

## 飼料用とうもろこし栽培における耕起作業前後のたい肥施用効果

山形 広輔<sup>\*1</sup>・尾張 利行<sup>\*1</sup>・佐藤 直人<sup>\*2</sup>

### 諸 言

飼料用作物の生産において、家畜の排せつ物に由来するたい肥は、化学肥料費の節減に役立つ有用な資源である。このたい肥を資源として効率的に活用するためには、飼料作物の種類に応じて、適切な量及び方法を用い、目標とする品質・収量を得ることが重要である。

飼料用とうもろこし栽培では、通常、たい肥散布、耕起、砕土、施肥（化学肥料）、整地、播種、鎮圧の順に作業が行われている。一方、県内の一部経営体では、たい肥散布と耕起の順序を入れ替えて作業を行い、通常の作業体系と比較して、見劣りしない収量を確保している事例があった。

そこで、飼料用とうもろこし栽培における、より効果的なたい肥の施用方法を明らかにするため、たい肥の耕起前施用と耕起後施用での収量性と土壌階層別の肥料成分の分布状態を調査した。

### 材料および方法

#### 1 試験実施場所と供試たい肥

試験は全て岩手県農業研究センター畜産研究所内の平坦な圃場（厚層腐植質黒ボク土、標高約 250m）で実施した。また、各試験の処理区造成時には土壌診断に基づきリン酸吸収係数 2%量の熔リンを施用した。

試験に用いたたい肥は乳用牛由来のもので、1 か月程度堆積・発酵したもの（原物中成分：水分 74-78%、窒素 0.39-0.41%、カルシウム 0.41-0.43%、マグネシウム 0.095-0.097%、カリウム 0.36-0.42%、リン 0.16-0.17%）を用いた。

#### 2 試験区の構成

試験はたい肥の施用時期、施用量について表 1 のとおり試験 I～III を設置し、2010 年-2012 年の 3 か年で実施した。なお、各試験において、耕起前にたい肥を施用する区を慣行区とした。

試験 I は、たい肥の施用時期を耕起前及び耕起後とし、収量性を比較した。

試験 II は、たい肥の施用時期を試験 I と同様にし、た

い肥由来の肥効を検討するため、化学肥料は無施肥とし、たい肥施用量は試験 I の倍量の 6t とした。

試験 III は、たい肥の施用について、耕起後に全量施用および耕起前後に半量ずつ施用して収量性を比較した。

#### 3 耕種概要

各試験の主な耕種概要は表 2 に示した。なお、試験 I および試験 III については、各試験区 30a の試験面積で実施し、供試品種にはゴールドデント KD660(RM116)を用いた。施肥は播種時の側条施肥とし、施肥量は 10 a 当たり  $N : P_2O_5 : K_2O = 10kg : 12kg : 10kg$  とした。また、試験 II については、各処理区 15a の試験面積で実施し、供試品種にはニューデント 100 日(RM100)を用いた。なお、施肥量並びにたい肥施用量については、県の牧草・飼料作物生産利用指針<sup>2)</sup>に基づき設定した。

#### 4 生育および収量調査方法

初期生育調査は播種後 50 日の草丈を調査した。試験 I および試験 III で処理区内の連続する 10 本を 10 カ所調査し、試験 II では同じく連続する 10 本を 5 カ所調査した。

収量調査は、黄熟期に到達した時点で行った。各処理区内の 2m×10 カ所を地上部 10cm で刈取り、個体数並びに全重量を測定した。乾物率の測定は各区から 3 個体程度の子実部と茎葉部を細断して 70℃で 3 日間乾燥後に秤量し算出した。また、TDN 収量は新得方式<sup>1)</sup>（推定 TDN 収量 = 乾物茎葉重×0.582 + 乾物雌穂重×0.850）により算出した。

#### 5 土壌のサンプリング方法および分析方法

試験 I および試験 II の試験について、4-10 月（たい肥散布前から飼料用とうもろこし収穫後まで）の月 1 回、各処理区内の定点付近 9 か所から土壌を採取し、よく混合したうえで土壌成分分析用のサンプルとした。土壌は表層から 10cm ずつ採取し、試験 I 及び試験 II は深さ 30cm まで、試験 III は深さ 40cm まで採取した。採取した土壌サンプルは 40℃で 48 時間以上風乾したのち、土壌中の硝酸態窒素 ( $NO_3-N$ )、交換性カリウム含量 ( $K_2O$ ) を測定した。なお、 $NO_3-N$  は紫外線吸光度法、 $K_2O$  は炎光光

