Fagopyrum esculentum* Moench) の減化学肥料栽培

原貴洋¹⁾・荒川祐介¹⁾・長浜隆市²⁾・山口典子¹⁾・住秀和³⁾・田中章浩¹⁾・生駒泰基⁴⁾

(¹⁾ 農研機構 九州沖縄農業研究センター, ²⁾ 沖縄県農林水産部, ³⁾ 大宜味村役場, ⁴⁾ 農研機構 近畿中国四国農業研究センター)

要旨: 南西諸島においては、新規作物ソバの栽培の酸性土壌地域への拡大による赤土等流出の低減が期待されており、また、家畜ふん堆肥の活用による減化学肥料が畜産業と耕種農家の共通課題となっている。著者らは前報において、極強酸性土壌におけるソバ栽培では家畜ふん堆肥施用により顕著に増収することを示した。本研究では、家畜ふん堆肥を施用した条件でのソバ栽培について、減化学肥料の可能性を検討した。牛ふん堆肥および豚ふん堆肥 1 kg m^{-2} を施用する条件の下で、リン酸とカリの肥料を完全に削減したところ、子実収量、収量構成要素、茎葉重、地上部リン酸含量、地上部カリ含量の減少は認められなかった。豚ふん堆肥 1 kg m^{-2} 施用の条件の下では、リン酸肥料、カリ肥料に加えて窒素肥料も完全に削減したところ、茎葉窒素含量は有意に低下し、子実窒素含量はやや低下したが、収量および収量構成要素の低下は認められなかった。土壌養分含量は、窒素、リン酸、カリのいずれについても、化学肥料施用量削減にともなう低下は認められなかった。以上より、家畜ふん堆肥を 1 kg m^{-2} 施用する条件では、リン酸肥料とカリ肥料は完全に削減でき、窒素肥料も大幅に削減できることが明らかとなった。

キーワード: 赤土等流出、沖縄、家畜ふん堆肥、カリ、減肥、酸性土壌、窒素、リン酸。

南西諸島の国頭マージと称される酸性の赤黄色土壌地域においては赤土等流出が大きな環境問題となっている (大見謝ら 1995, 土屋・藤田 2009, Hongo and Yamano 2013)。その対策として、サトウキビやパイナップルの休閑期に農地地表面を被覆でき、かつ営農者の収益を向上させるような輪作作物の導入が望まれていた (大城 1997, 仲宗根ら 1998)。そのような輪作作物としてソバを夏植サトウキビ栽培の休閑期に栽培し活用することにより、赤土等流出を低減できることが報告された (塩野ら 2007)。一方、パイナップルの休閑期についてもソバを栽培し活用することで赤土等流出を低減できる可能性があるが、パイナップル圃場では土壌が pH4.5 以下の極強酸性を示すことが多く、ソバの生育・収量が劣る。そこで著者らは、極強酸性のパイナップル圃場でのソバ栽培において、 1 kg m^{-2} 程度の家畜ふん堆肥の施用によりソバの生育、子実収量が顕著に改善し、既存のソバ産地並みの高い収量を得られることを明らかにした (原ら 2011)。また、その増収効果の主要因は、家畜ふん堆肥に含まれるリン酸の肥料効果と考えられた (荒川ら 2011)。これらの報告に影響を受けた沖縄県大宜味村では、赤土等の流出低減、耕作放棄地対策、ならびに農業の六次産業化に寄与する新規作物としてソバが着目され、2009 年に大宜味村蕎麦 (雑穀類) 生産組合が組織されソバ栽培に要する機械設備が導入され、ソバ栽培が行なわれるようになった。

家畜ふん堆肥の供給源である畜産業は、沖縄県において農業産出額の 4 割を占める重要産業となっており、中でも肉用牛と豚の割合が大きい (注: 沖縄総合事務局 2012, 沖

縄農林水産業の概要)。畜産業発展の反面、畜産経営に伴う悪臭や水質汚濁が問題となっており、家畜排せつ物の適正な管理と、家畜ふん堆肥の利用促進が必要となっている。一方、わが国は、化学肥料の原料となる尿素、リン鉱石や塩化カリのほぼ全てを、少数の国からの輸入に依存しているが、近年の価格の上昇や、将来の発展途上国における肥料需要増大の見込みを鑑み、化学肥料投入量の抑制が望まれている (農林水産省 2012)。家畜ふん堆肥には様々な肥料成分が含まれており (金城ら 2011)、特にリン酸とカリについては含量が高く肥効が高いため、肥料としての活用に注目が集まっている (小柳・棚橋 2009)。このようなことから、家畜ふん堆肥の活用により化学肥料投入量を削減できれば、家畜ふんの活用と化学肥料原料の輸入依存度の低減に、同時に寄与できると考えられる。

本研究では、極強酸性の国頭マージの圃場における家畜ふん堆肥施用条件でのソバ栽培について、減化学肥料がソバの収量、生育、地上部養分濃度、土壌養分含量に及ぼす影響を調べ、減化学肥料の可能性を検討した。

材料と方法

1. 試験圃場の概要

2009 年と 2010 年に、沖縄県名護市の沖縄県農業研究センター名護支所内の国頭マージのパイナップル栽培試験圃場において、パイナップルの改植のために休閑となった期間にソバの栽培試験を行った。2009 年栽培試験前の土壌は、pH (H_2O) 4.3 で、有効態リン酸 (トルオーグ) は 47 mg kg^{-1} 、交換性カリは 106 mg kg^{-1} であった。2010 年栽培試験

