

利用性の高い堆肥の供給体制の確立

水木剛・白石誠・小林宙・疇地勅和*

Establishment of system of supply of high use compost

Takeshi MIZUKI, Makoto SHIRAIISHI, Hiroshi KOBAYASHI and Tokikazu AZECHI

要 約

土壌や農作物に適した利便性の高い成分調整ペレット堆肥を製造するにあたっての基礎データとするため、県内で生産される堆肥の肥料成分等の季節変動について調査した。また、成分調整した堆肥をペレット化する際の諸条件について検討するとともに、ペレット堆肥の保存性についても検討した。

- 1 県内の主要な堆肥センター等 18 カ所からそれぞれ初夏と初春の 2 回サンプリングを行い、製造時期の違いによる肥料成分等の変動を調査したところ、豚ふん堆肥でリン酸の有意な変動(初夏>初春)が認められたほか、牛及び豚の全炭素(初夏>初春)、牛のカルシウム(初夏<初春)並びに豚のマグネシウム(初夏>初春)でも有意な変動が認められた。このことから、同一銘柄の堆肥であっても、施肥設計前の成分分析が重要であることが示唆された。
- 2 牛ふん堆肥または豚ふん堆肥から製造したペレット堆肥を 120 日間、30℃で保存したところ、水分の 21.2%の豚ふん堆肥ペレットで部分的なカビの発生が認められたものの、乾物あたりの肥料成分に大きな変動は認められず、ペレット製造時に適切な乾燥を行えば長期間安定した状態で保存できることが示唆された。

キーワード： 堆肥、肥料成分、季節変動、ペレット、保存性

緒 言

畜産経営では、堆肥の生産施設は整備されたが、耕種農家への供給量は十分ではない。

一方、耕種経営では、土づくり資材として堆肥の有効性を十分認識しているが、畜種や製造方法等の違いにより肥料成分が多様であるため施肥管理が難しく、過剰施用等により土壌養分バランスの悪化、生産性の低下等を招く場合があり、利用が進まない要因となっている¹⁾。

また、家畜ふん堆肥は、肥料取締法により肥料成分等の表示が義務づけられているが、農林水産省告示²⁾により表示値に対する誤差の許容範囲が定められているなど、同一銘柄の堆肥であっても肥料成分が一定ではないため、精確な施肥設計が難しい。

さらに、一般的な化成肥料よりも肥料成分含有量が少ない堆肥は、その保管、流通及び散布にコストや労力を要することも使用が敬遠される要因となっている。

そこで、堆肥の容積を大幅に低減しつつ高い肥効性を発揮できる成分調整ペレット堆肥の製造条

件を検討するとともに、製造したペレット堆肥の肥効や保存性を調査し、利用と流通の両面で最適なペレット化の条件を検討した。

なお、本試験では、岡山県農林水産総合センター農業研究所環境研究室(以下、農業研究所)と連携して、堆肥や土壌中の肥料成分等を簡易的に評価する手法を開発し、土壌や農作物に適した施用指針を策定することにより、堆肥と地力を活用した適切な土づくりの推進を図ることを目的として共同試験を行った。

本報では、県内で生産された堆肥の肥料成分の季節変動について調査した結果と、成分調整した堆肥をペレット化する際の諸条件やペレット化後の保存性について検討した結果を報告する。

材料及び方法

試験 1 県内で生産される堆肥の季節変動調査
ペレット堆肥の製造及び施用時の基礎データとするため、県内の主要な堆肥センター及び大規模畜産経営(以下、堆肥センター等)で生産された堆肥について、製造時期の違いによる肥料成分等

の変動の有無を調査した。供試試料は、堆肥の需要が増える春と秋に出荷される製品堆肥を、平成19年初夏（6～7月）と平成20年初春（2～5月）の2回サンプリングし、肥料成分等の比較を行った。

調査対象は、堆肥の主原料として牛、豚あるいは鶏をそれぞれ単独で使用する堆肥センター等とした。供試試料の内訳は、牛ふん及び豚ふん堆肥がそれぞれ6ヶ所7点、鶏ふん堆肥が6ヶ所6点（計18ヶ所20点）とした。

