

福岡県内産豚ふん堆肥の成分特性および リーフレタス栽培における施用方法

末吉孝行*・藤富慎一・平野稔彦・荒木雅登

水田での野菜栽培において、家畜ふん堆肥を化学肥料の代替として活用する場合の適正な施用方法を明らかにするために、豚ふん堆肥の肥料成分および窒素無機化特性を明らかにし、冬出しリーフレタス栽培においてその施用方法を検討した。

7種類の豚ふん堆肥の全窒素含量、全炭素含量、加里およびリン酸含量には差が認められ、また、反応速度論的に予測したリーフレタス冬出し栽培期間の窒素の無機化率も14~34%と差が認められた。

加里含量をもとに豚ふん堆肥の施用量を決定し、不足する窒素量を硝安で施用した堆肥施用区と、窒素、リン酸、加里をすべて化学肥料で施用した化学肥料区ではリーフレタスの収穫物の生育に差が認められず、堆肥施用区の生産経費を削減できた。

以上の結果から、堆肥を化学肥料の代替として適正に施用するためには、加里、リン酸含量、および栽培期間の窒素無機化率が堆肥の種類で異なるため、これらを分析、予測する必要があること、また、堆肥の施用で加里およびリン酸を供給し、不足する窒素量を化学肥料で補うことで、冬出しリーフレタスの栽培が可能であることが示唆された。

[キーワード：豚ふん堆肥、窒素無機化特性、加里、リーフレタス]

Fertilizer Component Characteristics of Pig Feces Compost Produced in Fukuoka Prefecture and Method for Applying the Compost to Cultivate Leafy Lettuce . SUEYOSHI Takayuki, Shinichi FUJITOMI, Toshihiko HIRANO and Masato ARAKI (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 23:42-47 (2004)

In order to establish a suitable method of applying livestock feces compost in vegetable cultivation in paddy fields as an alternative to chemical fertilizer, fertilizer nutrient and nitrogen mineralization characteristics of pig feces compost were studied for the winter cultivation of leafy lettuce.

Of the seven kinds of pig feces compost that were studied, differences were found in the total nitrogen content, total carbon content, potassium and phosphoric acid contents and their nitrogen mineralization rates ranged from 14% to 30% which are to be applied during leafy lettuce winter cropping period, according to predictions by kinetic analysis.

At the compost application plot, we manured pig feces compost, at a rate decided on the basis of the potassium content, and where there is a shortage of nitrogen we manured ammonium nitrate. At a chemical fertilizer plot we added nitrogen, phosphoric acid and potassium all using chemical fertilizer. There was no difference between the compost application plot and the chemical fertilizer plot in growth and development of leafy lettuce, and production cost of the compost application plot could be reduced.

From these results, it may be induced that in order to utilize suitably the compost for alternative chemical fertilizer, it is necessary to analyze potassium and phosphoric acid contents and predict the nitrogen mineralization rate of the compost because there are differences in the rate depending on the kinds of compost. Leafy lettuce winter cultivation is made possible by supplementing the shortage of nitrogen with ammonium nitrate.

[Keywords : pig feces compost, nitrogen mineralization characteristics, potassium, leafy lettuce]

結 言

現在、全国で1年間に発生する家畜排泄物の発生量は約9,400万tに達すると推定されている。この排泄物は、耕種農家との連携不足から十分に農業的に利用されていないため、環境に対して負荷を与えていることが指摘されている。このような状況の中で、平成11年に「家畜排泄物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」が施行され、家畜ふん堆肥の活用を含む環境に配慮した持続性の高い農業の実践が提唱されるようになった。この社会的な動向に対応するためには、堆肥の新たな需要開拓のひとつとして、堆肥を化学肥料の代替として活用する施用技術を開発する必要がある。

