

飼料用トウモロコシ栽培における家畜排せつ物
堆肥の最適施用量に関する研究

2009.3

岩手大学大学院

連合農学研究科

生物生産科学専攻

(岩手大学)

濱 戸 もえぎ

目 次

第Ⅰ章 緒 論	1
1 研究の背景と目的	1
2 これまでの研究	4
1) 家畜排せつ物の堆肥化における成分変化	4
2) 家畜排せつ物の施用が飼料作物および土壌に及ぼす影響	4
3) 飼料用トウモロコシへの家畜排せつ物の施用量	4
第Ⅱ章 堆肥化過程の異なる家畜排せつ物の窒素肥料効果	6
1 緒 言	6
2 材料と方法	7
3 結 果	9
4 考 察	14
第Ⅲ章 未熟堆肥の多量連用が飼料用トウモロコシの生産性および成分へ及ぼす影響	19
1 緒 言	19
2 材料と方法	19
3 結 果	21
4 考 察	26
第Ⅳ章 未熟堆肥の多量連用が施用成分収支とアロフェン質土壌の化学性へ及ぼす影響	29
1 緒 言	29
2 材料と方法	29
3 結 果	30
4 考 察	37
第Ⅴ章 環境負荷ガス発生量および窒素利用率に基づく未熟堆肥の最適施用量	41
1 緒 言	41

2 材料と方法	41
3 結果	43
4 考察	47
第VI章 総合考察	50
摘要	58
謝辞	60
引用文献	61
英文要約	65

第 I 章 緒 論

1 研究の背景と目的

近年、日本の食料自給率はカロリーベースで 40%まで低下している。自国で生産されているように見られる畜産物においては、家畜の餌となる穀物のほとんどを海外からの輸入に依存しているのが現実である。鶏や豚に比較して自給飼料の割合が高い搾乳農家および肉用牛の飼育農家においても、自給飼料の作付面積は近年横ばいである。国際的には飼料用トウモロコシ (*Zea mays* L.) はバイオエタノール生産の影響を受け、家畜飼料向けの生産が減少する傾向にあり、価格が上昇し、輸入量が減少している。加えて、原油価格の高騰が進み、化学肥料の生産コストが上昇したことから、国内で販売される化学肥料の価格はここ数年で 2 倍近くまで上昇している (農林水産省 2008)。

このような状況の中で、経営内でのトウモロコシを生産することは飼料購入費の節減となり、また飼料自給率の向上の対策にもなる。飼養家畜からの排せつ物は多くの肥料成分を含み、農業にとって貴重な有機質資源 (尾形 1976) である。加えて、飼料用トウモロコシの肥料要求量は牧草よりも多く、この資源を有効に利用する場としても重要である。また、トウモロコシの栽培において、畜産農家は経営内から排出される家畜排せつ物を利用することは、資源の有効利用だけでなく、経済的な側面からも有効であると考えられる。

家畜排せつ物の利用に関して 2004 年 11 月に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が完全施行された。ここでは、家畜排せつ物を適正に管理することに加えて、持続的農業の発展のために有効利用することが求められている。家畜排せつ物の適正な管理については、野積みなどの不適切な管理によって引き起こされる、土壌への成分の浸透や河川への流入による環境負荷を低減させることを目的としている。この法律の完全施行へ向けて、規定の飼養規模を超える農家には堆肥舎が整備され、各地域や比較的経営規模の大きい畜産農家に多くの堆肥化施設が整備された。堆肥舎では、従来の堆積による堆肥化が行われ、大規模な施設では、これとは異なる切り返しや強制通気を行う方法が多く採用された。堆肥化期間中の窒素損失については、長田ら (2004) が搾乳牛ふんの堆積による堆肥化では 4 ヶ月間に 9%であることを報告し、阿部ら (2003) は乳牛ふんの吸引通気による堆肥化では水分調整資材と材料水分の組み合わせにより最大 35.7%の窒素が堆肥系外に移行したと報告していることから、従来の堆肥と機械攪拌や強制通気が行われた堆肥の肥効は異なることが予

想され、特に窒素については堆肥化の方法により量的・質的な違いが大きいものと考えられる。

一般に、家畜排せつ物やその堆肥に含まれる窒素の土壌中での放出は、炭素と窒素の比率（C/N比）が低いものほど多いとされる。また、堆肥化により有機物が分解されると、C/N比が低下して土壌中での窒素放出が多くなるとされている。志賀ら（1985）は、有機物は種類によって分解特性に大きな違いがあるとして、リグニン含量とC/N比によって堆肥など有機物の分解特徴による群別と施用効果を示している。家畜排せつ物の成分は、家畜の飼養状況や敷料等の副資材、その保管状況によって大きく変動する。そのため、作物栽培における家畜排せつ物施用の効果は、施用した家畜排せつ物の成分と切り返しや機械攪拌、強制排気の有無を明確にした上で検討する必要があると考えられる。

家畜排せつ物法では前述した適性管理に加えて、利用促進のための「家畜排せつ物の利用促進を図るための基本方針」が定められ、畜産業の健全な発展に資することを目的とした基本方針が1999年に2008年を目標年度に策定、公表された。2007年には近年の畜産をとりまく情勢の変化をふまえ、この基本方針の見直しが行われ、新たな基本方針が策定公表された。これは2015年度を目標年度とし、耕畜連携の強化、ニーズに即した堆肥作り、家畜排せつ物のエネルギーとしての利用を推進するものである。

近年、消費者の関心は、食の安全・安心に加えて環境に配慮した持続的な農業生産活動に関しても高まりを見せている。2003年5月には国の特別栽培農産物表示ガイドラインが改正され、2004年4月から化学合成農薬と化学肥料を、ともに慣行栽培に比べて5割以上減じて栽培されたものだけが特別栽培農産物の表示ができることとなった。これらを受けて、岩手県では水田や畑作分野での堆肥の積極的な利用が進められている。岩手県ではエコファーマー認定制度を定めるなど持続性の高い農業を目指して取り組みを進め、畜産分野では家畜からの排せつ物を肥料及び土壌改良資材として飼料作物の栽培に利用することを進めている。

岩手県は全国有数の畜産県である。県の農業粗生産額全体に畜産が占める割合は4割を超え、乳用牛における粗生産額はその約1/4を占めている。搾乳牛の飼養農家戸数および飼養頭数は年々減少しているが、農家1戸あたりの飼養頭数は増加しており、平成7年度の約23頭から平成16年度現在の約32頭へと規模拡大が進んでいる。経営では、搾乳牛から発生するふん尿を圃場に還元して飼料作物を生産するなど土地利用型であり、中でも飼料用トウモロコシは収量および栄養価の面から有用な自給飼料として位置づけられている。野菜などを生産している耕種側では、ふん尿の易分解性部分を堆肥化によって分解して土壌改良資材として利用しているのに対して、飼料用トウモロコシを栽培している搾乳牛飼養農家では、堆肥化を行わずにふん尿をそのままの状態を利用してることが多い。堆

肥化に関わる労力の軽減という側面以外に、牛排せつ物に含まれる肥料成分を有効利用するという目的があると考えられる。

しかしながら、飼料用トウモロコシの栽培面積の減少や地形による栽培条件の制限および農家自己保有の圃場面積の少なさなどから、特定の圃場に多量のふん尿が長期間にわたって施用される例が散見される。これらの事例では、飼料用トウモロコシの吸収量を超える各種成分が土壤へ施用される可能性があり、特に飼料用トウモロコシ中のカリウム含有率の上昇により $K/(Ca+Mg)$ 当量比が悪化するなど、飼料品質に悪い影響が生じることが指摘されていること、また、利用されなかった成分の土壤への蓄積や土壤下層への浸透などの問題が生じることとも考えられる。こうした理由から、ふん尿等の有機物が多量に連用された圃場での飼料用トウモロコシの品質、およびその圃場土壤における養分集積の過程を、明らかにする必要がある。

家畜排せつ物は、尾形（1976）の指摘にもあるように、かつて家畜排せつ物は多くの養分を含んでおり、本来循環型である農業にとって貴重な有機質資源であった。しかし、多量施用によって利用されなかった成分の土壤中への過剰蓄積、それから引き起こされる環境負荷、そして飼料品質への悪影響も多く指摘されている（杉原ら 1979, 松中 2003）。これまでに、トウモロコシを含む飼料作物で多くの糞尿を多量に施用した試験が行われた。これらの多量施用試験はそれぞれ異なる地域と土壤で行われている。しかし、家畜排せつ物やそれを材料とした堆肥の効果は Liebig が述べているように土壤の特性と密接な関係がある（吉田 1986）ものと予想される。岩手県内の畑土壤は火山灰を母材とする黒ボク土が大半を占めている。黒ボク土は有機物含有量が高く物理的に良好であるが、活性アルミニウムが多いためリン酸吸収係数が高く、リン酸を施用するなどの土壤化学性の改良が必要である。県内の黒ボク土は、母材の粘土鉱物により県北部の弱酸性のアロフェン質黒ボク土と県南の強酸性の非アロフェン質黒ボク土に大きく分けられる（三枝ら 1992）。アロフェン質黒ボク土は非アロフェン質黒ボク土に比べて pH 及びリン酸固定力が高いが、アンモニアやカリウムイオンの保持力やその供給力は低いという特徴を持つ（三枝ら 1993）。

こうした背景から、本研究では岩手県北部に分布する弱酸性のアロフェン質黒ボク土（三枝ら 1993）において、家畜排せつ物の肥料としての効果を飼料用トウモロコシについて検討した。トウモロコシによる施用堆肥中の窒素利用率について、主に収量と成分の測定結果から、牛排せつ物の施用が飼料用トウモロコシの収量と品質に及ぼす影響についての検討をおこなった。また、そのときの栽培土壤（アロフェン質黒ボク土）に及ぼす影響について検討を行った。加えて、利用する際の適正施用量について、環境負荷ガスの発生量やトウモロコシによる窒素利用率を考慮しながら、検討を加えた。

2 これまでの研究

1) 家畜排せつ物の堆肥化に伴う成分変化

家畜排せつ物堆肥の窒素肥効と関係すると考えられる窒素成分についてみると、渡辺ら（1981）はオガクズ牛ふんコンポストの窒素含有率が約9ヵ月の堆積による堆肥化で上昇したことを報告し、丹比ら（1985）が牛コンポストの12ヶ月間の堆積堆肥化によって窒素含有率が減少したことを報告している。岡田ら（1985）は生乳牛ふん、生肉牛ふんや肉牛ふん堆肥の6ヶ月間の堆積堆肥化による成分の変化を見ているが、堆肥化の材料によって上昇が認められた例と低下が認められた例を報告している。堆肥化期間中の窒素損失については、長田ら（2004）が搾乳牛ふんの堆積による4ヶ月間の堆肥化では9%であることを、前田ら（2001）は乳牛糞の強制通気による7日間の堆肥化では12%であることを、阿部ら（2003）は乳牛ふんの吸引通気による堆肥化では水分調整資材と材料水分の組み合わせにより最大35.7%が損失したことを報告している。これらから、堆肥化の方法や堆肥化する家畜排せつ物の状況によって、含まれる窒素成分が変化することが考えられる。このことは、これらを用いて栽培される飼料作物への窒素肥効に変化をもたらすものと考えられる。

2) 家畜排せつ物の施用が飼料作物および土壌に及ぼす影響

秋田・森（1992）は牛ふんを多量に連年施用したトウモロコシとイタリアンライグラスの輪作におけるその生育や収量に及ぼす影響について、反町・三井（1988）はトウモロコシを含む飼料作物に乳牛ふん尿を多量連用したときの収量や成分組成および土壌成分への影響について報告している。また、杉原ら（1979）はバレイショなどの畑作物に乳牛のふん尿と稲わらの混合物を長期間にわたり施用したときの植物成分および土壌成分の変化について検討を行っている。

家畜排せつ物の多量連用が（粗飼料生産圃場の）土壌へ及ぼす影響については数々の研究が行われている。秋田・森（1992）は礫質黄色土の圃場でのトウモロコシとイタリアンの輪作条件下で、生牛ふんを連用した時の土壌変化について、全窒素含有量やマグネシウム等の交換性塩基含有量の増加を報告し、品川（1985）らは黒ボク・黒ニガ土の混合土壌における牛生ふん尿の連続施用の試験で、土壌中の窒素含有量および有効態リン酸の増加、塩基飽和度の上昇及びリン酸吸収係数低下等の土壌化学性の改良に効果が認められたことを報告している。この他にも酸性土壌の改良効果についての報告（小野ら 2003, Whalen ら 2002）もみられる。

3) 飼料用トウモロコシへの家畜排せつ物の施用量

家畜排せつ物は畜産経営内から多量に発生することから、この処理という意味からも施用量に対する検討が進められてきた。そこで尾形（1976）は施用量として次の2つを示した。1つは排せつ物施用のプラス効果が最大となる適量施用量、もう一つは無施用よりもマイナスを生じるまで更に多用した場合の施用限界量である。実際にトウモロコシを含む飼料作物で多くの糞尿多施用試験が行われた。1年間にトウモロコシと牧草を作付する栽培体系において野中・西山（1976）は 300 t ha^{-1} が適量で処理重点は 600 t ha^{-1} 、反町・三井（1988）は 150 t ha^{-1} が適量で 450 t ha^{-1} でも増収、秋田・森（1991, 1992）は 40 t ha^{-1} が適量で 160 t ha^{-1} が上限とし、トウモロコシの年1回の作付け体系では杉原ら（1979）は 80 t ha^{-1} が適量で 320 t ha^{-1} が限界、八槻ら（1992）は化学肥料施用条件で適量は 50 t ha^{-1} で上限が 150 t ha^{-1} と報告している。いずれの報告においても、限界量は施用上限量であり、尾形（1976）の提示した牛糞無施用よりマイナスになる施用限界点は確認されていない。これは品川ら（1985）の報告にあるように、家畜排せつ物が牛糞という有機態で施用されたことにあると思われる。堆肥のみの施肥では植物対中のミネラルバランス悪化することが指摘され（杉原ら 1979, 松中 2003）、化成肥料との組み合わせによって、この危険性を回避する施肥について報告されている（広田ら 1987, 石原ら 2001）。

第Ⅱ章 堆肥化過程を異にする家畜排せつ物堆肥の窒素肥料効果の差異

1 緒言

国内の畜産農家は飼料用トウモロコシ (*Zea mays* L.) を海外からの輸入に大きく依存しており、最近の価格高騰や輸入量の減少および燃料の高騰は経営を圧迫し始めている。このような状況の中で、経営内でのトウモロコシを生産することは飼料購入費の節減となり、また飼料自給率の向上も期待される。飼養家畜からの排せつ物は多くの肥料成分を含み、農業にとって貴重な有機質資源(尾形 1976)であるが、飼料用トウモロコシの肥料要求量は牧草よりも多く、この資源を有効に利用する場としても重要である。

家畜排せつ物の利用に関しては2004年11月に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が完全施行され、各地域や比較的経営規模の大きい畜産農家に多くの堆肥化施設が整備された。この施設では、従来の堆積による堆肥化とは異なり、繰り返しや強制通気を行う方法が多く採用されている。堆肥化期間中の窒素損失については、長田ら(2004)が搾乳牛ふんの堆積による堆肥化では4ヶ月間に9%であることを報告し、阿部ら(2003)は乳牛ふんの吸引通気による堆肥化では水分調整資材と材料水分の組み合わせにより最大35.7%の窒素が堆肥系外に移行したと報告している。このため、従来の堆肥と機械攪拌や強制通気が行われた堆肥の肥効は異なることが予想され、特に窒素については堆肥化の方法により量的・形質的な違いが大きいものと考えられる。

一般に、家畜排せつ物やその堆肥に含まれる窒素の土壌中での放出は、炭素と窒素の比率(C/N比)が低いものほど多いとされる。また、堆肥化により有機物が分解されると、C/N比が低下して土壌中での窒素放出が多くなるとされている。志賀ら(1985)は、有機物は種類によって分解特性に大きな違いがあるとして、リグニン含量とC/N比によって堆肥など有機物の分解特徴による群別と施用効果を示している。

家畜排せつ物の成分は、家畜の飼養状況や敷料等の副資材、その保管状況によって大きく変動する。そのため、作物栽培における家畜排せつ物施用の効果は、施用した家畜排せつ物の成分と繰り返しや機械攪拌、強制排気の有無を明確にした上で検討する必要があると考えられる。本研究は、肉用牛を主とする家畜排せつ物を堆積状態で保管したものと、機械攪拌と強制通気によって堆肥化したものを用い、飼料用トウモロコシへの施用における窒素肥料効果について検討を行ったものである。

2 材料と方法

1) 供試堆肥

本試験で供試した堆肥は岩手県農業研究センター畜産研究所内で調整された2種類である。これらは、オガクズを敷料とした踏み込み式肥育牛舎から搬出されたふん尿・敷料混合物 (176 t month^{-1}) とフリーストール式搾乳牛舎から搬出されたふん尿 (60 t month^{-1}) を主体とし、さらに母豚と肥育豚の排せつ物 (13 t month^{-1}) および採卵鶏の排せつ物 (12 t month^{-1}) を加えた家畜排せつ物混合物を共通の材料ふんとするが、堆肥化方法のみが異なるものである。1つ目の堆肥は、家畜排せつ物混合物を、堆肥舎内で約1ヶ月間堆積し、この間に1回の切り返しを行って堆肥化したものである。堆積期間が短く、切り返しも1回であったことから、本研究では「未熟堆肥」と表記した。もう一つの堆肥は、未熟堆肥と同じ家畜排せつ物混合物に体積比で約25%のオガクズを水分調整剤として混合し、強制通気と1日1回の攪拌とが行われる円形堆肥化装置（直径13.5m、容積は 200 m^3 ）で12日間、その後堆肥舎内で約1ヶ月に1回切り返しをしながら3ヶ月間ほど堆積した堆肥である。堆肥化の一次処理として強制通気と攪拌が行われたことから、本研究では「促成堆肥」と表記した。この促成堆肥は、未熟堆肥そのものにオガクズを加えて堆肥化したものではないが、材料となる家畜排せつ物混合物が同じであり処理過程のみが異なることから、これら2種類の堆肥を飼料用トウモロコシへの窒素肥料効果の比較に用いた。なお、この促成堆肥の堆肥化施設はシートで密閉化を行った円形堆肥化装置とロックウール排気脱臭装置などから構成されている（中央畜産会 2003）。

2) トウモロコシの栽培条件

トウモロコシの栽培試験は、岩手県農業研究センター畜産研究所内圃場で2003、2004、2005年の3年間行った。圃場の土壌は黒ボク土で、粘土鉱物はアロフェンが主体（三枝ら 1993b）である。

処理区の種類は表II-1に示したとおりで、2003年は化学肥料施用区を窒素施用量の違いによる3処理、未熟堆肥施用区および促成堆肥施用区をそれぞれ施用量の違いによる3処理として合計9処理区とし、2004年と2005年は化学肥料区を5処理として合計11処理区とした。化学肥料区における窒素分量は、2003年は0、150、 200 kg ha^{-1} の3水準（処理）としたが、2004年と2005年は0、50、100、150、 200 kg ha^{-1} の5水準（処理）とした。2003年に設定した窒素施用量 150 kg ha^{-1} と 200 kg ha^{-1} との間には乾物収量、粗タンパク質含有率および窒素吸収量に差が見られなかった。このため、より施用分量の少ない区を設定する必要があると考え、2004年以降は新たに50、 100 kg ha^{-1} の2水準を加えた。リン酸、カリウムの施用量は全処理で同量のそれぞれ120、 100 kg ha^{-1} とした。用いた化

学肥料は尿素、過リン酸石灰、塩化カリウムである。飼料用トウモロコシへ化学肥料を施用する場合には、元肥全量では降雨などによる流亡が問題となるために追肥が薦められ、あるいは肥効調節型肥料を用いた全量元肥栽培の有効性（三枝ら 1993a）も報告されている。しかし、追肥や肥効調節型肥料の普及度は低いため、本試験では上記資材を全量元肥とした。堆肥については、堆肥に含まれる窒素成分の肥料効果を明らかにすることを本研究の目的とするため、化学肥料との併用は行わず堆肥のみを全量元肥とした。未熟堆肥および促成堆肥の施用量は現物でそれぞれ 10, 30, 50t ha⁻¹である。トウモロコシ栽培に家畜排せつ処理物を用いる場合の施用基準は、牛ふん堆肥 30–40t ha⁻¹、併用する化学肥料を 140kg ha⁻¹（岩手県 2005）とするため、堆肥施用量がこれを大きく越えない量とした。

化学肥料と堆肥の施用時期は3年間とも4月下旬であった。堆肥は各試験区の全面にフォークで均一に散布した後、ロータリー耕により速やかに土壌と混和した。供試品種は岩手県奨励品種である早生品種のパイオニア 106（36B08）である。試験区は 12m²（3m×4m）の4反復とした。播種日は2003年と2004年が5月15日、2005年は5月16日であり、いずれの年も畝間75cm×株間20.5cmで植栽し、栽植密度は65,000本 ha⁻¹とした。刈り取りは黄熟期を目安として行い、2003年は9月24日、2004年は9月15日、2005年は9月20日であった。刈り取りは、地際より10cmの高さで刈り取りを行い、刈り取り後のトウモロコシは茎葉および雌穂に分け、それぞれについて生草重量を測定した。

表Ⅱ-1. 各処理区における各成分の平均施用量.

処理区 ¹	施用物	全窒素 (TN) (kg ha ⁻¹)	アンモニア 態窒素 (NH ₄ -N) ² (kg ha ⁻¹)	リン酸 (P ₂ O ₅) (kg ha ⁻¹)	カリウム (K ₂ O) (kg ha ⁻¹)
M10	未熟堆肥	46	17.9	23	61
M30		139	53.8	68	184
M50		232	89.6	114	306
C10	促成堆肥	54	1.4	31	103
C30		161	4.3	92	308
C50		269	7.2	153	514
N ₀ PK	化学肥料	0		120	100
N ₅₀ PK ³		50		120	100
N ₁₀₀ PK ³		100		120	100
N ₁₅₀ PK		150		120	100
N ₂₀₀ PK		200		120	100

¹ Mは未熟堆肥, Cは促成堆肥を示し, 数値は現物での施用量(t ha⁻¹)を示す.

NPKは化学肥料を示し, 数値は化学肥料(尿素)での窒素成分施用量(kg ha⁻¹)を示す.

² NH₄-Nの値は2003年, 2004年の2年間の平均値を示す.

³ N₅₀PK区, N₁₀₀PK区は2004年, 2005年の2年間の平均値, 他は2003年から2005年までの3年間の平均値を示す.

