

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

原貴洋¹⁾・荒川祐介¹⁾・竹内誠人²⁾・住秀和¹⁾・塩野隆弘³⁾・高嶺 (山口) 典子¹⁾・照屋寛由²⁾・生駒泰基¹⁾
(¹⁾九州沖縄農業研究センター, ²⁾沖縄県農業研究センター, ³⁾農村工学研究所)

要旨: 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おり, その対策としてサトウキビやパイナップルとの輪作に活用でき農地表面の被覆保護に資する新規作物が求められている. 本研究は, 新規輪作作物としてのソバ栽培の可能性を検討するために, 土壌 pH3.9~4.2 の極強酸性土壌において家畜ふん堆肥および苦土石灰の施用が収量および茎葉重に及ぼす影響を検討した. 家畜ふん堆肥も苦土石灰も施用しない条件におけるソバの子実収量ならびに茎葉重はそれぞれ 75~104 g m⁻² ならびに 95~100 g m⁻² であったが, 1~3 kg m⁻² の家畜ふん堆肥施用により有意に増加し, それぞれ 171~235 g m⁻² ならびに 174~291 g m⁻² と既存ソバ産地に相当する水準となった. その茎葉を農地表面の被覆に用いると想定すると, 本実験で得られた茎葉は, 赤土等流出を大幅に低減することを期待できる量と考えられた. 苦土石灰 200 g m⁻² および 500 g m⁻² の施用による子実収量および茎葉重の有意な増加効果は認められなかった. pH7 以上の土壌ではパイナップルの生育障害が発生しやすいとされるが, 家畜ふん堆肥施用による土壌 pH の上昇は有意ではあるものの, pH7 を大きく下回っていた.

キーワード: 赤土等流出, 沖縄, 家畜ふん堆肥, 苦土石灰, サトウキビ, 土壌保全, パイナップル.

南西諸島には赤色および黄色の強酸性土壌が広く分布し, 国頭マージと称されている. 国頭マージ地域では土砂が陸地から河川や海洋に流出する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). その主要因の一つとして, 基幹畑作物であるサトウキビ, パイナップル栽培が単作体系で, それらの初期生育が緩慢であることから, 改植時の休閑期や生育初期において植生による農地表面の被覆率が低く, 降雨時に侵食を受けやすいことが指摘されている (仲宗根ら 1998, 南ら 2002, 亀谷 2004). そのため, 休閑期や作物生育初期に畑面植生, マルチ, 草生帯等により農地表面の被覆率を高める営農的対策法が考案されている. しかし, これらは実施主体である営農者に労力的, 経済的負担が発生するとの認識があり (仲地 2002), 現場普及は十分に進んでいない. そのため, 営農者の収益を向上させ, かつ休閑期および作物生育初期において農地表面を被覆できるような間作作物もしくは輪作作物の導入が望まれる (大城 1997, 仲宗根ら 1998, 翁長ら 1999).

ソバは初期生育が早く速やかに農地表面を被覆するとともに, 収穫までの栽培期間が約 2 カ月と短いため, サトウキビやパイナップルとの輪作作物として上記条件に適している. また, 国内の既存産地においては 5~12 月の期間にソバが栽培されているが, 南西諸島は温暖であるため 10~5 月の期間にソバの栽培が可能であり (原ら 2008), 他産地の端境期に出荷することによる高付加価値販売が期待できる (柴田 1984, Vinning 2001). 加えて, 既存産地の生産不安定要因となっている台風害を回避できるとともに作

期分散が図れ, 実需者が強く求める国産の安定供給に資すると期待される (注: 日本蕎麦協会 2006, 平成 17 年度国産そば市場化調査報告書). すでに著者らは, 夏植サトウキビ栽培の輪作作物として 2~3 月播種のソバ栽培を取り入れ, ソバ茎葉を土壌被覆のためのマルチ資材として活用することにより赤土等流出を低減できることを実証した (塩野ら 2007). これは, ソバ栽培による植生, そしてソバ収穫後に農地表面に残る茎葉による全面マルチ, さらにソバ収穫時に得られるソバ茎葉を活用したサトウキビ植付け後の畝間への部分マルチによる一連の対策法であり, 同様な対策法はパイナップルについても利用できる可能性がある. しかし, 当時得られたソバの子実収量は低く, ソバ栽培の実用化のためには子実収量の向上が必要条件と考えられた (塩野ら 2007, 原ら 2008). また, マルチ資材として機能する茎葉をさらに増加させることができれば, 赤土等流出の低減効果がさらに向上すると推測された (塩野ら 2007). これらの試験に用いた圃場は土壌 pH5 以下の強酸性の国頭マージ土壌であり, その土壌特性がソバの生育や収量を制限していた可能性が考えられる.