第1表 処理区の概要 (2009年栽培試験)。

処理名	堆肥の種類	P ₂ O ₅ 施用量 (g m ⁻²)		N 施用量 (g m ⁻²)		K ₂ O 施用量 (g m ⁻²)	
		堆肥 由来	化学肥料 由来	堆肥 由来 ¹⁾	化学肥料 由来	堆肥 由来 ²⁾	化学肥料 由来
処理1	なし		0		8		12
処理2	なし		4		8		12
処理3	なし		8		8		12
処理4	なし		16		8		12
処理5	豚ふん堆肥	45.9	0	5.3	8	12.6	12
処理6	豚ふん堆肥	45.9	4	5.3	8	12.6	12
処理7	豚ふん堆肥	45.9	8	5.3	8	12.6	12
処理8	豚ふん堆肥	45.9	16	5.3	8	12.6	12
処理9	牛ふん堆肥	8.8	0	3.2	8	10.9	12
処理10	牛ふん堆肥	8.8	4	3.2	8	10.9	12
処理11	牛ふん堆肥	8.8	8	3.2	8	10.9	12
処理12	牛ふん堆肥	8.8	16	3.2	8	10.9	12
処理13	牛ふん堆肥	8.8	0	3.2	8	10.9	0

¹⁾ 肥効率30%を乗じたもの²⁾ 肥効率65%を乗じたもの

前の土壌は、pH (H₂O) 4.5 で、有効態リン酸 (トルオーグ) は 38 mg kg⁻¹、交換性カリは 82 mg kg⁻¹ であった。

2. 供試した家畜ふん堆肥と化学肥料の概要

家畜ふん堆肥として、市販の牛ふん堆肥と豚ふん堆肥を用いた。牛ふん堆肥の主原料は、牛ふん、木質系残渣物および牧草であり、豚ふん堆肥の主原料は豚ふんおよびオガクズであった。2009年と2010年の栽培試験で用いた豚ふん堆肥の銘柄は同一であるが、栽培試験開始直前に市販品を購入したため、ロットは異なる。

化学肥料については、窒素肥料として硫酸アンモニウム、リン酸肥料として過リン酸石灰、カリ肥料として塩化カリを用いた。

3. 2009年栽培試験

2009年の栽培試験では、牛ふん堆肥、豚ふん堆肥、リン酸肥料およびカリ肥料の施用が、ソバの収量、生育、地上部養分濃度、土壌養分含量に及ぼす影響を調査した。堆肥については、牛ふん堆肥ないし豚ふん堆肥を 1 kg m⁻² 施用する処理と、堆肥を施用しない処理を設けた (第1表)。過リン酸石灰によるリン酸の施用量はリン酸 0, 4, 8, 16 g m⁻² の4水準とした。これらを組み合わせ、第1表に示す処理1~12を設けた。これら12の処理では化学肥料による窒素 8 g m⁻² (硫酸アンモニウムとして)、カリ 12 g m⁻² (塩化カリとして) も基肥とした。この化学肥料の施用量は、沖縄でのソバ栽培の標準的な化学肥料の施用量が、窒素 4~8 g m⁻²、リン酸 8~16 g m⁻²、カリ 6~12 g m⁻² であることに基づいた (原ら 2010)。これら12の処理に加えて、牛ふん堆肥 1 g m⁻² と硫酸アンモニウムによる窒素 8 g m⁻² のみ

を施用し、リン酸肥料とカリ肥料は施用しない処理13を設けた (第1表)。以上の処理1~13を3反復乱塊法に配置した。各試験区は 3 m × 4 m の長方形とした。

家畜ふん堆肥と化学肥料を歩行型耕うん機により土壌混和した後、3月27日にソバ品種「さちいずみ」を播種した。手押し式播種機を用い、条間約 20 cm とし、播種密度は 313 粒 m⁻² に設定した。成熟期の5月25日に 1 m × 0.5 m の範囲内の全個体を地際部より切断して採取し、続いて地表から 15 cm までの土壌を採取した。

4. 2010年栽培試験

2010年の栽培試験では、豚ふん堆肥、窒素肥料、リン酸肥料およびカリ肥料の施用が、ソバの収量、生育、地上部養分濃度、土壌養分含量に及ぼす影響を調査した。試験は4処理で構成され、4×4ラテン方格法により配置した。うち処理Aは豚ふん堆肥無施用であるが、化学肥料により窒素 (硫酸アンモニウム)、リン酸 (過リン酸石灰)、カリ (塩化カリ) をそれぞれ 8, 16, 12 g m⁻² 施用した。処理B~Dではいずれも豚ふん堆肥 1 kg m⁻² を施用し、処理Bおよび処理Cでは化学肥料により窒素、リン酸、カリをそれぞれ 8, 16, 12 g m⁻² および 8, 0, 0 g m⁻² 施用した。処理Dでは化学肥料は施用しなかった (第4表)。

3月17日に2009年栽培試験と同様に播種した。成熟期の5月19日に、2009年栽培試験と同様の調査と試料採取を実施した。加えて、植物体については、各処理区より中庸な3個体について、収量構成要素を調査した。主茎初花節位花房より2節上位の節に着生した花房 (主茎第3花房) について、開花数と子実数を調べ、結実率を算出した。主茎第3花房は、極強酸性の国頭マージにおける家畜ふん堆

第2表 豚ふん堆肥, 牛ふん堆肥, リン酸肥料, カリ肥料の施用がソバの子実収量, 茎葉重および茎葉養分濃度に及ぼす影響 (2009年栽培試験).