肥料成分等の分析は、pH(KCl)（試料と2M塩化カリウム溶液の比率は1:10）、pH(H₂O)（試料と蒸留水の比率は1:10）、電気伝導度（試料と蒸留水の比率は1:10）（以下、EC）、水分、有機物、灰分、ケルダール窒素、全炭素、全窒素、リン酸、カリ、マグネシウム、カルシウム、アンモニア態窒素及び硝酸態窒素を「堆肥等有機物分析法」³⁾に準じて行った。

また、サンプリングに併せて堆肥の製造方法等に関する聞き取り調査を行った。

試験2 成分調整堆肥の製造手法の検討

当研究所産の牛ふん堆肥と乾燥鶏ふんを原料とし、農業研究所が水稻（ヒノヒカリ）向けに設計した混合堆肥をローラー・ディスクダイ方式のペレット製造装置（不二パウダル株式会社、F-5/11-175D型）を用いて直径5mm、長さ1cmの条件でペレット化した。

ペレットは配合割合の違いにより2種類作成し、牛ふん堆肥と乾燥鶏ふんに由来する窒素が1:1となるように牛ふん堆肥100kgに対し乾燥鶏ふん32.8kgを配合したものをペレット①、同様に窒素が1:2となるように牛ふん堆肥100kgに対し乾燥鶏ふん65.6kgを配合したものをペレット②とした。

なお、当研究所で実施した主な調査項目は、嵩比重、圧縮率、破断強度及び肥料成分等とし、それぞれ次の方法で測定した。

- 1) 嵩比重：ペレット原料及び完成品の容積1リットルあたりの重さ（g/L）
- 2) 圧縮率：原料の嵩比重に対するペレット化後の嵩比重の比率（%）
- 3) 破断強度：宮崎ら⁴⁾の方法に準じ、レオメーター（株式会社サン科学社製 CR-200 D）に同社製感圧軸 9 切断応力を装着し、試料台速度30mm/minで測定した。なお、各ペレット堆肥の試料数は20とし、それぞれ最大値と最小値を除外した18検体を評価対象とした。
- 4) 肥料成分等：試験1と同様

試験3 ペレット堆肥の製造条件の検討及び保存性試験

供試ペレット堆肥は、いずれもオガクズを副資材として使用した当研究所産の牛ふん堆肥（水分：12.2%）または豚ふん堆肥（水分：33.9%）を原料とし、それぞれ直径3mm、5mm及び7mm、長さ1.5cmの条件で作製した。ペレット製造後6日間陰干しをした後に200gずつチャック付きポリ袋に封入し、恒温槽内で終日35℃、暗室条件で保存し、30日ごとにペレット堆肥の状態を調査した（各区3反復）。なお、保存期間中の恒温槽の温度については、県内の大規模堆肥センターでペレット化作業が集中する夏季を想定して設定した。

主な測定項目は、ペレット製造時の製造歩留、嵩比重、圧縮率及びペレット外観、並びに保存期間中のカビ等の発生、残存率、破断強度及び肥料成分等とし、それぞれ次の方法で測定した。

- 1) 製造歩留：ペレット化後の全重量に対する3mmふるいで篩別された完成品の比率
- 2) 嵩比重：試験2と同様
- 3) 圧縮率：試験2と同様
- 4) ペレット外観：長さ1cm以上の円柱状に成型されたペレット堆肥を上物、その中でも表面に光沢のあるものを平滑物とし、それぞれ製品重量に占める比率を算出
- 5) カビ等の発生：原ら⁵⁾の方法により、保存期間中30日おきにカビ等の発生を目視で観察
- 6) 残存率：保存期間中30日おきに2mmふるいで篩別されたペレット重量等の0日目に対する比率
- 7) 破断強度：試験2と同様
- 8) 肥料成分等：試験1と同様

結 果

（試験1）

肥料成分等の季節変動の調査結果は、表1に示すとおりであった。なお、各試料ごとの肥料成分等は、いずれも全国規模で家畜ふん堆肥の成分調査を行った山口ら⁶⁾や（財）畜産環境整備機構⁷⁾による既報の値と同程度であった。

豚ふん堆肥のリン酸が初春に有意に高くなり（ $P<0.01$ ）、同様に牛ふん堆肥のカルシウムも高くなった（ $P<0.05$ ）。

しかしながら、一部に水分及び肥料成分が大きく変動するものがあり、水分が10%以上変動したものが5点（牛3点、豚2点）あった。また、三大肥料成分が乾物あたり1%以上変動したも