3) 試料成分の分析およびデータの解析方法

トウモロコシの茎葉と雌穂はそれぞれについて約 2cm の長さに切断し、70℃で 2 昼夜通風乾燥および秤量した後に 1mm のふるいを付けたウィレー粉砕機で粉砕した。全窒素 (TN) は硫酸分解によるケルダール法で分析し、6.25 を乗じて粗タンパク質 (CP) 含有率とした。分析は粗飼料の品質評価ガイドブック (自給飼料品質評価研究会 2001) に順じて行った。

未熟堆肥および促成堆肥は、採取後に均一に混合した後、トウモロコシと同様に乾燥し、粉砕を行った。その後、pH は乾燥質量/脱塩水比 1:5 で攪拌後ガラス電極法、電気伝導度 (EC) は乾燥質量/脱塩水比 1:10 で攪拌後 EC メーター、全炭素 (TC) は乾式燃焼法、灰分 (Ash) は強熱減量法により、それぞれ分析を行った。全窒素 (TN) は、いずれの堆肥も硝酸性窒素 ($\text{NO}_2^--\text{N} + \text{NO}_3^--\text{N}$) が硫酸分解によるケルダール窒素の 0.1% 以下であったため、ケルダール窒素を全窒素とした。また、硫酸-過酸化水素法により湿式分解し、リンはアスコルビン酸還元法、カリウム (K) は炎光法、カルシウム (Ca) とマグネシウム (Mg) は原子吸光法によりもとめ、それぞれリン酸 (P_2O_5)、交換性カリウム (K_2O)、交換性カルシウム (CaO)、交換性マグネシウム (MgO) に換算した。アンモニア態窒素 (NH_4-N) は湿潤質量 5g を用いて 2M KCl 溶液抽出後、水蒸気蒸留法により求めた。分析は堆肥等有機物分析法 (日本土壌協会 2000) に準じて行った。

統計処理は SAS コンピュータープログラム ANOVA (SAS Institute Inc 1997) を用いて行った。有意差 ($P < 0.05$) が認められた場合には、同プログラムの Ryan-Einot-Gabriel-Welsch の多重検定を用いて処理間の有意差を検討した。

3 結果

1) 試験期間の気象条件

試験期間中の気象状況を比較するために、2003 年から 2005 年の 3 年の単純積算温度 (戸澤 1985) を調べるとそれぞれ 2491, 2500, 2571℃となり、平均気温は 18.7, 20.2, 20.1℃であった。降水量は 540, 557, 611mm, 日照時間は 429, 568, 510 時間であった。平成 17 年農林水産業気象災害年報 (岩手県 2007) によると、2003 年は 6 月下旬以降の異常気象による農作物の被害が報告された冷害年であり、2004 年、2005 年に比較して平均気温は低く推移した。2004 年は栽培期間中の 8 月に 2 回、9 月に 2 回、10 月に 1 回の台風の襲来により 8 月中旬から 9 月中旬までの平均気温は 2005 年よりも低かった。2005 年は 8 月以降の平均気温は高く推移した年であった。

2) 供試堆肥の性状と施用分量

各年の未熟堆肥と促成堆肥の成分のうち表Ⅱ-2に乾物(DM)、全窒素成分、灰分(Ash)および全炭素(TC)など窒素肥効に関する形質を示した。未熟堆肥と促成堆肥の成分を比較すると、各年の値および3年間の平均値のいずれにおいても、乾物と灰分の値は促成堆肥のほうが未熟堆肥よりも高く、一方で全窒素(TN)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、全炭素(TC)の値は低かった。これらの成分中で特にNH₄-Nについては未熟堆肥と促成堆肥との間で差は大きく、値は未熟堆肥では2003年が0.79%、2004年が0.61%となり、促成堆肥のそれぞれ0.03%、0.06%に比較して10倍以上高い値を示した。C/N比は2003年では促成堆肥が未熟堆肥よりも低いが、2004年、2005年はともに促成堆肥が高い値を示した。一般的にC/N比の低い堆肥ほど施用時に土壤中で窒素放出が多いとされ、このため施用効果の指標としてC/N比が用いられているが、本試験で供試した2種類のいずれの堆肥も、志賀ら(1985)の分類では窒素取り込み群に分類され、窒素肥料としての効果は小さいものと考えられた。

表Ⅱ-2. 施用した未熟堆肥と促成堆肥の成分.

施用物	試験年次	乾物(DM)	全窒素	アンモニア	灰分	全炭素	C/N比
		(%DM)	(%DM)	態窒素 (NH ₄ -N)	(Ash)	(TC)	
		(%DM)	(%DM)	(%DM)	(%DM)	(%DM)	
未熟堆肥	2003	24.0	1.66	0.79	15.4	46.3	27.9
	2004	27.6	1.81	0.61	13.7	45.7	25.3
	2005	25.1	1.97	- ¹	15.0	43.7	22.2
	平均値	25.8	1.81	0.70	14.7	45.2	25.1
促成堆肥	2003	36.7	1.56	0.03	19.0	41.4	26.6
	2004	29.6	1.54	0.06	18.4	42.3	27.4
	2005	37.3	1.57	- ¹	17.1	42.1	26.8
	平均値	34.5	1.56	0.05	18.2	41.9	26.9

¹ 2005年のNH₄-Nは欠測.

未熟堆肥と促成堆肥の成分および性状のうち、表Ⅱ-2の乾物率や窒素成分、灰分以外のpH、電気伝導度のほか、ミネラルの含有率を表Ⅱ-3に示した。各年の値と3年間の平均値はいずれも2005年のP₂O₅、CaO、MgOを除いて促成堆肥が未熟堆肥よりも高く、促成堆肥はオガクズを加えたにもかかわらず、堆肥化によって成分が濃縮されていた。このため、ECも未熟堆肥に比較して高くなっていた。促成堆肥で2005年のP₂O₅、CaO、MgOが低くなったのは、それぞれの堆肥の材料となった家畜排せつ物混合物の成分が不均一であったことが考えられる。

表 II-3. 施用した未熟堆肥と促成堆肥の性状と成分.

施用物	試験年次	pH	電気伝導度 (EC)	リン酸 (P ₂ O ₅)	カリウム (K ₂ O)	カルシウム (CaO)	マグネシウム (MgO)
		(H ₂ O)	(dS m ⁻¹)	(%DM)	(%DM)	(%DM)	(%DM)
未熟堆肥	2003	8.46	5.85	0.74	2.69	2.15	0.47
	2004	7.36	5.59	0.87	2.25	1.59	0.49
	2005	7.78	5.69	1.05	2.26	2.16	0.49
	平均値	7.87	5.71	0.89	2.40	1.97	0.49
促成堆肥	2003	9.16	6.19	0.92	2.87	2.34	0.56
	2004	9.03	6.00	0.91	3.28	2.62	0.59
	2005	8.58	5.87	0.84	2.85	1.95	0.48
	平均値	8.92	6.02	0.89	3.00	2.30	0.54

表 II-1 に示した各区の成分施用量は、各年次の堆肥の成分含有率に施用量を乗じて求めている。化学肥料施用区では毎年一定の成分量が投入されていたのに対して、堆肥施用区では表 II-2, 3 で示したように成分の変動がみられた。このため、10t ha⁻¹ 施用したときの全窒素施用量は、未熟堆肥区では 2003 年が 40kg, 2004 年が 50kg, 2005 年が 49kg となり、促成堆肥区ではそれぞれ 57kg, 46kg, 59kg となった。全窒素施用量は促成堆肥区のほうが未熟堆肥区よりも多く、また、P₂O₅ や K₂O の施用も同様であった。これに対して、同じ 10t ha⁻¹ を施用したときの NH₄-N 施用量は、未熟堆肥区では 2003 年が 19kg, 2004 年が 17kg, 促成堆肥区ではそれぞれ 1.0kg, 1.9kg となり、促成堆肥区のほうが未熟堆肥区を大きく下回った。

3) 化学肥料区の乾物収量, CP 含有率, 窒素吸収量

化学肥料施用区のトウモロコシ栽培試験における乾物収量, 粗タンパク質含有率 (CP 含有率), 全窒素吸収量 (TN 吸収量) の平均値を表 II-4 に示した。乾物収量は茎葉, 雌穂ともに全窒素施用量の増加によって増加し, N₀PK 区が最も低い値を示し, N₅₀PK 区が続き, N₁₅₀PK, N₂₀₀PK 区で最も高い値を示し, 全窒素 (TN) 施用量の増加によって茎葉と雌穂の乾物収量は高くなった。この乾物収量の伸びは N₁₅₀PK 区でほぼ頭打ちとなり, N₂₀₀PK 区との間に有意差は認められなかった。CP 含有率も施用量に伴い増加し, 茎葉においては N₀PK 区と N₁₅₀PK, N₂₀₀PK 区に有意な差が認められた。しかし, 雌穂では N₅₀PK 区と N₂₀₀PK 区を除く 3 つの区には有意差が認められなかった。TN 吸収量 (乾物収量×TN 含有率) は, 乾物収量と同様に施用量に伴い増加し, この傾向は茎葉に比較して雌穂で顕著であった。また, N₀PK 区でも茎葉と雌穂をあわせて 70kg ha⁻¹ 程度の TN 吸収量があった。

表Ⅱ-4. 化学肥料区¹における茎葉と雌穂の乾物収量, 粗タンパク質(CP)含有率, 全窒素(TN)吸収量.

処理区	乾物収量 (t ha ⁻¹)		CP(%DM)		TN吸収量 (kg ha ⁻¹)	
	茎葉	雌穂	茎葉	雌穂	茎葉	雌穂
N ₀ PK	3.87 d ²	4.35 c	3.67 c	7.08 ab	23.0 c	49.3 c
N ₅₀ PK ¹	5.84 c	7.25 b	4.06 bc	6.84 b	38.1 b	79.4 b
N ₁₀₀ PK ¹	5.14 b	9.34 a	4.54 abc	7.16 ab	48.0 a	107.1 a
N ₁₅₀ PK	6.98 ab	9.63 a	4.79 ab	7.32 ab	55.4 a	111.7 a
N ₂₀₀ PK	7.30 a	9.76 a	4.97 a	7.24 a	55.4 a	114.2 a

¹ N₅₀PK区とN₁₀₀PK区は2004年と2005年の2年間の平均値, 他は2003年から2005年までの3年間の平均値を示す.

² 処理区間にRyan-Einot-Gabriel-Welsch法で有意差(p<0.05)があるときに異なる符号を付した.

4) 未熟堆肥区および促成堆肥区の乾物収量, CP含有率, 窒素吸収量

未熟堆肥区と促成堆肥区の栽培結果について3年間の平均値を表Ⅱ-5に示した。未熟堆肥区の乾物収量は施用量に伴い増加し, その傾向は茎葉よりも雌穂で明確であった。CP含有率では有意差はないもののその値は施用量に伴い増加した。全窒素(TN)吸収量においては施用量に伴う増加がより顕著であり, 雌穂では各区の間に有意な差が認められた。ここには3年間の平均を示したが, 各年次においてもこれらの傾向は同じであった。これに対して促成堆肥区では乾物収量, CP含有率およびTN吸収量の全てにおいて, 茎葉, 雌穂とも施用量に伴う増加傾向は認められず, またそれらの値は化成肥料区のN₀PK区と大きな差はみられなかった。堆肥を施用した区の乾物収量を表4に示した化学肥料区と比較すると, 未熟堆肥区ではN₅₀PK区からN₁₀₀PK区の収量に相当する値が得られたが, 促成堆肥区ではN₀PK区と同等レベルであった。

未熟堆肥区と促成堆肥区のそれぞれについて, 施用量, 部位, 年次との関係を表Ⅱ-6に示した。未熟堆肥区の乾物収量は施用水準, 部位, 年次のすべての要因で有意差が認められ, 施用量が多いほど高く, 雌穂は茎葉よりも高く, 年次経過に伴って高くなった。CP含有率においても同様で, 施用量が多いほど高く, 雌穂は茎葉よりも高く, 年次経過に伴って高くなった。促成堆肥を施用した区では乾物収量において部位, 年次の要因で有意差が認められ, 雌穂は茎葉よりも高くなったが, 年次経過については2004年が2003年や2005年よりも低く, 一定の傾向は見られなかった。CP含有率においても同様に部位および年次間に有意差があり, 雌穂は茎葉よりも高く, 年次経過に伴って高くなった。

通常、堆肥の施用においては連用効果が指摘される。本試験では堆肥の施用条件は現物質質量により設定し、2種類の堆肥についてそれぞれ3水準の施用区を設定した。このため同一堆肥で同一の施用量としても、表Ⅱ-2に示されるように年次により窒素施用量は異なっていた。窒素施用量は、未熟堆肥区では2003年が、促成堆肥区では2004年が、それぞれ他の2年よりも約20%低かった。気象条件においても2003年は登熟期における低温、2005年は8月以降の高い気温推移などが認められ、年次により異なっていた。また、杉原ら(1979)は牛の厩肥からの肥料効果を持つ無機態窒素の発現は施用当年に限られるとしている。これらの理由により、本試験では連用効果は窒素施用量や気象条件による影響よりも小さいものと考え、本報では検討を行わなかった。

表Ⅱ-5. 堆肥施用区における乾物収量, 粗タンパク質含有率, 全窒素(TN)吸収量.

施用物	処理区	乾物収量 (t ha ⁻¹)		CP (%DM)		TN吸収量 (kg ha ⁻¹)	
		茎葉	雌穂	茎葉	雌穂	茎葉	雌穂
未熟堆肥	M10	4.72 b ¹	5.52 b	3.68 a	7.02 a	27.4 b	63.0 c
	M30	5.73 a	7.41 a	4.06 a	7.05 a	37.0 a	83.6 b
	M50	5.93 a	8.24 a	4.48 a	7.29 a	42.0 a	96.7 a
促成堆肥	C10	3.86 a	4.11 a	3.71 a	7.29 a	22.8 a	47.9 a
	C30	3.73 a	3.83 a	3.41 a	7.15 a	20.1 a	44.1 a
	C50	3.84 a	4.45 a	3.62 a	7.31 a	21.8 a	52.2 a

¹ 処理区間にRyan-Einot-Gabriel-Welsch法で有意差(p<0.05)があるときに異なる符号を付した.

表Ⅱ-6. 堆肥施用区の変動要因と乾物収量, 粗タンパク質含有率との関係.

変動因	項目	未熟堆肥		促成堆肥	
		乾物収量 (t ha ⁻¹)	粗タンパク質 (%DM)	乾物収量 (t ha ⁻¹)	粗タンパク質 (%DM)
施用量 ¹	10t	5.12 c ²	5.37 b	3.98 a	5.50 a
	30t	6.57 b	5.54 ab	3.78 a	5.28 a
	50t	7.08 a	5.89 a	4.15 a	5.47 a
部位	茎葉	5.46 b	4.07 b	3.81 b	3.58 b
	雌穂	7.06 a	7.12 a	4.13 a	7.25 a
年次 ¹	2003	5.91 b	5.14 b	4.51 a	4.87 c
	2004	6.32 ab	5.49 b	3.48 c	5.49 b
	2005	6.55 a	6.16 a	3.92 b	5.89 a

¹ 乾物収量は茎葉と雌穂の平均値を示す.

² 反復を含めた全処理区・3年間の値を用いた分散分析を行い、有意差(p<0.05)があるときに異なる符号を付した.

5) トウモロコシによる施用窒素の利用率

各処理区のトウモロコシによる施用窒素の利用率を求め、その結果を図II-1に示した。窒素 (TN) 利用率は (各施用区の TN 吸収量 - 無施用区の TN 吸収量) / 施用 TN 量 × 100 の式で求めた。化学肥料区では N₅₀PK, N₁₀₀PK, N₁₅₀PK, N₂₀₀PK 区はそれぞれ 88.4, 81.7, 63.2, 48.7% となり、急激に低下した。一方、未熟堆肥区の M10 区は 37.2%, M30 区は 34.4%, M50 区は 28.4% となり、値は施用量の増加とともに低下する傾向は認められるものの、化学肥料区における低下に比較して大きくなかった。促成堆肥区では施用区の TN 吸収量が無施用区よりも低かったことから、3 年間の平均値で C10 区で -4.5%, C30 区で -5.9%, C50 区で -0.24% と全ての処理区で負の値を示し、施用量増加に伴う NH₄-N 利用率の変化に一定の傾向は認められなかった。

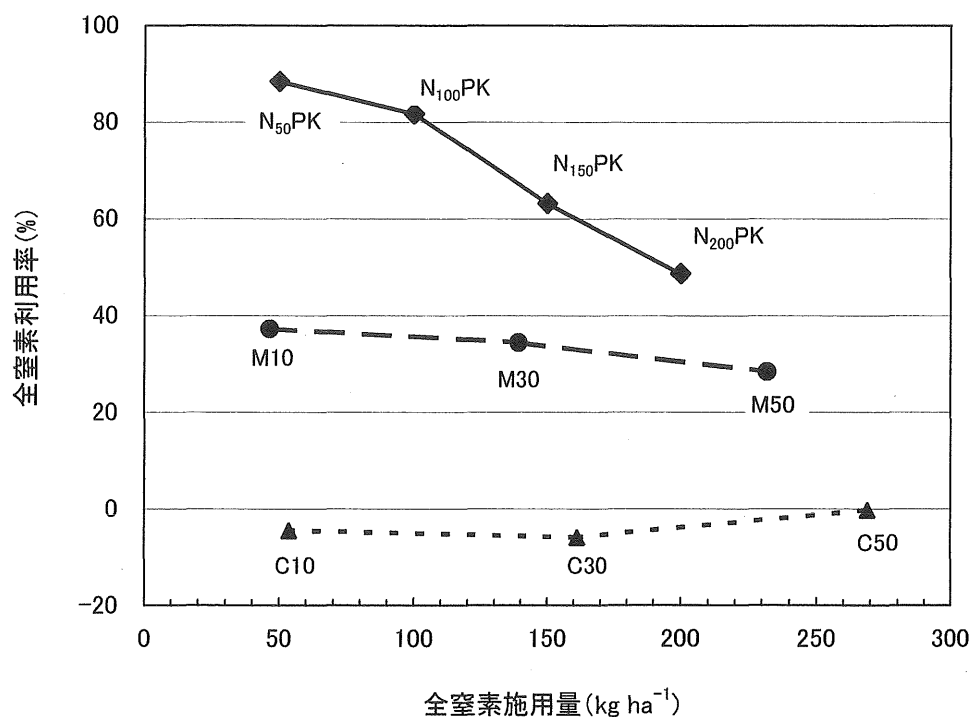


図1. 施用全窒素量とトウモロコシによる利用率の関係.

—◆— 化学肥料 —●— 未熟堆肥 -▲- 促成堆肥

4 考察

本研究は、肉用牛を主とする家畜排せつ物の堆肥化方法の違いが、飼料用トウモロコシへの窒素肥料効果へ及ぼす影響を明らかにするために行ったものである。

1) 堆肥化過程で損失した窒素量

本試験の未熟堆肥と促成堆肥は家畜排せつ物混合物を共通の材料としているが、これら堆肥の違いは堆肥化の方法とオガクズ混合の有無である。これら堆肥の共通の材料は、約70%がオガクズを含むふん尿・敷料混合物である。促成堆肥には、堆肥化時にさらにオガクズを体積比で約25%加えているが、オガクズの乾物量は 0.2 t m^{-3} 、灰分は乾物あたり0.9から0.95%、窒素は乾物あたり0.0から0.1%程度である(中央畜産会 2003)ことから、促成堆肥へ堆肥化時に加えられたオガクズの灰分や窒素の影響は小さいものと考えた。堆肥化による有機物分解率は、灰分の絶対量が変化しないものとするれば灰分との相対量を比較(宮竹ら 2003)することにより推定でき、同様に灰分と窒素量との比率から窒素の減少率も推定できる。このため以下の式により、未熟堆肥から促成堆肥が調整されたものとしたときの有機物減少率、窒素(TN, $\text{NH}_4\text{-N}$)減少率をそれぞれ求めた。各成分値の添字0は未熟堆肥の成分値を、1は促成堆肥の成分値を示している。

$$\text{有機物減少率 (\%)} = 100 \times (1 - (100 - \text{Ash}_1) / \text{Ash}_1) \times (\text{Ash}_0 / (100 - \text{Ash}_0))$$

$$\text{TN 減少率 (\%)} = 100 \times (\text{TN}_0 / \text{Ash}_0 - \text{TN}_1 / \text{Ash}_1) / (\text{TN}_0 / \text{Ash}_0)$$

$$\text{NH}_4\text{-N 減少率 (\%)} = 100 \times (\text{NH}_4\text{-N}_0 / \text{Ash}_0 - \text{NH}_4\text{-N}_1 / \text{Ash}_1) / (\text{NH}_4\text{-N}_0 / \text{Ash}_0)$$

これらの計算結果から3年間の平均値で比較すると、促成堆肥は堆肥化によって22.2%の有機物が分解され、材料に含まれている窒素の30.2%、アンモニア態窒素の94.7%が失われたと考えられる。

ここで上記の計算の妥当性を検討するために、本研究所の堆肥化施設における窒素の減少を計算により求めてみる。処理前の家畜排せつ物混合物を、本試験で用いた未熟堆肥の分析値である水分74%、乾物中の全窒素1.8%とし1日当たり処理量を8.7tとすると、円形堆肥化装置に投入された材料に含まれていた窒素量は1日当たり41kgとなる。堆肥化装置からの排気はロックウール脱臭装置へ送られるが、送風管でのアンモニア濃度は1999年8月から2000年の7月までの1年間の平均が140ppmであり、送風量は $91,100\text{ m}^3\text{ day}^{-1}$ であった(佐藤 2000)ので、これら値よりアンモニア揮散は窒素(N)量として1日当たり12.8kgであったと推定される。このことから、円形堆肥化装置でのアンモニア揮散は窒素の約30%に相当すると推定されるが、この値は前述した本試験の促成堆肥と未熟堆肥との比較で推定した窒素の減少率とほぼ同じとなる。また、この値はこの値は搾乳牛ふんを4ヶ月間の堆積によって堆肥化した長田ら(2004)の報告や強制通気を行った7日間の堆肥化における前田ら(2001)の報告の3倍であった。しかし、阿部ら(2003)は乳牛ふんを7日ごとに3回の繰り返しと吸引による通気を行い28日間の堆肥化をした場合、終了時には最大で初期窒素量の35.7%が堆肥系外へ移行

したことを報告している。本試験に用いた促成堆肥は1日1回の攪拌と連続通気がされていること、材料である家畜排せつ物混合物には肉牛、豚、採卵鶏の排せつ物も混合されていることから、阿部らの報告に近い窒素損失になったものと考えられる。

2) トウモロコシへの未熟堆肥の窒素肥料効果

未熟堆肥区において、施用量増加にともなってトウモロコシの乾物収量、CP含有率および窒素吸収量が増加したことから、未熟堆肥の窒素肥効について検討を行った。本試験により得られたトウモロコシによる未熟堆肥の窒素利用率（吸収率）は、施用量が多いと低下し、値はM10区の37.2%からM30区の28.4%の間であった。窒素施用量が同程度のとき、化学肥料施用区の窒素利用率はN₅₀PK区の88.2%からN₁₅₀PK区の63.2%であることから、未熟堆肥の全窒素利用率は化学肥料の約45%に相当することになる。堆肥化施設設計マニュアル（中央畜産会 2003）に示された化学肥料を100とした場合の利用率からみると、牛ふん堆肥よりも液状牛ふん尿に近かった。本試験の未熟堆肥については志賀ら（1985）の分類では窒素取り込み群に分類され肥料としての施用効果は小さいとされたが、この堆肥の性質をC/N比のみで分類することは困難であったといえる。

この未熟堆肥のアンモニア態窒素含有率は乾物中0.61%（2004年）から0.79%（2003年）である。2年間の平均値によると、アンモニア態窒素の施用量はM10区が18.1、M30区が54.2、M50区が90.4kg ha⁻¹であり、アンモニア態窒素量を施用窒素としたときの窒素利用率はそれぞれ61.2、69.0、52.9%となる。M30区と施用窒素量が同等であった化学肥料施用のN₅₀PK区の窒素利用率は88.4%、M50区と同等だったN₁₀₀PK区のそれは81.7%であることから、未熟堆肥のアンモニア態窒素利用率は化学肥料の約70%に相当している。施用窒素を全窒素としたときよりも値が高くなったことは、トウモロコシの生育が施用された未熟堆肥中のアンモニア態窒素の影響を主に受けていたためと考えられる。また、表II-5に示したように未熟堆肥区での乾物収量の推移は、施用量増加に伴う雌穂の乾物収量と窒素吸収量の増加が茎葉に比較して顕著であるが、トウモロコシの生育収量に及ぼす後期栄養の重要性は、岩田（1968）、三枝ら（1993a）が指摘しており、雌穂の生長にともなう窒素栄養を支える時期に、窒素成分が供給されたと考えられる。トウモロコシの生育は有機態窒素に反応せず、無機態窒素に影響される（山縣ら1996）という報告から、本試験で施用した未熟堆肥にはアンモニア態窒素のほかにトウモロコシに吸収される易分解の有機態窒素が含まれ、生育期間中土壤中は無機化され利用されていたと推測される。

一般に飼料用トウモロコシの必要窒素量は200kg ha⁻¹とされ、施用基準もこの施用量を満たすよう

に設定されている。本試験では化学肥料区の窒素無施用区においても窒素吸収量は3年間平均で70kg ha⁻¹を越えていた。土壌からの窒素供給量は栽培圃場の肥沃度に影響されることではあるが、本試験ではトウモロコシの必要窒素量の約1/3が土壌から供給されていたことになる。また、最も堆肥施用量の多かったM50区でも、吸収された窒素の約50%が堆肥由来であった。これらのことから、適切な窒素施用量を設定し化学肥料施用量を低減するためには、土壌からの窒素供給量と施用堆肥の肥効の把握が不可欠である。国内の粗飼料生産には、本試験の未熟堆肥に相当する畜舎から搬出され堆積しただけの未処理に近いものから、同様に促成堆肥に相当する強制通気や攪拌により堆肥化されたものまで、多種多様な堆肥が施用されている。本試験で施用した未熟堆肥の窒素肥料効果は含まれる易分解性有機物に加えて、アンモニア態窒素の影響を受けていたと考えられる。しかし、施用基準は全窒素を基準として示されることが多いことから、堆肥の特性を反映した施肥基準の作成の必要性が示唆される。