ソバは一般的に酸性土壌に耐えるとされているが (但野・安藤 1984, Campbell 1997, 林 1997), 土壌 pH5 を下回る強酸性土壌や, さらに土壌 pH4.5 を下回るような極強酸性土壌におけるソバの栽培技術に関する知見はほとんど見当たらない (川島 1937, Dwivedi 1996). 強酸性土壌や極強酸性土壌においては作物の生育や収量が著しく制限されるが, 家畜ふんや家畜ふん堆肥等の有機物資材 (Kubaら 1989, Hue 1992, Patiram 1996, Shen and Shen 2001,

Mokolobate and Haynes 2002, 熊谷ら 2006, Hossain and Ishimine 2007, 伊良波・外間 2007, Naramabuye ら 2008), ならびに石灰質資材 (今井ら 1984, Kuba ら 1989, Patiram 1996, 土壤保全調査事業全国協議会 2001, Shamshuddin ら 2004, 伊良波・外間 2007, Naramabuye ら 2008) が作物の生育や収量を改善することが知られている。このことから, 強酸性土壌や極強酸性土壌におけるソバ栽培においては, 家畜ふん堆肥や石灰質資材を施用することにより, ソバの生育と収量を改善できる可能性がある。また, 堆肥等有機物については, 土壌の物理性を改善することにより赤土等流出を低減する効果 (翁長ら 1991), 土壌侵食により低下した作物収量を回復させる効果 (Sui ら 2009) も指摘されている。とりわけ畜産業が盛んな沖縄においては家畜ふん処理が喫緊の課題となっていることから, 家畜ふん堆肥の製造・供給技術の研究開発が進められており (田中ら 2005), 今後さらに利用しやすい資材になると期待される。しかしながら, 沖縄の酸性土壌における堆肥の施用が作物の生育や収量に及ぼす影響に関する科学的な知見は少ない (Kuba ら 1989)。このようなことから, ソバ栽培における家畜ふん堆肥施用の効果を見いだすことができれば, 当該地域の環境保全および生産性の向上につなげることが可能となる。

家畜ふんが土壌に施用されると, 土壌 pH が上昇すると報告が見られる (Shen and Shen 2001, Mokolobate and Haynes 2002, 熊谷ら 2006, Tang ら 2007, Naramabuye ら 2008)。一方, パイナップル栽培においては, 土壌 pH の上昇に伴い生育障害や収量低下が生じることが知られている (Alvarez ら 1993, 竹内ら 2003)。そのため, 家畜ふん堆肥施用によるソバ栽培をパイナップルとの輪作に導入することを想定すると, 家畜ふん堆肥施用による土壌 pH への影響を検討しておく必要がある。

本研究では, 極強酸性の国頭マージ土壌の圃場において家畜ふん堆肥および石灰質資材がソバの子実収量, 収量構成要素, 茎葉重ならびに土壌 pH に及ぼす影響を明らかにするとともに, ソバの栽培による赤土等流出の低減効果について検討した。

材料と方法

1. 試験圃場の概要

供試圃場は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で, 試験はパイナップルの改植時の 2008 年および 2009 年に実施した。供試圃場の土壌 pH はそれぞれ pH 4.2 および 3.9 の極強酸性であった。

2. 供試した堆肥の概要

家畜ふん堆肥は, 鶏ふん, 牛ふん, 下水汚泥肥料, し尿汚泥肥料, 工業汚泥肥料, 植物質原料および豚ふんを主原料とし堆肥化した家畜ふん混合堆肥 (表示; 全窒素 1.7%, 全リン酸 4.3%, 全カリ 2.8%), 牛ふん, 木質系残渣物

および牧草を主原料とし堆肥化した牛ふん堆肥 (表示; 全窒素 1.0%, 全リン酸 0.84%, 全カリ 1.4%) を供試した。

3. 2008 年栽培試験

2008 年の栽培試験では, 家畜ふん堆肥と苦土石灰の効果を検討した。家畜ふん堆肥は, 家畜ふん混合堆肥を用いた。基肥として化成肥料を窒素, リン酸, カリで 8, 16, 12 g m⁻² 施用した。家畜ふん堆肥施用は 0, 1, 3 kg m⁻² の 3 水準, 苦土石灰施用は 0, 200, 500 g m⁻² の 3 水準とし, 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, 苦土石灰および化成肥料をロータリー耕うん機により土壌混和した後, 3 月 21 日にソバ品種「常陸秋そば」を播種した。播種は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 22 日に 1 m × 50 cm の範囲内の個体数を数え, 全個体を地際部より切断して採取した。各処理区より中庸な 6 個体について, 草丈, 初花節位, 一次分枝数, 主茎花房数, 総花房数を調査した。主茎初花節位花房と, 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。主茎花房数と総花房数について, 集合花房の中のそれぞれの花房も 1 個と数えた。植物体採取後に土壌を採取し, 速やかに pH (H₂O) を測定した。採取した全個体から子実を脱穀し, 通風乾燥機を用いて 35°C で 7 日以上乾燥させた後, 子実収量, 茎葉重および千粒重を秤量した。

4. 2009 年栽培試験

2009 年の栽培試験では, 2 種類の家畜ふん堆肥の効果を検討した。家畜ふん堆肥とその施用量は, 家畜ふん混合堆肥を 1 kg m⁻², 牛ふん堆肥を 1 kg m⁻² および 2 kg m⁻² とし, 対照は家畜ふん堆肥を無施用とした。化成肥料は基肥として窒素, リン酸, カリを 4, 8, 6 g m⁻² 施用する標準, 8, 16, 12 g m⁻² 施用する多肥の 2 水準とした。以上の家畜ふん堆肥 4 処理と化成肥料 2 水準を組み合わせ, 3 反復乱塊法により配置した。家畜ふん堆肥および化成肥料をロータリー耕うん機により土壌混和した後, 3 月 19 日にソバ品種「さちいずみ」を 2008 年栽培試験と同様に播種した。成熟期の 5 月 19 日に 2008 年栽培試験と同様に採取した。子実収量, 茎葉重, 土壌 pH の調査方法, 各試験区の大きさについても, 2008 年栽培試験と同様とした。