のが、窒素で3点(牛1点、豚2点)、リン酸で9点(豚6点、鶏3点)、カリウムで7点(牛3点、豚1点、鶏3点)であった。

表1. 肥料成分等の季節変動

①牛ふん堆肥 (n=7)			
	H19初夏	H20初春	差 (夏-春)
水分 (%)	58.1±4.0	52.4±5.6	+5.7±3.6
窒素 (%DM)	1.8±0.1	2.0±0.4	-0.2±0.4
リン酸[P ₂ O ₅] (%DM)	2.0±0.1	2.2±0.2	-0.2±0.2
カリウム[K ₂ O] (%DM)	3.1±0.3	2.6±0.4	0.5±0.5
マグネシウム[MgO] (%DM)	1.0±0.0	1.1±0.1	-0.1±0.1
カルシウム[CaO] (%DM)	1.9±0.1	2.2±0.2	-0.3±0.1*
C/N比	25.9±1.3	25.5±3.1	+0.4±2.4
EC (mS/cm)	5.2±0.5	5.4±0.6	-0.2±0.2
②豚ふん堆肥 (n=7)			
	H19初夏	H20初春	差 (夏-春)
水分 (%)	30.7±4.0	30.5±5.5	+0.2±3.5
窒素 (%DM)	4.6±0.4	3.8±0.6	+0.8±0.5
リン酸[P ₂ O ₅] (%DM)	6.0±0.9	7.4±1.0	-1.5±0.2**
カリウム[K ₂ O] (%DM)	2.8±0.3	3.1±0.4	-0.4±0.2
マグネシウム[MgO] (%DM)	1.3±0.2	1.7±0.2	-0.4±0.1**
カルシウム[CaO] (%DM)	3.2±0.5	5.2±1.1	-2.0±0.9
C/N比	9.0±0.8	8.8±0.7	+0.2±0.5
EC (mS/cm)	6.8±0.8	7.1±0.4	-0.3±0.7
③鶏ふん堆肥 (n=6)			
	H19初夏	H20初春	差 (夏-春)
水分 (%)	18.7±1.0	19.8±2.3	-0.4±0.4
窒素 (%DM)	3.5±0.4	3.2±0.3	+0.3±0.1
リン酸[P ₂ O ₅] (%DM)	5.6±0.6	6.9±0.8	-1.3±0.5
カリウム[K ₂ O] (%DM)	3.4±0.2	4.1±0.4	-0.7±0.5
マグネシウム[MgO] (%DM)	1.2±0.1	1.5±0.2	-0.2±0.1
カルシウム[CaO] (%DM)	6.5±0.7	5.7±0.5	+0.8±0.5
C/N比	7.9±0.5	8.3±0.6	-0.5±0.5
EC (mS/cm)	7.3±0.6	7.7±0.6	-1.1±2.0

※表中の数値は、平均値±標準誤差。差の*に有意差あり (**:p<0.01, *:p<0.05)。

(試験2)

原料及びペレット堆肥の主要な成分分析値及び嵩比重については、表2のとおりであった。いずれのペレット堆肥についても製造時の高温高压条件下で水分が減少するものの、肥料成分の含有量は大きく変わらないため、ECが高くなったと推察された。

両ペレット堆肥とも表面に小さな空隙が多数認められたものの、破断強度に有意な差は認められなかった(ペレット①=5.6±1.1kg/cm²、ペレット②=7.9±0.9kg/cm²)。

なお、両ペレット堆肥を用いて農業研究所が行った水稻(ヒノヒカリ)栽培試験の結果、収量及び食味については、化成肥料のみを用いた慣行区と遜色のない結果が得られた⁸⁾。

表2. 圃場試験用ペレットの成分分析値等

	水分 (%)	窒素 (%DM)	リン酸 (%DM)	カリウム (%DM)	EC (mS/cm)	嵩比重 (g/L)	圧縮率 (%)
① 原料	11.8	2.1	2.9	4.5	5.6	358.6	
ペレット	9.0	2.1	2.8	4.8	6.9	617.8	58.0
② 原料	15.2	2.4	3.3	4.8	5.4	420.2	
ペレット	13.0	2.5	3.1	3.8	6.2	643.8	65.3

(試験3)