処理名	堆肥の種類	化学肥料由来		子実 収量 (g m ⁻²)	茎葉 重 (g m ⁻²)	茎葉 (g kg ⁻¹)				
		P ₂ O ₅ (g m ⁻²)	K ₂ O (g m ⁻²)			N	K	P	Mg	Ca
処理 1	なし	0	12	71	98	22.7	46	2.4	4.1	10.5
処理 2	なし	4	12	75	103	21.3	44	3.0	4.5	18.3
処理 3	なし	8	12	77	97	22.9	44	3.0	4.0	20.7
処理 4	なし	16	12	85	107	22.6	44	3.5	3.8	18.0
処理 5	豚ふん堆肥	0	12	193	213	19.5	56	5.1	5.8	13.5
処理 6	豚ふん堆肥	4	12	186	205	18.3	49	4.8	5.3	12.7
処理 7	豚ふん堆肥	8	12	196	209	20.6	50	4.5	6.0	16.7
処理 8	豚ふん堆肥	16	12	184	209	20.7	51	5.5	4.6	15.0
処理 9	牛ふん堆肥	0	12	183	187	18.2	49	2.6	3.9	16.6
処理 10	牛ふん堆肥	4	12	186	185	21.3	57	3.3	4.2	18.8
処理 11	牛ふん堆肥	8	12	172	201	18.4	45	3.5	3.5	18.0
処理 12	牛ふん堆肥	16	12	181	159	19.3	52	4.2	3.7	18.1
処理 13	牛ふん堆肥	0	0	197	215	15.1	40	2.4	3.6	16.6
ANOVA										
堆肥				***	***	n.s.	*	***	***	n.s.
なし				77 b	102 b	22.4	44 b	3.0 b	4.1 b	16.9
豚ふん堆肥				190 a	209 a	19.8	51 a	5.0 a	5.4 a	14.5
牛ふん堆肥				180 a	183 a	19.3	51 a	3.4 b	3.8 b	17.9
リン酸 (P ₂ O ₅)				n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
堆肥 × リン酸				n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

***, *: 0.1% 水準, 5% 水準でそれぞれ有意. 同一の英文字を付した数値間には, Tukey の HSD 法 (5%) による有意差がないことを示す.

肥施用によるソバの増収要因の一つとなっていたため (原ら 2011), 本研究の調査対象とした.

結 果

5. 分析試料の前処理並びに分析方法

植物体は, 子実を脱穀し, 35℃で7日以上通風乾燥した後, 子実収量および茎葉重を秤量した. 茎葉はウイレー式粉碎機により粉碎した. 茎葉の全窒素を乾式燃焼法により, 子実の全窒素を外殻のついたままケルダール分解を行い, 蒸留法により定量した. その他の要素は, 硫酸・過酸化水素分解 (水野・南 1980) の後, リン酸を比色分析 (モリブデン青法) により, カリウム, カルシウム並びにマグネシウムを, 原子吸光ないし ICP 発光法により定量した.

土壌は, 風乾細土としたのち, 土壌環境分析法 (土壌環境分析法編集委員会 1997) に準じて pH (H₂O), EC, トルオーグ法による有効態リン酸の分析を行った.

堆肥は, 風乾の後, ウイレー式粉碎機により粉碎し, 堆肥等有機物分析法 (日本土壌協会 2000) に従い分析した.

6. 統計処理

処理効果を分散分析と Tukey の HSD 法により検定した.

1. 2009 年栽培試験

牛ふん堆肥は含水率 53%で, 全炭素 38.5%, 全窒素 2.3%, 全リン酸 1.9%, 全カリ 3.6%を, 豚ふん堆肥は含水率 36%で, 全炭素 37.6%, 全窒素 2.7%, 全リン酸 7.1%, 全カリ 3.0%を含有していた (含水率は現物当たり, 他は乾物当たり). これらの値を用いて, 各処理における堆肥由来の窒素, リン酸, カリの施用量を算出し, 第1表に示した.

子実収量は, 堆肥施用による効果が有意となったが, リン酸肥料の施用による有意な効果は認められなかった (第2表). 子実収量は, 堆肥を施用しない条件では 77 g m⁻²であったが, 豚ふん堆肥および牛ふん堆肥の施用により 190 g m⁻² および 180 g m⁻² に増加した. 牛ふん堆肥のみ施用し化学肥料は無施用であった処理 13 の子実収量は, 197 g m⁻² と最も高い値となった.

茎葉重は, 堆肥施用による効果が有意となったが, リン酸肥料の施用による有意な効果は認められなかった (第2表). 茎葉重は, 堆肥を施用しない条件では 102 g m⁻²であったが, 豚ふん堆肥および牛ふん堆肥の施用により 209 g m⁻² および 183 g m⁻² に増加した. 牛ふん堆肥のみ施用し化学肥

第3表 豚ふん堆肥, 牛ふん堆肥, リン酸肥料, カリ肥料の施用がソバ跡地土壌の化学性に及ぼす影響 (2009 年栽培試験).

