

[研究成果発表]

3. 成分調整堆肥を活用した地域特産作物の減・無化学肥料栽培

郡司掛則昭 (熊本県農業研究センター)



1. はじめに

昨今の農耕地管理は施設野菜など集約栽培にみられる酷使と中山間など土地利用型栽培にみられる放棄へと二極化が進み地力低下が懸念されている。これを防ぎ生産性を維持するためには、現行の土壤養分管理を化学肥料に依存した体質から土づくりを基本とする持続型生産方式へと切り替えることが重要である。一方では日々発生する家畜ふん、生活や産業に由来する有機性廃棄物は増え続け、これらを資源化して農業分野でリサイクルすることが強く求められている。しかし、有機質資材は本来貴重な農業資源であるものの、地域流通や農作物の品質制御に関する制約などの問題から必ずしも有効活用されておらず、環境問題が生じる場面も多々見受けられる。

九州地域は全国有数の食糧供給基地であり、施設野菜等園芸作物や畜産を基幹として多様な農業生産が営まれている。しかし、担い手の高齢化や長引く不況等による農畜産物価格の低迷とそれに伴う農業所得の落ち込みが全国的にみられる中、例えば熊本県では農家経営において優等生であった施設野菜や畜産が苦戦を強いられている。他方、無登録農薬やBSE問題などの発生によって消費者の農産物に対する「安全性・健康性・高品質」を求める声は益々拡大し、これに呼応して化学肥料への依存を減らし有機質資材を活用した生産技術の開発が緊急の課題となっている。

このような養分管理や農産物品質に関わる諸問題を効率的に解決するには、土づくり資材である有機質資材に新しい機能を付与し用途拡大を図ることが極めて有効である。ここでは、有機質資材に肥料的機能を付与する成分調整と成型化技術、並びに製造した成分調整成型堆肥(以下、ペレット堆肥という)を存分に活して化学肥料をほとんどあるいは全く使用しない有機質主体の生産技術について紹介する。有機質資材としては主に牛ふん堆肥、栽培する作物としては九州地域で生産量が多い果菜類、並びに導入によって新たな需要が期待される有色ダイズ等新規形質作物が対象である。

2. 作物の養分要求性に合致した家畜ふん堆肥の成分調整技術

1) 家畜ふん堆肥の成分的な特徴

家畜ふん堆肥は種々多様なものがあり性質も一様ではない¹⁾。たとえば、熊本県内の堆肥センターで生産されている家畜ふん堆肥の大部分は牛ふん堆肥が中心で他の

畜種は比較的少ない。1999年に生産された堆肥分析結果からみれば、牛ふん堆肥はいずれの肥料成分含量とも豚ふん堆肥や発酵鶏ふんよりも低いが、後二者の堆肥では窒素やリン酸含量が牛ふん堆肥に比べて高い。また、牛ふん堆肥では窒素に比較してカリウム含量が高いなど成分組成にも素材特有の特徴がみられる(第1表)。

堆肥中窒素の大部分は有機態窒素として存在し、土壤中で微生物により分解(無機化)された後作物によって吸収される。実験室内において畑条件下で一定量の有機質資材を黒ボク畑土壌に添加して求められる有機質資材の窒素無機化率(全窒素含量に対する無機化窒素の割合)は、反応時間や資材の種類によって差がみられる²⁾。いくつかの有機質資材の窒素無機化特性を速度論的解析の易分解性窒素量でみれば、牛ふん堆肥は4~8%、発酵豚ふんは9%と低いが、発酵鶏ふんは23%と中庸で、有機質肥料の菜種油粕は56%と高い値が認められている。

2) 作物の養分要求性に合致した成分調整

このような成分的特徴をもつ家畜ふん堆肥を用いて作物生産を行う際、最も注目すべき条件は作物によって異なる養分要求性である。これは施肥に対する窒素レスポンスの違いによって、①栄養成長型、②栄養生長・生殖生長同時進行型、③栄養生長・生殖生長転換型の3つに整理できる。たとえば、九州地域で生産の多いトマトやイチゴは②のグループ、メロン、カンショおよびダイズは③のグループに分類される。②に属する作物は終始安定した過不足のない養分供給を要求するタイプであり、③の作物は収穫期に過剰の養分が残ると生育に悪影響を及ぼすためメリハリの効いた養分管理を必要とするタイプである。