ペレット製造装置のディスク口径の違いがペレット堆肥の製造効率等におよぼす影響については、表3のとおりであった。

豚ふんペレット堆肥の方が牛ふんペレット堆肥よりも製造歩留及び圧縮率が高くなった。しかしながら、豚ふんペレット堆肥の形状は不均一で、表面がひび割れて滑らかでないものが大半であった。

牛ふん堆肥ペレットでは、口径5mmの製造歩留が他の径と比べて低かったものの、嵩比重及び圧縮率は高くなった。また、平滑物率が28.0%と他の口径のものより高くなったものの、上物率ではいずれも大きな差はなかった。

表3. ペレット製造装置のディスク口径の違いが製造効率等に及ぼす影響

	製造歩留 (%)	嵩比重			ペレット外観		
		原料 (g/L)	ペレット (g/L)	圧縮率 (%)	平滑物率 (%)	上物率 (%)	
牛	3mm	82.9		594	63.5	6.1	59.5
	5mm	77.8	377	638	59.1	28.0	63.8
	7mm	84.2		596	63.3	5.0	61.1
豚	3mm	96.1		372	42.5	-	-
	5mm	96.2	158	400	39.5	-	-
	7mm	95.7		359	44.0	-	-

※平滑物率及び上物率は重量ベースの比率。

また、表4に示したとおり、ディスク口径の違いによる肥料成分等の大きな差は認められなかった。牛ふん堆肥、豚ふん堆肥のいずれのペレットについても、水分は減少したが、乾物あたりの肥料成分は大きく変動しなかった。

表4. ペレット製造装置のディスク口径の違いが肥料成分等に及ぼす影響

	水分 (%)	窒素 (%DM)	リン酸 (%DM)	カリウム (%DM)	EC (mS/cm)	
原料	12.2	1.7	2.6	3.6	7.2	
牛	3mm	8.8	1.6	2.4	3.0	7.9
	5mm	9.5	1.5	2.3	2.8	7.7
	7mm	8.8	1.5	2.4	3.2	7.8
	原料	33.9	1.8	2.9	1.6	2.1
豚	3mm	21.5	1.7	-	-	2.4
	5mm	21.2	2.0	-	-	2.3
	7mm	21.2	2.0	-	-	2.5

※豚ふん堆肥ペレットのリン酸及びカリウムは、測定試料不足のためデータなし。

30℃、120日間の保存期間中のカビ等の発生状況については、表5のとおりであった。

牛ふんペレット堆肥では保存期間中のカビの発生は認められなかったが、豚ふんペレット堆肥では保存開始後2週間でカビ等の発生とカビ臭が認められた。しかしながら、その後のカビ等の発生は部分的なものにとどまり、全体に広がることはなかった。

表5. 保存期間中のカビ等の発生状況 (n=3)

		15日	30日	60日	90日	120日
牛	3mm	-	-	-	-	-
	5mm	-	-	-	-	-
	7mm	-	-	-	-	-
豚	3mm	+	++	++	++	++
	5mm	+	+	+	+	+
	7mm	+	+	++	++	++

※ (-) カビ等の発生なし、(+) わずかに発生、(++) 部分的に発生、(+++) 全面的に発生

保存開始前の現物重量を100とした場合の残存率の推移は、図1のとおりであった。

牛ふんペレット堆肥が約5%の減少であったのに対し、豚ふんペレット堆肥では約15%の減少となった。しかしながら、ペレット直径の違いによる有意差は認められなかった。

また、乾物減少率は牛ふんペレット堆肥全体の平均で3.4 ± 0.7%であったのに対し、豚ふんペレット堆肥全体の平均では1.5 ± 0.4%であった。

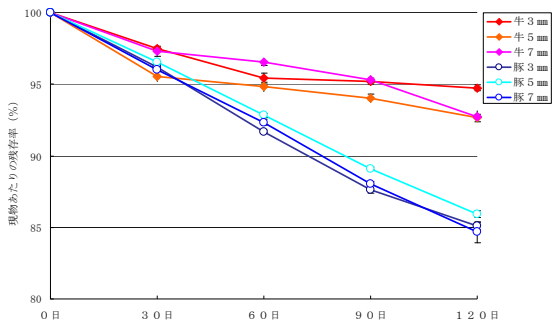
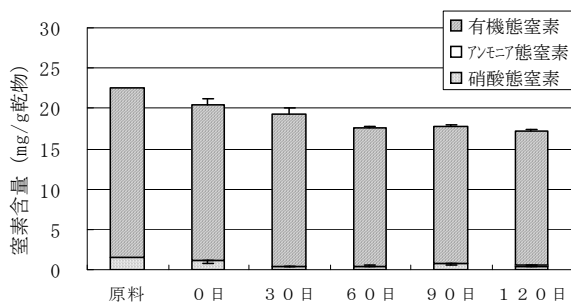