処理名	堆肥の種類	化学肥料由来		pH	EC (dS m ⁻¹)	有効態 リン酸 (mg kg ⁻¹)	交換性 カリ (mg kg ⁻¹)
		P ₂ O ₅ (g m ⁻²)	K ₂ O (g m ⁻²)				
処理 1	なし	0	12	4.1	0.122	73	138
処理 2	なし	4	12	4.1	0.141	66	115
処理 3	なし	8	12	4.0	0.161	60	104
処理 4	なし	16	12	4.0	0.150	77	114
処理 5	豚ふん堆肥	0	12	4.2	0.155	202	213
処理 6	豚ふん堆肥	4	12	4.1	0.167	173	154
処理 7	豚ふん堆肥	8	12	4.1	0.174	144	167
処理 8	豚ふん堆肥	16	12	4.1	0.175	142	144
処理 9	牛ふん堆肥	0	12	4.4	0.137	73	180
処理 10	牛ふん堆肥	4	12	4.2	0.166	114	189
処理 11	牛ふん堆肥	8	12	4.1	0.173	111	132
処理 12	牛ふん堆肥	16	12	4.1	0.168	99	140
処理 13	牛ふん堆肥	0	0	4.2	0.115	94	117
ANOVA							
堆肥				**	*	***	***
なし				4.0 b	0.143 b	69 c	118 b
豚ふん堆肥				4.1 ab	0.167 a	165 a	169 a
牛ふん堆肥				4.2 a	0.161 ab	99 b	160 a
リン酸 (P ₂ O ₅)				*	*	n.s.	**
堆肥 × リン酸				n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

***, **, *: 0.1% 水準, 1% 水準, 5% 水準でそれぞれ有意. 同一の英文字を付した数値間には, Tukey の HSD 法 (5%) による有意差がないことを示す.

料は無施用であった処理 13 の茎葉重は, 215 g m⁻² と最も高い値となった.

茎葉のリン酸濃度は, 堆肥施用による効果が有意となり, リン酸肥料の施用による有意な効果は認められなかった (第2表). 茎葉のリン酸濃度は, 堆肥を施用しない条件では 3 g kg⁻¹ であったが, 豚ふん堆肥および牛ふん堆肥の施用により 5 g kg⁻¹ および 3.4 g kg⁻¹ に増加した.

茎葉のカリ濃度は, 堆肥施用による効果が有意となった (第2表). 茎葉のカリ濃度は, 堆肥を施用しない条件では 44 g kg⁻¹ であったが, 豚ふん堆肥および牛ふん堆肥の施用により, いずれも 51 g kg⁻¹ に増加した. 牛ふん堆肥のみ施用し化学肥料無施用の処理 13 の茎葉のカリ濃度は, 40 g kg⁻¹ と最も低い値となった.

茎葉の窒素濃度は, 堆肥, リン酸肥料とも, 施用による有意な効果は認められなかった (第2表).

栽培試験後の土壌の有効態リン酸は 60~202 mg kg⁻¹, 交換性カリは 104~213 mg kg⁻¹ の範囲であった (第3表). 有効態リン酸と交換性カリは堆肥の施用により有意に増加し, 豚ふん堆肥では牛ふん堆肥に比べて増加の程度が大きかった. リン酸肥料の施用による有効態リン酸の増加は有意でなかった.

2. 2010 年栽培試験

豚ふん堆肥は含水率 35% で, 全炭素 29.5%, 全窒素 2.2%, 全リン酸 5.6%, 全カリ 2.4% を含有していた (含水率は現物当たり, 他は乾物当たり). これらの値を用いて, 窒素, リン酸, カリの肥効率をそれぞれ 30%, 100%, 65% (土壌管理のあり方に関する意見交換会 2008, 西尾 2007) と仮定して豚ふん堆肥由来の窒素, リン酸, カリの施用量を算出したところ, それぞれ 4.1 g m⁻², 36 g m⁻², 9.7 g m⁻² であった.

子実収量は, 化学肥料のみを施用した処理 A では 47 g m⁻² であったが, 加えて豚ふん堆肥を施用した処理 B では 116 g m⁻² に有意に増加した (第4表). 処理 C は, 処理 B に比べてリン酸肥料とカリ肥料の施用を省いた点が異なる処理であるが, 処理 C の子実収量は処理 B に劣らなかった. 処理 D は, 処理 B に比べてリン酸肥料, カリ肥料, 窒素肥料の施用を省いた点が異なる処理であるが, 処理 D の子実収量は処理 B に劣らなかった.

収量構成要素の, 個体数, 主茎花房数, 総花房数, 花房開花数, 花房子実数, 千粒重は豚ふん堆肥の施用により増加傾向を示した (第4表). 処理 C の収量構成要素は処理 B と同程度であった. 処理 D の収量構成要素は処理 B に劣らなかった.

第4表 豚ふん堆肥, 化学肥料の施用がソバの子実重, 茎葉重および収量構成要素に及ぼす影響 (2010年栽培試験).

処理名	豚ふん堆肥 施用量 (kg m ⁻²)	化学肥料 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) (g m ⁻²)	子実収量 (g m ⁻²)	茎葉重 (g m ⁻²)	個体数 (m ⁻²)	草丈 (cm)	初花 節位	主茎花房 数	1次 分枝数	主茎第3花房			総花 房数	千粒重 (g)
										開花数	結実率 (%)	子実数		
処理 A	0	8-16-12	47 b	132 b	103 b	48	3.7	6.3 b	2.6	25.1	23.2	5.5	20.8 b	17.3
処理 B	1	8-16-12	116 a	196 ab	115 a	61	4.0	7.8 a	3.1	28.8	24.1	6.8	26.0 ab	25.0
処理 C	1	8- 0- 0	146 a	230 a	108 ab	60	3.8	7.7 ab	3.3	33.3	28.6	9.3	32.5 ab	25.9
処理 D	1	0- 0- 0	141 a	160 b	110 ab	64	3.9	8.0 a	3.6	37.8	22.8	8.5	34.6 a	24.7
ANOVA			***	**	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

***, **, *; 0.1% 水準, 1% 水準, 5% 水準でそれぞれ有意. 同一の英文字を付した数値間には, Tukey の HSD 法 (5%) による有意差がないことを示す.

第5表 豚ふん堆肥, 化学肥料の施用がソバの茎葉と子実の養分濃度に及ぼす影響 (2010年栽培試験).