現在の施肥基準は化学肥料使用を前提として作られている。この中ではいずれの作物に対しても第一の基準は窒素であり、家畜ふん堆肥主体の施用方法でも全く同じ考え方が適用できる。すなわち、窒素の肥効を作物による要求性に合わせてコントロールすることが必要である。このため、窒素含有量が低くカリウム含有量が相対的に高い牛ふん堆肥を用いる場合、窒素含有量を高めることが成分調整の目標となる。

さらに、栽培品目によっては窒素以外の養分吸収を考えなくてはならない。すなわち、メロンなどの果菜類ではカリウムの土壌中での富化は品質低下や生理障害を引き起こす恐れがあり、窒素分を上昇させてカリウムは低

第1表 堆肥の原料別化学的性質(現物当たり)

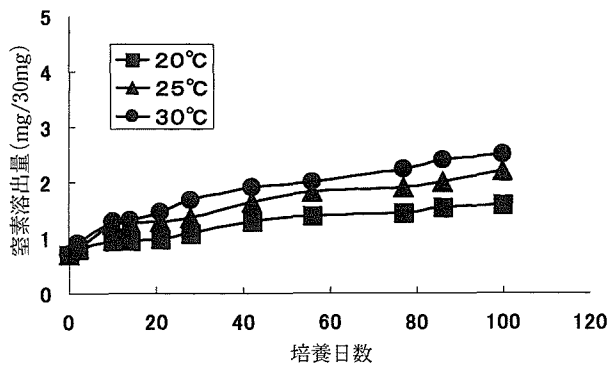
| 堆肥の原料 | サンプル数 | 水分 (%) | TC (%) | TN (%) | C/N 比 | P ₂ O ₅ (%) | K ₂ O (%) | CaO (%) | MgO (%) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) | B (ppm) |
|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-----------------------------------|----------------------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 肉牛 | 54 | 54.9 | 16.9 | 0.93 | 19.8 | 1.13 | 1.48 | 1.01 | 0.49 | 1282 | 277 | 132 | 17.4 |
| 乳牛 | 23 | 54.6 | 16.7 | 1.01 | 20.2 | 1.05 | 1.61 | 1.74 | 0.61 | 1536 | 263 | 181 | 28.4 |
| 豚 | 13 | 32.7 | 23.8 | 2.59 | 10.5 | 5.31 | 2.65 | 4.18 | 1.57 | 2730 | 394 | 760 | 26.8 |
| 鶏 | 8 | 28.3 | 21.5 | 2.58 | 9.6 | 5.27 | 2.71 | 11.80 | 1.16 | 1454 | 433 | 293 | 22.4 |

下させる成分バランスの調整が必要である。

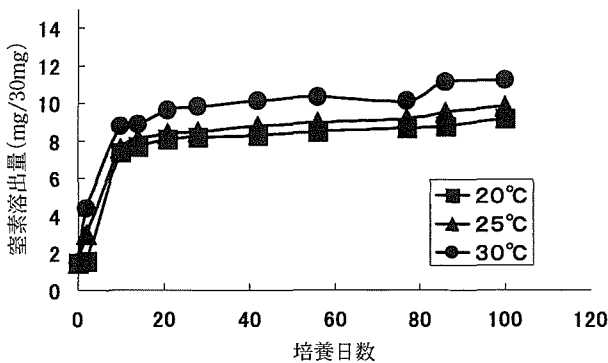
3) 各種ペレット堆肥の肥効特性

異畜種の発酵鶏ふんや有機質肥料の菜種油粕は窒素が高くカリウムが低い成分組成をもち、身近にあって入手しやすい有機質資材であり牛ふん堆肥に対する成分調整材としては最適である。実際、牛ふん堆肥の窒素供給力を最大限高めるために行ったディスクペレッター方式による成型化では、菜種油粕では重量比で2:1、発酵鶏ふんでは重量比1:1までの成分調整が可能である。これにより原料の牛ふん堆肥の成分組成 $N:P_2O_5:K_2O = 2.3:3.0:3.3$ が、菜種油粕の2:1混合比では $3.5:3.2:3.1$ 、発酵鶏ふんの1:1混合比では $4.0:3.8:3.2$ へと成分調整ができる。