本県における家畜ふん堆肥の施用については、鶏ふんを除いて、窒素、リン酸、加里の肥効を活用せずに施用

する方法が一般的である。近年、堆肥の肥効特性、特に窒素無機化特性に関する研究⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾が数多く行われるようになり、堆肥を化学肥料の代替として活用する施用方法が提案されている。しかし、本県の耕作面積の大部分を占める水田において野菜を栽培した場合の家畜ふん堆肥の肥効に関する報告は少ない³⁾¹¹⁾。また、現在生産されている家畜ふん堆肥は、各成分含量の差が大きく、肥料成分濃度が高いため、個々の堆肥の肥料成分濃度の品質評価が重要であること⁴⁾⁶⁾が指摘されているが、県内で生産されている家畜ふん堆肥の化学性を個々に評価した報告はみられない。

そこで、本研究では、水田を利用した冬出しリーフレタス栽培において、家畜ふん堆肥を化学肥料の代替として活用する場合の適正な施用方法を明らかにするために、全窒素含量が高くかつ変異が大きい豚ふん堆肥⁶⁾について、個々の堆肥の肥料成分含量および窒素無機化特性を明らかにした。窒素無機化特性は、冬出しリーフレ

タス栽培において反応速度論的¹⁰⁾に解析した。また、これら分析、予測した肥料成分量に基づいた堆肥の施用方法により、ほ場栽培での実証試験を行った。

材料および方法

試験に用いた豚ふん堆肥は、2001年9月に県内7カ所から取り寄せた。以降それぞれの豚ふん堆肥を生産地別に久留米市、吉井町A、吉井町B、吉井町C、赤村、田川市、大木町とする。

試験1：福岡県内産豚ふん堆肥の成分特性

堆肥の熟度については官能評価²⁾により、臭気、色相、形状から完熟、中熟、未熟に分類した。化学成分の分析は窒素、リン酸、加里、全炭素含量について行った。なお窒素は全窒素、硝酸態窒素、アンモニア態窒素含量に分けて分析した。

全窒素含量は、ケルダール分解後水蒸気蒸留法により定量した。また、硝酸態窒素およびアンモニア態窒素含量は10%塩化カリウム抽出液を水蒸気蒸留法により定量した。リン酸含量はケルダール分解後バナドモリブデン酸アンモニウム法により420nmの波長で定量した。加里含量は乾式灰化法により分解した後、炎光光度法で定量した。全炭素含量は小坂・本田・井碓法により定量した。

窒素無機化特性については室内で培養試験を行い明らかにした。培養試験は、ポリ容器内にリーフレタスの主要産地である筑後川流域の水田土壌（細粒灰色低地土）の作土（CL）を生土で50g入れ、堆肥（乾土50g当たり全窒素50mg相当量）と混和後、恒温室内で140日間培養した。水分は、最大容水量の60%となるよう随時調整した。培養温度は、7種類の堆肥のうち久留米市および吉井町Bは30,25,20℃とし、それ以外の5種類の堆肥は30℃のみとした。経時的に培養物中の無機態窒素含量を前述の方法により定量した。堆肥中の窒素無機化率は、堆肥を混和しない土のみを培養して発現してきた無機態窒素含量を差し引いて算出した。また、この結果と地温

データを用い、反応速度論的に解析を行い、リーフレタス冬出し栽培における豚ふん堆肥中の窒素無機化率を予測した。地温は、試験2において地表下10cmの部分を経時的に測定した。

試験2：リーフレタス栽培における施用方法

吉井町Aの豚ふん堆肥を供試した。2002年に、浮羽郡田主丸町の現地水田（中粗粒灰色低地土、L/L）においてリーフレタスの冬出し栽培で施用方法について栽培試験を行った。

堆肥施用区の堆肥施用量は、加里の肥効率（堆肥の加里成分のうち、化学肥料と同等の肥効を示す割合）を本県基準²⁾である90%とし、加里施肥量をすべてまかなえる量とした。窒素施肥は、予測した無機化率を肥効率（堆肥の全窒素成分のうち、化学肥料と同等の肥効を示す割合）とみなし、堆肥から無機化する窒素量と化学肥料窒素量の合計が慣行施肥と同量の窒素施肥量となるように化学肥料（硝安）を補施用した。慣行施肥となる化学肥料区は、高度化成肥料、石灰窒素、BMリンスターを合計成分で窒素－リン酸－加里＝23－30－20kg/10aとなる量を施用した。リーフレタスは‘にしなべに’を供試した。試験規模は1区8.25m²（畝幅1.65m×長さ5m、4条植え、株間30cm）の2反復とした。堆肥および肥料は11月21日に施用した。10月28日に200穴セルトレイに播種し、11月27日に作畦、黒マルチ被覆後本葉1.5枚の苗を定植して栽培した。ビニルトンネル被覆は12月15日に行った。収穫は2月19および25日に行い、跡地土壌（作土）の採土は2月28日に行った。調査は、リーフレタスの生育、跡地土壌の化学性、作物体の窒素吸収量および硝酸含量について行った。