処理名	豚ふん堆肥 施用量 (kg m ⁻²)	化学肥料 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) (g m ⁻²)	茎葉 (g kg ⁻¹)					子実 (g kg ⁻¹)				
			N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
処理 A	0	8-16-12	17.1 a	5.9 b	31 c	14.7 a	1.8 b	6.0	5.4 a	9.8 a	1.53 a	3.2 b
処理 B	1	8-16-12	18.1 a	9.1 a	42 ab	12.1 ab	5.6 a	4.7	4.7 b	6.2 b	0.76 b	4.6 a
処理 C	1	8- 0- 0	18.8 a	9.6 a	34 bc	11.5 b	6.6 a	4.8	4.6 b	6.3 b	0.63 b	4.6 a
処理 D	1	0- 0- 0	8.9 b	10.3 a	46 a	10.3 b	5.7 a	3.5	4.3 b	5.7 b	0.76 b	4.8 a
ANOVA			***	**	**	**	***	n.s.	**	***	***	***

***, **: 0.1% 水準, 1% 水準でそれぞれ有意. 同一の英文字を付した数値間には, Tukey の HSD 法 (5%) による有意差がないことを示す.

第6表 豚ふん堆肥, 化学肥料の施用がソバ跡地土壌の化学性に及ぼす影響 (2010年栽培試験).

処理名	豚ふん堆肥 施用量 (kg m ⁻²)	化学肥料 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) (g m ⁻²)	pH	EC (dS m ⁻¹)	有効態 リン酸 (mg kg ⁻¹)	交換性 カリ (mg kg ⁻¹)
処理 A	0	8-16-12	4.1	0.113 a	114 b	79 b
処理 B	1	8-16-12	4.2	0.117 a	213 a	171 a
処理 C	1	8- 0- 0	4.3	0.091 a	134 b	91 b
処理 D	1	0- 0- 0	4.3	0.086 a	153 ab	132 ab
ANOVA			n.s.	*	*	**

**, *; 1% 水準, 5% 水準でそれぞれ有意. 同一の英文字を付した数値間には, Tukey の HSD 法 (5%) による有意差がないことを示す.

茎葉の窒素濃度は, 窒素肥料を与えた処理 A, B, C に比べて, 窒素肥料を与えなかった処理 D で有意に低くなった (第5表). 子実の窒素濃度は, 有意とはならなかったものの, 茎葉の窒素濃度と同様の傾向を示し, 窒素肥料を与えなかった処理 D で最も低い値となった.

茎葉のリン酸濃度は, 堆肥を施用しなかった処理 A に比べて, 堆肥を施用した B, C, D の方が有意に高かった (第5表). 子実のリン酸濃度は, 処理 A に比べて B, C, D の方が有意に低かった. 処理 C は, 処理 B に比べてリン酸肥料とカリ肥料の施用を省いた点異なる処理であるが, 処理 C のリン酸濃度は処理 B と同程度であった.

茎葉カリ濃度は, 堆肥を施用しなかった処理 A に比べて, 堆肥を施用した B, C, D の方が高い傾向であった. 処理 C は, 処理 B に比べてリン酸肥料とカリ肥料の施用を省い

た点が異なる処理であるが, 処理 C に茎葉と子実のカリ濃度の低下は認められなかった.

栽培試験後の土壌の有効態リン酸は 114~213 mg kg⁻¹, 交換性カリは 79~171 mg kg⁻¹ の範囲であった (第6表).

考 察

極強酸性の国頭マージの圃場における家畜ふん堆肥施用条件でのソバ栽培について, 減化学肥料がソバの収量, 生育, 地上部養分濃度, 土壌養分含量に及ぼす影響を考察し, 減化学肥料の可能性を検討する.

1. リン酸

ソバの主な産地における土壌診断基準は, トルオーグ法による有効態リン酸 (P₂O₅) が北海道では 100~300 mg kg⁻¹

(北海道農政部 2010), 茨城県では $100\sim 300\text{ mg kg}^{-1}$ (茨城県 2008), 鹿児島県では $50\sim 500\text{ mg kg}^{-1}$ (鹿児島県農政部 2003) とされている。沖縄県の土壌診断基準(注: 沖縄県土壌診断基準(案))によると, ソバの基準値は掲載されていないが, トルオーグ法による有効態リン酸はパイナップル畑で 50 mg kg^{-1} 以上, 他の作物では 100 mg kg^{-1} 以上とされている。本研究の 2009 年および 2010 年の栽培試験で用いた圃場の土壌についての栽培試験の前のトルオーグ法による有効態リン酸はそれぞれ 47 mg kg^{-1} および 38 mg kg^{-1} であり, 上記の基準値を下回る。そのため, 潜在的にリン酸が不足しやすい土壌条件だったと考えられる。

前報(荒川ら 2011, 原ら 2011)と同様に本研究においても, 家畜ふん堆肥の施用により, 茎葉のリン酸含量, 茎葉重が増加し, ソバの収量が顕著に向上した(第 2 表)ことから, 家畜ふん堆肥に含まれるリン酸の肥料効果が, ソバの生育と収量の顕著な改善に寄与したと考えられる。