3) トウモロコシへの促成堆肥の窒素肥料効果

未熟堆肥区と同様の施用量でトウモロコシ栽培を行ったが、促成堆肥区では全ての区の乾物収量は施用量に関係なく、化学肥料を無施用とした区とほぼ変わらないか、もしくは下回る結果となった。窒素施用量はC10区(10t ha⁻¹)でも3年間の平均は50kg ha⁻¹を超えており、施用効果の認められた未熟堆肥区(3年間の平均値は46 kg ha⁻¹)との間に大きな差はなかった。

未熟堆肥では化学肥料に相当する効果を持っていたアンモニア態窒素は、2003年と2004年の2年間の平均値が10t ha⁻¹施用時でアンモニア態窒素施用量は促成堆肥区では1.5kg ha⁻¹であった。未熟堆肥区では18kgとなり、促成堆肥区のアンモニア態窒素施用量は未熟堆肥区の約8%程度であった。さらに、促成堆肥では有機物分解率が22%程度であると推定されたことから、易分解性窒素も堆肥化の間に無機化してアンモニア揮散により失われたと考えられる。このために促成堆肥区では全窒素で54(C10区)から269(C50区)kg ha⁻¹が施用されていても、アンモニア態窒素は1.5(C10区)から7.9(C50区)kg ha⁻¹にとどまり、トウモロコシが利用できる窒素量が十分ではなく、低い乾物収量となったものと考えられた。Eghball(2000)はフィードロットから排出される排せつ物と敷料の混合物(Manure)からのトウモロコシ生育期間中に無機化される窒素率は21%であるが、これを堆肥化した堆肥(Compost)では11%に低下すると報告しているが、本試験結果も、促成堆肥では未熟堆肥に含まれていた肥効を持つ窒素が堆肥化過程で損なわれ窒素肥効が低くなっており、Eghballと同様に排せつ物に含まれる窒素の肥効は堆肥化により低下する可能性があることを示したと考えられる。

図Ⅱ-1 に示した化学肥料，未熟堆肥，促成堆肥の窒素利用率をみると，化学肥料区と未熟堆肥区では窒素利用率が正の値を示したのに対し，促成堆肥区では負の値を示した。促成堆肥の C/N 比は平均値で 26.9 であり，未熟堆肥の同 25.1 よりもやや高かった。一般に，C/N 比は堆肥化によって低下するとされている。渡辺ら（1981）はオガクズ牛ふんコンポストの約 9 ヶ月の堆積で C/N 比は 41.5 から 36.3 に低下したことを報告し，丹比ら（1985）が牛コンポスト，岡田ら（1985）が生乳牛ふん，生肉牛ふんや肉牛ふん堆肥で，それぞれ 12 ヶ月間，6 ヶ月間の堆積によって C/N 比が低下したことを報告している。これら報告の窒素含有率の変化は，上昇が認められた例（渡辺ら 1981，岡田ら 1985）と低下が認められた例（丹比ら 1985，岡田ら 1985）とがあり，報告によって異なっている。しかし，窒素含有率が低下した場合でも，炭素含有率がそれよりも低下したときに C/N 比は低下していた。促成堆肥の C/N 比が未熟堆肥よりも高くなったのは，炭素減少率に近い値を示すと考えられる有機物分解率が 22% 程度であるのに対し，窒素減少率が 30% と大きかったためである。一般に家畜排せつ物やその堆肥に含まれる窒素の土壌中での放出は，C/N 比が低いものほど多いとされる。供試した未熟堆肥と促成堆肥は，共通の家畜排せつ物を材料とし，C/N 比の違いも小さいものであった。両者の窒素肥効に大きな違いが生じた主な原因は，促成堆肥では通気と攪拌を伴う堆肥化により肥効をもたらすアンモニア態窒素を損失したためと考えられる。

以上をまとめると，飼料用トウモロコシ栽培で家畜排せつ物堆肥を施用した場合，機械による通気・攪拌を行った促成堆肥ではその窒素施用効果は小さいが，未熟堆肥では効果があることが明らかとなった。未熟堆肥の施用については，雑草種子や雑菌の存在，散布時の悪臭など指摘される問題がある。しかし，堆肥化にかかる費用や労力の節減という利点がある。トウモロコシ栽培では除草剤の使用が一般的に行われており（雑草対策），施用圃場が市街地から離れていること（悪臭対策），施用量が適正であり施用後に速やかに土壌混和されることなどの施用条件が満たされる場合には，未熟堆肥での施用が窒素肥効の点から有効と考えられる。

第三章 未熟堆肥の多量連用が飼料用トウモロコシの生産性および成分へ及ぼす影響

1 緒言

トウモロコシを含む飼料作物での家畜排せつ物の利用については、これまでに多くのふん尿多施用試験が行われた。1年間にトウモロコシと牧草を作付する栽培体系において野中・西山(1976)は 300 t ha^{-1} が適量で処理を考えた場合には 600 t ha^{-1} 、反町・三井(1988)は 150 t ha^{-1} が適量で 450 t ha^{-1} でも増収、秋田・森(1991, 1992)は 40 t ha^{-1} が適量で 160 t ha^{-1} が上限とし、トウモロコシの年1回の作付け体系では杉原ら(1979)は 80 t ha^{-1} が適量で 320 t ha^{-1} が限界であると、八槻ら(1992)は化学肥料施用条件で適量は 50 t ha^{-1} で上限が 150 t ha^{-1} と報告している。これらの多施用試験はそれぞれ異なる地域と土壌で行われている。

畜産農家における家畜排せつ物の利用は、一般に耕種農家で行っているような堆肥化は行わず、ふん尿に近い状態で圃場に施用することが多い。これは堆肥化に関わる労力の軽減の他に、含まれる肥料成分を利用しようとする目的があると思われる。飼料作物栽培の肥培管理については各県で指針が設定されており、岩手県においても畜種によって化学肥料を100とした場合の窒素効果が示されている。第II章ではオガクズを利用し、攪拌と通気を行って作成した堆肥はほとんど窒素肥料としての効果が期待できないこと、未熟堆肥は窒素肥料としての効果が期待できることを明らかにした。

本章では岩手県北部に広く分布するアロフェン質黒ボク土(三枝ら1993)において、未熟堆肥の肥料としての効果について検討するために、多量施用で3年間の連用条件下で飼料用トウモロコシの栽培を行い、多量施用がトウモロコシの収量と品質にどのような影響を及ぼしているか、また、大量施用時のトウモロコシによる施用堆肥中の窒素利用率について検討を行った。

2 材料方法

1) 供試堆肥

本試験で供試した堆肥は第II章と同様のもので、岩手県農業研究センター畜産研究所内で調整された。オガクズを敷料とした踏み込み式肥育牛舎から搬出されたふん尿・敷料混合物(176 t month^{-1})とフリーストール式搾乳牛舎から搬出されたふん尿(60 t month^{-1})を主体とし、さらに母豚と肥育豚

の排せつ物 (13t manth⁻¹) および採卵鶏の排せつ物 (12t manth⁻¹) を加えた家畜排せつ物混合物を共通の材料ふんとした。これを、堆肥舎内で約1ヶ月間堆積し、この間に1回の切り返しを行って堆肥化したものである。堆積期間が短く、切り返しも1回であったことから、本研究では「未熟堆肥」とした。

2) トウモロコシの栽培条件

栽培試験は岩手県農業研究センター畜産研究所内圃場で1998, 1999, 2000年の3年間行った。供試土壌は岩手山から噴出した火山灰を母材とする黒ボク土で粘土鉱物はアロフェンを主体とする(三枝ら1993)。栽培前の土壌はpH(H₂O)が5.36, 交換性カルシウム(CaO), 交換性カリウム(K₂O), 交換性マグネシウム(MgO), 可給態リン酸(P₂O₅)はそれぞれ乾土あたり2270mg kg⁻¹, 575mg kg⁻¹, 303mg kg⁻¹, 79.2mg kg⁻¹であり, リン酸吸収係数は2203であった。pH, CaO, P₂O₅が低く, リン酸吸収係数が高いという火山灰土壌の性質を示した。このため, 試験を開始した1998年4月に, 酸性矯正のため炭酸カルシウム資材を12.4t ha⁻¹, リン酸の補給のためにヨウリンを329kg ha⁻¹投入して土壌の改良を行った。

試験区は表III-1に示す4処理区とした。未熟堆肥は4月下旬に施用し, 毎年同じ量を各試験区の全面に人力で均一に散布した後, ロータリー耕により速やかに土壌と混和した。化学肥料は対照区のみ未熟堆肥を50t ha⁻¹施用後, 尿素, 過リン酸石灰, 塩化カリウムで窒素, リン酸, 交換性カリウムの各成分をそれぞれ150, 120, 100kg ha⁻¹播種の直前に施用した。それ以外の区は, 未熟堆肥のみで100t ha⁻¹, 200t ha⁻¹, 400t ha⁻¹施用した。

表III-1. 各処理区における成分施肥量

処理区 ¹	未熟堆肥 施肥量 (t ha ⁻¹)	成分施肥量(kg ha ⁻¹)								
		1998			1999			2000		
		全窒素 (TN)	リン酸 (P ₂ O ₅)	交換性 カリウム (K ₂ O)	全窒素 (TN)	リン酸 (P ₂ O ₅)	交換性 カリウム (K ₂ O)	全窒素 (TN)	リン酸 (P ₂ O ₅)	交換性 カリウム (K ₂ O)
M50+N ₁₅₀ PK	50	290	200	345	153	180	275	183	200	414
		150 ²	120 ²	100 ²	150 ²	120 ²	100 ²	150 ²	120 ²	100 ²
	合計	440	320	445	303	300	375	333	320	514
M100	100	581	400	690	307	359	551	367	400	829
M200	200	1163	801	1380	615	718	1102	734	799	1658
M400	400	2325	1602	2760	1230	1436	2203	1468	1598	3316

¹ Mは未熟堆肥を, 数値は現物での施肥量(t ha⁻¹)を示す。NPKは化学肥料を, 数値は化学肥料(尿素)での窒素成分施肥量(kg ha⁻¹)を示す。

² M50+N₁₅₀PK区の成分施肥量の下限は化学肥料由来の成分施肥量を示し, Nは尿素, P₂O₅はリン酸, K₂Oは塩化カリウムを用いた。

供試作物は飼料用トウモロコシ、品種は1998年当時の岩手県奨励品種であった中生品種、スノーデント108(DK542)を用いた。試験区は各処理とも5m×6mの2反復とした。播種日は、1998年が5月21日、1999年は5月18日、2000年は5月18日であり、いずれの年も畝間75cm×株間20.5cmで植栽し、本数は65000本ha⁻¹とした。刈り取り調査は1998年が9月21日、1999年は9月17日、2000年は9月17日に行った。黄熟期に地際より10cmの高さで刈り取りを行った後に草丈を測定し、茎葉および子実の各部位について生草重量を調査した。

3) 試料分析およびデータ分析方法

トウモロコシの茎葉と雌穂はそれぞれについて約2cmの長さに切断し、70℃で2昼夜通風乾燥および秤量した後に1mmのふるいを付けたウィレー粉砕機で粉砕した。全窒素(TN)は硫酸分解によるケルダール法で分析し、6.25を乗じて粗タンパク質(CP)とした。リン(P)アスコルビン酸還元法、カリウム(K)は炎光法、カルシウム(Ca)とマグネシウム(Mg)は原子吸光法により求めた。分析は粗飼料の品質評価ガイドブック(自給飼料品質評価研究会2001)に準じて行った。

未熟堆肥は、採取後に均一に混合した後、トウモロコシと同様に乾燥し、粉砕を行った。その後、pHは乾燥質量/脱塩水比1:5で攪拌後ガラス電極法、電気伝導度(EC)は乾燥質量/脱塩水比1:10で攪拌後ECメーター、全炭素(TC)は乾式燃焼法、灰分(Ash)は強熱減量法により、それぞれ分析を行った。全窒素(TN)は、いずれの堆肥も硝酸性窒素(NO₂⁻-N+NO₃⁻-N)が硫酸分解によるケルダール窒素の0.1%以下であったため、ケルダール窒素を全窒素とした。また、硫酸-過酸化水素法により湿式分解し、リン酸はアスコルビン酸還元法、交換性カリウム(K₂O)は炎光法、交換性カルシウム(CaO)と交換性マグネシウム(MgO)は原子吸光法により求めた。分析は堆肥等有機物分析法(日本土壌協会2000)に準じて行った。

統計処理はSASコンピュータープログラムANOVA(SAS Institute Inc 1997)を用いて行った。有意差(P<0.05)が認められた場合には、同プログラムのRyan-Einot-Gabriel-Welschの多重検定を用いて処理間の有意差を検討した。

3 結果

1) 試験年次の気象

1998、1999、2000年の播種日から刈取日までの栽培期間中の単純積算温度(戸澤1985)はそれぞれ

2450, 2540, 2620℃降水量は 768, 694, 696mm, 日照時間は 605, 524, 523 時間であった。

2) 未熟堆肥の成分と施用分量

供試した未熟堆肥の成分含有量を表Ⅲ-1 に、各区の未熟堆肥成分含有率に施用量を乗じた成分施用量は表Ⅲ-2 に示した。施用した未熟堆肥は乾物 (DM) 率が 23.5%, 乾物中の全窒素 (TN) が 1.82%, 全炭素が 39.5%, C/N 比が 24.3 と前報 (濱戸ら 投稿中) で施用した未熟堆肥と大きく変わらなかった。また、ミネラル成分では K_2O_5 , K_2O , MgO , CaO はそれぞれ 1.66%, 2.93%, 1.62%, 1.42% であった。肥料 3 要素である窒素, リン酸, カリウムの成分施用量は、未熟堆肥のみを施用したすべての区で対照区よりも多かった。

表Ⅲ-2. 施用未熟堆肥の成分.

試験年次	乾物 (DM) %	全炭素 (TC)	全窒素 (TN)	リン酸 (P_2O_5)	交換性	交換性	交換性	C/N ¹
					カリウム (K_2O)	カルシウム (CaO)	マグネシウム (MgO)	
					(%DM)			
1998	21.3	37.5	2.73	1.88	3.24	2.02	3.43	13.8
1999	22.3	39.3	1.38	1.61	2.47	1.57	0.27	28.5
2000	27.0	41.8	1.36	1.48	3.07	1.26	0.56	30.7
平均	23.5	39.5	1.82	1.66	2.93	1.62	1.42	24.3

¹ 全窒素(%DM)に対する全炭素(%DM)の比

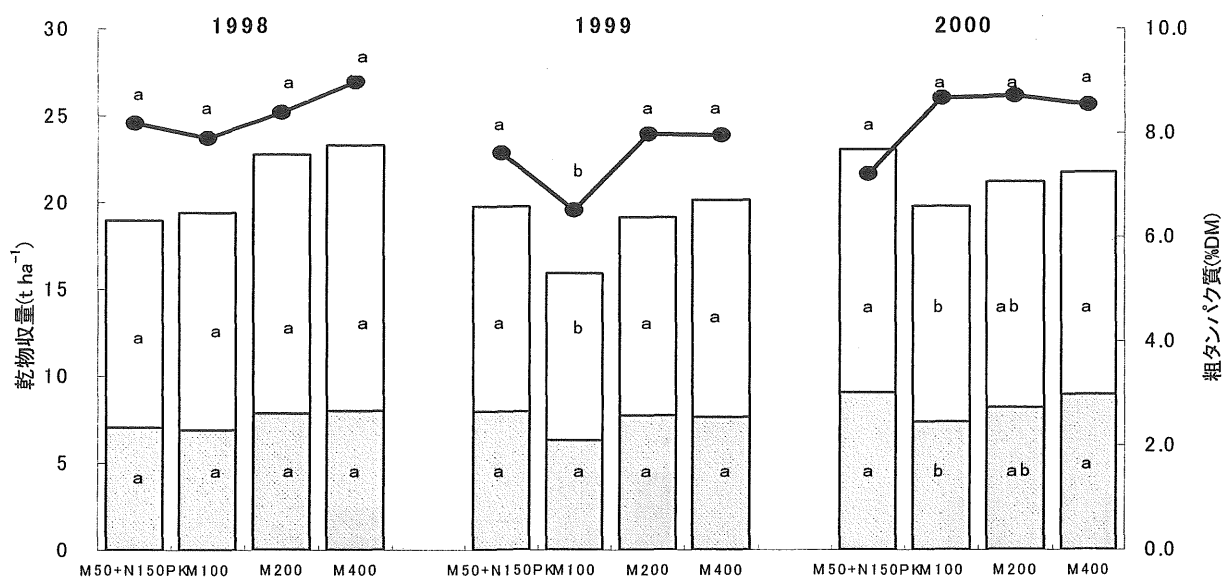
3) トウモロコシの乾物収量, CP 含有率および窒素利用率

トウモロコシの乾物収量, CP 含有率を図Ⅲ-1 に示した。未熟堆肥のみの施用区で値は $100t\ ha^{-1}$, $200t\ ha^{-1}$, $400t\ ha^{-1}$ と施用量が増加するのに伴い上昇し, M100 区と M200, M400 区との間に有意差が認められた。200t ha^{-1} 以上施用した区において対照とした化学肥料併用区 (M50+N₁₅₀PK 区) と同様の乾物収量が得られた。また, 結果で年次経過について示してはいないが, 対象区で年次経過とともに値は上昇していたのに対して, 未熟堆肥施用区では, いずれの区も 2 年目に低下し 3 年目にまた増加し, 1998 年で最も高く, 1999 年では 3 年間で最も低い値となった。

CP 含有率は未熟堆肥のみを施用した区において, 乾物収量と同様に施用量の増加に伴って上昇し 1999 年では M100 区と M200, M400 区との間に有意差が認められた。M100 区の値は対照区と有意差がなかった。年次経過に伴う一定の傾向は認められなかった。

トウモロコシによる窒素利用率については, 家畜排せつ物と化学肥料の利用率は第Ⅱ章で報告した

値を用いて計算により求め、表Ⅲ-3に示した。未熟堆肥 50t ha⁻¹ 施用時の窒素利用率を 28.4%，化学肥料 150kg ha⁻¹ 施用時の利用率は 63.2%とし、M50+N₁₅₀PK 区における施用物からの窒素吸収量を推定した。その結果、本試験の土壌からの窒素供給量は 3 年間の平均値で 97kg ha⁻¹ と推定された。これを M100 区、M200 区、M400 区の窒素吸収量から差し引き、施用した窒素に対する利用率を推定した。その結果、未熟堆肥を 100t ha⁻¹、200t ha⁻¹、400t ha⁻¹ 施用した時の窒素利用率はそれぞれ 29.6%、20.0%、11.8% になった。



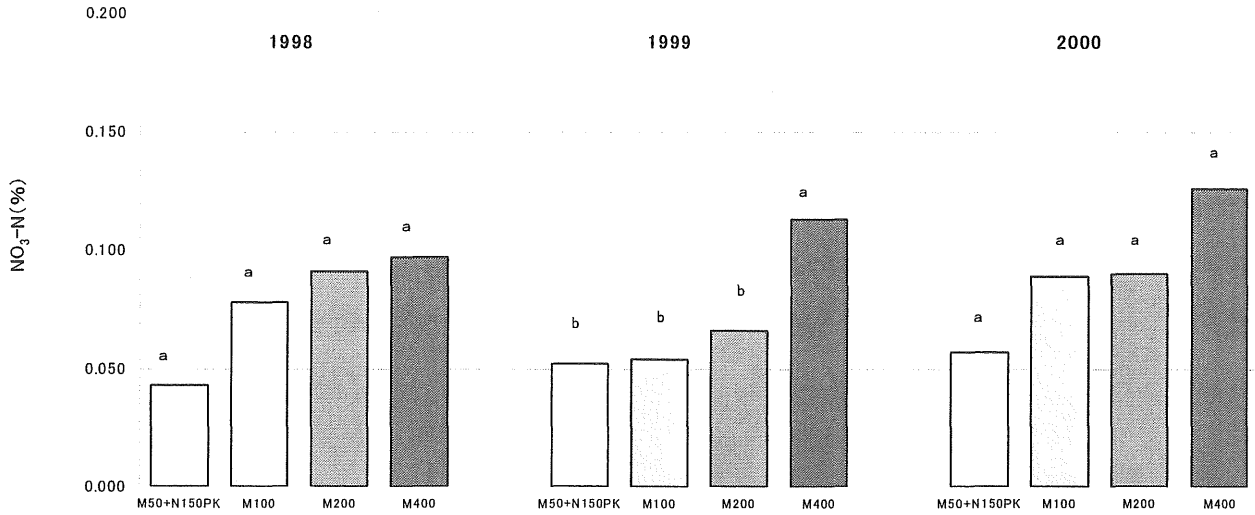
図Ⅲ-1. トウモロコシ中の乾物収量と粗タンパク質 (CP).

□ 茎葉 □ 雌穂 ● CP

¹ 処理区については表Ⅲ-1を参照.
² 処理区による有意差 (p<0.05) があるときに異なる符号を付した.

4) トウモロコシ中 NO₃-N, ミネラル含有率

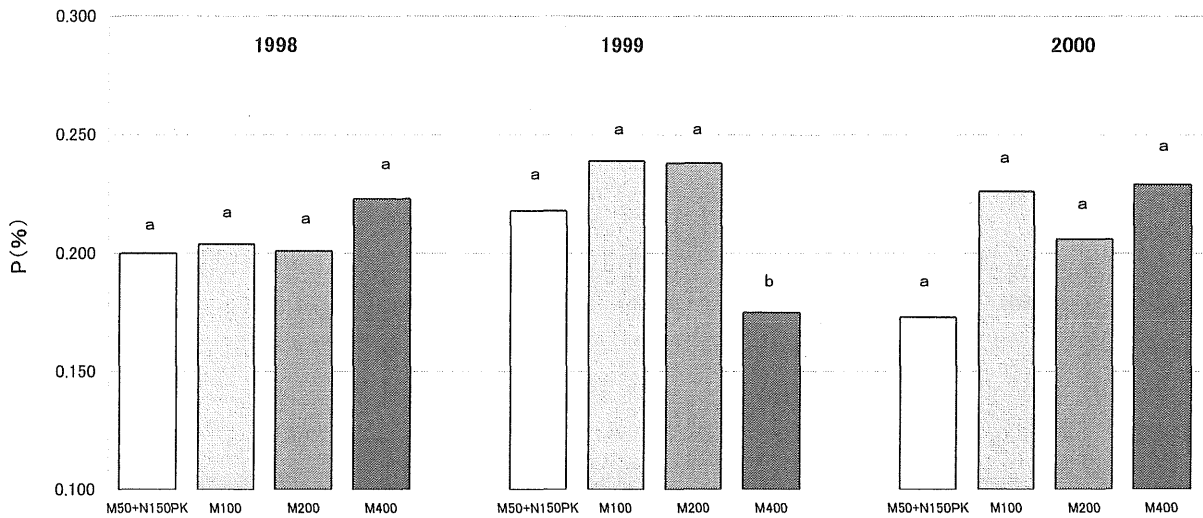
図Ⅲ-2～Ⅲ-5 にトウモロコシ中の NO₃-N, P, K および Mg 含有率を示した。作物体全体の NO₃-N 含有率は各年次とも施用量の増加に伴って値は上昇し、2000 年の M400 区で最も高い 0.126% を示した。1999 年の M400 区で他の処理区との間に有意差が認められたが、他の年次においてはなかった。また、各区の年次変動をみると M400 区においてのみ年次の経過とともに増加する傾向が認められた。これに対して、P, K, Mg 含有率は NO₃-N 含有率とは異なり、各年度とも施用量の増加に伴う値の変化、および年次経過に伴う一定の傾向は認められなかった。



図Ⅲ-2. トウモロコシ中の硝酸態窒素(NO₃-N)含有率の推移.

¹ 処理区については表Ⅲ-1を参照.

² 処理区による有意差(p<0.05)があるときに異なる符号を付した.