結果および考察

試験1：福岡県内産豚ふん堆肥の成分特性

第1表に、供試した7種類の豚ふん堆肥の化学成分および熟度を示した。赤村および田川市の2つの堆肥は副資材を使用せず堆肥化した製品を戻し堆肥として使用して

第1表 供試した豚ふん堆肥の成分

堆肥	全窒素 (%)	硝酸態窒素 (%)	アンモニア態窒素 (%)	リン酸 (%)	カリ (%)	全炭素 (%)	C/N 比	水分 (%)	熟度	副資材
久留米市	2.5	0.00	0.35	2.4	2.1	28.1	11.5	34	中熟	オガクズ
吉井町A	2.4	0.00	0.16	5.0	2.6	27.1	11.4	21	完熟	モミガラ
吉井町B	2.1	0.02	0.13	4.6	3.4	16.3	7.9	43	完熟	オガクズ、モミガラ
吉井町C	2.1	0.01	0.69	1.8	0.9	21.1	10.0	47	未熟	モミガラ
赤村	2.2	0.00	0.25	7.2	2.9	22.8	10.6	25	完熟	無
田川市	3.2	0.00	0.30	7.2	3.8	24.2	7.6	22	完熟	無
大木町	1.1	0.01	0.07	2.6	2.3	17.5	15.9	49	完熟	エノキ菌床、モミガラ

1) 各成分含量は堆肥現物当たりの値。

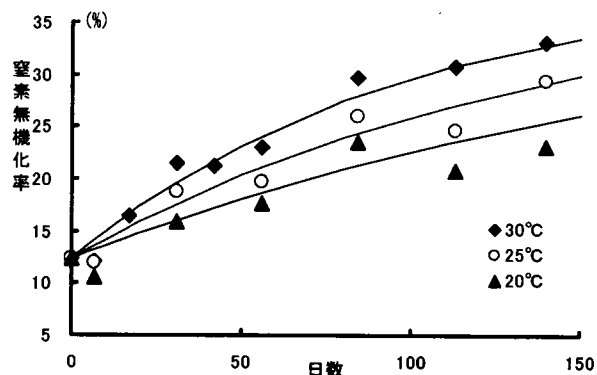
第2表 堆肥培養試験に用いた土壌の化学性

pH (H ₂ O)	全窒素 (%)	全炭素 (%)	C/N	CEC (me/100g)	可給態 リン酸 (mg/100g)
6.3	0.19	2.13	11.2	15.1	71

1) 乾土当たりの分析値

おり、他の5つの堆肥はオガクズ、モミガラ、エノキ菌床を副資材として生産したものであった。熟度については、吉井町Cは未熟でありアンモニア臭が強く感じられた。また、久留米市が中熟、他の5つの堆肥は完熟であった。アンモニア態窒素含量は、未熟な吉井町Cで0.69%と他の中熟および完熟堆肥に比べて高かった。全窒素含量も堆肥によって異なり大木町が1.1%で最も低く、田川市が3.2%と最も高かった。堆肥中のリン酸や加里含量は、窒素よりも堆肥による差が大きく、リン酸含量は1.8~7.2%、加里含量は0.9~3.8%と大きな差が認められた。原田⁴⁾は副資材の希釈効果から、副資材を用いた堆肥は肥料成分が低くなると報告しており、本研究において副資材を用いていない赤村および田川市でリン酸、加里含量が高いことと一致した。全炭素含量は久留米市が28.1%と高く、吉井町Bが16.3%と低かった。小山ら⁶⁾は、本県の豚ふん堆肥の炭素含量は副資材の有無との関連が認められなかったことを報告しているが、本研究においても関連が認められなかった。C/N比については、大木町が15.9と最も高く、田川市が7.6と最も低かった。