5. 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。結実率については逆正弦変換値を検定に用いた。

結 果

1. 2008 年栽培試験

土壌 pH は, 家畜ふん堆肥および苦土石灰の施用により有意に上昇した (第 1 表)。土壌 pH は全ての区において

pH4.2~6.0の範囲であり、家畜ふん堆肥のみを施用した区ではpH4.5および4.9であった。土壌pHに及ぼす家畜ふん堆肥×苦土石灰の交互作用は有意であり、家畜ふん堆肥3 kg m²の条件では家畜ふん堆肥0または1 kg m²の条件とは傾向が異なり、苦土石灰200 g m²の施用では土壌pHは上昇せず、苦土石灰500 g m²の施用によりpHが急激に上昇していた。家畜ふん堆肥および苦土石灰の施用

による土壌pHの低下は、いずれの水準でも認められなかった。

茎葉重は、家畜ふん堆肥の施用により有意に増加したが、苦土石灰の施用による有意な効果は認められなかった(第2表)。茎葉重は家畜ふん堆肥を施用した条件において216~291 g m²であった。

子実収量は、家畜ふん堆肥の施用により有意に増加したが、苦土石灰の施用による有意な効果は認められなかった(第2表)。子実収量は家畜ふん堆肥を施用した条件において171~203 g m²であった。

草丈、総花房数、初花節花房の結実率、主茎第3花房の結実率ならびに子実数については、家畜ふん堆肥の施用により有意に増加した(第3表)。個体数、初花節位、主茎花房数、一次分枝数、初花節花房の子実数、ならびに主茎第3花房の開花数については、家畜ふん堆肥の施用による有意な効果は認められなかった。これらの特性については家畜ふん堆肥×苦土石灰の交互作用がみられなかったため、苦土石灰処理を込みにした平均値を表示した(第3表)。

土壌pHと茎葉重および子実収量との間には、家畜ふん堆肥を施用した区ならびに施用しなかった区のいずれにおいても有意な相関が認められなかった(第1図)。同程度のpHと比較すると、家畜ふん堆肥を施用した区では施用しなかった区より茎葉重および子実収量が高かった。

第1表 家畜ふん堆肥と苦土石灰の施用が土壌pHに及ぼす影響(2008年栽培試験)。

堆肥 (kg m ²)	苦土石灰 (g m ²)			平均値
	0	200	500	
0	4.2	4.7	4.9	4.6 b
1	4.5	5.1	5.2	4.9 b
3	4.9	4.9	6.0	5.3 a
平均値	4.5	4.9	5.4	
ANOVA				
堆肥		***		
苦土石灰		***		
堆肥×苦土石灰		*		

***, *; 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。

第2表 家畜ふん堆肥と苦土石灰の施用が茎葉重および子実収量に及ぼす影響(2008年栽培試験)。

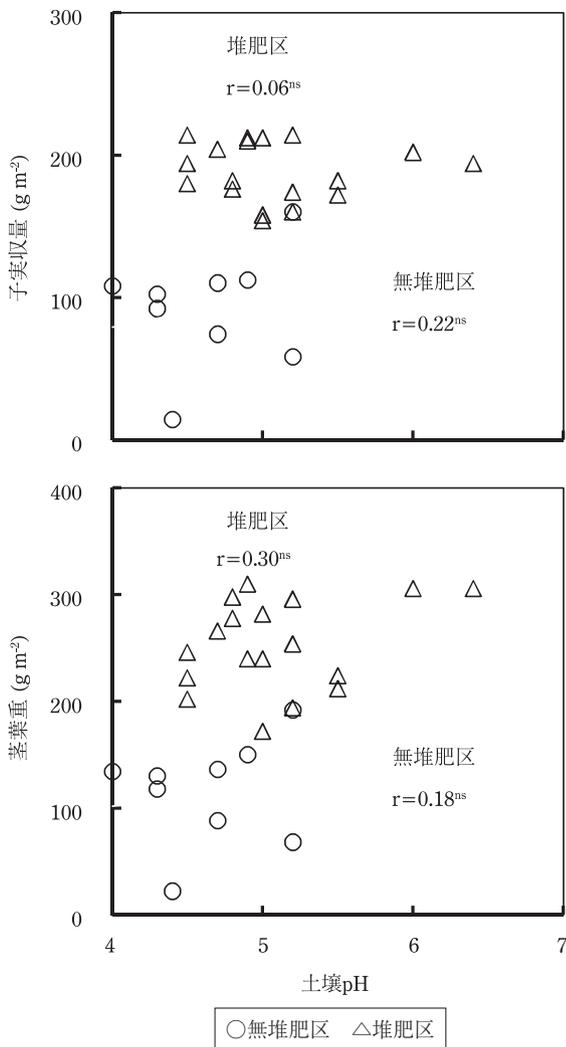
堆肥 (kg m ²)	茎葉重 (g m ²)				子実収量 (g m ²)			
	苦土石灰 (g m ²)			平均	苦土石灰 (g m ²)			平均
	0	200	500		0	200	500	
0	95	91	159	115 c	75	75	127	92 b
1	223	216	235	225 b	196	177	203	192 a
3	272	291	279	280 a	171	196	189	185 a
平均	197	199	224		147	149	173	
ANOVA								
堆肥		***				***		
苦土石灰		ns				ns		
堆肥×苦土石灰		ns				ns		