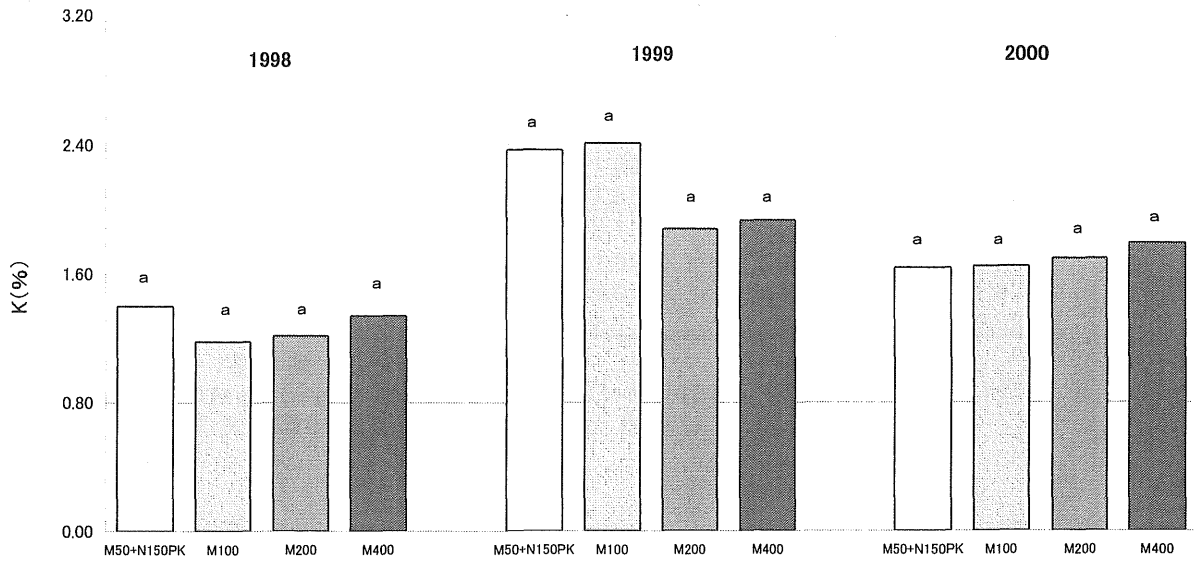
図Ⅲ-3. トウモロコシ中のリン(P)含有率の推移.

¹ 処理区については表Ⅲ-1を参照.

² 処理区による有意差(p<0.05)があるときに異なる符号を付した.

各ミネラルの成分値は施用量による大きな差は認められなかったため、ここではミネラルバランスについて検討を加えた。指標として牛の血清Mg量推定式を用いた。及川ら(1984)は、寒冷草地における放牧牛の血清Mg量(mg/100ml)を $4.756 \times \text{牧草中Mg(DM\%)} - 1.898 \times \text{牧草中P(DM\%)} - 0.173 \times \text{牧草中N(DM\%)} + 0.02 \times \text{平均気温(}^\circ\text{C)} + 2.148$ を用いて推定した。これは、牧草のMg,

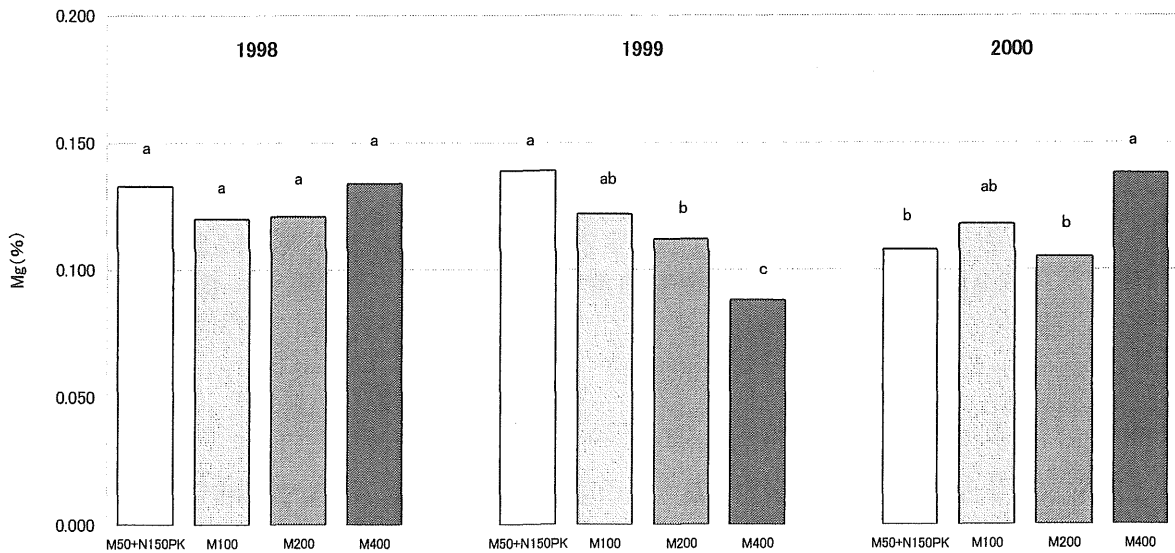
P, TN 含有率および気温から推定する式である。岩手県盛岡市の 1971 年から 2000 年の 1 月の平均気温 -2.1°C を入れて計算した。その結果, 最も低い値は 1999 年の M200 区と M400 区, 2000 年の M200 区の $1.97\text{mg}/100\text{ml}$ であった。



図Ⅲ-4. トウモロコシ中のカリウム(K)含有率の推移.

¹ 処理区については表Ⅲ-1を参照.

² 処理区による有意差 ($p < 0.05$) があるときに異なる符号を付した.



図Ⅲ-5. トウモロコシ中のマグネシウム(Mg)含有率の推移.

¹ 処理区については表Ⅲ-1を参照.

² 処理区による有意差 ($p < 0.05$) があるときに異なる符号を付した.

表Ⅲ-3. 牛の血清中マグネシウム(Mg)の推定.

部位	処理区 ¹	血清中Mg量 ² (mg/100ml)		
		1998	1999	2000
茎葉	M50+N ₁₅₀ PK	2.54	2.55	2.52
	M100	2.46	2.40	2.43
	M200	2.46	2.22	2.34
	M400	2.49	2.18	2.58
雌穂	M50+N ₁₅₀ PK	1.89	1.87	1.82
	M100	1.85	1.83	1.74
	M200	1.86	1.80	1.73
	M400	1.85	1.85	1.75
植物全体	M50+N ₁₅₀ PK	2.13	2.14	2.09
	M100	2.07	2.05	2.00
	M200	2.07	1.97	1.97
	M400	2.07	1.97	2.09

¹ 表Ⅲ-1を参照.

² 血清中Mg量(mg/100ml)推定式=4.765*Mg(%DM)-1.898*P(%DM)-0.173*CP(%DM)/6.25+0.02*(-2.1)°C+2.148.(及川ら 1984)を用いた.

表Ⅲ-4. トウモロコシによる推定全窒素(TN)利用率.¹

処理区 ²	施用窒素量 (kg ha ⁻¹)	窒素吸収量 (kg ha ⁻¹)	土壌からの ³ 窒素供給量 (kg ha ⁻¹)	推定窒素 ⁴ 利用率 (%)
M50+N ₁₅₀ PK	345	252	97	44.9
M100	418	222	—	31.0
M200	837	265	—	22.5
M400	1674	295	—	12.0

¹ 1998年から2000年までの3年間平均を示す.

² 表Ⅲ-1を参照.

³ 未熟堆肥50t ha⁻¹施用時の窒素利用率を28.4%, 化学肥料150kg ha⁻¹施用時の利用率は63.2%(第Ⅱ章, 図Ⅱ-1)として推定した.

⁴ (吸収窒素量-土壌からの窒素供給量)÷施用窒素量×100の式により求めた.

4 考察

本試験では家畜排せつ物を岩手県の施用基準の最大量を施用した区を対象として未熟堆肥のみを施用しトウモロコシの収量や品質, および土壌への影響について調べ, トウモロコシによる施用窒素の利用率について検討を加えた.

1) トウモロコシの乾物収量と窒素利用率

トウモロコシ栽培における未熟堆肥の施用は、第Ⅱ章と同様に窒素肥料としての効果を示したが、試験で設定した施用量では、収量の限界を確認することはできなかった。対象区では、施用成分量の年次による違いは未熟堆肥を施用した区より小さく、試験期間中の単純積算温度に対応した乾物収量の推移を示していた。第Ⅱ章では未熟堆肥 50t ha⁻¹ 施用した区での3年間の連用効果は認められていないことから、対象区では気象の影響を受けていたと考えられる。これに対して未熟堆肥のみの施用区の乾物収量は施用した窒素量に対応した推移を示していた。堆肥中の成分含有量の変動は家畜由来の排せつ物利用が使いにくいとの印象を与える1つといえる。しかし、堆肥成分およびその肥効率を把握したうえで、少ない施用量の場合には不足分を化学肥料で補うなど、トウモロコシの要求量を満たすことにより、この影響を小さくできると考えられる。

推定されたトウモロコシによる施用全窒素の利用率は 100t ha⁻¹ 施用時の利用率の値は、第Ⅱ章の未熟堆肥 50t ha⁻¹ 施用時の値とほぼ変わらない値となった。栽培年次が異なるために気象が影響していたことも考えられるが、原因の1つとして栽培した品種が異なっていたことにあると考えられる。第Ⅱ章で早生品種パイオニア 106 (36B08) の期待乾物収量は 19t ha⁻¹ (岩手県 2003) であり、この試験で栽培した中生品種、スノーデント 108 (DK542) は 22t ha⁻¹ (岩手県 2000) である。このために本試験で栽培した品種は吸収窒素量が多く、施用窒素に対する窒素効率が高くなったと考えられる。しかしながら、第Ⅱ章における未熟堆肥の施用量と窒素利用率の関係の推移とこの章で推定した施用量と窒素利用率の関係の推移をみた場合、傾向は大きく異なるものではなかった。

2) トウモロコシの品質

家畜排せつ物を多量に施用した場合には、硝酸態窒素濃度の上昇や作物中のミネラルバランスの悪化が指摘されている。硝酸態窒素含有率については生育ステージが進むことで 0.2%を下回る(杉原ら 1979)、収穫適期の黄熟期に刈り取りを行うことで NO₃-N の危険を回避することができる(原田ら 1996) との報告がされている。本試験でも、刈取ステージが適期の黄熟期以降であったため 0.2%以下となった。本試験では茎葉における硝酸態窒素含有率が危険値を越えていたが、子実中の硝酸態窒素含有率が極めて低かったために、子実割合の高いトウモロコシでは植物体全体では値が低くなっていたことも考えられる。しかしながら、400t ha⁻¹ を施用した区では年次経過にともない増加する傾向があり、この施用量での栽培では3年連用後には施用量を減ずる必要が生じると考えられる。

この章における多量施用試験の結果から、トウモロコシ中のミネラル含有率については施用量に

伴う成分増加など、明らかな傾向は得られなかった。このことから、及川ら（1984）の示した式を用いて牛の血清 Mg 量の推定した。この式は寒冷草地における放牧牛を対象としたものであり、本試験で栽培作物はトウモロコシで、これのみが飼料として給与されることはないが、この結果を用いミネラルバランスの変化について検討を加えた。推定値が 1.80mg/100ml 以上であればグラステタニー症発症の危険性はないとされるが、本試験では全ての区でこれを上回り、平均気温 -2.1℃でこのトウモロコシのみ採食しても発症する可能性は低いことが推察された。加えて、グラステタニー症の疾病発症の指標として、飼料中の CP 含有率と K 含有率の積と Mg 含有率から牛の血清中の Mg 濃度を推定して発症の危険性を判断する方法が図案化（Committee of mineral nutrition 1973）されている。推定図では CP 含有率と K 含有率の積は値が 30 から 100 まで設定されているが、本試験で得られたトウモロコシは作物体全体として全ての処理区および年次において値は 18 以下となり、発症の危険性をこの図から判断することはできなかった。

次に TDN 含有率をデータとしては示していないが次式により求めた。

$$\text{TDN} = \text{CP} \times 0.58 + \text{粗脂肪 (EE)} \times 0.81 \times 2.25 + \text{可溶性無窒素物} \times 0.77 + \text{粗繊維 (CF)} \times 0.52$$

乾物中の値は 3 年間の平均値で M50+N₁₅₀PK 区で 71.1%，M100 区，M200 区，M400 区で 71.3% と施用量に関わらずほぼ同じ値を示し、施用量および年次間に明瞭な傾向は認められなかった。また、EE は 3 年間平均で M50+N₁₅₀PK 区で 2.68%，M100 区で 2.75%，M200 区で 2.80%，M400 区で 2.74% となり、CF 含有率についても M50+N₁₅₀PK 区で 23.5%，M100 区で 24.7%，M200 区で 22.4%，M400 区で 22.4% と処理区間に大きな差はなかった。これは有機物を多量に連用したこの試験では、植物体の要求する成分が十分供給されていたために、各処理間に差が生じなかったと考えられる。

以上のことから、アロフェン質黒ボク土壌における未熟堆肥を施用したトウモロコシ栽培結果から、400t ha⁻¹までの 3 年間連用では、トウモロコシの成分は対照とした区と大きな違いは無く、未熟堆肥の施用量が 400t ha⁻¹であってもミネラルバランスの悪化などの明確な悪影響は確認されなかった。しかしながら、大量の未熟堆肥が施用された場合には土壌への影響が懸念されるため、この圃場における土壌成分の推移を明らかにし、今後の施用量の検討を行う必要がある。

第IV章 未熟堆肥の多量施用が施用成分収支とアロフェン質土壌の化学性へ及ぼす影響

1 緒言

岩手県内の畑土壌は火山灰を母材とする黒ボク土が大半を占めている。黒ボク土は有機物含有量が高く物理的に良好であるが、活性アルミニウムが多いためリン酸吸収係数が高く、リン酸を施用するなどの土壌化学性の改良が必要である。県内の黒ボク土は、母材の粘土鉱物により県北部の弱酸性のアロフェン質黒ボク土と県南の強酸性の非アロフェン質黒ボク土に大きく分けられる(三枝ら 1992)。アロフェン質黒ボク土は非アロフェン質黒ボク土に比べて pH 及びリン酸固定力が高いが、アンモニウムやカリウムイオンの保持力やその供給力は低いという特徴を持つ(三枝ら 1993)。

家畜排せつ物の多量連用が粗飼料生産圃場の土壌へ及ぼす影響については数々の研究が行われている。秋田ら(1992)は、pH6.5、可給態リン酸含有量が 8mg kg^{-1} の礫質黄色土の圃場でのトウモロコシとイタリアンの輪作条件下で、生牛ふんを 20 から 160t ha^{-1} 連用した時の土壌変化について、全窒素含有量やマグネシウム等の交換性塩基含有量の増加を報告し、品川(1985)らは黒ボク・黒ニガ土の混合土壌における牛生ふん尿の連続施用の試験で、土壌中の窒素含有量および有効態リン酸の増加、塩基飽和度の上昇及びリン酸吸収係数低下等の土壌化学性の改良に効果が認められたことを報告している。また、八槻ら(1992)が非アロフェン質土壌への堆肥の連続施用において、リン酸や交換性カリウムなど土壌中の成分集積を報告している。この他にも酸性土壌の改良効果についての報告(小野ら 2003, Whalen ら 2002)もみられる。

第III章ではアロフェン質黒ボク土の圃場において切返し作業などをほとんど行わない状態の牛排せつ物を多量連用して飼料用トウモロコシ(*Zea mays* L.)栽培試験を行い、収量や成分組成へ及ぼす影響について検討した。

本章では、未熟堆肥を多量に施用したトウモロコシ栽培試験の圃場について、土壌性状の変化という観点から牛排せつ物の多量連用が土壌へ及ぼす影響について検討を行った。

2 材料と方法

前章で行った栽培試験を行った翌年の春(1999, 2000, 2001年の4月上旬)の土壌について地

表より 0~15 cm の深さで採取し、通風乾燥 (70°C, 48 時間) 後、1mm のふるいを通して成分分析を行った。pH は乾燥質量/脱塩水比 1:5 で攪拌後ガラス電極法、電気伝導度 (EC) は乾燥質量/脱塩水比 1:10 で攪拌後 EC メーター、全炭素 (TC) は乾式燃焼法、灰分 (Ash) は強熱減量法により、それぞれ分析を行った。全窒素 (TN) は、いずれの堆肥も硝酸性窒素 ($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) が硫酸分解によるケルダール窒素の 0.1% 以下であったため、ケルダール窒素を全窒素とした。また、硫酸-過酸化水素法により湿式分解し、リン酸はアスコルビン酸還元法、カリウム (K_2O) は炎光法、カルシウム (CaO) とマグネシウム (MgO) は原子吸光法により求めた。分析は堆肥等有機物分析法 (日本土壤協会 2000) に順じて行った。

分析値の統計処理は SAS コンピュータープログラム ANOVA (SAS Institute Inc 1997) を用いて行った。有意差 ($P < 0.05$) が認められた場合には、同プログラムの Ryan-Einot-Gabriel-Welsch の多重検定を用いて処理間の有意差を検討した。

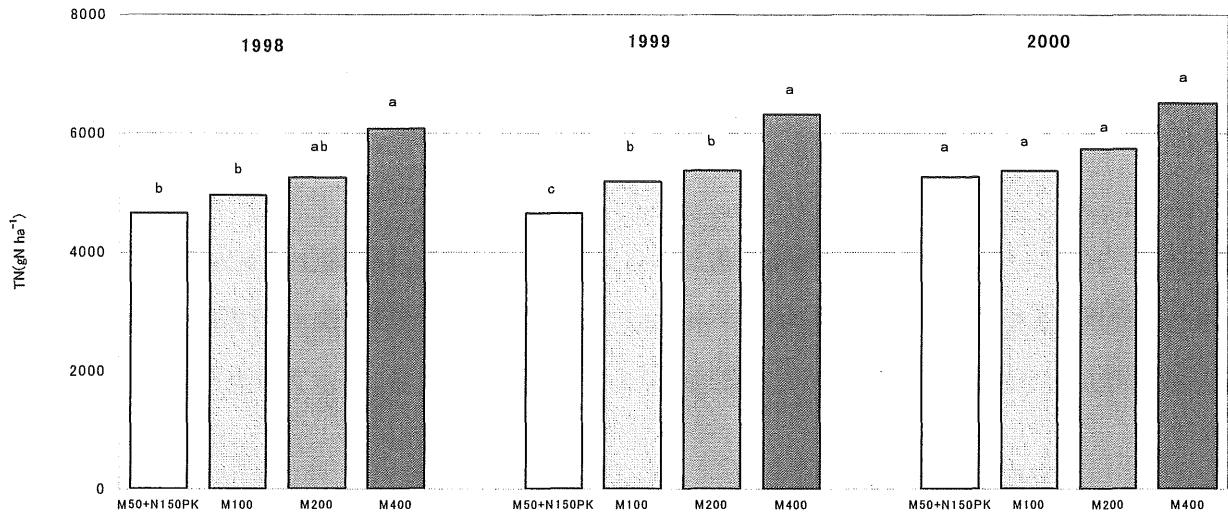
3 結果

1) 全窒素の収支と土壌中全窒素および有機物含有量

各栽培年における全窒素 (TN) の圃場への施用量とトウモロコシによる吸収量の収支を表 IV-1 に示した。施用分量は施用量と施用した牛糞せつ物の成分値および化学肥料量から求め、吸収分量は同様にトウモロコシ地上部収量とその成分値から求めた。土壌中の TN 含有量と有機物 (VS) の含有率はそれぞれ図 IV-1 と図 IV-2 に示した。

処理区 ¹	1998	1999	2000	合計
	―― 施用量 ――			
M 50+N ₁₅₀ P K	440	304	334	1078
M 100	580	308	368	1255
M 200	1160	615	735	2511
M 400	2320	1231	1471	5022
	―― 吸収量 ――			
M 50+N ₁₅₀ P K	247	240	266	753
M 100	245	165	274	684
M 200	306	244	295	846
M 400	334	257	296	887
	―― 収支 ――			
M 50+N ₁₅₀ P K	193	64	68	325
M 100	335	142	94	571
M 200	854	371	440	1665
M 400	1986	974	1174	4134

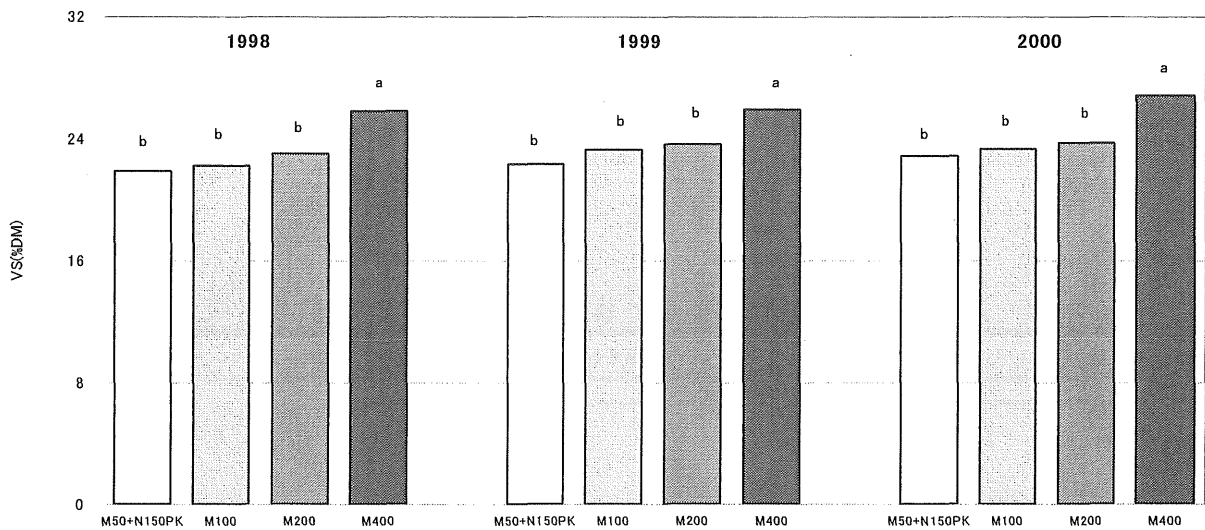
¹ 表 III-1 を参照.



図IV-1. 土壌中の全窒素量(TN)の推移.

¹ 処理区については表III-1を参照.

² 処理区による有意差($p < 0.05$)があるときに異なる符号を付した.



図IV-2. 土壌中の強熱減量(VS)の推移.

¹ 処理区については表III-1を参照.

² 処理区による有意差($p < 0.05$)があるときに異なる符号を付した.

全窒素の収支は全ての年次・処理区でプラスを示し、施用量が吸収量を上回る結果となった。土壌中のTNを処理間で比較すると、値は施用量の増加にともない上昇しM400区で最も高くなった。年次別では、1999年はM50+N₁₅₀PK区、M100区との間に、2000年は化学肥料併用区(M50+N₁₅₀PK区)、M100区、M200区とその他の全処理区との間に有意差が認められた。土壌中の有機物の変化を確認す

るために、風乾土中の灰分割合を差し引いた成分である強熱原料（VS）%の推移を検討した。この値の推移はTNとほぼ同様となり、未熟堆肥の施用量増加および年次経過に伴って上昇した。M400区では1999年はM50+N₁₅₀PK区、M100区との間に、2001年は他の3区との間に有意差が認められた。

2) リン酸の収支と土壌のリン酸吸収係数および可給態リン酸含有量

リン酸収支は表IV-2に示した。P₂O₅施用量には1998年春の土壌改良時に施用された資材に由来する66kg ha⁻¹が含まれている。リン酸吸収係数および可給態リン酸（P₂O₅）の変化をそれぞれ図IV-3と図IV-4に示した。

施用成分と吸収性分量の収支は全ての年次および全処理区でプラスであった。最も収支の値が小さかったM50+N₁₅₀PK区でも、1999年、2000年、2001年の各年においてそれぞれ299kg ha⁻¹、201kg ha⁻¹から、226kg ha⁻¹の利用されない結果となった。

リン酸吸収係数は全ての試験年次で施用量が多くなるにしたがい値は低下した。M50+N₁₅₀PK区で最も高く、400Mg区で最も低くなり、2000年はM50+N₁₅₀PK区との間に、2001年はM50+N₁₅₀PK区、M100区との間に有意差が認められた。連用の影響については、M400区で年次の経過に伴う値の上昇が認められたが、その他の区では値が年次によって変動したために3年の試験期間では一定の傾向は認められなかった。

表IV-2. トウモロコシ栽培におけるリン酸（P₂O₅）の収支 (kg ha⁻¹)

処理区 ¹	1998	1999	2000	合計
―― 施用量 ――				
M50+N ₁₅₀ PK	386 ²	300	318	1004
M100	466	359	397	1221
M200	867	718	794	2379
M400	1668	1436	1588	4625
―― 吸収量 ――				
M50+N ₁₅₀ PK	87	99	92	277
M100	91	87	102	280
M200	105	104	102	311
M400	119	81	114	314
―― 収支 ――				
M50+N ₁₅₀ PK	299	201	226	727
M100	375	272	294	942
M200	762	614	692	2068
M400	1549	1355	1474	4311

¹ 表III-1を参照.

² 1998年の施用量には土壌改良時のP₂O₅ 66kg ha⁻¹が含まれる.

³ 吸収量はトウモロコシの吸収したリン(P)をP₂O₅に換算した.