窒素培養試験に用いた土壌の化学性を第2表に示した。各堆肥を培養して得られたデータを反応速度論的解析した結果、久留米市は単純型の窒素無機化のモデルに適合すると考えられた(第1図)。同様に、供試した他の6種類の豚ふん堆肥もすべて単純型モデルに適合すると考えら



第1図 久留米市堆肥の温度別窒素無機化実測値と予測

1) 凡例は培養試験の分析値を、曲線は速度論的解析による予測曲線を示す

れた(データ略)。第3表に豚ふん堆肥の培養試験による窒素無機化特性値を示した。 N_0 , k , b 各特性値には堆肥の種類により大きな差が認められた。特に速度定数 k が0.005~0.168と大きく異なっていたため、窒素の無機化速度も堆肥により大きく異なることが推察された。これらの無機化特性値をモデル式に適用し、地温(第2図)から、リーフレタス冬出し栽培における豚ふん堆肥の窒素無機化率を予測した(第3図)。その結果、7種類の豚ふん堆肥の窒素無機化パターンは、

- ①無機化が徐々に進行していくタイプ(吉井町C, 吉井町B, 久留米市),
- ②無機化がほとんど進行しないタイプ(赤村, 吉井町A, 田川市),
- ③速やかに無機化が起こり、その後停滞するタイプ(大木町),

の3つのタイプに大別された。これらは、

- ①は、緩効的な窒素肥効が期待できる堆肥,
- ②は、緩効的な窒素肥効が期待しにくい堆肥,
- ③は、有機質肥料に近い肥効³⁾が期待できる堆肥, であ

第3表 豚ふん堆肥別の培養試験による窒素無機化特性

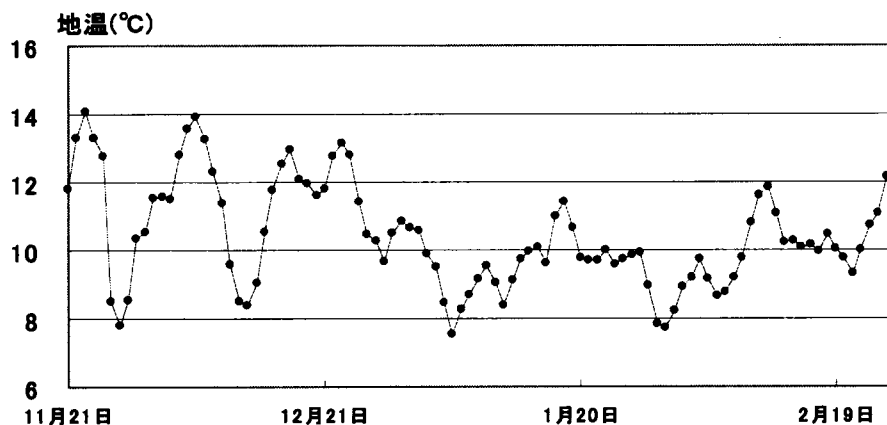
堆肥種類	E a (みかけの活性化エネルギー) (cal·mol ⁻¹)	N ₀ (可分解性有機態窒素率) (%)	k (速度定数) (day ⁻¹)	b (試験開始時の窒素無機化率) (%)
久留米市	13500	27.1	0.007	12.4
吉井町A	(13250)	8.8	(0.005)	12.3
吉井町B	13000	14.5	0.022	26.6
吉井町C	(13250)	24.0	(0.011)	27.5
赤村	(13250)	6.5	(0.014)	16.4
田川市	(13250)	14.3	(0.006)	10.7
大木町	(13250)	10.6	(0.168)	17.5