図1. 保存期間中の残存率 (n=3)

また、図2に示すとおり、いずれのペレットについても、保存期間中の窒素含有量の大きな変動や無機化の進行は認められなかった。

同様に、その他の肥料成分等についても有意な変動は認められなかった (図表省略)。

(a) 牛ふんペレット堆肥 (n=3)



(b) 豚ふんペレット堆肥 (n=3)

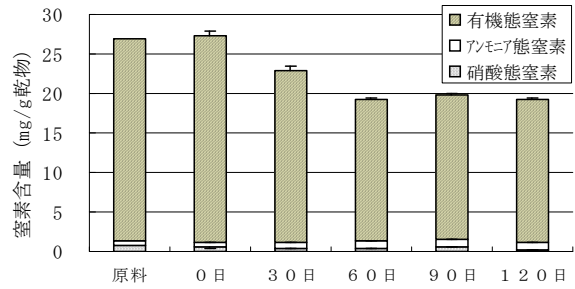


図2. ペレット化後及び保存期間中の窒素形態の変動

破断強度については、いずれのペレット堆肥についても試料ごとの差が大きく、特に牛ふんペレット堆肥ではレオメータの測定上限値を超えるものが少なくなかった。また、豚ふんペレット堆肥については、保存後60日目から両端が膨化・変形したため、レオメータにセットできないものがでてきた。そのため、図3では測定できた試料の結果のみを集計して示した。

今回の試験では破断強度の有意差検定は行えなかったが、牛ふんペレット堆肥は保存期間が長くなるのにしたがって破断強度が低下し、豚ふんペレット堆肥はあまり変動しない傾向にあった。

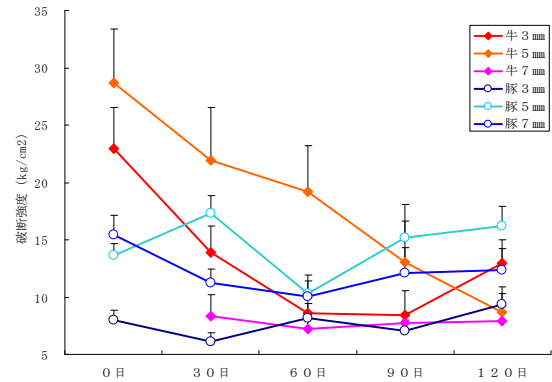


図3. 保存期間中の破断強度の推移 (n=18)

考 察

試験1の結果、豚ふん堆肥でリン酸の有意な変動(初夏>初春)が認められたほか、牛及び豚の全炭素(初夏>初春)、牛のカルシウム(初夏<初春)並びに豚のマグネシウム(初夏>初春)でも有意な変動が認められた。

豚ふん堆肥のリン酸については、(財)畜産環境整備機構が平成12年度及び同13年度に全国の堆肥センターで生産された堆肥の成分を分析し、冬季と夏季で比較した調査結果⁹⁾とも一致した。しかしながら、同調査で報告された牛ふん堆肥及

び鶏ふん堆肥のリン酸並びに乳牛ふん堆肥のカリウムが夏季に高くなる現象は、本試験では認められなかった。

堆肥センター等への聞き取り調査では、サンプリングの間に堆肥の製造方法等を変更したところはなかった。そのため、主原料となる家畜排せつ物中の関連物質の濃度が何らかの要因で変動したのではないかと推測された。

なお、今回の調査で水分が10%以上変動(初夏>初春)した牛ふん堆肥3点を製造した2施設は、各発酵槽が別棟となっているため、堆肥等の移動時に雨水が混入する構造であった。両施設とも初夏は梅雨時にサンプリングしており、このことが影響したと推察された。