家畜ふん堆肥中のリン産の肥効率は, 100%と提案されている(土壌管理のあり方に関する意見交換会 2008, 西尾 2007)。この値を用いて試算すると, 本研究において, 豚ふん堆肥については, 2009 年および 2010 年の栽培試験でそれぞれ, 46 g m^{-2} (第 1 表) および 36 g m^{-2} のリン酸がソバ栽培前に施用されており, 2009 年の栽培試験の牛ふん堆肥については, 8.8 kg m^{-2} のリン酸が施用された(第 1 表)。ソバの主な産地における, 堆肥施用を行わない条件でのリン酸施肥標準は, 北海道では $7\sim 10\text{ g m}^{-1}$ (北海道農政部 2010), 茨城県では 3 g m^{-1} (茨城県農業総合センター 2010) 等とされている。そのため, 本研究の家畜ふん堆肥施用処理区においては, 主なソバ産地で施用されるリン酸と同程度以上の量のリン酸が家畜ふん堆肥由来で施用されていたと考えられ, 堆肥のみでソバのリン酸要求量を概ね満たす量のリン酸を供給できたと考えられる。

牛ふん堆肥施用区と豚ふん堆肥施用区で子実収量の有意な差は認められなかったものの, 前者でやや低かった(第 2 表)。これは前報(荒川ら 2011)においてリン酸含量の小さかった資材施用区で相対的に子実収量が低かったのと同じ傾向であり, リン酸施用量の増加が子実収量の増加に寄与していた可能性が考えられる。そのため, 豚ふん堆肥の方が牛ふん堆肥よりリン酸含量が高いことから, 南西諸島の極強酸性土壌でのソバの収量向上効果に優れると考えられる。

家畜ふん堆肥を施用した条件において, リン酸肥料を削減できる可能性を検討する。2009 年栽培試験の豚ふん堆肥(第 2 表 処理 5~8) および牛ふん堆肥(第 2 表, 処理 9~12)を施用した条件においては, いずれもリン酸肥料の施用量を 16 g m^{-2} から $8, 4, 0\text{ g m}^{-2}$ へ削減したとしても, 子実収量, 茎葉重, 茎葉リン酸含量の低下は認められなかった。2010 年栽培試験においても, 豚ふん堆肥を施用した条件においてリン酸肥料の施用を完全に削減したとしても, 子実収量, 茎葉重, 茎葉リン酸含量の低下は認められなかつ

た(第 4 表, 第 5 表)。家畜ふん堆肥を施用しリン酸肥料は施用しなかった場合でも(第 3 表 処理 5, 9, 13; 第 6 表 処理 C, D), 栽培試験跡地の有効態リン酸は栽培試験開始前より高まったことから, 土壌中リン酸のソバ栽培による収奪の恐れは小さいと考えられた。これらのことから, 豚ふん堆肥および牛ふん堆肥 1 kg m^{-2} を施用する条件では, 堆肥のみでソバのリン酸要求量を十分に供給できるため, リン酸肥料を完全に削減してもソバの子実収量には影響しないと考えられる。

家畜ふん堆肥を施用していない条件(第 2 表, 処理 1~4)では, リン酸肥料を増施しても子実収量, 茎葉重の増加は認められなかった。加えて, 栽培跡地の土壌のトルオーグ法による有効態リン酸は, リン酸肥料の施用量増加に応じた蓄積が認められなかった(第 3 表)。トルオーグ法は, 酸性条件で溶解しやすいリン酸カルシウムやリン酸マグネシウムを有効態リン酸として評価することを目的としているが(土壌環境分析法編集委員会 1997), 本研究のような pH5 以下の土壌においては, 化学肥料として与えられたリン酸は土壌中の活性アルミニウムや鉄と反応し, 難溶性の Al 型リン酸や Fe 型リン酸として沈殿・吸着するため, 植物が利用しにくくなったと考えられる(Haynes and Mokolobate 2001, 松中 2003)。一方, 堆肥等の有機物を施用すると, 有機物からリン酸が供給されるだけでなく, 有機物の分解で生じた可溶性の腐植物質や有機酸がアルミニウムや鉄に吸着することにより, リン酸の難溶化が妨げられる(Haynes and Mokolobate 2001)。そのため, 家畜ふん堆肥を施用した条件においては, 家畜ふん堆肥やリン酸肥料として施用した過リン酸石灰に由来するリン酸は沈殿しにくく, ソバに吸収されやすかったと考えられる。

2. カリ

ソバの主な産地における土壌診断基準は, 交換性カリ(K_2O)が北海道では $150\sim 300\text{ mg kg}^{-1}$ (北海道農政部 2010), 茨城県では $100\sim 300\text{ mg kg}^{-1}$ (茨城県 2008), 鹿児島県では火山灰土で $140\sim 470\text{ mg kg}^{-1}$ (鹿児島県農政部 2003) とされている。沖縄県の土壌診断基準によると, ソバの基準値は掲載されていないが, 交換性カリはパイナップルで $95\sim 190\text{ mg kg}^{-1}$ とされている(注: 沖縄県土壌診断基準(案))。本研究の 2009 年および 2010 年の栽培試験で用いた圃場の土壌についての栽培試験の前の交換性カリはそれぞれ 106 mg kg^{-1} および 82 mg kg^{-1} であり, 上記の基準値を下回るか, 基準値の下限に近い値である。そのため, 潜在的にカリがやや不足しやすい土壌条件だったと考えられる。

ソバの主な産地における, 堆肥施用を行わない条件でのカリ施肥標準は, 北海道では $6\sim 8\text{ g m}^{-1}$ (北海道農政部 2010), 茨城県では 4 g m^{-1} (茨城県農業総合センター 2010) 等とされている。家畜ふん堆肥中のカリは化学肥料と同様水溶性の形態で存在しており, カリの肥効率は 65%程度