1) 速度定数は基準温度25℃における値。

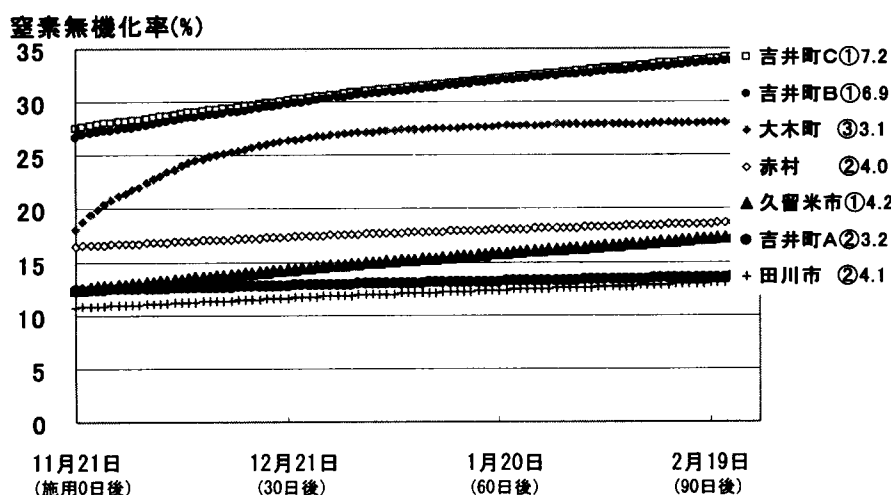
2) 各堆肥とも単純型モデル式: $N = N_0(1 - \exp(-k \cdot t)) + b$ に適合した。t は標準温度変換日数。 $t = \sum \exp(E_a(T - 298)/R/298/T)$, R: 気体定数 (1.987 cal·deg⁻¹·mol⁻¹)

T: 地温 (絶対温度, (deg))

3) 便宜上久留米市及び吉井町B堆肥以外の堆肥の活性化エネルギー値は、久留米市と吉井町B堆肥の活性化エネルギーの平均値 E_a : 13250 (cal·mol⁻¹) を用いた。なお、当該堆肥の k (速度定数) は30℃における k を E_a : 13250 (cal·mol⁻¹) にて25℃換算したもの。なお、これらの値は括弧書きで記載した。



第2図 リーフレタス冬出し栽培期間の地温



第3図 リーフレタス冬出し栽培期間における豚ふん堆肥中窒素の無機化予測

- 1) 堆肥種類の後の丸囲み数字は本文の無機化タイプ、①無機化が徐々に進行していくタイプ、②無機化がほとんど進行しないタイプ、③速やかに無機化が起り、その後停滞するタイプに対応している。
- 2) 丸囲み数字の後の数字は堆肥を1t施用した場合の窒素の無機化量(kg)を示している。

ると考えられた。堆肥施用時の窒素無機化率は、吉井町Cおよび吉井町Bはそれぞれ27.5～26.6%、田川市、久留米市および吉井町Aは10.7～12.4%と、堆肥の種類により差が認められた。施用時の無機態窒素の大部分はアンモニア態窒素（第1表）であった。7種類の堆肥のリーフレタス冬出し栽培期間の窒素の無機化率は、14～34%と予測された（第3図）。堆肥1tを施用したとすると、窒素の無機化量は3.1～7.2kgであった。

以上の結果から、本県の7種類の豚ふん堆肥は、リン酸、加里含量、および栽培期間の窒素無機化率が異なるとともに窒素無機化パターンも3つのタイプが存在することが明らかとなった。家畜ふん堆肥を化学肥料の代替として適切に施用するためには、これら堆肥から供給可能な肥料成分を分析、予測するとともに、有効に活用する施用方法を開発する必要があると考えられた。

試験2：リーフレタス栽培における施用方法

試験1で得られた窒素無機化率を、(化学肥料に対する)肥効率とみなして施肥設計を行った。第4表に作付け

前の土壌（作土）の化学性を示した。

第5表にリーフレタスの時期別生育および土壌（作土）中無機態窒素含量を示した。栽培期間中の草丈、葉数および収穫時の調製重については、堆肥施用区と化学肥料区に差が認められなかった。堆肥施用区の1月17日の土壌中の無機態窒素含量は化学肥料区と同等であったが、収穫期の2月28日には化学肥料区より高く、この間の堆肥中の窒素の無機化が促進されていた。リーフレタスのアントシアン（赤色）の発現をよくするための技術として、窒素施用量を少なくすることが効果的とされているが、達観調査では収穫時のアントシアンの発現程度の差は認められなかった（データ略）。