成分調整したペレット堆肥の窒素無機化特性では速度論的解析における窒素無機化モデル式への適合性は単純型モデル式よりも単純並行型モデル式の方が高い (第1図, 第2図)。さらに、ゆっくりと無機化して肥効を表す易分解性窒素 N_{01} は、牛ふんと発酵鶏ふんを混合したペレット堆肥が最も高く、牛ふんと菜種油粕、牛ふん堆



第1図 牛ふん堆肥ペレットの窒素無機化曲線



第2図 牛ふん堆肥と菜種油粕ペレットの窒素無機化曲線

肥単独の順に減少する。無機化が進みやすい易分解性窒素 N_{02} は、牛ふんと菜種油粕 > 牛ふんと発酵鶏ふん > 牛ふん堆肥と混合する資材によって差が認められる (第2表)。

これらのことから、牛ふん堆肥に対する肥料効果を付与するための成分調整は菜種油粕や発酵鶏ふんのブレンドと成型化によって窒素供給力を高めカリウムを抑えることが有効であると推察される。なお、施用量の目安となる窒素の化学肥料代替率は原料となる牛ふん堆肥の成分組成によって変動はあるものの、この例では易分解性窒素量から温度25°Cで牛ふん単独ペレット堆肥は20%程度、菜種油粕とのペレット堆肥は50%程度、発酵鶏ふんとのペレット堆肥は40%程度と推定される。

3. 高品質生産のためのペレット堆肥施用法

1) 地域特産作物に対するペレット堆肥の施用法

各作物に対するペレット堆肥の施用法はそれぞれの施肥基準の窒素施肥量を参照し窒素の化学肥料代替率に基づいてペレット堆肥施用量を決定する。施肥位置は全面全層として全量を基肥として施用することが原則である。たとえば、地域特産野菜であるアールスメロンの秋冬栽培では、熊本県の施肥基準に基づいて牛ふん堆肥と菜種油粕のペレット堆肥の化学肥料代替率を50%として相当する現物施用量を計算し施用する。ただし、リン酸およびカリウムは施用せず、施肥を除く肥培管理は慣行栽培と全く同様に実施する。

ペレット堆肥の窒素の化学肥料代替率に基づく作物別施用法は、九州を代表する地域特産作物である果菜類 (アールスメロン春作および秋冬栽培, トマト夏秋雨よけ栽培, イチゴ促成栽培), 新規規質作物である有色ダイズおよび有色カンショに対して効果が高いことが以下の通り実証されている³⁾。

2) 地域特産作物

(1) アールスメロン

アールスメロン春作では、牛ふん堆肥と菜種油粕あるいは発酵鶏ふんをブレンドしたペレット堆肥のそれぞれの化学肥料代替率60%および50%に相当する $690kg/ha$ および $1.08Mg/ha$ 全量基肥施用すると、いずれもメロンの生育は旺盛で、果実品質も化成肥料主体の慣行栽培に比べて一果重が明らかに増大し、ネット形成も良好となる (第3表)。果実糖度は出荷時の品質基準 Brix値14をペレット堆肥施用では上回り、とりわけ菜種油粕とのペレット堆肥は高糖度の果実生産を期待できる。

秋冬栽培においても同様にペレット堆肥を施用すると、生育は良好で一果重や果実糖度やネット形成等品質は優

第2表 速度論的方法における各種ペレット堆肥の無機化特性値

| 堆肥の種類 | モデル式 | N_{01} | N_{02} | C | k_1 | k_2 | Ea_1 | Ea_2 |
|-------------|------|----------|----------|------|-------|-------|--------|--------|
| 牛ふん堆肥 | 並行型 | 7.8 | 0.5 | 8.7 | 0.014 | 0.421 | 22640 | 37230 |
| | 単純型 | 7.4 | — | 9.0 | 0.013 | — | 25270 | — |
| 牛ふん堆肥+菜種油粕 | 並行型 | 11.0 | 34.9 | -1.9 | 0.008 | 0.359 | 39780 | 12580 |
| | 単純型 | 29.6 | — | 1.7 | 0.161 | — | 15190 | — |
| 牛ふん堆肥+発酵鶏ふん | 並行型 | 24.6 | 12.8 | 4.7 | 0.001 | 0.157 | 20250 | 16800 |
| | 単純型 | 14.4 | — | 7.3 | 0.060 | — | 17670 | — |

注) N_{01} , N_{02} : 易分解性窒素量 (現物N当たり%), C: 定数 (現物N当たり%)
 k_1 , k_2 : 反応速度定数 (1/日), Ea_1 , Ea_2 : 活性化エネルギー (mole/cal)