以上のことから、堆肥中の肥料成分を過不足なく作物に供給するためには、同一銘柄の堆肥であっても製造時期の違いにより肥料成分等が大きく異なる可能性があることに留意し、施肥設計前の成分分析が重要であることが示唆された。

試験2では、成分調整したペレット堆肥が期待どおりの肥効を示し、水稻(ヒノヒカリ)において、追肥なしでも化成肥料を用いた慣行法と遜色のない生育、収量が得られることが確認された。

今後は、他の作物向けにも成分調整したペレット堆肥を製造し、効果を確認する必要がある。

試験3の結果、製造歩留や圧縮率といった製造効率に関わる項目については豚ふん堆肥ペレットの方が優れていたが、ペレットの外観や保存期間中のカビ等の発生といった商品価値に関わる項目では牛ふん堆肥ペレットの方が優れていた。

本試験と同じローラー・ディスクダイ方式のペレット製造装置を使用した水流ら¹⁰⁾は、副資材に戻し堆肥を使った豚ふん堆肥のペレット化には、製造効率と保存性を考慮して、原料水分25%程度が最適と報告している。また、エキストルーダー方式のペレット製造装置を使用した原ら⁹⁾は、30℃での保存試験において、水分20%以上の豚ふんペレット堆肥で微生物の増殖を報告している。本試験における豚ふんペレット堆肥のカビ等の発生も、水分が平均21.3%と高かったためと推察された。カビ等の発生はわずかであっても商品価値を下げてしまうことから、これを防ぐためにペレット化の前または後で乾燥工程が必要と考えられた。

また、ディスク口径の違い(3mm、5mm及び7mm)によるペレット堆肥の製造効率や肥料成分、保存性等に明確な差は認められなかった。一方、水流ら¹⁰⁾の試験では、ディスク口径が8mmを超えるとペレット成形率及び製品歩留が有意に低下したと報告している。

ペレット化の難易度は原料堆肥の畜種や副資材の有無等により大きく左右されることから、今後は、製造歩留等を安定的に向上させるためのバインダー(粘着材)の選定や添加量についても検討する必要がある。

今後、以上の試験結果を含む共同試験の成果を石橋ら¹¹⁾が開発した土壌施肥管理システムの機能強化に反映して堆肥等の適切な施肥設計を支援する体制作りを進めるとともに、利用性の高い成分調整成型堆肥の製造技術の普及により、本県における堆肥の利用促進に資することが期待される。

引用文献

- 1) 原田靖生(2004)：過剰施用の影響．畜産環境対策大辞典 第2版，136-138
- 2) 特殊肥料の品質表示基準：平成12年8月31日農林水産省告示第1163号（最終改正 平成17年2月28日 農林水産省告示第364号）
- 3) (財) 日本土壌協会(2000)：堆肥等有機物分析法
- 4) 宮崎成生、大村裕顕(1997)：生石灰処理による豚ふんの粒状肥料化(第1報) 製造方法および製品の品質．栃木農試研報，No. 46，19-28
- 5) 原正之、石川裕一、古市幸生(2003)：単軸エキストルーダーを用いた豚ふんペレット堆肥の製造条件とハンドリング改善効果．日本土壌肥料学雑誌，第74巻第1号，1-7
- 6) 山口武則、原田靖生、築城幹典(2000)：家畜ふん堆肥の製造・利用の現状とその成分的特徴．農業研究センター研究資料，第41号，1-178
- 7) (財) 畜産環境整備機構(2003)：簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業 堆肥の品質実態調査報告書
- 8) 永井知佳子、森次真一、大塚理哉、石橋英二(2009)：たい肥を用いた施肥管理システムの機能強化 7. 肥効調節型ペレットたい肥を用いた栽培技術の確立(2) ペレットたい肥の施用がヒノヒカリの生育・収量に及ぼす影響．岡山県農業総合センター農業試験場単年度試験研究成績(未発表)
- 9) (財) 畜産環境整備機構(2002)：畜産環境技術研究所年報．第5号，72-85
- 10) 水流正裕、浅井貴之(2001)：原料堆肥の種類、水分および成型機のディスク口径がペレット堆肥の成型効率および理化学性に及ぼす影響．長野県畜産試験場研究報告，第29号，1-7
- 11) 石橋英二(2005)：土壌施肥管理システムの開発．岡山県農試研報，23，33-41