2つの試験区の作物体の窒素吸収量には差が認められなかったが、堆肥施用区は作物体の硝酸含量が高かった（第6表）。これは、堆肥中窒素が無機化して生育後半の土壌の硝酸態窒素含量が高くなったことに起因していると考えられた。緩効的な窒素肥効が期待しにくいタイプとした吉井町Aで作物体中の硝酸含量が高くなったことから、緩効的な窒素肥効が期待できる堆肥においても生

第4表 リーフレタスほ場試験の作付け前土壌の化学性

pH	全窒素	無機態窒素	可給態リン酸	交換性K ₂ O	全炭素	CEC
(H ₂ O)	(%)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(%)	(me/100g)
6.6	0.09	0.25	33.3	31	0.87	12.2

1) 乾土当たりの分析値。

2) 11月20日に採土した。

第5表 堆肥施用の有無がリーフレタスの生育および土壌中無機態窒素含量に及ぼす影響

試験区	窒素	12月20日		1月17日		収穫時(2月19, 25日)		
	肥効率	草丈	葉数	草丈	葉数	草丈	調製重	葉数
	(%)	(cm)	(枚)	(cm)	(枚)	(cm)	(g)	(枚)
堆肥施用	15	5.9	4.5	10.3	9.1	21.5	231	14.6
化学肥料		5.9	4.4	10.5	9.2	21.8	222	14.4

土壌中無機態窒素含量

	作付け前(11月20日)	1月17日	収穫時(2月28日)
	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)
堆肥施用	0.2	7.3	3.5
化学肥料	0.2	7.3	2.0

1) 定植日は11月27日。

2) 葉数は12月20日, 1月17日は全展開葉を, 収穫時は調製後の10cm以上の葉を数えた。

第6表 堆肥施用の有無がリーフレタス作物体中の硝酸含量, 窒素吸収量, および跡地土壌の化学性に及ぼす影響

試験区	窒素	作物体中	作物体	跡地土壌		
	肥効率	硝酸含量	窒素吸収量	硝酸態窒素	可給態リン酸	交換性K ₂ O
	(%)	(mg/kg)	(kg/10a)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)
堆肥施用	15	2278	5.3	3.5	42	38
化学肥料	—	1710	5.0	1.9	37	34

1) 作物体硝酸含量は, 可食部における新鮮重当たりの値。

育後半の土壌の硝酸態窒素含量が高くなり, 作物体中の硝酸含量が高まることも想定され, 他の堆肥での更なる検討が必要と考えられた。

跡地土壌中の交換性カリウム含量は慣行施肥と同等であることから, 本施肥法は堆肥の施用によって起こる加里集積回避に有効であると考えられた。また, 野菜の栽培では加里過剰により苦土欠乏症状がみられることから, 苦土欠乏症状の回避にも有効であると考えられた。

供試した7種類の豚ふん堆肥をリーフレタス冬出し栽培に利用する場合の適正施用量計算値を第7表に示した。なお, 堆肥中リン酸肥効率を本県基準の70%とすると,

この施用量でリン酸施肥量をほぼまかなえた。生産現場では, 優れた効果が期待できる堆肥の施用方法であっても, 生産経費(堆肥+肥料の価格)が高くなる方法であれば普及は難しい。本施肥法は経費が安価になるよう留意した施用方法である。すなわち, リン酸, 加里の施用はすべて堆肥からの肥効を活用しており, 補う肥料は窒素肥料のみでよい。したがって, 堆肥と窒素単肥を組み合わせることによって, 堆肥+肥料の価格が7,100円/10a~12,900円/10aとなり, 吉井町C以外は慣行施肥や施肥基準と比較すると経費を削減できる計算となった。