と提案されている(土壌管理のあり方に関する意見交換会 2008, 西尾 2007). この値を用いて試算すると, 2009 年の栽培試験では豚ふん堆肥により 12.6 g m^{-2} , 牛ふん堆肥により 10.9 g m^{-2} のカリが, 2010 年の栽培試験では豚ふん堆肥により 9.7 g m^{-2} のカリが, ソバ栽培前に施用されたことになる(第1表). これらの値は既存そば産地でのカリ施肥標準の1.2~2.1倍の施肥量に相当する. 豚ふん堆肥もしくは牛ふん堆肥を施用した条件において, カリ肥料の施用を完全に削減する処理を行ったところ, 収量構成要素の減少は認められず, 収量は低下しなかった(第2表, 第4表). 家畜ふん堆肥を施用しカリ肥料は施用しなかった場合でも(第3表 処理13; 第6表 処理C, D), 栽培試験跡地の有効態リン酸は栽培試験開始前と同等以上であったことから, 土壌中カリのソバ栽培による収奪の問題はないと考えられた. これらのことから, 豚ふん堆肥および牛ふん堆肥 1 kg m^{-2} を施用する条件では, 堆肥のみでソバのカリ要求量を十分に供給できるため, カリ肥料を完全に削減してもソバの子実収量には影響しないと考えられる.

3. 窒素

主なソバ産地におけるソバの窒素施肥標準は, 北海道では $1.5 \sim 3 \text{ g m}^{-2}$ (北海道農政部 2010), 茨城県では $2 \sim 4 \text{ g m}^{-2}$ (茨城県農業総合センター 2010) 等とされている. 家畜ふん堆肥の窒素の肥効率は, 堆肥の窒素含量, 連用の有無, 土壌, 気象, 作物の種類などさまざまな影響を受けるが, 本研究で用いた窒素含量 $2 \sim 4\%$ の堆肥では連用なしの場合, 一般的に肥効率はおよそ 30% とされている(西尾 2007). この値を用いて試算すると, 2010 年の栽培試験では 4.1 kg の化学肥料相当の窒素がソバ栽培前に施用されたことになる. 従って本研究では既存そば産地での窒素施肥標準と同程度量の化学肥料相当窒素が堆肥により供給された可能性がある. 2010 年の栽培試験では豚ふん堆肥を施用した条件において, 窒素肥料を完全に削減する処理を行ったが, ソバの収量は低下しなかった. そのため, 収量に関して言えば, 堆肥のみにより十分な窒素が供給されたと考えられる.

ただし, 子実の窒素は低下傾向を示した. ソバ粉の窒素含量が高いことは, ソバ製麺時に生地がまとまりやすいため(松浦・飯田 2011), 好ましい特性と考えられる. 本研究ではソバ粉の窒素含量は測定しなかったが, 堆肥施用下においても窒素肥料を削減することにより子実の窒素含量が低下傾向であったため, ソバ粉の窒素含量も同時に低下した可能性が懸念される. 国頭マージはわが国の他地域の土壌に比べて腐植が少なく(宮城ら 1965), 土壌からの窒素供給量が少ないと考えられる. 加えて, 水耕栽培の実験による結果であるが, ソバ幼植物による窒素吸収は酸性条件で低下すると報告されている(Paulsamy and Chrungoo 1994). 従ってソバ子実の窒素含量を高く保つためには, 家畜ふん堆肥連用効果が現れる連用開始後数年にあって

は, 窒素肥料を併用するといった対応が必要と考えられる. 窒素の過剰は倒伏等の害を生じやすいことから, 土壌の窒素肥沃度に応じた窒素施肥の実施に向け, さらなる検討が必要である.

4. まとめ

家畜ふん堆肥を 1 kg m^{-2} 施用する条件下でのソバ栽培では, リン酸肥料およびカリ肥料を完全に削減しても高い収量を得られることが明らかになった. また, 豚ふん堆肥を 1 kg m^{-2} 施用する条件下でのソバ栽培では, さらに窒素の化学肥料も完全に削減しても高い収量を維持できる可能性がある.

このように堆肥を施用する条件でのソバ栽培について, 化学肥料投入量を低減できることを明らかにできた. これらの知見が, ソバ栽培現地で利用されるだけでなく, 他作物での減化学肥料にも発展させられることにより, 家畜ふん堆肥の利用促進と化学肥料の輸入依存度低減に寄与すると期待する.

謝辞: 本研究の着手と推進にあたり, 大宜味村役場宮城久美子氏, 大宜味村蕎麦(雑穀類)生産組合より助言を頂いた. 栽培試験にあたり, 沖縄県農業研究センター宜保永堅氏, 照屋寛由氏, 池宮秀和氏, 仲村伸次氏, 仲里富雄氏, 農研機構九州沖縄農業研究センター業務第1科の熱心な支援を受けた. 原稿の作成にあたりヤンマー沖縄株式会社板谷勉氏の助言を受けた. 記して感謝の意を表します.