***; 0.1% 水準で有意。ns; 有意ではない。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3表 家畜ふん堆肥の施用が生育と収量構成要素に及ぼす影響(2008年栽培試験)。

堆肥 (kg m ²)	個体数 (m ²)	草丈 (cm)	初花節位	主茎花房数	総花房数	1次分枝数	初花節花房			主茎第3花房			千粒重 (g)
							開花数	結実率 (%)	子実数	開花数	結実率 (%)	子実数	
0	194	49.4 b	3.8	5.4	13.0 b	2.6	31.8 a	13.6 b	4.0	30.4	14.1 b	4.1 b	31.6 b
1	224	73.8 a	3.9	5.6	15.1 ab	2.8	26.8 b	21.9 a	5.5	29.3	20.1 a	5.9 ab	36.6 a
3	217	79.6 a	3.9	5.9	18.2 a	2.9	29.0 ab	20.1 a	5.3	31.8	22.3 a	6.9 a	37.0 a
ANOVA	ns	***	ns	ns	**	ns	*	*	ns	ns	**	**	***

***, **, *; 0.1% 水準, 1% 水準, 5% 水準でそれぞれ有意。ns; 有意ではない。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。値は苦土石灰処理を込みにした平均値。



第1図 土壌 pH と茎葉重および子実収量の関係(2008年栽培試験).
ns: 相関係数が有意ではない.

2. 2009年栽培試験

土壌 pH は、家畜ふん堆肥の施用により有意に増加した(第4表).

茎葉重は、家畜ふん堆肥の施用および化成肥料の施用量増加により有意に増加した(第5表). 茎葉重は家畜ふん堆肥を施用した条件において $174\sim 272\text{ g m}^{-2}$ であった. 供試した堆肥の種類および施用量については茎葉重の差が見られなかった.

子実収量は、家畜ふん堆肥の施用および化成肥料の施用量増加により有意に増加した(第5表). 子実収量は家畜ふん堆肥を施用した条件において $174\sim 235\text{ g m}^{-2}$ であった. 堆肥の種類および施用量については子実収量の差が見られなかった.

第4表 家畜ふん堆肥の施用が土壌 pH に及ぼす影響 (2009年栽培試験).

堆肥名	堆肥施用量 (kg m^{-2})	化成肥料		
		標準	多肥	平均
対照(無堆肥)	0	4.1	4.0	4.0 b
家畜ふん混合堆肥	1	4.2	4.2	4.2 a
牛ふん堆肥	1	4.2	4.2	4.2 a
牛ふん堆肥	2	4.3	4.4	4.3 a
ANOVA				
堆肥			***	
化成肥料			ns	
堆肥×化成肥料			ns	

***: 0.1% 水準で有意. ns: 有意ではない. 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.

考 察

1. 家畜ふん堆肥施用がソバの子実収量、茎葉重ならびに収量構成要素に及ぼす影響

酸性土壌において作物生育が抑制される理由としては、土壌中の水素イオンの上昇自体が直接の問題になるわけではなく、低い土壌 pH に付随する以下のような土壌特性が作物生育を抑制する因子になると考えられている(松中 2003, 但野・安藤 1984). すなわち、アルミニウムなどの有害金属が溶出して植物の根が障害を受けること、リン酸が難溶性となるためリン酸欠乏となること、カルシウムやマグネシウムが土壌から溶脱して欠乏すること、必須微量元素が溶解度低下や溶脱により欠乏すること、微生物活性が低下することである. 本研究において、2008年および2009年のいずれの栽培試験についても、家畜ふん堆肥の施用による茎葉重および子実収量の増加が顕著であった. ここで土壌 pH と茎葉重および子実収量の間には相関が認められず、同程度の pH で比較すると家畜ふん堆肥の施用下では無施用下より茎葉重および子実収量が高くなっていた. また、苦土石灰施用により土壌 pH が上昇したにもかかわらず、苦土石灰施用による子実収量および茎葉重の増加は判然としなかった. これらのことから、家畜ふん堆肥施用による土壌 pH 以外の土壌特性の変化が、ソバの茎葉重および子実収量の増加に寄与したと考えられる.

既往研究によると、ソバではリン酸欠乏による生育の低下(村山ら 1998, Hayashi 2001) および子実収量の減少(林 1997, 村山ら 1998) が極めて激しいとの栽培実験結果がみられる. そのため、リン酸欠乏が生じやすい極強酸性土壌においては、リン酸欠乏がソバの生育や収量を低下させる主要因子となる可能性が考えられる. 本研究に用いた圃場の土壌は極強酸性の国頭マーヅであるが、類似の土壌条件と考えられる土壌 pH が中性に近い国頭マーヅや、国頭マーヅではない強酸性および極強酸性土壌での既往研究の中に

第5表 家畜ふん堆肥の施用が茎葉重と子実収量に及ぼす影響 (2009年栽培試験).

堆肥名	堆肥施用量 (kg m ⁻²)	茎葉重 (g m ⁻²)			子実収量 (g m ⁻²)		
		化成肥料			化成肥料		
		標準	多肥	平均	標準	多肥	平均
対照 (無堆肥)	0	100	84	92 b	96	104	100 b
家畜ふん混合堆肥	1	231	272	252 a	227	235	231 a
牛ふん堆肥	1	174	196	185 a	174	200	187 a
牛ふん堆肥	2	196	236	216 a	197	228	212 a
ANOVA							
堆肥			***			***	
化成肥料			*			*	
堆肥×化成肥料			ns			ns	