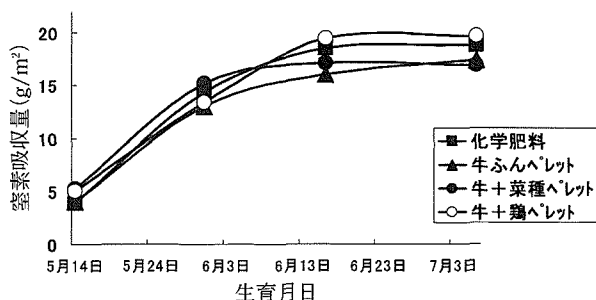
第3表 1999年春作メロン栽培における生育調査および収穫物調査

| 施用資材 | 草丈 (cm) | 葉数 (枚/株) | 交配日 | 一果重 (g) | たて (cm) | よこ (cm) | 糖度 Brix | ネットの形成 | |
|---------|------------|-------------|---------|------------|------------|------------|------------|--------|-----|
| | | | | | | | | 盛上り | 粗密 |
| 化成肥料 | 144 | 27.5 | 5/19~23 | 1475 | 16.8 | 15.5 | 13.6 | 3.0 | 4.0 |
| 牛ふん堆肥 | 153 | 28.0 | 5/19~24 | 1700 | 16.8 | 14.5 | 13.3 | 3.5 | 3.0 |
| 牛ふん+菜種 | 162 | 27.5 | 5/19~23 | 1765 | 18.1 | 16.1 | 14.3 | 3.5 | 3.5 |
| 牛ふん+鶏ふん | 165 | 28.0 | 5/19~24 | 1920 | 18.4 | 16.3 | 13.3 | 3.5 | 4.0 |

注) a) メロンに対する施肥基準 (kg/a) N:P₂O₅:K₂O=1.5:1.5:1.5kg/a.
b) 化成肥料としてCDU化成を施用した。

第4表 ペレット堆肥施用した栽培跡地土壌の化学性

| 施用資材 | 春作メロン | | | | | 夏秋メロン | | | | | | |
|---------|--------------------------|------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------|--------------------------|------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------|
| | pH (H ₂ O) | EC (mS) | 交換性陽イオン | | | 塩基飽和度 (%) | pH (H ₂ O) | EC (mS) | 交換性陽イオン | | | 塩基飽和度 (%) |
| | | | CaO (mg) | MgO (mg) | K ₂ O (mg) | | | | CaO (mg) | MgO (mg) | K ₂ O (mg) | |
| 慣行施肥 | 6.1 | 0.89 | 658 | 123 | 135 | 78.2 | 6.8 | 0.61 | 966 | 170 | 245 | 108.3 |
| 牛ふん堆肥 | 6.4 | 1.07 | 815 | 180 | 458 | 106.3 | 6.7 | 0.89 | 701 | 174 | 551 | 103.6 |
| 牛ふん+菜種 | 6.1 | 0.89 | 724 | 84 | 44 | 73.0 | 6.5 | 0.74 | 631 | 152 | 130 | 92.7 |
| 牛ふん+鶏ふん | 6.4 | 0.93 | 875 | 161 | 15 | 99.7 | 6.8 | 0.45 | 806 | 139 | 154 | 92.4 |



第3図 各ペレット堆肥からのアールスメロンによる窒素吸収

れるが、牛ふん堆肥にブレンドする有機質資材の違いによる差はほとんどない。さらに、この作型ではアールスメロンの品種（クレスト春系，雅春秋系，セイヌ秋系）や育苗法（セル育苗，ポット育苗）の違いもペレット堆肥の施用効果に対してほとんど影響しない。

このようにアールスメロンに対する牛ふん堆肥に菜種油粕あるいは発酵鶏ふんのペレット堆肥の施用効果は高い。このことは、両ペレット堆肥ともメロンの窒素吸収を満たすだけの十分量の窒素供給を行えることを意味している（第3図）。

環境面から栽培跡地土壌に残存する肥料成分を注視すべきである。牛ふん堆肥単独のペレット堆肥の施用では硝酸態窒素量および交換性カリウム含量とも化成肥料あるいは他のペレット堆肥施用よりも大きい。牛ふん堆肥と菜種油粕あるいは発酵鶏ふんのペレット堆肥では低い傾向がある（第4表）。