P_2O_5 含有量の処理間比較では、リン酸吸収係数とは逆に施用量の増加に伴い値は増加して M50+N₁₅₀PK 区で最も低く、M400 区で高くなり、2000 年と 2001 年では有意差が認められた。連用については、M200 区を除いた区で年次経過に伴う値の増加する傾向が認められた。

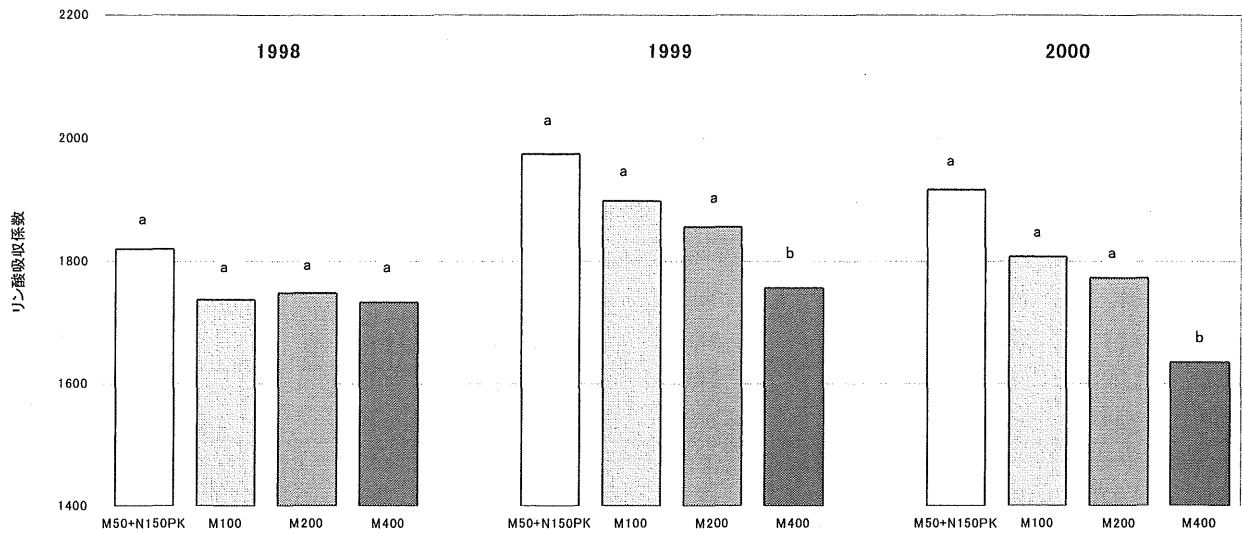


図 IV-3. 土壌のリン酸吸収係数の推移.

¹ 処理区については表 III-1 を参照.

² 処理区による有意差 ($p < 0.05$) があるときに異なる符号を付した.

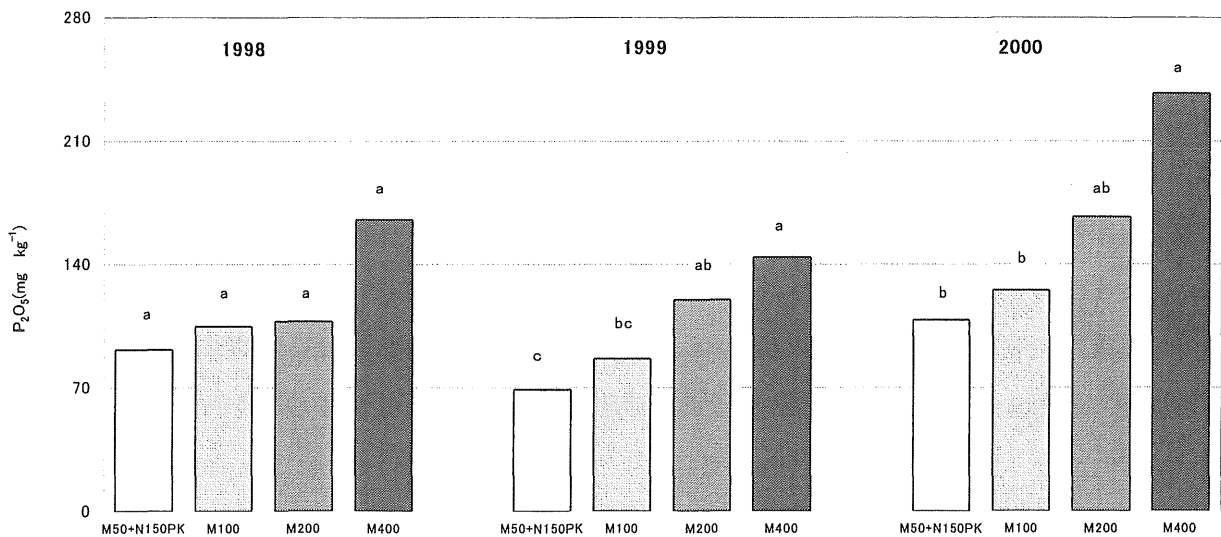


図 IV-4 土壌のリン酸吸収係数とリン酸 (P_2O_5) 含有量の推移.

¹ 処理区については表 III-1 を参照.

² 処理区による有意差 ($p < 0.05$) があるときに異なる符号を付した.

3) カリウムおよびマグネシウムの収支と土壌中含有量の推移

カリウム (K₂O) およびマグネシウム (MgO) 収支は表IV-3 に示したが, MgO 施用量には 1998 年春の土壌改良時に施用された資材に由来する 49kg ha⁻¹が含まれている。K₂O, MgO 含有量の分析値をそれぞれ図IV-5 と図IV-6 に示した。

表IV-3. トウモロコシ栽培における交換性塩基カリウム (K₂O), マグネシウム (MgO) の収支. (kg ha⁻¹)

処理区 ¹	K ₂ O				MgO			
	1999	2000	2001	合計	1999	2000	2001	合計
	施用量							
M50+N ₁₅₀ PK	445	375	516	1336	414 ²	31	76	522
M100	690	551	832	2074	780	62	151	993
M200	1380	1102	1663	4145	1510	125	302	1937
M400	2760	2203	3326	8290	2971	250	605	4625
	吸収量							
M50+N ₁₅₀ PK	319	563	455	1338	42	45	41	128
M100	276	462	392	1130	39	32	39	109
M200	334	434	433	1201	46	35	37	118
M400	375	470	469	1314	52	30	49	131
	収支							
M50+N ₁₅₀ PK	126	-188	61	-2	373	-14	35	394
M100	414	89	440	944	742	30	112	884
M200	1046	668	1230	2944	1465	90	265	1820
M400	2385	1732	2857	6976	2920	220	556	4494

¹ 表Ⅲ-1を参照。

² 1998年の施用量には土壌改良時の交換性マグネシウム (MgO) 49.5kg ha⁻¹が含まれる。

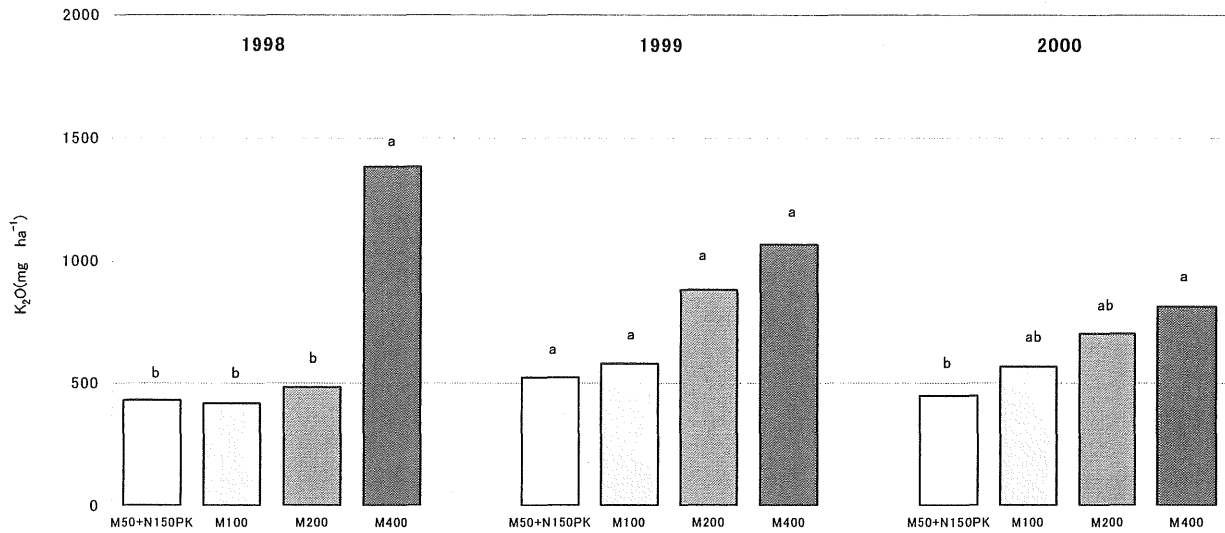
³ 吸収量はトウモロコシの吸収したカリウム (K)をK₂Oに, マグネシウム (Mg)をMgOに換算した。

K₂O 収支は 1999 年と 2000 年の M50+N₁₅₀PK 区でマイナスの値を示し, 吸収量が施用量よりも大きい結果となった以外, その他の処理区・年度では, 各成分の収支はいずれもプラスであった。栽培試験を行った 3 年間の合計値でも, 対照区とした M50+N₁₅₀PK 区では収支がマイナスの値となり, 施用した成分よりやや多い K₂O がトウモロコシに吸収されたことを示していた。M400 区の 3 年間の K₂O 施用量は 8290kg ha⁻¹, K₂O 吸収量は 1314kg ha⁻¹で, 収支は 6976kg ha⁻¹となった。また, MgO 収支では 2000 年の M50+N₁₅₀PK 区で施用量と吸収量の差はマイナスであり, その他の処理区・年度でいずれもプラスであった。

土壌中の K₂O 含有量は施用量に伴い増加した。どの年次においても M50+N₁₅₀PK 区と M100 区, M200 区との間には有意差は認められなかったが, M400 区は 1999 年は他の 3 区より, 2000 年は M50+N₁₅₀PK 区より有意に高い値を示した。また, 年次に伴う変化では M50+N₁₅₀PK 区および M100

区の値は3年間の値はほぼ変わらず，M200区，M400区においても一定の傾向は認められなかった。

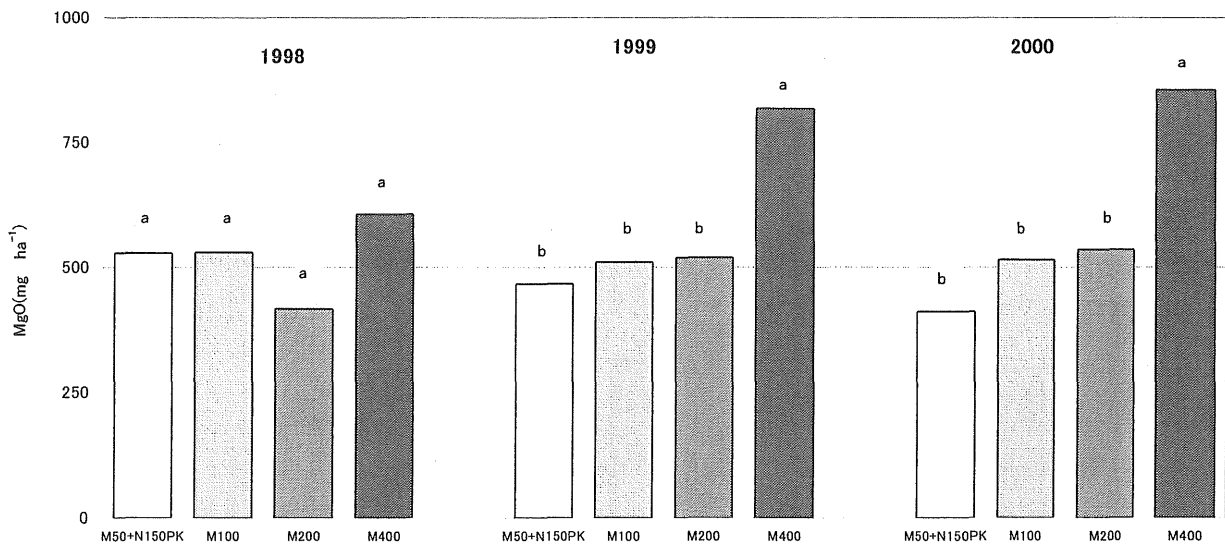
MgO含有量の値は，M400区で2000年，2001年に他の3処理区に比較して有意に高くなり，値はそれぞれ818mg ha⁻¹，856mg ha⁻¹となった。また，このM400区では年次経過とともに値は上昇した。しかし，その他の区での上昇は認められなかった。



図IV-5 土壌の交換性カリウム(K₂O)含有量の推移.

¹ 処理区については表Ⅲ-1を参照.

² 処理区による有意差(p<0.05)があるときに異なる符号を付した.



図IV-6 土壌の交換性マグネシウム(MgO)含有量の推移.

¹ 処理区については表Ⅲ-1を参照.

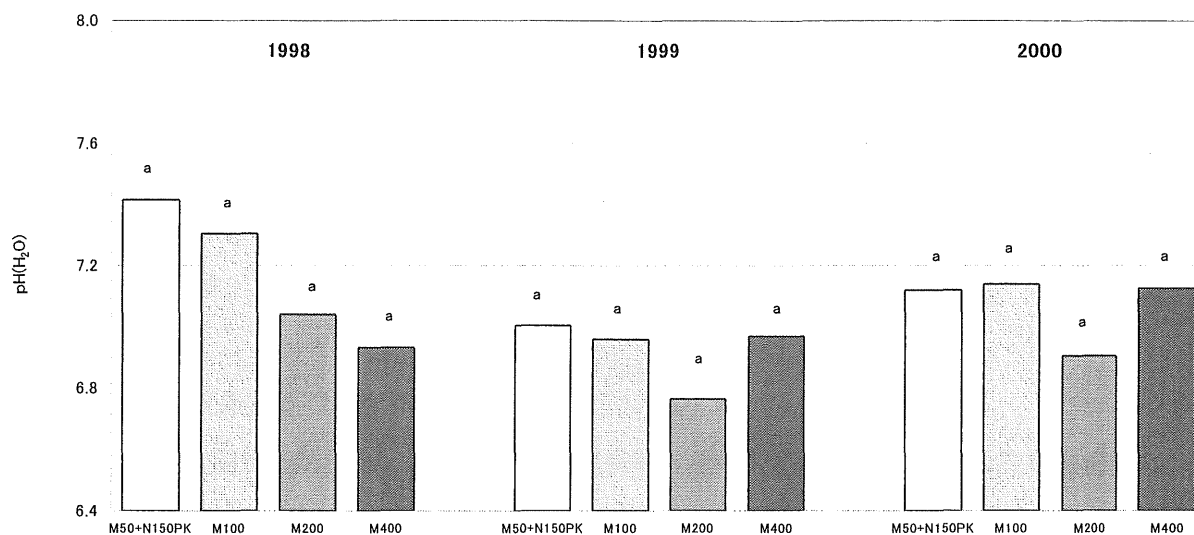
² 処理区による有意差(p<0.05)があるときに異なる符号を付した.

4) 土壌の pH, EC の推移

土壌の pH および EC の分析結果をそれぞれ図IV-7 と図IV-8 に示した。

pH において施用量増加や年次経過に伴う一定の傾向は確認できなかった。

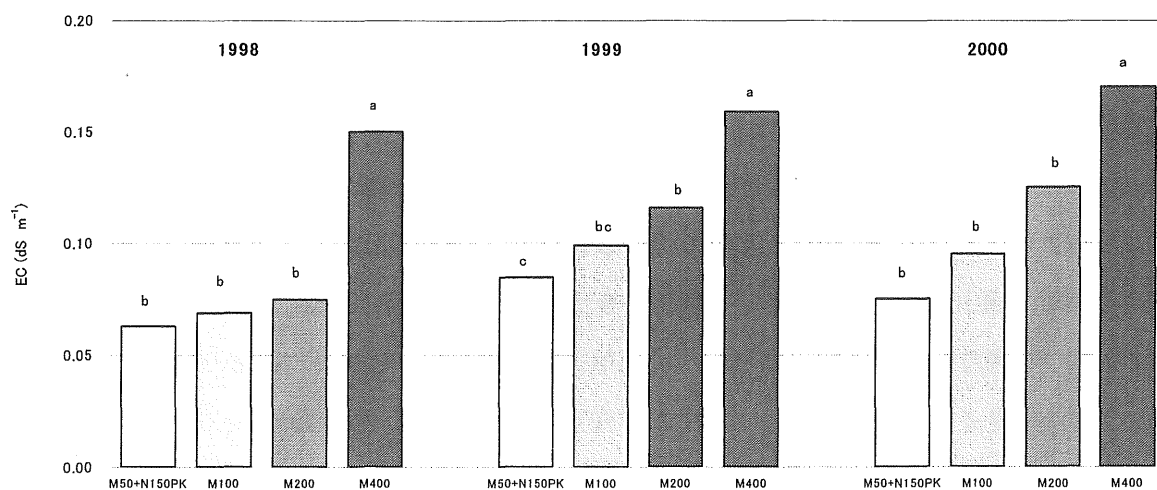
EC は各年次とも処理間を比較した場合には牛排せつ物の施用量増加に伴い値は増加した。特に、M400 区の 1999 年から 2001 年の値は 0.150 dS m^{-1} から 0.170 dS m^{-1} を示し M50+N₁₅₀PK 区や M100 区に比較して有意に高かった。年次間には一定の傾向が認められなかった。



図IV-7. 土壌のpH(H₂O)の推移.

¹ 処理区については表Ⅲ-1を参照.

² 処理区による有意差 ($p < 0.05$) があるときに異なる符号を付した.



図IV-8 土壌の電気伝導度(EC)の推移.

¹ 処理区については表Ⅲ-1を参照.

² 処理区による有意差 ($p < 0.05$) があるときに異なる符号を付した.

4 考 察

1) 土壤有機物含有量に及ぼす影響

家畜由来の有機物を施用することによる土壤への影響として、大橋ら(1985b)および秋田ら(1992)は物理性の変化として土壤の膨軟化を報告している。また、六本木ら(1993)は堆厩肥 80t ha^{-1} を連用した輪作試験において連用5年目から土壤中の全窒素含有量増加が認められたことを、Eghball(2002)は Manure の施用による土壤有機物含有量の増加を報告している。本試験においても、施用量の増加及び連用に伴う TN や VS の上昇が確認され、土壤中の有機物含有量の増加が明らかとなった。有機物含有量の増加は、いわゆる地力の増加を意味し、土壤からの窒素供給のもととなるものと考えられる。前章の試験期間3年の栽培結果からは連用による土壤からの窒素供給量は判然としなかった。しかし、土壤中の有機物含有量は上昇傾向が認められ、この期間を超える連用の場合には土壤からの供給量が期待される。また、観察結果ではあるものの、試験区における顕著な土壤の盛り上がり確認されており、膨軟化など土壤物理性の改善も伺われる。

2) リン酸吸収係数、可給態リン酸

土壤のリン酸固定能の指標となるリン酸吸収係数は化学肥料や牛排せつ物の施用量増加に伴って減少しており、品川ら(1985)や杉原ら(1979)の報告と同様の結果となった。この値は黒ボク土の特性である1500以上という値を下回らずなかった。これはアロフェン質黒ボク土に含まれる多量の活性アルミニウムが、本試験で設定していた最も多い施用量でも飽和しなかったことを示していると考えられた。

可給態リン酸については、大橋ら(1985a)や品川ら(1985)は有機物の連用による増加を報告している。本試験において、成分収支から、大量の成分がトウモロコシの栽培圃場に残留していることが考えられたにもかかわらず、土壤中の値が高くなったのは連用を3年間行った後の2001年春採取の土壤においてであった。連用の効果が緩やかに生じたのは、施用された家畜排せつ物からのリン酸供給により土壤のリン酸固定能力を低下が進んできたことに加えて、菌体等に取り込まれていたリン酸の無機化が起り始めたことが考えられた。このときの可給態リン酸含有量は火山灰土壤の改良目標値 ($100\text{mgP}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$) を満たしている。また、この値は全ての区において岩手県で定めている地力・有機物施用を考慮した岩手県土壤・施肥管理指針(岩手県1997)の減肥基準である 500mg kg^{-1} を超えることはなかった。

今回測定した正リン酸法によるリン酸吸収係数は2.5%リン酸アンモニウム法よりも低濃度リン酸

液を使用しているために、土壌中の可給態リン酸の蓄積によって値が低下する傾向が認められる。本試験ではこのことが400t区で認められている。未熟堆肥の施用によってリン酸成分が供給され、結果として黒ボク土の不良化学性を改良することへとつながった。

3) 土壌の化学性に及ぼす影響

3年間の連年施用による栽培試験の成分収支から、対照区とした化学肥料併用区の K_2O 含有量以外はプラスの値を示しており、土壌中には多量の成分が飼料用トウモロコシに吸収されずに存在することが考えられた。しかし、 K_2O 含有量の推移について各処理を比較すると、非アロフェン質黒ボク土で見られるような堆肥の多量施用による成分集積(八槻ら1992, 小野ら2003)は顕著ではなかった。施用量に伴う値の上昇が認められたが、これは過剰に施用した成分のごく一部でしかなかった。これは試験を行った壤が粘土鉱物のアロフェンが K_2O を吸着できないという荷電特性を示すアロフェン質黒ボク土であったことにあり、過剰成分の大部分は杉原ら(1979)の指摘するように下層に流亡したものと考えられる。岩手県南部に分布する非アロフェン質黒ボク土(三枝ら1993)で行った試験で小野ら(2003)は、家畜糞堆肥の多量施用によって土壌中交換性カリウムが高まりやすいことを報告している。これは土壌中の粘土A1バーミキュライトがKを多量に吸着したためである。この土壌では、本試験の施用量で含有成分量の上昇が生じることが推測される。なお、年次によって値が変動しているのは、圃場において施用した家畜排せつ物と土壌の混和の状況が不均一であったために土壌分析値に影響していることが考えられた。

MgO含有量について秋田ら(1992)は牛ふん及び牛ふんたい肥の施用による含有量の増加を報告しているが、広田ら(1989)はアロフェン質黒ボク土で行われた試験において含有量の経年的な低下を、杉原ら(1979)は牛厩肥の施用で1年目には値は上昇するもののその後低下していくことを報告している。また広田らはMgOの低下は植物による吸収よりも土壌下層への流亡が大きく影響していると考えられ、MgO資材の施用の必要性もあわせて報告している。本試験では施用した未熟堆肥が $50t\ ha^{-1}$ であった化学肥料施用区において広田ら(1989)と同様の結果となったが、 $100t\ ha^{-1}$ を施用した区では3年間ともほぼ同様な値となり、 $400kg\ ha^{-1}$ の施用では土壌への集積が認められた。この圃場で栽培したトウモロコシ中の含有量には影響していないものと考えられるが、MgO成分の施用については $100t\ ha^{-1}$ 以上の施用でトウモロコシの要求量を満たすことができると考えられるが、それ以下の施用では成分の施用の必要性が示唆される。

家畜由来の排せつ物の施用によるpH上昇効果を小野ら(2003)は岩手県南部の非アロフェン質黒

ボク土において、杉原ら (1979) はアロフェン質黒ボク土で、Whalen ら(2000)は Canadian System of Soil Classification の土壌分類により Gray Luvisol (pH4.8), Orthic Gray Luvisol (pH5.6) に分類されるシルト質土壌で報告している。しかしながら、本試験ではこれらの報告に見られるような pH の上昇は確認できなかった。このことは、栽培初年度の炭酸カルシウム資材による土壌改良の影響によって試験土壌の pH が著しく高い値となっていたために牛排せつ物の多量施用の条件下においてもそれ以上の上昇は認められなかったこと、更に化学肥料区も 50t ha⁻¹の糞尿が施用されていることが原因であると考えられた。逆に牛排せつ物を施用しなかった場合には pH の低下が考えられることから、上昇は認められなかったものの低下を防いだ可能性も考えられた。

EC については、杉原ら (1979) はアロフェン質黒ボク土壌での施用試験を 6 年間行った跡地土壌について値が上昇したことを報告しているが、本試験においても同様の結果となり上昇が認められた。しかしながら、試験圃場が露地であることから降雨の影響が考えられ 400t 区でも 0.148dSm⁻¹とハウス内土壌で生じるような EC の上昇が認められなかった。このことは、杉原ら (1979) の厩肥 320t ha⁻¹を 6 年間連用した後の土壌に極端な塩類濃度の上昇が認められなかったとの報告と同様であった。