***, *: 0.1% 水準, 5% 水準でそれぞれ有意. ns; 有意ではない. 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.

は, 家畜ふん堆肥, 家畜ふんおよび堆肥の施用により作物の生育や収量が改善され, また, 植物体によるリン酸吸収が向上していたとの報告がいくつか見られる (Hue 1992, Patiram 1996, Shen and Shen 2001, 真境名ら 2002, Tang ら 2007). また, 既往研究において, リン酸欠乏下におけるソバへのリン酸化化成肥料の施用により, 草丈, 茎重, 一次分枝数, 総花房数, 千粒重の増加が報告されているが (村山ら 1998), 本研究において, 家畜ふん堆肥施用により草丈, 茎葉重, 総花房数, 千粒重は増加しており, 両研究結果の間に矛盾は認められない. これらのことから, 本研究において観察された家畜ふん堆肥施用による顕著なソバの生育と収量の改善効果には, ソバのリン酸吸収の改善が寄与した可能性が考えられる. ただし, 有害金属, カルシウム, マグネシウム, 微量養分, 微生物活性等, 他の因子が関与した可能性は排除されず, 詳細の解明には作物体中の養分濃度や吸収量等について今後の検討を要する. なお, 本研究においては供試した堆肥の種類や施用量が子実収量や茎葉重に及ぼす影響は認められなかったが, 上記のような詳細の解明により, 最適な堆肥の選定や施用量の設定が容易になると期待される.

2. 南西諸島の極強酸性土壌におけるソバの子実収量

既存産地におけるソバの栽培試験の中で子実収量が高かった例を参照すると, それぞれの報告の最高値は 223~318 g m⁻²であった (加藤・千葉 1983, 外川ら 1988, 小木曾ら 1989, 村山ら 1998, 杉本ら 2000, 原ら 2009). しかしながら, 既存産地においては台風 (農林水産省大臣官房統計部 2004, 2008) や湿害 (西牧 1983, 竹前 1986, 杉本ら 2000, 農林水産省大臣官房統計部 2008, 2009), 低温 (農林水産省大臣官房統計部 2009), 干ばつ (農林水産省大臣官房統計部 2008) といった不順な天候による大幅な減収が頻発している. そのため, 例えば最大のソバ生産都道府県である北海道の子実収量は, 天候に恵まれたとされる 2005 年および 2006 年では 93 および 87 g m⁻²であったが, 天候

不順となった 2004 年, 2007 年および 2008 年では 52, 77 および 69 g m⁻² と低い水準である (農林水産省大臣官房統計部 2004, 2005, 2006, 2008, 2009). 本研究において得られた子実収量は, 2008 年の最高値で 203 g m⁻², 2009 年の最高値で 235 g m⁻² であり, 既存産地における子実収量の最高値に近かった. ところで, 本研究において南西諸島でのソバ栽培期間として想定している 3~5 月は, 台風接近が非常に少ないため, 台風被害を受ける確率が低いと期待できる. また, 南西諸島の国頭マージでも, 降雨が多い時期に播種した結果としての湿害様症状が観察されてはいるものの (原ら 2008), 赤土等流出が発生する圃場は排水のために傾斜をつけた畑地であるため (翁長ら 1999, 南ら 2002, 仲村ら 2003, 亀谷 2004), 湛水しやすい水田での栽培が多い既存産地よりは湿害を受けにくい可能性が考えられる. 以上のことから, 本研究において得られた子実収量は, 既存産地に十分匹敵する水準と考えられ, 台風被害や湿害を受けにくい可能性が期待される.

3. 南西諸島の極強酸性土壌におけるソバの茎葉重と赤土等流出低減効果

ソバ栽培に期待される赤土等流出低減効果は, 生育中のソバの植生による被覆効果, そしてソバ収穫後に圃場に残存するソバ茎葉による全面マルチの被覆効果, さらにサトウキビ等を植え付けた後に畦間に設置するソバ茎葉を用いた部分マルチによる表面流去水の滞流・土砂沈降効果の 3 つの効果によっている (塩野ら 2007). そのうち全面マルチ, 部分マルチが想定される 5~10 月は梅雨や台風による降雨が多いことから, 全面マルチ, 部分マルチの効果が特に重要と考えられる.

全面マルチについては, 塩野ら (2007) が, ソバワラ敷設量 W (g m⁻²) と被覆率 RC (%) を用いて赤土流出低減率 (%) を推算している.

$$\text{赤土等流出低減率} = 1 - e^{-0.03 \cdot RC} \quad (1) \text{ 式}$$

$$RC = 100 \{1 - e^{-5.88W}\} \quad (2) \text{ 式}$$

本研究において、それぞれの年で最も高い子実収量が得られた処理区の茎葉重は2008年および2009年でそれぞれ 291 g m^{-2} および 272 g m^{-2} であった。その茎葉を全面マルチに用いると、(1)式および(2)式による推算によれば赤土等流出低減率は91%となり、赤土等流出の大部分を軽減できると考えられる。

部分マルチについては、作物等の少量のワラにより土砂流出を顕著に低減できると報告されている。中尾ら(1996, 2002)は 71 g m^{-2} 、 118 g m^{-2} の稲ワラで畦間に部分マルチをすると、土壌流失が80%、40%以上減少したと報告している。また、Döring(2005)は 125 g m^{-2} のコムギのワラによる全面マルチが土砂流出の9割を削減したと報告しており、このとき条間にワラが流入して水をせき止め、部分マルチ様の機能が発揮されたためと考察している。スキによる部分マルチが沖縄の国頭マージにおける土砂流出を大幅に低減したとの報告も見られる(吉永ら2007)。