以上のことから、メロンの健全な生育を保證できる窒素供給特性をもち、栽培後において土壌に残存する養分を抑える効果が高いペレット堆肥は牛ふん堆肥と菜種油粕との成分調整堆肥であると考えられる。

(2) トマト

4月～10月にかけて行われる夏秋トマト栽培において牛ふん堆肥と菜種油粕あるいは発酵鶏ふんのペレット堆肥を化学肥料代替率をそれぞれ50および40%として1.76Mg/haおよび2.14Mg/ha全量基肥施用すると、トマト品種「桃太郎」では初期生育は低温で経過するた

めやや遅れ気味となるが、気温の上昇とともに生育は回復し牛ふん堆肥単独に比べて菜種油粕あるいは発酵鶏ふんのペレット堆肥では生育は旺盛となる。

トマト果実の収量は牛ふん単独ペレット堆肥では化成肥料施肥よりも23%減収するが、菜種油粕や発酵鶏ふんのペレット堆肥は16～22%と大きく増収する。また、生育は成分調整を行う資材の違いによって差がみられ、牛ふん堆肥と菜種油粕のペレット堆肥は発酵鶏ふんよりも果実数および一果重が大きい。さらに果実品質では糖度は慣行栽培と同等であるが、商品果率は明らかに高い（第5表）。

生育期間中の窒素吸収量は対照である化成肥料あるいはペレット堆肥ともほぼ直線的に増加するが、牛ふん単独のペレット堆肥では化成肥料施肥に比べて窒素吸収量は21%減少する（第4図）。これは供給量から吸収量を差し引いた窒素収支が負（-57kg/ha）となり窒素供給が十分ではない結果を反映している。これに対して、牛ふんと菜種油粕のペレット堆肥施用では窒素供給が吸収を上回り、健全な生育を保證するに足る量の窒素供給がある上に、土壌に残存する硝酸態窒素量や交換性カリウム量も少なく、夏秋トマト栽培に対して有効な100%有機質に養分供給を依存する施用法であると考えられる。

トマトの商品果率の上昇は障害果、特に尻腐果の発生が少なくなるためである。尻腐れ果発生には成分濃度としてCaが低くBが高いこと、また尻腐れ果実中のCa濃度とB濃度との間に高い負の相関関係が認められる観察結果からみて、ペレット堆肥を施用すると養分吸収がスムーズに進むため、CaやBなどの間で拮抗作用が生じにくいことが発生抑制に繋がると推定される。

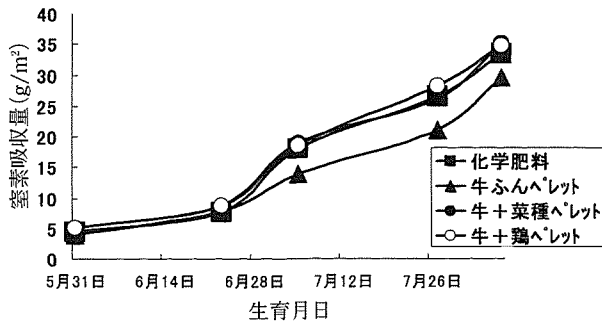
(3) イチゴ

イチゴ促成栽培は福岡県を始めとして九州地域のイチゴ生産の主要な作型である。福岡県で行われたイチゴ「さちのか」の促成栽培において、牛ふん堆肥に菜種油粕を5:1の比で混合したペレット堆肥（成型機はエクストルーダ型を使用）を化学肥料代替率70%相当量の9.0Mg/ha基肥全量施用すると、慣行のイチゴ用有機配合肥料による栽培に比較して花芽分化に差はみられず、

第5表 夏秋トマトの収穫物調査結果

| 施用資材 | 果実数 (個/10株) | 1果重 (g) | 収量 (kg/a) | 収量指数 | 可販率 (%) | 糖度 Brix | 尻腐果数 (個/10株) |
|---------|----------------|------------|--------------|------|------------|------------|-----------------|
| 化成肥料 | 188 | 170 | 511 | 100 | 72 | 5.6 | 21 |
| 牛ふん堆肥 | 186 | 132 | 393 | 77 | 76 | 5.5 | 2 |
| 牛ふん+菜種 | 224 | 174 | 624 | 122 | 84 | 5.9 | 11 |
| 牛ふん+鶏ふん | 220 | 168 | 591 | 116 | 78 | 5.8 | 17 |