また、年次経過に伴う NO₃-N 含有量の変化については示さなかったが、杉原ら (1979) の土壌中の NO₃-N 動態は土壌内の水分の移動に大きく影響されることから、土壌の表層には経年的な累積は認められないとの報告と同様に本試験圃場においても春の雪解けや降雨等によって年度による値の変動が生じたと考えられる。また、黒ボク土壌の下層土においては西尾 (2006) が NO₃-N の吸着を認めており、吸着された NO₃-N の今後の行方については長期のモニタリングに期待している。牛排せつ物の施用量と NO₃-N 含有量の関係では、増加に伴い値は上昇し 400t 区で最も高い値を示している。このことは、有機物の施用により土壌中の微生物が増加し消化活性が高まる (宮本ら 1978) という報告や manure は NO₃-N の蓄積量および窒素無機化量を増加させる (Chang C ら 1993) との報告からも施用量に伴い NO₃-N 含有量は高まり、土壌中での有機態窒素分解が生じていることが伺えた。また、岩手県土壌・施肥管理指針 (岩手県 1997) の普通畑作物の減肥基準は 110mg kg⁻¹以下と定められているが、本試験では 400t ha⁻¹施用の区を含め全ての処理区でこの値を大きく下回る 10mg kg⁻¹以下であった。

本試験において、施用成分と飼料用トウモロコシによる吸収成分の収支からほとんどの処理区において、土壌への成分集積が予想された。しかし、200t ha⁻¹以下の施用では土壌中の K₂O や P₂O₅ の明らかな成分集積は認められず、MgO および有機物含有量を増加させ、燐酸吸収係数を下げる結果となった。アロフェン質黒ボク土壌において未熟堆肥の施用は活性アルミニウムが多く弱酸性の性質を持つことから、土壌改良に有効に働く結果となった。岩手県のトウモロコシの栽培基準は堆肥 30 から 40t ha⁻¹

に化学肥料を窒素成分として 150kg ha^{-1} としている。堆肥に関しては堆肥化の方法には触れられていない。第 I 章の未熟堆肥のトウモロコシによる窒素成分利用率，第 II 章のトウモロコシの乾物収量，含有成分や窒素成分の利用率の推移および本章の土壌への影響についての結果から，未熟堆肥を施用する場合の施用量および併用化学肥料量について，成分を有効利用しながら環境への負荷を最小限にするための検討が必要と考えられる。

第V章 環境負荷ガス発生量および窒素利用率に基づく未熟堆肥の最適施用量

1 緒言

近年、日本の食料自給率はカロリーベースで40%まで低下している。牛乳、牛肉、卵や豚肉などの畜産物は自国で生産されているように見えるが、家畜の餌となる穀物のほとんどを海外からの輸入に大きく依存しているのが事実である。鶏や豚に比較して自給飼料の割合が高いとされる搾乳農家および肉用牛の飼育農家においても、濃厚飼料や粗飼料の多くを購入に頼っており、自給飼料の作付面積は近年ほぼ横ばいである。国際的には飼料用トウモロコシ (*Zea mays* L.) はバイオエタノール生産の影響を受け、家畜飼料向けの生産が減少する傾向にあるため価格が上昇し、輸入量が減少している(農林水産省 2008b)。このような状況の中で、国内においてトウモロコシを生産することは重要な飼料自給率向上の対策となる。トウモロコシの栽培においては、通常、化学肥料と家畜排せつ物由来の堆肥を施用する。化学肥料は、原油価格の高騰が進み生産コストが上昇したことから、国内で販売される価格はここ数年で2倍近くまで上昇している(農林水産省 2008a)。このような状況の中で、栽培で畜産農家は経営内から排出される家畜排せつ物を利用することは、資源の有効利用だけでなく、経済的な側面からも有効であると考えられる。

第II章では堆肥化施設で行われている機械による強制的な通気と攪拌をせずに、切り返しもほとんど行わない堆積のみの堆肥化を行った未熟堆肥は、トウモロコシへの窒素肥効が期待できること、その未熟堆肥を多量施用した場合にトウモロコシ成分へ及ぼす影響を第III章に、栽培土壌(アロフェン質黒ボク土)の化学性へ及ぼす影響について第IV章で述べた。これらの試験結果をもとに本章では、未熟堆肥をトウモロコシ栽培に利用する際の適正施用量について、トウモロコシによる窒素利用率および施用物からの窒素吸収量、栽培体系における環境負荷ガスの発生量を考慮しながら検討を加えることとした。

2 方法

1) トウモロコシの乾物収量と吸収窒素量の関係

第II章の早生品種パイオニア106(36B08)と第III章の中生品種スノーデント108(DK542)の栽培試験をもとに、各区の乾物収量とそのときの全窒素(TN)吸収量から関係について式を求めた。

2) 施用物からの窒素供給量の推定

第Ⅱ章、第Ⅲ章および第Ⅳ章において報告した化学肥料および未熟堆肥の施用窒素量に対するトウモロコシによる窒素利用率の結果を用いて、各施用物の施用量に対する窒素利用率の推定式を求めた。この式から、窒素利用率の式から化学肥料と未熟堆肥の併用時における窒素供給量を推定した。このとき、推定に用いた未熟堆肥の乾物率および全窒素含有率は第Ⅱ章および第Ⅲ章で施用した未熟堆肥成分の平均値を用いた。乾物は25.8%、現物中全窒素含有率は0.18%とした。

3). インベントリ分析による環境負荷ガス発生量の推定

トウモロコシ栽培において、未熟堆肥を利用する際の施用量の変化に伴い発生する環境負荷ガスの量を明らかにするために、インベントリ分析を用いて発生量の推定を行った。このときのインベントリ分析はLCA手法を用いた農作物栽培の環境影響評価実施マニュアル（農業環境技術研究所 2003）に順じて行い、評価の範囲とした栽培にかかる作業は、圃場の耕起、施肥、播種、雑草防除および収穫作業とした。作業のエネルギー消費量は表V-1の値を、使用資材は表V-2の値を用い、環境負荷物質の原単位については表V-3を用いた。インベントリ分析によりに施用した化学肥料（尿素、リン酸、塩化カリ）の種類、未熟堆肥対比の施用量、施用量に伴うトウモロコシの収量を入力し、化学肥料のみでの栽培と未熟堆肥のみでの栽培とにわけて1haあたりから発生する環境負荷ガス量を計算した。このとき、未熟堆肥の堆積堆肥化および化学肥料の製造過程における環境負荷ガス発生量を範囲に含めた。この結果を用いて、化学肥料施用のみでの栽培に伴う環境負荷ガス発生量を、同様に未熟堆肥のみを用いた場合の環境負荷ガス量を施用量ごとに推定し、それを用いて化学肥料と未熟堆肥を併用した場合のガス発生量を推定した。このときの環境負荷ガスは二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）および亜酸化窒素（N₂O）とし、発生量はCO₂に換算した。

表V-1. 飼料用トウモロコシ栽培にかかる作業内容、機械および消費燃料量。

作業内容 ¹	作業機械 ²	作業時間 ² (h/ha)	燃料消費量 ² (L/h)	消費燃料 ² (L)
堆肥散布	トラクタ(85ps), マニュアルフレック(3.0m ³ 、作業巾2.4m)	1.39	3.50	4.87
耕起	トラクタ(85ps), ボトムブ劳(20×1)	5.71	7.50	42.83
砕土	トラクタ(85ps), ディスクハロー(18×24cm)	1.19	7.50	8.93
整地	トラクタ(85ps), ツースハロー(作業巾2.4m)	1.74	9.00	15.66
施肥(化学肥料)	トラクタ(85ps), プロトキャスト(300L)	0.51	2.50	1.28
播種	トラクタ(85ps), コーンプランタ(4条)	1.40	6.00	8.40
除草剤散布(土壌処理)	トラクタ(85ps), フームスプレーヤー(幅8m, 400L)	0.77	3.50	2.70
除草剤散布(生育処理)	トラクタ(85ps), フームスプレーヤー(幅8m, 400L)	0.77	3.50	2.70
刈り取り	トラクタ(85ps), コーンハーベスター(2条)	2.22	14.50	32.19
計		15.70		119.53

1 技術体系データベースシステム(岩手県 2005) <http://fsdb.dc.affrc.go.jp/gijututaikei-2005/cgi-bin/iwate02.cgi>

2 機械化計画の立て方(JA全農 資材・農機部 1998)より

表 V-2. 飼料用トウモロコシ栽培にかかる使用資材名と価格.

使用資材 ¹	資材名 ¹	価格
化学肥料	尿素	52 円 kg ⁻¹ ²
	リン酸	49 円 kg ⁻¹ ²
	塩化カリ	46 円 kg ⁻¹ ²
堆肥	未熟たい肥	0 円 t ⁻¹ ³
農薬	エコトップ	6 円 ml ⁻¹ ⁴
	ゲザノンフロアブル	4 円 ml ⁻¹ ⁴

1 技術体系データベースシステム(岩手県 2005)

2 平成19年度の岩手県畜産研究所における購入価格

3 経営内利用のため価格はなし

4 業者からの聞き取り

表 V-3. 環境負荷物質の排出原単位.

環境影響項目	単位	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	文献
燃料使用	軽油	g/L	2,619	-	1)
化学肥料製造	単質肥料	g/円	9.0	-	1)
	複合肥料	g/円	5.9	-	1)
	有機肥料	g/円	2.4	-	1)
	農薬製造	g/円	3.8	-	1)
作物吸収	g	DM収量 × 0.4 × 44 ÷ 12	-	-	1)
土壌吸収	飼料畑	kg/ha/年	-	0.83	2)
土壌放出	飼料畑	kg/kgN	-	0.006	1)
堆肥化(乳牛)	堆積発酵	gCH ₄ /g有機物	-	3.80	3)
堆肥化(肉牛)	堆積発酵	gCH ₄ /g有機物	-	0.13	3)
堆肥化(豚)	堆積発酵	gCH ₄ /g有機物	-	0.16	3)
堆肥化(採卵鶏)	堆積発酵	gCH ₄ /g有機物	-	0.14	3)
堆肥化(乳牛)	堆積発酵	gN ₂ O-N/gN	-	2.40	3)
堆肥化(肉牛)	堆積発酵	gN ₂ O-N/gN	-	1.60	3)
堆肥化(豚)	堆積発酵	gN ₂ O-N/gN	-	2.50	3)
堆肥化(採卵鶏)	堆積発酵	gN ₂ O-N/gN	-	2.00	3)

1) 農業環境技術研究所(2003) LCAを用いた農作物栽培の環境影響評価実施マニュアル

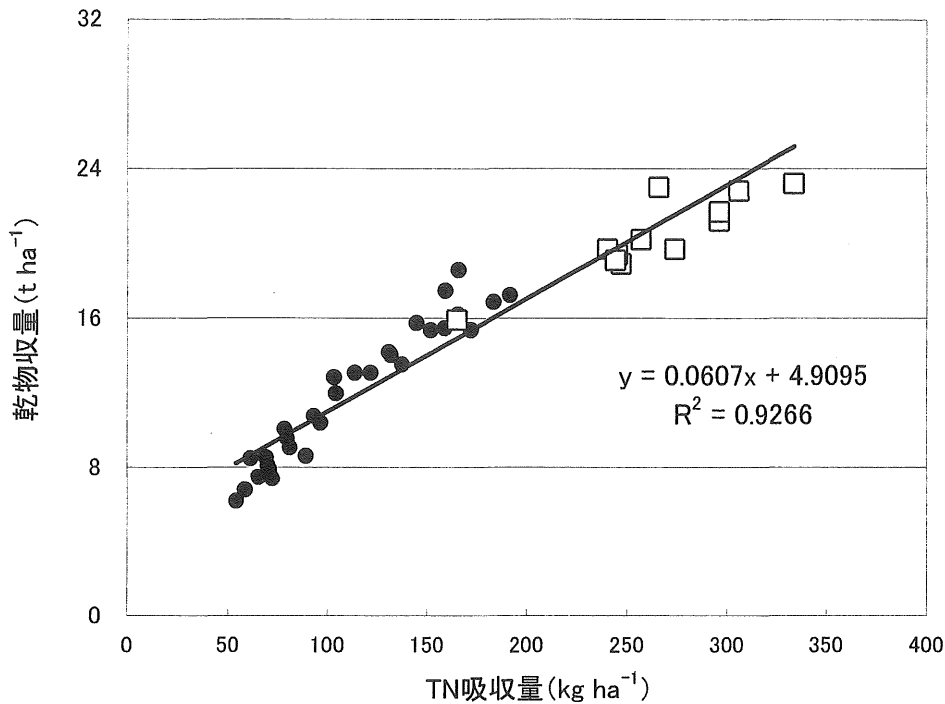
2) 畜産技術協会(2002) 畜産における温室効果ガスの発生制御

3) 国立環境研究所(2008) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書

3 結果

1) トウモロコシの乾物収量と吸収窒素量の関係

乾物収量とそのときの窒素吸収量を図V-1に示した。この両者には高い相関が認められ、その関係は $Y=0.0607x \times 4.9095$ ($R^2=0.927$) の式で示された。この式から、早生品種トウモロコシの期待される乾物収量を $16t\ ha^{-1}$ 得るために吸収される全窒素(TN)量は $183kg\ ha^{-1}$ であることが推定された。同様に中生品種の乾物収量を $18t\ ha^{-1}$ では吸収TN量は $216kg\ ha^{-1}$ 、乾物収量を $20t\ ha^{-1}$ とした場合には吸収TN量は $249kg\ ha^{-1}$ と推定された。



図V-1. トウモロコシにおける乾物収量と吸収全窒素(TN)素量の関係

● 第II章(2003-2005)栽培試験

□ 第III章(1998-2000)栽培試験

2) 施用物からの窒素供給量

トウモロコシによる化学肥料および未熟堆肥中の推定全窒素(TN)利用率を図V-2に示した。利用率は施用量の増加に伴い減少し、そのときの関係は次式で示された。

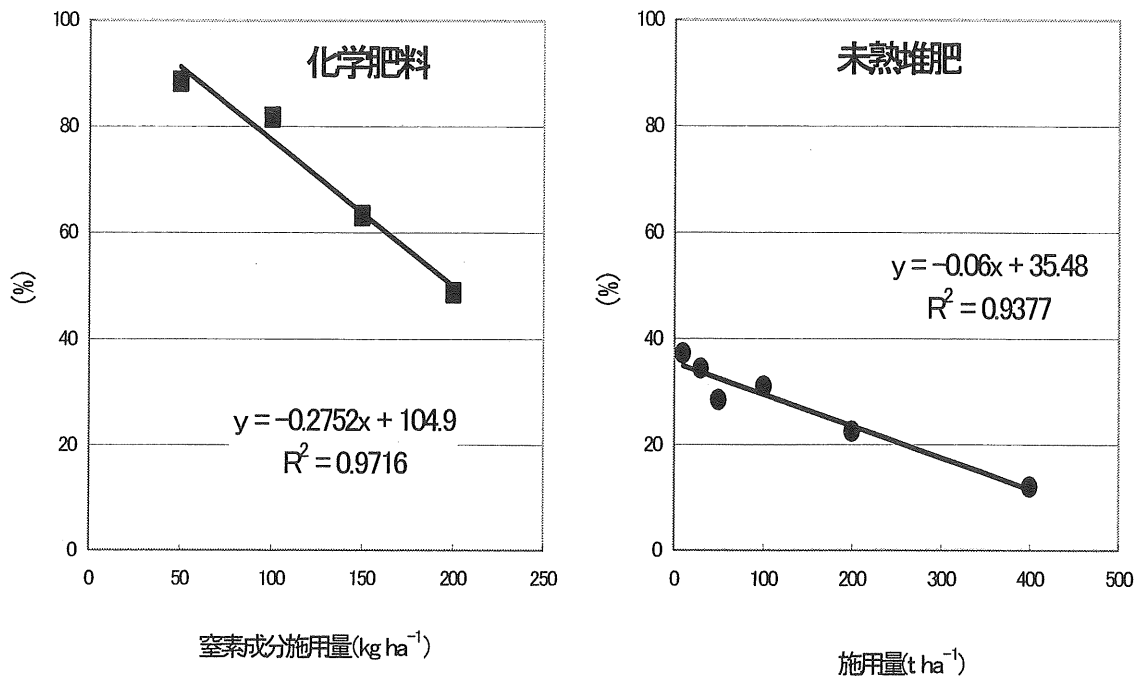
化学肥料施用時

$$Y(CF) = -0.2752 \times \text{全窒素施用量 (kg ha}^{-1}\text{)} + 104.9 \quad (R^2=0.97) \dots (a)$$

未熟堆肥施用時

$$Y(M) = -0.0600 \times \text{施用量 (t ha}^{-1}\text{)} + 35.480 \quad (R^2=0.94) \dots (b)$$

(a)式と(b)式を用いて、化学肥料と未熟堆肥の併用時のトウモロコシによる窒素吸収量を図V-3に示した。この結果から飼料用トウモロコシの成長に必要な窒素成分を 200kg ha^{-1} とした場合、化学肥料のみの施用ではこれを満たすことができず、未熟堆肥のみの栽培する場合には 19t ha^{-1} の施用が必要とされた。岩手県で用いられている栽培基準の施用量では 160kg ha^{-1} から 180kg ha^{-1} の吸収量が見込めると推定された。



図V-2. トウモロコシによる化学肥料および未熟堆肥の全窒素(TN)利用率¹

¹ 1998年から2000年の栽培結果(第二章, 図II-1)と2003年から2005年の栽培結果(第三章, 表III-4)より。

3) 環境負荷ガスの発生量

インベントリ分析により得られた飼料用トウモロコシ栽培にかかる環境負荷ガス発生量を, 図V-4に示した。化学肥料のみで栽培したときの環境負荷ガスの発生量は施用量が増加するのに伴い低下し, 発生量は次式で推定される。

$$L(\text{CF}) = -61.456 \times \text{施用量} (\text{kg ha}^{-1}) - 13370 \quad (R^2=0.96) \dots (c)$$

未熟堆肥のみで栽培したときの環境負荷ガス発生量は 10t ha⁻¹の施用までは低下したものの, それを超える施用量では, 施用量に伴い大きく増加した。このときの発生量は次式で推定される。

$$L(\text{M}) = 0.2172 \times \text{施用量} (\text{t ha}^{-1})^2 - 28.143 \times \text{施用量} (\text{t ha}^{-1}) + 4242 \\ (R^2=0.99) \dots (d)$$

化学肥料と未熟堆肥を併用した時の環境負荷ガス発生量を(c)式と(d)式を用いて推定し, 図V-5に示した。この結果, 同じ環境負荷ガス量発生量で見た場合, 未熟堆肥の施用量が 60t ha⁻¹から 70t ha⁻¹のときに併用する化学肥料量が最も低い値を示した。

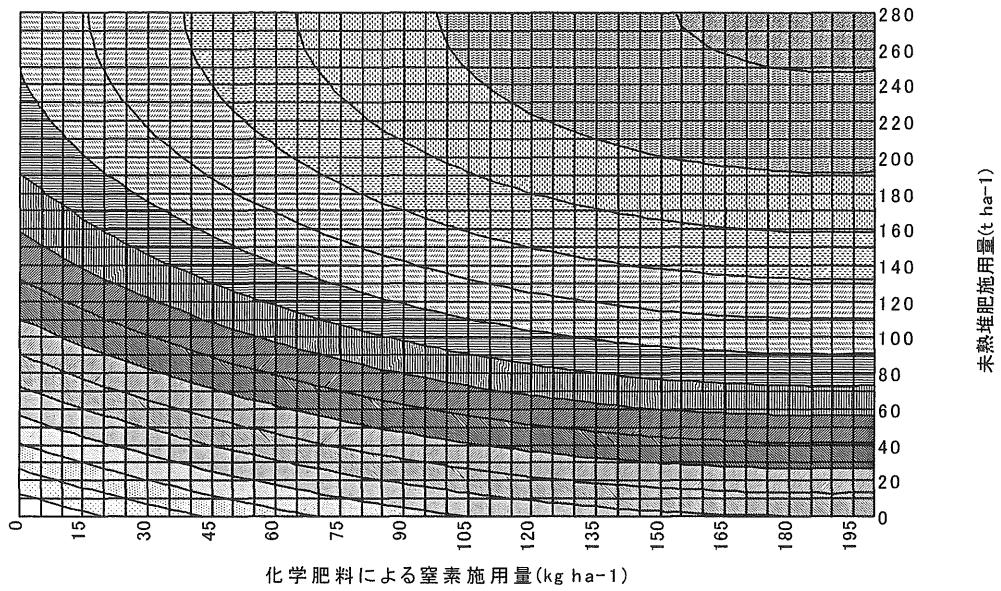


図 V - 3. トウモロコシによる施用物からの窒素吸収量

吸収窒素量(kg ha) □0-20 □20-40 □40-60 □60-80 □80-100 □100-120 □120-140 □140-160 ■160-180
 ■180-200 ■200-220 ■220-240 ■240-260 ■260-280 ■280-300 ■300-320 ■320-340

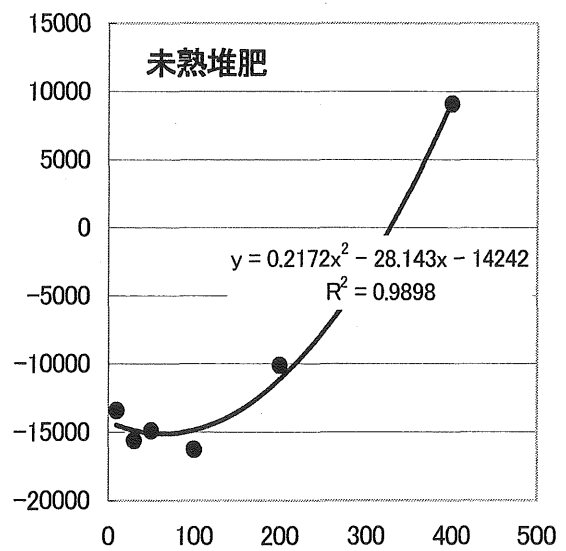
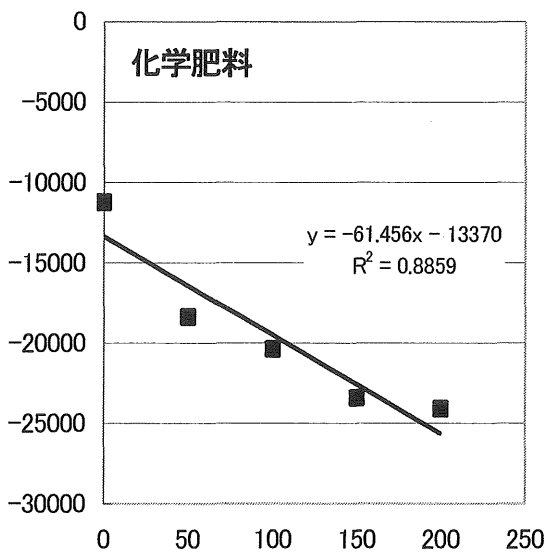


図 V - 4. トウモロコシ栽培における推定環境負荷ガス発生量(CO2換算).¹

¹ 1998年から2000年の栽培結果(第二章)と2003年から2005年の栽培結果(第三章)を用いた。

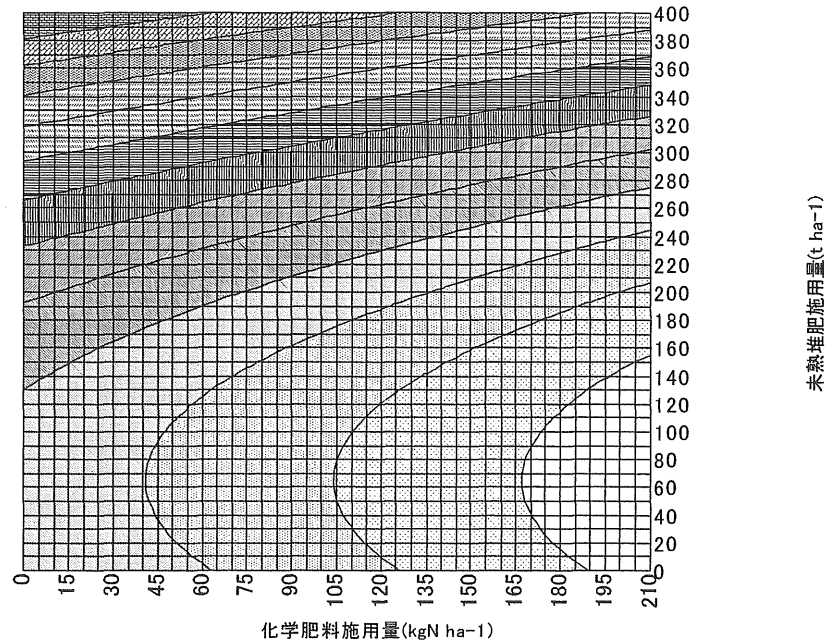


図 V-5 トウモロコシ栽培における環境負荷ガス発生量 (CO₂換算)