以上の結果から, 全窒素含量, 加里, リン酸含量および窒素無機化特性は豚ふん堆肥の種類によって差が認め

第7表 供試した堆肥をリーフレタス冬出し栽培に利用する場合の適正施用量および補填する肥料代を含めた価格

堆肥種類	窒素 肥効率	堆肥からの成分量			肥料からの成分量			堆肥 施用量	窒素肥料(硝安) 施用量	堆肥+肥料 価格
		窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ			
		(kg/10a)			(kg/10a)					(円/10a)
吉井町A	15	4	30	20	19	0	0	910	55	8500
久留米市	20	7	21	20	16	0	0	1350	47	10100
吉井町B	35	6	30	20	17	0	0	870	48	8200
吉井町C	35	17	30	20	5	0	0	2350	16	12900
赤村	20	3	39	20	20	0	0	760	57	7100
田川市	15	3	29	20	20	0	0	580	58	10000
大木町	30	3	17	20	20	0	0	960	57	10300
ほ場試験の慣行施肥(化学肥料区)					23	30	20			18100
地域施肥基準A					20	22	20			11300+堆肥価格
地域施肥基準B					22	19	21			11700

1) 窒素肥効率は予測による無機化値とし、5%きざみで近い数値とした。

2) 地域施肥基準Aはほ場管内J Aのもので化学肥料+堆肥、Bは近隣J Aのもので化学肥料のみの基準としている。

られ、堆肥を化学肥料の代替として施用するためには、これらを分析、予測する必要があると考えられた。また、冬出しリーフレタス栽培において、加里含量をもとに豚ふん堆肥の施用量を決定し、予測した無機化率に基づく堆肥由来の窒素に化学肥料で必要量を補うことで、リーフレタスの栽培が可能であった。しかし、緩効的な窒素の肥効が期待できない吉井町Aの堆肥において、跡地土壌中の硝酸態窒素含量や作物体中の硝酸含量が高くなった。これらのことから、予測無機化率に基づいた適正な窒素肥効率の設定方法について、今後検討する必要があると考えられた。また、リーフレタスの作型の中で冬出しは最も地温が低い時期に栽培することから、地温が高く、堆肥や地力からの窒素の無機化量が多いと推定される他の作型においても検討する必要があると思われる。

引用文献

- 1) 青木誠一(1998)軟弱野菜の新技術。リーフレタスの周年栽培技術99-102.
- 2) 福岡県農政部(1997)有機質資材等の利用上の手引き.
- 3) 郡司掛則昭・久保研一(1996)有機物の窒素分解特性と果菜類に対する効果的施用法.熊本農研セ研報5:

46-55.

- 4) 原田靖生(2000)都市廃棄物及び家畜ふん堆肥の腐熟過程と品質に関する研究.土肥誌71: 307-310.
- 5) 日置雅之・久野智香子・北村秀教・加藤保(2001)愛知県で生産される家畜ふん堆肥の窒素肥効特性.愛知農総試研報33: 245-250.
- 6) 小山太・高椋久次郎(2001)家畜ふん堆肥の成分的特長(第2報)鶏ふん堆肥,豚ふん堆肥および牛ふん混合堆肥の化学成分.福岡農総試研報20: 97-100.
- 7) 中谷洋・市川明・伊藤裕和(2002)鶏ふん堆肥の窒素肥効特性に対する処理日数及び季節の影響.愛知農総試研報34: 239-243.
- 8) 酒井憲一・山本富三(1999)家畜ふん堆肥の窒素無機化予測および被覆肥料の利用による水稻施肥量の削減と環境負荷低減.土肥誌70: 185-189.
- 9) 佐藤賢一・中村幸二(2000)家畜ふん・コーヒー粕堆肥の窒素無機化推定とその水稻への影響.土肥誌71: 826-833.
- 10) 杉原進・金野隆光・石井和夫(1988)土壌中における窒素無機化の反応速度論的解析法と窒素無機化予測.農業および園芸63: 929-934.
- 11) 山崎晴民・六本木和夫(1998)有機物施用が葉菜類の収量及び品質に及ぼす影響.埼玉園誌研報21: 7-20.