注) a) トマトに対する施肥基準 (kg/a) N:P₂O₅:K₂O=2.5:2.5:2.5。
b) 化成肥料は CDU 化成を用い、調査段階は 1～6 段果房である。



第4図 各ペレット堆肥からのトマトによる窒素吸収

総収量および商品果率は同等である。さらに、果実品質では、果皮色、糖度、酸度およびビタミンCの内容成分が高まる。

2) 新規形質作物

(1) 有色ダイズ

ダイズは窒素要求性が低い。県の施肥基準でも30kg/haであり成分調整は必要ない。実際、水田転換畑において化学肥料代替率20%に相当する牛ふんペレット堆肥6.1Mg/haを全量基肥施用すると、主力品種「フクユタカ」だけでなく新規形質作物である緑色ダイズ「キヨミドリ」の両者とも化学肥料を用いる慣行施肥と同等の収量が得られる。豆腐加工特性では、牛ふんペレット堆肥施用によって収穫した子実の粗脂肪や粗蛋白質含量は化学肥料施肥と同等で、さらに豆乳収率や豆乳比重等豆腐への加工適性には問題がない。

(2) 有色カンショ

高アントシアン含有カンショ「アヤムラサキ」に対して、牛ふん堆肥ペレットと発酵鶏ふんペレットをブレンドして化学肥料代替率平均50%に相当する8.3Mg/haを全量基肥施用すると、化学肥料主体の慣行施肥と同等の収量となる。高βカロテンカンショ「ベニハヤト」では、この混合ペレットによる施用だけでなく、牛ふん堆肥の単独ペレット堆肥を化学肥料代替率40%相当量の10.5Mg/haの施用によっても慣行施肥と同等収量を得ることが可能である。両カンショともペレット堆肥で栽培したイモの形状は青果用に適する外観である上に、健康機能成分であるアントシアニンおよびβカロテンの色素含量は化学肥料施肥と同等以上である。

4. ペレット堆肥の課題と今後の方向性

メロンやトマトなどの果菜類栽培において有機質肥料を利用することは一般的であるが、家畜ふん堆肥を始め

とする有機質資材は土づくり資材に限定された利用が多い。これは産生量の最も多い牛ふん堆肥は身近にあり入手が容易な有機質資源であるにもかかわらず養分供給特性が作物の要求性に合わないことが主因と考えられているからである。この報告では、成分調整および成型化技術が養分要求性が異なる多くの作物に対しても非常に有効であることを示した。

豊富に存在する牛ふん堆肥に窒素含有率の高い畜種の堆肥や有機質肥料をブレンドして窒素成分量を高め、さらに成型堆肥へと加工してハンドリング等を向上させたペレット堆肥は耕種農家のニーズに合った機能が付与されたいわゆる有機肥料の一種と考えられる。特に牛ふん堆肥に菜種油粕をブレンドし成型化したペレット堆肥は窒素の化学肥料代替率を指標とする施用法により各作物の安定収量並びに高品質生産に大きく寄与する。現在までにペレット堆肥の施用技術は、この報告では紹介しなかった野菜や水稲、茶あるいは飼料作物など多くの品目について適用範囲が広がられてきており、有機質資材を活用した物質循環型生産技術として普及・定着していくに違いない。

この技術の迅速かつスムーズな普及にとっては、耕種農家がいづも安心して利用できる体制づくりが必要である。とりわけ、絶えず安定した成分組成をもつペレット堆肥の安定供給が技術定着の鍵を握っているといえよう。今後、原料や製造時期によって異なる有機質資材の化学肥料代替率の評価手法の開発や土地力や残存養分量の診断を組み入れた各作物毎のペレット堆肥利用マニュアルの作成などを進めるとともに、ペレットマシンの導入および運用に係るコスト低減や生産、流通および散布作業に関する利用一貫体制を整備していくことが課題である。

引用文献

- 山口武則ほか：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 41，2000。
- 郡司掛則昭：マルチ条件下における有機物資材の分解と野菜の養分要求性，平成5・6年度九州農業推進会議土壤肥料検討会資料 8，(1)～(7) 1995。
- 熊本県農業研究センターほか：暖地における耕畜連携による新規形質作物等の生産システム，九州地域基幹研究成果 No.7，2003。