□ -41732--39124	□ -39124--36515	□ -36515--33907	□ -33907--31299	□ -31299--28691
□ -28691--26083	□ -26083--23474	□ -23474--20866	□ -20866--18258	□ -18258--15650
□ -15650--13041	□ -13041--10433	□ -10433--7825		

4 考察

家畜排せつ物を飼料作物栽培に利用する際には、施用基準が設定され、それを超えることのないよう利用することが求められ施用されてきた。この施用基準は収量およびミネラルを主とした植物体中の成分のバランスから設定されていた（広田ら 1987, 八槻ら 1990, 1992）。また、未熟な堆肥の施用は作物が窒素飢餓を起こすとされ、積極的な堆肥を行った完熟堆肥の施用が勧められてきた。しかし、緒言で述べたように、第Ⅱ章、第Ⅲ章および第Ⅳ章の試験結果から未熟堆肥はトウモロコシ栽培において窒素肥効をもち、現在の基準を超える施用が可能であることが明らかとなった。畜産をとりまく状況が大きく変化している現在、経営内から排出される家畜排せつ物の窒素成分を有効に利用することが必要となってきた。そこで本章では利用する際の施用量についてトウモロコシによる窒素利用率や堆肥からの供給量に加え、環境負荷ガスの発生量から施用量について検討を試みるものである。このとき、できるだけ家畜排せつ物を利用しながら、化学肥料の使用量を最小限に抑えることで検討を加える。

トウモロコシの生育に必要な窒素量は約 200kg ha⁻¹ とされる。第Ⅱ章および第Ⅲ章の栽培結果からトウモロコシの乾物収量 16t ha⁻¹ から 22t ha⁻¹ を得るための窒素吸収量は約 180kg ha⁻¹ から 290kg ha⁻¹ であると推定された。つまり、この乾物収量を期待するのであれば、これらの吸収量を満たす必要が

ある。実際の栽培では化学肥料と未熟堆肥の組合せ利用となるが、この時のトウモロコシへの窒素供給量を推定する。トウモロコシによる吸収量を 180kg ha^{-1} とすると化学肥料施用量が 0kg ha^{-1} から 200kg ha^{-1} の範囲では、併用する未熟堆肥は約 60t ha^{-1} から 160t ha^{-1} となる。同様に供給量 200kg ha^{-1} の時は併用する未熟堆肥は約 80t ha^{-1} から 190t ha^{-1} 、供給量 220kg ha^{-1} 時は併用する未熟堆肥は約 90t ha^{-1} から 250t ha^{-1} となる。このように組み合わせる化学肥料の量にもよって、未熟堆肥量は大きく異なる。実際の圃場では、家畜排せつ物などの有機物な長期間にわたり連用されており、土壌からの窒素供給量も期待される。しかし、トウモロコシの生育に必要な量、もしくは乾物収量を 18t ha^{-1} 以上を確保するためには、吸収窒素量 200kg ha^{-1} を満たす必要があり、その場合には未熟堆肥は少なくとも 80t ha^{-1} 以上が必要となる。これとは別に、化学肥料や未熟堆肥を肥料資材として利用する場合には、含有成分の植物による利用率は重要である。図表には示していないが、トウモロコシによる施用物中の窒素利用率をみると、化学肥料で未熟堆肥よりも高く、ともに施用量に伴い減少し、化学肥料と未熟堆肥の組合せによる推定利用率は、未熟堆肥の利用が少ないほど高くなる結果となった。トウモロコシによる窒素利用率は栽培基準から推定される 40% から 50% と設定した場合、家畜排せつ物を積極的に利用すると、化学肥料の窒素成分が 110kg ha^{-1} から 125kg ha^{-1} で併用する未熟堆肥施用量が最大の約 80t ha^{-1} となる。同様に利用率を 30% から 40% とすると化学窒素肥料 130kg ha^{-1} から 145kg ha^{-1} で未熟堆肥量が最大約 180t ha^{-1} となる。

次に栽培体系からの環境負荷ガス発生量について検討を加える。化学肥料のみで栽培した場合には、インベントリ表の結果から、施用量の増加に伴い発生量は減少している。これは乾物収量増加により作物吸収 CO_2 量が増えたためである。これに対して未熟堆肥では施用量が 10t ha^{-1} を超えるとガス発生量は大きく増加している。これは乾物収量の増加以上に、施用した未熟堆肥の堆積によるガス発生量、とくにメタンや亜酸化窒素の発生量が多く、くわえてこれらの二酸化炭素へ換算する差異の係数が大きかったことが影響したためである。通常、トウモロコシを栽培する畜産農家では、冬季間中に堆積していた家畜排せつ物を春に圃場に施用する。このため、実際の栽培においても同様の環境負荷ガス発生量となることが推測される。本試験のインベントリ表で評価した場合、環境負荷ガス発生量がプラスとなることはなく、化学肥料および未熟堆肥の全ての組合せにおいてマイナスを示した。しかしながら、化学肥料と未熟堆肥を組み合わせる際に、化学肥料施用の低減を考慮しながら併用する未熟堆肥の施用量を検討する必要がある。

以上のことから、トウモロコシ栽培において乾物収量を確保しながら最大限に未熟堆肥を利用する場合、前述した3つの項目を基準として化学肥料と未熟堆肥の組合せを検討する。施用物から供給さ

れる窒素量を 180kg ha^{-1} から 200kg ha^{-1} とし、施用物からの窒素の利用率を 40% から 50% としたとき、この設定において環境負荷ガスの発生量を抑えるような施肥を考慮すると化学肥料 115kg ha^{-1} と未熟堆肥 70t ha^{-1} の組合せが推定される。この組合せについては前提とする窒素利用率、窒素供給量および環境負荷ガス発生量の値によって、大きく変化することが考えられる。実際の栽培に利用する際には、トウモロコシの早晩性および気象や土壌などの栽培環境の影響が考えられる。

近年、家畜排せつ物などの有機物を圃場に施用することは肥料としての資源に加えて、炭素源としての評価が行われている（金澤ら 2008）。地力増進法は土壌管理のあり方に関する意見交換会報告書（農林水産省 2008c）を受け、地球温暖化や地力の低下にふれ、環境保全に留意ながら地力の増進を図ることをふまえて改定された。金澤らは畑土壌の腐食水準を維持および増進する観点から、牛ふん堆肥の施用量は非黒ボク土壌では年間 10t ha^{-1} から 60t ha^{-1} 、黒ボク土壌では 0t ha^{-1} から 30t ha^{-1} であると試算している（2008）。このときの黒ボク土壌における施用量は、もともとの全炭素を維持する量として設定されている。また、土壌炭素動態モデルのローザムステッド・カーボン・モデルについて日本での利用について検証および改良がおこなわれ報告されている（白戸 2006）。本研究では炭素源としての評価は行っていないが、今後は炭素源としての評価も含めて圃場での利用についてさらに検討することが必要である。

第VI章 総合考察

家畜排せつ物を飼料作物栽培に利用する際には、施用基準が設定され、それを超えることのないよう利用することが求められ、施用されてきた。この施用基準は収量およびミネラルを主とした植物体中の成分のバランスから設定されていた。

しかしながら、緒言でも述べたように畜産をとりまく状況は輸入飼料の高騰や原油高、そして化学肥料の値上がりなど、近年大きく変化している。この中で経営内から排出される家畜排せつ物を窒素肥料として利用することが有効と考えられる。そこでこの章では利用する際の施用量についてトウモロコシによる窒素利用率や堆肥からの供給量に加え、環境負荷ガスの発生量から施用量について検討を試みるものである。このとき、できるだけ家畜排せつ物を利用しながら、化学肥料の使用量を最小限に抑えることで検討を加える。

1 堆肥化過程の異なる家畜排せつ物の窒素肥料効果

本試験の未熟堆肥と促成堆肥は家畜排せつ物混合物を共通の材料としているが、これら堆肥の違いは堆肥化の方法とオガクズ混合の有無である。これら堆肥の共通の材料は、約70%がオガクズを含むふん尿・敷料混合物である。促成堆肥には、堆肥化時にさらにオガクズを体積比で約25%加えているが、オガクズの乾物量は 0.2 t m^{-3} 、灰分は乾物あたり0.9から0.95%、窒素は乾物あたり0.0から0.1%程度である（中央畜産会 2003）ことから、促成堆肥へ堆肥化時に加えられたオガクズの灰分や窒素の影響は小さいものと考えた。堆肥化による有機物分解率は、灰分の絶対量が変化しないものとするれば灰分との相対量を比較（宮竹ら 2003）することにより推定でき、同様に灰分と窒素量との比率から窒素の減少率も推定できる。この結果、促成堆肥は堆肥化によって22.2%の有機物が分解され、材料に含まれている窒素の30.2%、アンモニア態窒素の94.7%が失われたと考えられる。また、この値はこの値は搾乳牛ふんを4ヶ月間の堆積によって堆肥化した長田ら（2004）の報告や強制通気を行った7日間の堆肥化における前田ら（2001）の報告の3倍であった。阿部ら（2003）は乳牛ふんを7日ごとに3回の切り返しと吸引による通気を行い28日間の堆肥化をした場合、終了時には最大で初期窒素量の35.7%が失われたことを報告している。本試験に用いた促成堆肥は1日1回の攪拌と連続通気がされていること、材料である家畜排せつ物混合物には肉牛、豚、採卵鶏の排せつ物も混合されていることから、阿部らの報告に近い窒素損失になったものと考えられる。

未熟堆肥のトウモロコシへの未熟堆肥の窒素肥料効果をみると、施用量増加にともなってトウモロコシの乾物収量、CP含有率および窒素吸収量が増加したことから、未熟堆肥の窒素肥効について検討を行った。堆肥化施設設計マニュアル（中央畜産会 2003）に示された化学肥料を100とした場合の利用率からみると、牛ふん堆肥よりも液状牛ふん尿に近かった。本試験の未熟堆肥については志賀ら（1985）の分類では窒素取り込み群に分類され肥料としての施用効果は小さいとされたが、この堆肥の性質をC/N比のみで分類することは困難であったといえる。本試験で施用した未熟堆肥にはアンモニア態窒素のほかにトウモロコシに吸収される易分解の有機態窒素が含まれ、生育期間中土壤中で無機化され利用されていたと推測される。土壌からの窒素供給量は栽培圃場の肥沃度に影響されることではあるが、本試験ではトウモロコシの必要窒素量の約1/3が土壌から供給されていたこと、最も堆肥施用量の多かったM50区でも、吸収された窒素の約50%が堆肥由来であったことから、適切な窒素施用量を設定し化学肥料施用量を低減するためには、土壌からの窒素供給量と施用堆肥の肥効の把握が不可欠である。国内の粗飼料生産には、本試験の未熟堆肥に相当する畜舎から搬出され堆積しただけの未処理に近いものから、同様に促成堆肥に相当する強制通気や攪拌により堆肥化されたものまで、多種多様な堆肥が施用されている。本試験で施用した未熟堆肥の窒素肥料効果は含まれる易分解性有機物に加えて、アンモニア態窒素の影響を受けていたと考えられる。しかし、施用基準は全窒素を基準として示されることが多いことから、堆肥の特性を反映した施肥基準の作成の必要性が示唆される。

促成堆肥の窒素肥料効果をみると、未熟堆肥区と同様の施用量でトウモロコシ栽培を行ったが、促成堆肥区の全ての区においての乾物収量は施用量に関係なく、化学肥料を無施用とした区とほぼ変わらないか、もしくは下回る結果となった。アンモニア態窒素が低かったことから、促成堆肥区のアンモニア態窒素施用量は未熟堆肥区の約8%程度であった。さらに、促成堆肥では有機物分解率が22%程度であると推定されたことから、易分解性窒素も堆肥化の間に無機化してアンモニア揮散により損失したと考えられる。本試験結果も、促成堆肥では未熟堆肥に含まれていた肥効を持つ窒素が堆肥化過程で損なわれ窒素肥効が低くなっており、Eghballと同様に排せつ物に含まれる窒素の肥効は堆肥化により低下する可能性があることを示したと考えられる。化学肥料、未熟堆肥、促成堆肥の窒素利用率をみると、化学肥料区と未熟堆肥区では窒素利用率が正の値を示したのに対し、促成堆肥区では負の値を示した。促成堆肥のC/N比は未熟堆肥の値よりもやや高かった。一般に、C/N比は堆肥化によって低下するとされている（渡辺ら 1981, 丹比ら 1985, 岡田ら 1985）。これら報告の窒素含有率の変化は、上昇が認められた例（渡辺ら 1981, 岡田ら 1985）と低下が認められた例（丹比ら 1985, 岡田ら 1985）とがあり、報告によって異なっている。しかし、窒素含有率が低下した場合でも、炭素

含有率がそれよりも低下したときに C/N 比は低下していた。この試験の促成堆肥の C/N 比が未熟堆肥よりも高くなったのは、炭素減少率に対し、窒素減少率が大きかったためである。一般に家畜排せつ物やその堆肥に含まれる窒素の土壌中での放出は、C/N 比が低いものほど多いとされる。供試した未熟堆肥と促成堆肥は、共通の家畜排せつ物を材料とし、C/N 比の違いも小さいものであった。両者の窒素肥効に大きな違いが生じた主な原因は、促成堆肥では通気と攪拌を伴う堆肥化により肥効をもたらすアンモニア態窒素を損失したためと考えられる

2 未熟堆肥多量施用にトウモロコシ成分への影響

本試験では家畜排せつ物を岩手県の施用基準の最大量を施用した区を対象として未熟堆肥のみを施用しトウモロコシの収量や品質について調べ、トウモロコシによる施用窒素の利用率について検討を加えた。

未熟堆肥施用区の乾物収量は施用した窒素量に対応した推移を示していた。堆肥中の成分含有量の変動は家畜由来の排せつ物利用が使いにくいとの印象を与える 1 つの理由といえる。しかし、堆肥成分およびその肥効率を把握したうえで、不足分を化学肥料で補うなど、トウモロコシの要求量を満たすことによって、この影響を小さくできると考えられる。トウモロコシによる窒素利用率については、家畜排せつ物と化学肥料の利用率は、未熟堆肥 50t ha^{-1} 施用時の窒素利用率を 28.4%，化学肥料 150kg ha^{-1} 施用時の利用率は 63.2% として、対照区とした M50+N₁₅₀PK 区における施用物からの窒素吸収量を推定した。その結果、本試験の土壌からの窒素供給量は 3 年間の平均値で 97kg ha^{-1} と推定された。これを M100 区、M200 区、M400 区の窒素吸収量から差し引き、施用した窒素に対する利用率を推定した。その結果、未熟堆肥を 100t ha^{-1} 、 200t ha^{-1} 、 400t ha^{-1} 施用した時の窒素利用率はそれぞれ 29.6%，20.0%，11.8% と推定された。これらから、推定されたトウモロコシによる施用全窒素の利用率は 100t ha^{-1} 施用時の利用率の値は、第 II 章の未熟堆肥 50t ha^{-1} 施用時の値とほぼ変わらない値となった。栽培年次が異なるために気性が影響していたことも考えられるが、原因の 1 つとして栽培した品種が異なっていたことにあると考えられる。前報で栽培した 36B08 の期待乾物収量は 19.0t ha^{-1} （岩手県 飼料作物総合技術普及指針 2000）であり、本試験で栽培した DK542 は 22.4t ha^{-1} （岩手県 牧草・資料作物生産利用指針 2003）である。このために本試験で栽培した品種は吸収窒素量が多く、施用窒素に対する窒素効率が高くなったと考えられる。しかしながら、第 II 章における未熟堆肥の施用量と窒素利用率の関係の推移とこの章で推定した施用量と窒素利用率の関係の推移をみた場合、傾向は大きく異なるものではなかった。

トウモロコシ成分についてみると、家畜排せつ物を多量に施用した場合には、硝酸態窒素濃度の上昇や作物中のミネラルバランスの悪化が指摘されている。しかしながらこの章における多量施用試験の結果からは施用量に伴う成分増加など、明らかな傾向は得られなかった。このことから、及川ら (1984) の示した式を用いて牛の血清 Mg 量を推定した。この式は寒冷草地における放牧牛を対象としたものであり、本試験で栽培作物はトウモロコシで、これのみが飼料として給与されることはないが、このトウモロコシのみ採食しても発症する可能性は低いことが推察された。加えて、近年グラステタニー症の疾病発症の指標として、飼料中の CP 含有率と K 含有率の積と Mg 含有率から牛の血清中の Mg 濃度を推定して発症の危険性を判断する図 (Committee of mineral nutrition 1973) では発症の危険性はないと判断された。

硝酸態窒素含有率についても、刈取ステージが適期の黄熟期以降であったため 0.2% 以下となった。また、本試験では茎葉における硝酸態窒素含有率が危険値を越えていても、子実中の硝酸態窒素含有率が極めて低いために、子実割合の高いトウモロコシでは植物体全体では値が低くなっていたことも考えられる。しかしながら、400 t ha⁻¹ を施用した区では年次経過にともない増加する傾向があり、この施用量での栽培では 3 年連用後には施用量を減ずる必要が生じると考えられる。これは有機物を多量に連用したこの試験では、植物体の要求する成分が十分供給されていたために、各処理間に差が生じなかったと考えられる。

3. 土壌成分への影響

家畜由来の有機物を施用することによる土壌への影響として、膨軟化 (大橋ら 1985 b, 秋田ら 1992) を、堆厩肥 80 t ha⁻¹ 輪作試験で連用 5 年目から土壌中の全窒素含有量増加 (六本木ら 1993) を、Eghball (2002) は Manure 施用による有機物含有量の増加を報告している。本試験においても、施用量の増加及び連用に伴う全窒素や土壌有機物含有率が上昇し、土壌中の有機物含有量の増加が明らかとなっている。これは、いわゆる地力の増加を意味し、土壌からの窒素供給のもとになると考えられる。試験期間 3 年に栽培されたのトウモロコシの乾物収量からは、連用に伴う土壌からの窒素供給の傾向は判然としなかった。しかし、土壌中では前述した値の上昇傾向が認められ、この期間を超える連用の場合には土壌からの供給量が期待される。また、観察結果ではあるものの、試験区における顕著な土壌の盛り上がりを確認されており、膨軟化など土壌物理性の改善も伺われる。

土壌のリン酸固定能の指標となるリン酸吸収係数は化学肥料や牛排せつ物の施用量増加に伴って

減少しており、品川ら（1985）や杉原ら（1979）の報告と同様の結果となった。リン酸吸収係数は黒ボク土の特性である 1500 以上という値を下回らなかった。これはアロフェン質黒ボク土に含まれる多量の活性アルミニウムが、本試験で設定していた最も多い施用量でも飽和しなかったことを示している。可給態リン酸は有機物の連用により増加することが（大橋ら 1985a, 品川ら 1985）報告されているが、本試験においても認められ、リン酸含有量は火山灰土壌の改良目標値を満たしていた。この値は全ての区において岩手県で定めている地力・有機物施用を考慮した岩手県土壌・施肥管理指針（岩手県 1997）の減肥基準である 500mg kg^{-1} を超えることはなく、未熟堆肥の施用によってリン酸成分が供給され、結果として黒ボク土の不良化学性を改良することへとつながった。

K_2O 含有量についてみると、成分収支からは土壌中には多量の成分が飼料用トウモロコシに吸収されずに存在することが考えられたが、非アロフェン質黒ボク土壌で見られるような堆肥の多量施用による成分集積（八槻ら 1992, 小野ら 2003）は見られなかった。本試験を行った土壌が粘土鉱物のアロフェンが K_2O を吸着できないという荷電特性を示すアロフェン質黒ボク土であったことから、過剰成分の大部分は下層に流亡した（杉原ら 1979）と考えられる。 MgO 成分の施用については 100t ha^{-1} 以上の施用でトウモロコシの要求量を満たすことができた、それ以下の施用では化学肥料等で補う必要があると考えられる。

家畜由来の排せつ物の施用による pH 上昇効果（小野ら 2003, 杉原ら 1979, Whalen ら 2000）を報告しているが、本試験ではこれらの報告に見られるような pH の上昇は確認できなかった。これは栽培初年度の炭酸カルシウム資材による土壌改良の影響によって試験土壌の pH が著しく高い値となっていたためと考えられた。EC については、試験圃場が露地であったことから降雨の影響が考えられ未熟堆肥を 400t ha^{-1} 施用した区でも 0.148dSm^{-1} とハウス内土壌で生じるような EC の上昇が認められなかった。これは、厩肥 320t ha^{-1} を 6 年間連用した後の土壌に極端な塩類濃度の上昇が認められなかった（杉原ら 1979）と報告と同様であった。また、年次経過に伴う $\text{NO}_3\text{-N}$ 含有量の変化についても、土壌中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 動態は土壌内の水分の移動に大きく影響されることから、土壌の表層には経年的な累積は認められない（杉原ら 1979）との報告と同様に、本試験圃場においても値に一定の傾向はなかった。また、黒ボク土壌の下層土においては西尾（2006）が $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸着を認めており、吸着された $\text{NO}_3\text{-N}$ の今後の行方については長期のモニタリングに期待している。

本試験において、施用成分と飼料用トウモロコシによる吸収成分の収支からほとんどの処理区において、土壌への成分集積が予想された。しかし、 200t ha^{-1} 以下の施用では土壌中の K_2O や P_2O_5 の明らかな成分集積は認められず、 MgO 有機物含有量を増加させ、リン酸吸収係数を下げる結果となった。アロフェン質黒ボク土壌において未熟堆肥の施用は活性アルミニウムが多く弱酸性の性質を持つアロフェン質黒ボク土では、土壌改良に有効に働く結果となった。岩手県のトウモロコシの栽培基準は堆肥 30 から 40t ha^{-1} に化学肥料を窒素成分として 150kg ha^{-1} としている。第 1 章の未熟堆肥の窒素成分のトウモロコシによる利用率、第 2 章のトウモロコシの乾物収量や成分の利用率の推移、本章の土壌への影響から、堆肥施用量および併用化学肥料量については、成分を有効利用しながら、環境への負荷を最小限にするための検討が必要と考えられる。

4 環境負荷を考慮した施用量の検討

家畜排せつ物を飼料作物栽培に利用する際には、施用基準が設定され、それを超えることのないよう利用することが求められ施用されてきた。この施用基準は収量およびミネラルを主とした植物体中の成分のバランスから設定されていた（広田ら 1987, 八槻ら 1990a, 1992b）。また、未熟な堆肥の施用は作物が窒素飢餓を起こすとされ、積極的な堆肥を行った完熟堆肥の施用が勧められてきた。しかし、栽培試験の結果から未熟堆肥はトウモロコシ栽培において窒素肥効をもち、現在の基準を超える施用が可能であることが明らかとなった。畜産をとりまく状況が大きく変化している現在、経営内から排出される家畜排せつ物の窒素成分を有効に利用することが必要となってきている。ここでは利用する際の施用量についてトウモロコシによる窒素利用率や堆肥からの供給量に加え、環境負荷ガスの発生量から施用量について検討を試みるものである。このとき、できるだけ家畜排せつ物を利用しながら、化学肥料の使用量を最小限に抑えることで検討を加える。

トウモロコシの生育に必要な窒素量は約 200kg ha^{-1} とされる。第 II 章および第 III 章の栽培結果からトウモロコシの乾物収量 16t ha^{-1} から 22t ha^{-1} を得るための窒素吸収量は約 180kg ha^{-1} から 290kg ha^{-1} であると推定され、この乾物収量を期待するのであれば、これらの吸収量を満たす必要がある。実際の栽培では化学肥料と未熟堆肥の組合せ利用となるが、この時のトウモロコシへの窒素供給量を推定する。実際の圃場では、家畜排せつ物などの有機物な長期間にわたり連用されており、土壌からの窒素供給量も期待されるが、早生品種や中生品種のトウモロコシの乾物収量 20t ha^{-1} 以上を確保するためには、吸収窒素量 200kg ha^{-1} を満たす必要があり、その場合には未熟堆肥は少なくとも 80t ha^{-1} 以

上が必要となる。また、化学肥料や未熟堆肥を肥料資材として利用する場合には、含有成分の植物による利用率は重要である。トウモロコシによる窒素利用率は栽培基準から推定される 40%から 50%と設定した場合、家畜排せつ物を積極的に利用すると、化学肥料の窒素成分が 110kg ha^{-1} から 125kg ha^{-1} で併用する未熟堆肥施用量が最大の約 80t ha^{-1} となる。