以上のことから、本研究の堆肥施用処理で得られたソバの茎葉量は、全面マルチと部分マルチに利用された場合、赤土等流出の顕著な低減に十分な量と考えられる。

4. 家畜ふん堆肥施用が土壌 pH に及ぼす影響

既往研究において、家畜ふんや堆肥の施用が土壌 pH を上昇させるとの報告が見られるが(Shen and Shen 2001, Makolobate and Haynes 2002, 熊谷ら 2006, Tang ら 2007, Naramabuye ら 2008)、本研究においても家畜ふん堆肥の施用により pH が上昇した。ソバ栽培がパイナップル栽培の輪作に導入されることで赤土流出が低減する可能性が考えられるが、パイナップルは土壌 pH が7以上になると生育障害が発生すると報告されている(竹内ら 2003)。本研究において、 $1\sim 3\text{ kg m}^{-2}$ の家畜ふん堆肥の施用でソバの多収栽培が可能であることが明らかになったが、家畜ふん堆肥の施用下でも土壌 pH は7を大きく下回っていた。なお、土壌 pH を上昇させる苦土石灰施用による子実収量の増加効果は判然としなかったため、苦土石灰施用の必要性は低いと考えられるが、家畜ふん堆肥のみを施用した処理区の pH は4.9以下であった。このことから、家畜ふん堆肥の利用によりソバの多収栽培が可能であり、その後パイナップルを栽培したとしても、土壌 pH 上昇によるパイナップルの生育障害は生じにくいと考えられた。

5. 南西諸島におけるソバ栽培の実用化に向けた展望

既往研究において、夏植サトウキビ栽培の輪作物としてソバを2~3月播種の栽培体系で取り入れ、得られるソバ茎葉を土壌被覆のためのマルチ資材として活用することにより、赤土等流出を低減できることが実証されていることから(塩野ら 2007)、夏植サトウキビとソバとの輪作体系の実用化が期待される。本研究におけるソバ茎葉の全面マルチは、ソバ子実のコンバイン収穫と同時に農地表面に散布される茎葉が全面マルチの機能を発揮するものであ

る。すなわち全面マルチの設置は追加的な経費や労力を要しないことから(塩野ら 2007)、実現性が高いと考えられる。一方、ソバ茎葉の部分マルチは、その設置のために金銭換算で3,400円/10aの追加的な労力等を要することから(塩野ら 2007)、実現のためには営農者に部分マルチ設置を促す社会的な仕組み作りが必要と考えられる。

南西諸島で想定されるソバ作期は10~5月の間の約2カ月間であるが(原ら 2008)、その2カ月間がパイナップルの休閑期間と重なり、パイナップルとソバを輪作できる可能性について検討する。栽培指針に記されている露地パイナップルの作型には、7~8月に植付ける夏植えと、3~5月に植付ける春植えがあるが(沖縄県農林水産部 2003)、いずれの作型も9~12月の2回目の収穫(秋実)をもって作期を終える(沖縄県農林水産部 2003)。その秋実収穫に続いて夏植えする場合は、7月まで休閑となるため、そのパイナップル休閑期間にソバを栽培できる可能性が考えられる。近年、早生の生食用品種であるボゴール、ソフトタッチの植え付け面積が増加しており、例えば、平成19年でのパイナップル栽培面積551haのうち20%以上が生食用品種となっている(注:栽培面積における年次別優良系統の割合 2007, 園芸振興課業務関係資料)。早生の生食用品種は、品質のよい10月までに収穫を終えるため、従来品種より休閑期間が長くなり、よりソバ栽培の可能性が広がる。

パイナップル圃場については特に土壌 pH が低い傾向が現地関係者の間で知られていることから、多くの場合ソバ栽培には家畜ふん堆肥の投入が必要になると考えられる。その場合、家畜ふん堆肥施用に要する経費が家畜ふん堆肥施用にともなう粗収益の向上分を上回らないことが重要である。

謝辞:本研究の着手と推進にあたり、前日本大学生物資源科学部教授石井龍一博士、名城大学農学部教授道山弘康博士、琉球大学農学部教授川満芳信博士、沖縄県立宮古総合実業高校前里和洋教諭、弘前大学農学生命科学部附属生物共生教育研究センター姜東鎮博士、有限会社ティンナテクノファーム、名代蕎麦処美濃作小山健氏、沖縄県読谷村大城強氏より助言を頂いた。栽培試験にあたり、沖縄県農業研究センター池宮秀和氏、正田守幸氏、長浜隆市氏、宜保永堅氏、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シドニー大学 Viola Devasirvathaw 博士の助言を受けた。記して感謝の意を表します。

引用文献

- Alvarez, C.E., A.E. Carracedo, E. Iglesias and M.C. Martinez. 1993. Pineapple cultivated by conventional and organic methods in a soil from a banana plantation. A comparative study of soil fertility, plant nutrition and yield. *Biol. Agri. Hort.* 9: 161-171.
- Campbell, C.G. 1997. Buckwheat. *International Plant Genetic Resources*