引用文献

- 荒川祐介・原貴洋・住秀和・高嶺(山口)典子・照屋寛由・生駒泰基 2011. 南西諸島の極強酸性土壌における家畜ふん堆肥施用がソバの養分吸収と跡地土壌の化学性に及ぼす影響. 土肥誌 82: 381-388.
- 土壌環境分析法編集委員会 1997. 土壌環境分析法. 日本土壌肥科学会監修. 博友社, 東京. 195-197, 202-204, 267-269.
- 土壌管理のあり方に関する意見交換会 2008. 土壌管理のあり方に関する意見交換会報告書.
- 原貴洋・生駒泰基・照屋寛由・前里和洋・荒川祐介・土屋史紀・吉永育生・住秀和・塩野隆弘・道山弘康・松井勝弘・手塚隆久・高嶺(山口)典子 2010. 端境期に新そばを供給できる沖縄の新規作物そばの栽培法. 九州沖縄農業研究成果情報 25: 51-52.
- 原貴洋・荒川祐介・竹内誠人・住秀和・塩野隆弘・高嶺典子・照屋寛由・生駒泰基 2011. 南西諸島の極強酸性土壌における家畜ふん堆肥施用がソバ(*Fagopyrum esculentum* Moench)の生育と収量に及ぼす影響. 日作紀 80: 35-42.
- Haynes, R.J. and Mokolobate, M.S. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 59: 47-63.
- 北海道農政部 2010. 北海道施肥ガイド 2010.
- Hongo, C. and Yamano, H. 2013. Species-specific responses of corals to bleaching events on anthropogenically turbid reefs on okinawa island, Japan, over a 15-year period (1995-2009). PLoS ONE 8 (4): e60952.

- doi: 10.1371/journal.pone.0060952.
- 茨城県 2008. 土壌・作物栄養診断マニュアル.
- 茨城県農業総合センター 2010. 普通作物栽培基準.
- 鹿児島県農政部 2003. 土地改良及び施肥改善指針.
- 金城和俊・吉田晃一・宮丸直子・儀間靖 2011. 沖縄県で生産される堆肥の理化学性. 土肥誌 82: 228-233.
- 松中照夫 2003. 土壌学の基礎. 農文協, 東京. 150-159.
- 松浦和哉・飯田幸彦 2011. そば粉の粗タンパク質含量と生地玉特性との関係. (平成22年度関東東海北陸農業研究成果情報). http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto22/09/22_09_27.html (2013/11/11閲覧).
- 宮城勝治・稲嶺盛三郎・大城豊秀・大城喜信 1965. 琉球土壌の理化学的性質 第3報 沖縄本島土壌の腐植, 全窒素, 有効態磷酸含量について. 沖縄農業 4: 45-52.
- 水野直治・南松雄 1980. 硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法. 土肥誌 51: 418-420.
- 仲宗根一哉・比嘉榮三郎・満本裕彰・大見謝辰男 1998. 沖縄県における赤土等年間流出量 第2報 赤土等流出防止条例施行後の年間流出量の推算. 沖縄衛生環境研報 32: 67-72.
- 日本土壌協会 2000. 堆肥等有機物分析法. 日本土壌協会, 東京.
- 西尾道徳 2007. 堆肥・有機質肥料の基礎知識. 農文協, 東京. 139-143.
- 農林水産省 2012. 平成24年版 食料・農業・農村白書. 佐伯印刷, 大分. 62-32.
- 大見謝辰男・比嘉榮三郎・花城可英・満本裕彰 1995. 沖縄県の赤土等の流出とサンゴ礁の保全. 農土誌 63: 267-272.
- 大城正市 1997. サトウキビ作を中心にした環境にやさしい高収益農業の確立と実証. 九州農業研究 59: 23-27.
- 小柳渉・棚橋寿彦 2009. 肥料代替資材としての家畜ふん堆肥の活用技術. 研究ジャーナル 32: 11-15.
- Paulsamy, S. and Chrungoo, N.K. 1994. Nitrate uptake in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench): Kinetics. Environ. Exp. Bot. 34: 207-212.
- 塩野隆弘・原貴洋・山元伸幸・原口暢朗・生駒泰基 2007. 草生帯およびソバ栽培導入による営農的赤土流出軽減対策. 農業農村工学会誌 75: 817-820.
- 土屋誠・藤田陽子 2009. サンゴ礁のちむやみ-生態系サービスは維持されるか. 東海大学出版会, 神奈川. 47-50.

Growing Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) with Composted Manure and Reduced Chemical Fertilizer on Acid Soil in Subtropical Japan : Takahiro HARA¹⁾, Yusuke ARAKAWA¹⁾, Ryuichi NAGAHAMA²⁾, Noriko YAMAGUCHI¹⁾, Hidekazu SUMI³⁾, Akihiro TANAKA¹⁾ and Hiroki IKOMA⁴⁾ (¹⁾NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, Koshi, Kumamoto 861-1192 Japan; ²⁾Okinawa Prefectural Government; ³⁾Ogimi Town Office; ⁴⁾NARO Western Region Agricultural Research Center)

Abstract : Introducing buckwheat to acid soil region is expected to reduce soil erosion in subtropical Japan. We examined whether the amount of chemical fertilizer applied can be reduced by applying composted manure, which is produced locally in large amounts, since manure substantially improves grain yield of buckwheat grown on acid soil. When 1 kg m⁻² of composted manure from pig and cow was applied, grain yield, yield components, shoot weight, and the concentrations of phosphorus and potassium in the shoot were not lowered even when phosphorus and potassium fertilizer were not applied. When 1 kg m⁻² of composted manure of pig was applied, omission of phosphorus, potassium and nitrogen lowered the nitrogen concentration in shoot and grain, but did not lower grain yield or yield components. Even when chemical fertilizer was omitted, the nitrogen, phosphorus and potassium contents of soil after buckwheat harvest were not lower than before sowing buckwheat. These results indicate that application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers can be reduced by application of 1 kg m⁻² of composted manure.

Key words : Acid soil, Composted manure, Nitrogen, Okinawa, Phosphorus, Potassium, Soil Erosion, Subtropical Japan.