次に栽培体系からの環境負荷ガス発生量について検討を加える。化学肥料のみで栽培した場合には、インベントリ表の結果から、施用量の増加に伴い発生量は減少しているが、未熟堆肥では施用量が 10t ha^{-1} を超えるとガス発生量は大きく増加している。これは施用した未熟堆肥の堆積によるガス発生量、とくにメタンや亜酸化窒素の発生量が多かったことが影響したためである。通常、トウモロコシを栽培する畜産農家では、冬季間中に堆積していた家畜排せつ物を春に圃場に施用する。このため、実際の栽培においても同様の環境負荷ガス発生量となることが推測される。本試験のインベントリ表で評価した場合、環境負荷ガス発生量がプラスとなることはなく、化学肥料および未熟堆肥の全ての組合せにおいてマイナスを示した。

乾物収量を確保しながら、最大限に未熟堆肥を前述した 3 つの項目を基準としてトウモロコシ栽培における、化学肥料と未熟堆肥の組合せを検討する。トウモロコシによる窒素利用率は栽培基準から推定される 40%から 50%、土壌からの窒素供給量が 20kg ha^{-1} あるものとして施用物から供給される窒素量を 180kg ha^{-1} から 200kg ha^{-1} とする。この設定において環境負荷ガスの発生量を抑えるような施肥を考慮すると化学肥料 115kg ha^{-1} と未熟堆肥 70t ha^{-1} の組合せが推定される。この組合せについては前提とする窒素利用率、窒素供給量および環境負荷ガス発生量の値によって、大きく変化する。実際の栽培に利用する際には、トウモロコシの早晩性、気象や土壌などの栽培環境の影響が考えられる。

近年、家畜排せつ物などの有機物を圃場に施用することは肥料としての資源に加えて、炭素源としての評価が行われ、地力増進法は地球温暖化や地力の低下にふれ、環境保全に留意ながら地力の増進を図ることをふまえて改定されている。また、土壌炭素動態モデルのローザムステッド・カーボン・モデルについて日本での利用について検証および改良がおこなわれ報告されている(白戸 2006)。本研究では炭素源としての評価は行っていないが、今後は炭素源としての評価も含めて圃場での利用についてさらに検討することが必要である。

以上の試験結果から、畜産経営内から排出される家畜排せつ物を飼料作物である飼料用トウモロコシへ利用する場合の施用量について、施用する堆肥の種類、トウモロコシ中の成分、土壌の成分および栽培体系から発生する環境負荷ガス量から検討を行った。その結果、トウモロコシの乾物収量 18t

ha⁻¹を得るためには、化学肥料 115kg ha⁻¹と未熟堆肥 70t ha⁻¹の組合せが望ましいとされた。この施用量は現在の施用基準である化学肥料 150kg ha⁻¹と未熟堆肥 30 t ha⁻¹から 40t ha⁻¹よりも、化学肥料を低減し、家畜排せつ物を有効に利用できるものと考えられる。飼料用作物に対する未熟堆肥の利用については、様々な問題が指摘されているが、施用圃場が市街地から離れていることや適正な施用など、あくまでも飼料用作物を対象とし、いくつかの条件が満たされることを前提として、有効な資材の1つであると考えられる。また、堆肥については施与量だけではなく、どのような堆肥を施用するかが、その肥効の上では重要であることが本報の結果からも示されている。今後、本報が飼料用トウモロコシへの家畜排せつ物を有効利用に寄与するものとする。

摘 要

本研究は、岩手県北部のアロフェン質黒ボク土における飼料用トウモロコシ (*Zea mays* L.) の栽培において、畜産経営内から排出される家畜排せつ物を有効に利用することを目的として、家畜排せつ物堆肥の窒素肥効の特性、トウモロコシ成分および土壌成分への影響および環境影響に配慮した施用量について検討を加えたものである。

1 堆肥化過程の異なる2種類の家畜排せつ物堆肥で、飼料用トウモロコシ (*Zea mays* L.) 早生品種パイオニア 106 (36B08) への窒素肥効を比較した。1つは家畜排せつ物を約1ヶ月間堆肥舎に堆積した未熟堆肥、1つは同素材にオガクズを混合し施設で12日間の攪拌・通気後に約3ヶ月堆積した促成堆肥である。未熟堆肥は10t, 30t, 50t ha⁻¹の増施で乾物収量, CP含有率, 窒素吸収量は上昇した。窒素利用率は平均33.4%で、増施で低下した。促成堆肥は増施でも乾物収量, 窒素吸収量は増加せず、値は化学肥料の窒素無施用区と類似した。窒素利用率は負となり、堆肥化過程でアンモニア態窒素と易分解の有機態窒素がアンモニア揮散損失したためと考えられた。

2 飼料用トウモロコシ中生品種スノーデント 108 (DK542) へ未熟堆肥を3年間多量連用した試験行い、作物の収量と品質から施用量について検討を行った。未熟堆肥50t ha⁻¹+化学肥料の施用区を対照区とし、未熟堆肥のみを100t ha⁻¹, 200t ha⁻¹, 400t ha⁻¹施用した3区の合計4区とした。施用成分は年によって変化したが、未熟堆肥の施用で乾物収量とCP含有率は上昇し、推定した窒素成分利用率から岩手県における最大施用量50t ha⁻¹以上の施用が可能であると考えられた。以上から、未熟堆肥施用は土壌改良と化学肥料代替に有効であり、トウモロコシ栽培において50t ha⁻¹を超える量の施用の可能性であると示唆された。

3 トウモロコシの栽培跡地土壌を用いて、未熟堆肥の多量連用が岩手県北部に分布するアロフェン質黒ボク土の土壌化学性へ及ぼす影響について検討した。その結果、200t ha⁻¹以下の施用では土壌中のK₂OやP₂O₅含有量に明らかな上昇は認められず、400t ha⁻¹施用で明らかに値は高くなった。このほかに土壌中のK₂O, P₂O₅, MgO及び有機物含有量増加や磷酸吸収係数の低下に効果がある。しかし、200t ha⁻¹以下の施用では土壌中のK₂OやP₂O₅の明らかな成分集積は認められず、MgOおよび有機物

含有量を増加させ、リン酸吸収係数を下げる結果となった。未熟堆肥の施用は活性アルミニウムが多く弱酸性の性質を持つアロフェン質黒ボク土では、土壌改良に有効に働く結果となり、トウモロコシの栽培基準の堆肥の施用量については併用化学肥料量をあわせて成分を有効利用しながら、環境への負荷を最小限にするための検討が必要と考えられた。

4 早生品種パイオニア 106 (36B08) と中生品種スノーデント 108 (DK542) の栽培試験をもとに、乾物収量に対する窒素の必要量、化学肥料および未熟堆肥の併用時における窒素供給量を推定した。また、未熟堆肥を利用したトウモロコシ栽培における環境負荷ガス発生量を推定した。これらを用いて、環境負荷を軽減しながら、乾物収量を確保し、最大限に未熟堆肥利用した化学肥料との組合せを検討した。土壌からの窒素供給量を考えず、環境負荷ガスの発生量を抑えるような施肥を考慮すると、トウモロコシ乾物収量を 16t から 18 t ha⁻¹ 得るためには化学肥料 115kg ha⁻¹ と未熟堆肥 65t ha⁻¹ の組合せが考えられた、

これらをまとめると、未熟堆肥は雑草種子や悪臭などの問題はあるが、施用条件を整えば窒素肥効の点からは未熟堆肥の施用が有効と考えられ、現行の施用基準の 2 倍量の施用が可能であることが示唆された。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり、岩手大学連合大学院連合農学研究課長教授雑賀 優農学博士、山形大学農学部生物生産学科教授高橋 敏能農学博士、岩手大学農学部農学生命過程准授築城 幹典農学博士、同助教授前田 武己農学博士、ならびに岩手県立農業大学校教育学部農産園芸科教授小野 剛志農学博士に終始懇切なる指導をいただき、さらに本稿の御校閲を賜りました。ここに、深甚なる謝意を表します。

本研究は、岩手県農業研究センター畜産研究所で実施したもので、元飼料生産研究室長（現、一関総合支局農林部地域農政推進課農林水産調整主幹）川畑 茂樹氏および元主任専門研究員佐藤 直人氏（現、家畜育種研究室上席専門研究員）のご指導とご援助により開始したものである。研究の実施にあたり、元飼料生産研究室長砂子田 哲氏（現、外山畜産研究室長）、元主任研究員増田 隆治氏（現、中央農業改良普及センター滝沢村駐在主任農業普及員）ならびに元専門研究員平久保 友美氏（現、家畜飼料・飼養研究室専門研究員）には研究遂行上の多大なる便宜、かつ助言をいただきました。また、畜産研究所長三浦 牧夫氏、次長小松 繁樹氏をはじめ畜産研究所の諸先輩、同僚ならびに県内関係機関の方々から多大なるご支援とご協力をいただきました。

研究業務の遂行に際しては、供試作物の栽培管理を担当していただいた主任技能員関村 武氏、同小笠原 幸一郎氏、同右京 隆二氏、同米澤 健治氏、同荒木田 俊一氏、同工藤 明彦氏、同竹田 政則氏、技能員水澤 博征氏、同上澤 賢輝氏には、絶大なるご理解、ご支援、ご協力をいただきました。また、飼料の採取、処理および分析等の研究業務に対して福士 恵子女史、山口 はる美女史、福田 淳子女史を始めとする臨時職員諸氏のご協力をいただきました。

最後に、岩手大学連合大学院への社会人入学を許可くださった元岩手県農業研究センター所長高橋 壯氏ならびに元畜産研究所長駒込 勉氏、在学へのご理解をくださった元研究所長小瀬川 博氏、元畜産研究所次長新渡戸 友次氏、笹村 正氏を始めとする諸先輩方に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 阿部佳之・福重直輝・伊藤信雄・加茂幹男 (2003) 吸引通気式堆肥化処理技術の開発. 第2報 吸引通気式堆肥におけるアンモニア回収の可能性. 農業施設 34 : 21-30
- 秋田 勉・森 登 (1991) 牛ふんオガクズ入り牛ふん堆肥連用による飼料作物の生産性. 兵庫県中央農業技術センター研究報告 (畜産編) 27 : 51-56
- 秋田 勉・森 登 (1992) 牛ふん及びオガクズ入り牛ふん堆肥連用による飼料作物の飼料成分と土壌成分の変化. 兵庫県中央農業技術センター研究報告 (畜産編) 28:39-46
- Chang C, Sommereldt T G, Entz T (1993) Barley Performance under Heavy Applications of Cattle Feedlot. Agron J 85:1013-1018
- 畜産技術協会 (2002) 畜産における温室効果ガスの発生制御 (総集編) 社団法人 畜産技術協会, 1-174
- 中央畜産会 (2003) 堆肥化施設設計マニュアル. 第1章 堆肥化の基本, 第6章 堆肥の利用. 社団法人 中央畜産会, 東京, p1-31, p221-230
- Eghball B (2000) Nitrogen Mineralization from Field-Applied Beef Cattle Feedlot Manure or Compost. Soil Sci. Soc. Am. J. 64 : 2024-2030
- Eghball B (2002) Soil Properties as Influenced by Phosphorus- and Nitrogen-Based Manure and Compost Applications. Agron J 9:128-135
- Farina M P W, Sumner M E, Plank C O, Letsch W S (1980) Exchangeable Aluminum and pH as Indicators of Lime Requirement for Corn. Soil Sci 44:1036-1041
- 原田久富美・畠中哲哉・畠中哲哉 (1996) 窒素多量施用条件下のトウモロコシ (*Zea Mays* L.) の硝酸態窒素含量. 日草誌 41 : 352-356
- 広田千秋・菊地秀夫・村田憲昭・坂本 晃・野村忠弘 (1987) 堆厩肥連用条件下におけるサイレージ用トウモロコシの収量に対するカリ及び苦土の施用効果. 青森畜試研報 15 : 53-63
- 広田千秋・大坂長嗣・村田憲昭 (1989) サイレージ用トウモロコシに対する堆厩肥と化学肥料の効果的施用法(2) 堆厩肥連用畑における窒素施肥量とトウモロコシの品質および収量. 青森県畜産試験場試験研究成績書 99-109
- 石原康弘・脇 大作・町田 豊・垣内一明・千葉昭弘 (2001) 家畜排せつ物を有機質肥料として施用したトウモロコシ栽培試験. 鹿児島畜試研報 34 : 71-78
- 岩田文男 (1968) トウモロコシの栽培管理とその実証に関する作物学的研究. 東北農業研究試験場研

究報告 46 : 63-128

岩手県 (1997) 地力・有機物施用を考慮した岩手県土壌・施肥管理指針

岩手県 (2005) 牧草・飼料作物生産利用指針. 岩手県, p10-11, p19-22

岩手県 (2007) 平成 17 年農林水産業気象災害年報. 岩手県. 岩手, p83-84

岩手県 (2000) 飼料作物総合技術普及指針. P8-11

自給飼料品質評価研究会 (編) (2001) 改訂 粗飼料の品質評価ガイドブック. 日本草地畜産種子協会, 東京, p7-9

金沢健二・太田 健・草場 敬・淵山律子・木村 武 (2008) 家畜排せつ物の農地による需要量分布把握に関するデータ 家畜排せつ物利活用方策評価検討システム構築事業報告書. 財団法人 畜産環境整備機構, 192-212

前田武己・松田従三・近江谷和彦 (2001) 家畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散. 第 2 報 畜糞の違いが揮散に及ぼす影響. 農業機械学会誌 63 : 41-47

松中照夫 (2003) 土壌学の基礎. 社団法人農山漁村文化協会 p227-229, p298-322

宮本良平・石沢修一 (1978) 牛ふんの多量連用が土壌のマイクロフロラに与え利影響 (第 1 報). 土肥誌 49 : 491-494

宮竹史仁・岩淵和則・木村俊範 (2003) 牛ふん堆肥化反応に関わる微生物群の活性化温度. 比増殖速度の温度依存性. 農業機械学会誌 65 : 101-105

村田智吉・田中治夫・坂上寛一・安積大治・浜田龍之介 (1997) 麦かん・堆肥の連用が土壌微生物バイオマス量・可給態窒素量および中性糖組成に及ぼす影響. 日本土壌肥科学雑誌 68:249-256

日本土壌協会 (2000) 堆肥等有機物分析法. 財団法人 日本土壌協会, 東京, p21-27, p35-42, p140-154

丹比邦保・熊井清雄・福見良平 (1985) 家畜ふん尿コンポストの堆積中における化学成分の推移. 畜産の研究 39 : 71-73

西尾 隆 (2006) 土壌中の窒素動態の土壌タイプによる違いと有機質資材施用の影響について. 土壌の物理性 102 : 7-17

野中富士夫・西山信一 (1967) 家畜ふん尿の畑地多量還元利用に関する研究 (第 1 報). 神奈川県農業試験場報告 105 : 31-39

農業環境技術研究所 (2003) LCA 手法を用いた農作物栽培の環境影響評価実施マニュアル. 独立行政法人 農業環境技術研究所, つくば, 2-31

農林水産省 (2008a) 肥料価格の現状等について. 農林水産省生産局, 東京, 1-7

- http://www.maff.go.jp/chuchi/seisan/hiryou_koutou/pdf/hiryounogennjou.pdf [2008年12月17日参照]
- 農林水産省 (2008b) 飼料をめぐる情勢. 農林水産省生産局畜産部畜産振興課, 農林水産省消費安全局畜産安全管理課, 1-22 http://www.maff.go.jp/chikusan/sinko/lin/l_siryu/pdf/megurusiryu.pdf [2008年12月17日参照]
- 農林水産省 (2008c) 土壌のあり方に関する意見交換会報告書. 農林水産省, 1-22 http://www.maff.go.jp/j/study/dozyo_kanri/pdf/report.pdf [2008年12月17日参照]
- 岡田光弘・栗原 勇・遠藤 篤・大泉長治・柴田り子・高山文雄 (1985) 家畜ふんならびにその堆肥化処理物の6ヵ月間の貯蔵期間中における成分変化について. 千葉県畜産センター研究報告 9: 63-68
- 尾形 保 (1976) 家畜排泄物の土壌還元利用 (1). 畜産の研究 30: 195-198
- 及川稜郎・久根崎久二・小針久典・谷地 仁・落合昭吾・新渡戸友次・笹村 正・山田和明・蛇沼恒夫・道又敬司・菅原休也・帷子剛資・淵向正四郎・桜田奎一・佐藤勝郎・沢田 実・太田 繁・吉川恵郷・菊池文也 (1984) 寒冷草地における草地改善による放牧牛の栄養障害防止技術の確立 第1報 放牧地における低マグネシウム (Mg) 血症性テタニーの発生要因と防止対策. 岩手県畜産試験場研究報告 13: 1-42
- 小野剛志・佐藤喬・菊池謙也 (2003) 岩手県南部の非アロフェン質黒ボク土に対する地域内家畜ふん堆肥の多量施用効果. 岩手県農業研究センター研究報告 3: 37-48
- 大橋恭一・岡本将宏 (1985a) おがくず入り牛ふん厩肥連用による野菜収量と土壌水分環境の変動. 日本土壌肥科学雑誌 56: 373-377
- 大橋恭一・岡本将宏 (1985b) 野菜の養分吸収と土壌の化学性に及ぼすおがくず入り牛ふん堆肥連用の影響. 日本土壌肥科学雑誌 56: 378-383
- 温室効果ガスインベントリオフィス (編) (2008) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書. 環境省地球環境局地球温暖化対策課, 東京, 6-1-6-41
- 長田 隆・福本泰之・道宗直昭・田村 忠・白石 誠・石橋誠 (2004) 家畜ふんの堆積型堆肥化過程からの環境負荷ガス発生. 第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集: 527-529
- 六本木和夫・石上 忠・武田正人 (1993) 稲わら堆肥の連用が沖積畑土壌の理化学性に与える影響. 日本土壌肥科学雑誌 64: 27-33
- 三枝正彦・松山信彦・阿部篤郎 (1992) 黒ボク土壌の荷電特性と土壌管理上の問題点. 日本土壌肥科

学雑誌 63:196-201

- 三枝正彦・児玉広志・渋谷暁一・阿部篤郎 (1993a) 肥効調節型被服尿素を用いたデントコーンの全量基肥栽培. 日草誌 39: 44-50
- 三枝正彦・松山信彦・阿部篤郎 (1993b) 東北地方におけるアロフェン質黒ボク土と非アロフェン質黒ボク土の分布. 土肥誌 64: 423-430
- 佐藤直人 (2000) ロックウール脱臭装置における循環法による排水対策. 東北農業研究 53: 117-118
- SAS Institute Inc. (1997) SAS User's Guide : Statistics. SAS Institute Inc. Cary NC p113-137
- 志賀一一・大山信夫・前田乾一・鈴木正昭 (1985) 各種有機物の水田土壌中における分解過程と分解特性に基づく評価. 農業研究センター研究報告 5: 1-19
- 品川昭夫・植木健至・宇田川義夫 (1985) 南九州の黒ボク土に多量連用された生牛糞の肥効と残効 土壌の理化学性の変化 (その 1). 鹿児島大学農学部学術報告 35: 229-241
- 白戸 康人 (2006) 日本およびタイの農耕地における土壌有機物動態モデルの検証と改良 農業環境技術研究所研究報告 24: 21-92
- 反町 裕・三井安麿 (1988) 牛ふん尿の連年多量施用が飼料作物の生育・収量及び土壌に及ぼす影響. 千葉県畜産センター研究報告 12: 61-68
- 杉原 進・石井和夫・近藤 熙 (1979) 畑地に対する牛ふん厩肥の多量連年施用. 第 1 報 厩肥の多量施用が畑作物の生育収量および土壌に及ぼす影響. 東北農業研究試験場研究報告 60: 17-40
- 渡辺 実・板川秀雄・矢崎仁也 (1981) おがくず牛ふん堆積物の腐熟過程. 日本土壌肥料科学雑誌 52: 339-346
- 家壽田正樹・山楨敦・戸部学・安西徹朗 (2003) 黒ボク土壌における有機物および土壌改良資材の連用が作物収量および土壌に及ぼす影響. 日本土壌肥料科学雑誌 74:673-677
- Whalen J K, Chang C, Clayton G W, Carefoot J P (2000) Cattle Manure Amendments can Increase The pH of Acid Soils. Soil Sci 64:962-966
- 八槻三千代・大島健太郎・草薙睦夫・小阪恵治 (1990) 堆厩肥の施用量がサイレージ用トウモロコシの収量並びに硝酸態窒素含有量に及ぼす影響 (3). 秋田県畜産試験場研究報告 5: 39-42
- 八槻三千代・大島健太郎・草薙睦夫・小阪恵治 (1992) 堆厩肥の連続施用がサイレージ用トウモロコシ及び土壌の無機組成に及ぼす影響. 秋田県畜産試験場研究報告 7: 5-11
- 山縣真人・阿江教治・大谷 卓 (1996) 作物の生育反応に及ぼす有機態窒素の効果. 日本土壌肥料科学雑誌 67: 345-353

**Optimum amount of livestock excrement compost application
on forage corn (*Zea mays* L.) cultivation.**

Moegi Hamato

This research has aimed to use the domestic animal excrement exhausted in the stock raising management effectively in the cultivation of corn used for animal feed (*Zea mays* L.) in the soil of the allophane quality me black at the northern part in the Iwate Prefecture. The examination of the amount of utilization was added in the consideration of the characteristic of the nitrogen fertilizer response, the corn element of the domestic animal excrement compost, and the influence and the environmental impact to the soil component.

1. Nitrogen application effect of livestock excrement composted by different methods in forage corn cultivation.

The nitrogen fertilizer response of feed corn (*Zea mays* L.) was compared between types of livestock waste composts made by different methods. One type was immature compost produced by leaving livestock waste in compost shed for about 1 month. The another was aerated type of compost prepared by mixing sawdust with the

same livestock waste material, churning and aerating for 12 days in composting facility, then stacking for about 3 months. Increasing application of the immature compost 10, 30 and 50t ha⁻¹ increased dry matter yield, crude protein content and nitrogen (N) uptake. Mean N availability was 33.4%, which decreased with increasing compost amounts as the quantity of compost applied was increased. Dry matter yield and N uptake levels did not increase when application of the aerated compost was increased in the same way, as the levels were similar to those in plots to which chemical fertilizer was applied (P₂O₅ and K₂O) without N. N availability levels were negative, it is believed that this tendency is due to the loss by ammonia volatilization of ammonia N and readily degradable organic N during the composting. Although the application of immature compost has some problems including weed seeds and bud smell, it would be effective fertilizer in nitrogen availability.

2. Effect of annual heavy application of immature compost on yield and content of forage corn and soil.

Three-year study was conducted to determine the effect of annual heavy immature compost application for corn. The cultivation soil was allophanic andisol at the northern part of the Iwate Prefecture. The roads were 50t

ha⁻¹ with chemical fertilizer(CF), 100t ha⁻¹, 200t ha⁻¹ and 400t ha⁻¹. The ingredient of immature compost was different by year, but the difference was small in water and TC%. Contrast plot showed yearly increase in dry matter and decrease in crude protein (CP%). Reversely, manure plots showed increase in dry matter, CP% and nitrogen absorption of corn, but the yearly tendency was not shown. Nitrate content of corn increased with immature compost application, however, did not exceed 0.2% critical level. Ammonia in manure and CF was highly correlated with dry matter and nitrogen absorption in stem and leaf. In contrast, slow release or total nitrogen was highly correlated with dry matter of ear. Soil nutrients increased by heavy manure application but did not reach to surplus level. These results indicate that raw cattle manure includes quick and slow effective nitrogen, and the ingredients effective to improve allophonic andisol and regard as precious organic circulative resource to use by the judging of soil fertility level.

3. Amount of the chemical fertilizer and the immature compost in the corn

The amount of application of the chemical fertilizer and the immature compost in the corn growing was examined based on the cultivation trials using early maturing cultivar of Pioneer

106(36B08) and intermediate maturing cultivar of Snowdent 108(DK542). The amount of nitrogen necessary for a certain dry matter production, the amount of nitrogen supply when the immature compost was used together with the chemical fertilizer, and the amount of the negative environmental impact gas generation in corn growing were estimated. The amount of groceries was secured by using these while reducing the negative environmental impact and the combination that used the immature compost to its maximum was examined. At this time, the amount of the nitrogen supply from the soil was not thought, and it was assumed from nitrogen availability 40% - 50%, similar to the cultivation standard 16 t ha^{-1} - 18 t ha^{-1} the amount of the corn groceries, considering manure that suppressed the result amount of generation of the negative environmental impact gas, the combination of chemical fertilizer 115 kg ha^{-1} and immature compost 70 t ha^{-1} was thought.