- Institute, Rome.1-54.
- 土壌保全調査事業全国協議会 2001. 日本の耕地土壌の実態と対策. 博友社, 東京. 259-270.
- Döring, T.F., M. Brandtb, J. Heß, M.R. Finckha and H. Sauckea 2005. Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in organically grown potatoes. *Field Crops Res.* 94 : 238-249.
- Dwivedi, G.K. 1996. Tolerance of some crops to soil acidity and response to liming. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 44(4) : 736-741.
- 原貴洋・照屋寛由・塩野隆弘・生駒泰基・手塚隆久・松井勝弘・道山弘康 2008. 南西諸島冬季の短日環境における普通ソバ (*Fagopyrum esculentum* Moench) の農業関連形質の品種間差異. *日作紀* 77 : 151-158.
- 原貴洋・松井勝弘・生駒泰基・手塚隆久 2009. 西南暖地の春まき栽培における普通ソバ (*Fagopyrum esculentum* Moench) の収量関連形質および穂発芽の品種間差異-新品種「春のいぶき」を中心として-. *日作紀* 78 : 189-195.
- 林久喜 1997. そば栽培と環境条件. そばの栽培技術. 日本蕎麦協会, 東京. 4-5.
- Hayashi, H. 2001. Effects of NPK elements on growth and dry matter production of common buckwheat in Andosol. In S.S. Ham, Y.S. Choi, N.S. Kim and C.H. Park, eds., *Proc. 8th Int. Symp. Buckwheat, Chunchon.* 16-21.
- Hossain, M.A. and Y. Ishimine 2007. Effects of farmyard manure on growth and yield of turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in dark-red soil, red soil and gray soil in Okinawa, Japan. *Plant Prod. Sci.* 10 : 146-150.
- Hue, N.V. 1992. Correcting soil acidity of a highly weathered ultisol with chicken manure and sewage sludge. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23 : 241-264.
- 今井弘樹・尾形昭逸・田中明 1984. 酸性土壌の改良. 田中明編, 酸性土壌とその農業利用-特に熱帯における現状と将来-. 博友社, 東京. 259-298.
- 伊良波幸和・外間数男 2007. ヤエヤマアオキの生育に及ぼす土壌pHとECの影響. *沖縄農業* 41 : 85-92.
- 亀谷茂 2004. パインアップル園における赤土流出防止対策. *圃場と土壌* 36(4) : 8-12.
- 加藤清一・千葉實 1983. 転換畑におけるソバ栽培法の確立に関する研究. *宮城農七研報* 50 : 29-48.
- 川島祿郎 1937. 土壌の反応並びにその石灰含量と作物の生育について. 第8報. 小麦・青刈蕎麦・ライ麦・燕麦. *土肥誌* 11 : 11-22.
- Kuba, M, O.T. Quilloy, C.A.L. Gonzales 1989. Effects of lime and baggase compost application on soil acidity, exchangeable aluminium, fertility and growth of sorghum in Kunigami-marge sub soil. *Bull. Okinawa Agric. Exp. Sta.* 13 : 111-126.
- 熊谷千冬・三枝正彦・齋藤公夫・伊藤豊彰 2006. アルミニウム型牛ふんコンポストの作成と強酸性黒ボク土下層土への施用効果. *土肥誌* 77 : 507-515.
- 真境名元次・宮丸直子・与古田稔 2002. 牛ふん堆肥施用がジャイアントスターグラス草地造成初期の生育性・生産性と品質および土壌成分に及ぼす影響. *沖縄畜試研報* 40 : 92-97.
- 松中昭夫 2003. 土壌学の基礎. 農文協, 東京. 150-159.
- 南哲行・山田孝・仲野公章・富坂峰人・徳永敏朗・山城修 2002. 耕作ステージの異なるパインアップル圃場での赤土砂流出特性. *砂防学会誌* 54 : 30-38.
- Mokolobate, M.S. and R.J. Haynes 2002. Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil. *Biol. Fertil. Soils* 35 : 79-85.
- 村山敏・小穴洋一郎・中山利明・萩原英雄 1998. 有機物及び三要素肥料の長期連用がソバの生育・収量に及ぼす影響. *北陸作報* 33 : 118-120.
- 仲地宗俊 2002. 沖縄県における農地からの赤土等流出防止に関する自治体の対策と農家の対応. *農村計画学会誌* 21 : 232-239.
- 仲村元・藤田智康・吉永安俊・塩野隆弘 2003. 羽地大川地区における赤土対策推進の取組-耕土流出防止対策に関する試験-. *水と土* 132 : 40-48.
- 中尾誠司・川本治・細川雅敏・高木東 1996. 畦間マルチングの土壌保全効果とその特徴. *農及園* 71 : 1001-1006.
- 中尾誠司・高木東・細川雅敏 2002. 傾斜畑における土壌侵食防止のための保全管理とその効果. *農土誌* 70 : 619-622.
- 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-. *沖縄県衛生環境研究所報* 32 : 67-72.
- Naramabuye, F.X., R.J. Haynes and A.T. Modi 2008. Cattle manure and grass residues as liming materials in a semi-subsistence farming system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 124 : 136-141.
- 西牧清 1983. ソバ栽培の現状と技術的課題. *農及園* 58 : 140-146.
- 農林水産省大臣官房統計部 2004. 平成16年産大豆, 小豆, いんげん及びらっかせい・そばの収穫量. <http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/daizu2004/daizu2004.pdf> (2009/12/4 閲覧).
- 農林水産省大臣官房統計部 2005. 平成17年産大豆, 小豆, いんげん及びらっかせい・そばの収穫量. <http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/daizu2005/daizu2005.pdf> (2009/12/4 閲覧).
- 農林水産省大臣官房統計部 2006. 平成18年産大豆, 小豆, いんげん及びらっかせい・そばの収穫量. <http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/daizu2006/daizu2006.pdf> (2009/12/4 閲覧).
- 農林水産省大臣官房統計部 2008. 平成19年産そばの作付面積及び収穫量. <http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/soba2007/soba2007.pdf> (2009/12/4 閲覧).
- 農林水産省大臣官房統計部 2009. 平成20年産そばの作付面積及び収穫量. <http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/soba2008/soba2008.pdf> (2009/12/4 閲覧).
- 小木曾正敏・内藤博務・倉島秀雄 1989. ソバの生産安定技術. 第1報. 播種期及び施肥量が生育収量に及ぼす影響. *愛知農総試研報* 21 : 151-157.
- 沖縄県農林水産部 2003. 果樹栽培要領. 8-9.
- 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.
- 翁長謙良・呉屋昭・松村輝久 1991. 沖縄島北部赤黄色土の土壌侵食の評価と対策. *土壌の物理性* 63 : 19-34.
- 翁長謙良・米須竜子・新垣あかね 1999. 沖縄における赤土等流出の経緯と対策. *琉球大学農学部学術報告* 46 : 71-82.
- 大城正市 1997. サトウキビ作を中心とした環境にやさしい高収益農業の確立と実証. *九農研* 59 : 23-27.
- Patiram 1996. Effect of limestone and farmyard manure on crop yields and soil acidity on an acid inceptisol in Sikkim, India. *Trop. Agric.* 73 : 238-241.
- Shamshuddin, J., S. Muhrizal, I. Fauziah and M.H.A. Husni 2004. Effects of adding organic materials to an acid sulfate soil on the growth of

- cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Sci. Total Environ.* 323 : 33–45.
- Shen, Q.R. and Z.G. Shen 2001. Effects of pig manure and wheat straw on growth of mung bean seedlings grown in aluminium toxicity soil. *Biores. Tech.* 76 : 235–240.
- 柴田茂久 1984. 小麦・そばの貯蔵と加工. *農及園* 55 : 131–136.
- 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.
- 外川真稔・多田久・藤田正男・熊谷憲治・竹村達男 1988. 寒冷地転換畑におけるソバの安定多収栽培及び小型収穫機の試作. *青森畑園試研報* 6 : 85–114.
- 杉本秀樹・黒野真伸・高野圭子・河野靖・佐藤亨 2000. 夏ソバに対する緑肥レンゲの有効性. *日作紀* 69 : 24–30.
- Sui, Y., X. Liu, J. Jin, S. Zhan, X. Zhang, S.J. Herbert and G. Ding 2009. Differentiating the early impacts of topsoil removal and soil amendments on crop performance/productivity of corn and soybean in eroded farmland of Chinese Mollisols. *Field Crops Res.* 111 : 276–283.
- 但野利秋・安藤忠男 1984. 酸性土壌の作物生育阻害要因とそれらに対する作物の耐性. 田中明編, 酸性土壌とその農業利用—特に熱帯における現状と将来—. 博友社, 東京, 217–258.
- 竹前彬 1986. 秋ソバの省力安定多収栽培. *農及園* 61 : 1291–1296.
- 竹内誠人・仲宗根福則・目取眞要・比嘉正和 2003. パインアップル園におけるアルカリ土壌対策. *九州沖縄農業研究成果情報* 19 : 337–338.
- 田中章浩・葉師堂謙一・嶋谷智佳子・渡邊克二 2005. 広葉樹剪定残渣, バガス等を副資材とする乳牛ふん堆肥化の適正混合重量比. *九州沖縄農業研究成果情報* 21 : 159–160.
- Tang, Y., H. Zhang, J.L. Schroder, M.E. Payton and D. Zhou 2007. Animal manure reduces aluminium toxicity in an acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71 : 1699–1707.
- 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, 秦野, 47–50.
- Vinning, G. 2001. Buckwheat : Demand—supply analysis. Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra. 1–63.
- 吉永安俊・酒井一人・仲村渠将・大澤和敏・塩野隆弘 2007. ススキ束を用いたうね間部分マルチの土砂流出防止に関する研究. *農土論集* 249 : 83–88.

Effects of composted manure on growth and grain yield of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) in acid soil in subtropical Japan : Takahiro HARA¹⁾, Yusuke ARAKAWA¹⁾, Makoto TAKEUCHI²⁾, Hidekazu SUMI¹⁾, Takahiro SHIONO³⁾, Noriko TAKAMINE-YAMAGUCHI¹⁾, Hiroyoshi TERUYA²⁾ and Hiroki IKOMA¹⁾ (¹⁾NARO Natl. Agric. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Region, Koshi, Kumamoto 861-1192, Japan; ²⁾Okinawa Prefectural Agricultural Research Center; ³⁾NARO National Institute for Rural Engineering)

Abstract : Soil erosion due to rainfall is a serious problem in acid soil region in subtropical Japan. Introducing new crops which can be used in rotation with sugarcane and pineapple is expected to alleviate soil erosion. We developed a buckwheat cultivation method suitable for acid soil with pH 3.9~4.2 in subtropical Japan. We examined the effects of composted manure and dolomite on the growth and grain yield of buckwheat. The composted manure was applied at a rate of 1~3 g m⁻² and dolomite at the rate of 200 and 500 g m⁻². Application of composted manure significantly increased grain yield and shoot weight. Grain yield was 171~235 g m⁻² when composted manure was applied, whereas 75~104 g m⁻² when neither composted manure nor dolomite was applied. Shoot weight was 174~291 g m⁻² when composted manure was applied, but 95~100 g m⁻² when neither composted manure nor dolomite was applied. The amount of shoot obtained in the experiment by applying composted manure is considered enough to substantially decrease soil erosion caused by rainfall, if the shoot is used for mulch to cover soil surface. No significant effect of applying dolomite on grain yield and shoot weight was detected. Applying composted manure significantly elevated soil pH, which did not exceed pH 7 at which pineapple growth would be damaged.

Key words : Composted manure, Dolomite, Okinawa, Pineapple, Soil conservation, Soil Erosion, Sugarcane.