度法で測定した。

有意に収量が少なかった。また、茎葉収量は差がなかったが、子実収量は慣行区に対して有意に少なかった。

## 6 統計処理

多重比較は Tukey-Kramer 法により検定を行った。

表1 試験区の構成

区分	試験年	手順1	手順2	手順3	手順4	堆肥施用量 (t/10a)	化成肥料施肥量 N-P-K(kg/10a)
試験Ⅰ 慣行区Ⅰ 試験区Ⅰ	2010-2011	堆肥散布 —	耕起	— 堆肥散布	バーチカルハロー による播種床形成	3	10-12-10
試験Ⅱ 慣行区Ⅱ 試験区Ⅱ	2011	堆肥散布 —	同上	— 堆肥散布	同上	6	0-0-0
試験Ⅲ 慣行区Ⅲ 試験区Ⅲ-1 試験区Ⅲ-2	2012	堆肥散布 — 堆肥散布	同上	— 堆肥散布	同上	3 1.5×2回	10-12-10

表2 主な耕種概要

区分	各試験区面積 (a)	堆肥散布日 (年/月/日)	播種日 (年/月/日)	栽植本数 (本/10a)	土壌処理剤 (ml/10a)	茎葉処理剤 (ml/10a)	収量調査日 (年/月/日)
試験Ⅰ	30	2010/4/19 2011/4/21	2010/5/15 2011/5/16	6667 <sup>*1</sup>	ジメテナミド ・リニュロン <sup>*2</sup> 500	アトラジン <sup>*3</sup> 200	2010/9/27 2011/9/28
試験Ⅱ	15	2011/4/21-22	2011/5/12				2011/9/13
試験Ⅲ	30	2012/5/1	2012/5/16				2012/9/19

\*1 畝間75cm×株間20cm

\*2 商品名…エコトップ乳剤。散布時の希釈水量は100L/10a

\*3 商品名…ゲザプリムフロアブル。散布時の希釈水量は100L/10a

## 結 果

### 1 たい肥施用と飼料用とうもろこしの生育及び収量性

(1) 耕起前又は耕起後のたい肥施用効果の検討(試験Ⅰ)

播種後50日での草丈(以下、初期生育)については、耕起後にたい肥を施用した試験区Ⅰが有意に高かった(表3)。収量性については、耕起前にたい肥施用した慣行区Ⅰの乾物収量を100とした場合、試験区Ⅰは87と

(2) たい肥由来の肥料効果の検討(試験Ⅱ)

初期生育については、慣行区Ⅱに比べ試験区Ⅱが128%と有意に高かった(表4)。収量性については、耕起前にたい肥施用した慣行区Ⅱの乾物収量を100とすると、試験区Ⅱは86であり、耕起後のたい肥施用試験区で有意差はなかったが茎葉および子実収量が低下する傾向にあった。

(3) 耕起前後のたい肥施用効果の検討(試験Ⅲ)

初期生育については、耕起後たい肥施用区が優れる傾

向にあった(表 5)。収量性については、慣行区Ⅲの乾物収量を 100 とすると、耕起前後に半量ずつたい肥施用した試験区Ⅲ-2 の収量はほぼ同等の 99 であったが、耕起後に全量施用した試験区Ⅲ-1 は 91 であり、慣行区に比

べ茎葉および子実収量のどちらも同じ程度低下し、収量が劣る傾向にあった。

表3 慣行区と試験区の収量性比較(試験Ⅰ)

区分	初期生育 (cm)	稈長 (cm)	着雌穂高 (cm)	乾物収量(kg/10a)			TDN収量 (kg/10a)	雌穂重割合 (%)
				茎葉	子実	計		
慣行区Ⅰ	137.8(100) a	286.2	135.3	1174(100)	1122(100) a	2295(100) a	1637 a	48.9 a
試験区Ⅰ	147.1(107) b	290.6	142.8	1102( 94)	885( 79) b	1987( 87) b	1393 b	44.6 b

\*1 データは2010年及び2011年の試験結果の平均値

\*2 異符号間(a, b)に有意差あり(p&lt;0.05)

\*3 括弧内の数値は慣行区を100とした時の値

表4 堆肥由来の肥料効果による収量性比較(試験Ⅱ)

区分	初期生育 (cm)	稈長 (cm)	着雌穂高 (cm)	乾物収量(kg/10a)			TDN収量 (kg/10a)	雌穂重割合 (%)
				茎葉	子実	計		
慣行区Ⅱ	54.2(100) a	250.4	75.7	717(100)	908(100)	1625(100)	1189	55.9
試験区Ⅱ	69.4(128) b	238.0	86.4	666( 93)	723( 80)	1389( 86)	1002	52.1

\*1 異符号間(a, b)に有意差あり(p&lt;0.05)

\*2 括弧内の数値は慣行区を100とした時の値

表5 耕起前後の堆肥施用による収量性比較(試験Ⅲ)

区分	初期生育 (cm)	稈長 (cm)	着雌穂高 (cm)	乾物収量(kg/10a)			TDN収量 (kg/10a)	雌穂重割合 (%)
				茎葉	子実	計		
慣行区Ⅲ	103.4(100) a	309.1	152.0	1047(100)	1208(100)	2254(100)	1636	53.6
試験区Ⅲ-1	109.8(106) b	312.3	158.1	950( 91)	1094( 91)	2044( 91)	1482	53.5
試験区Ⅲ-2	105.2(102) a	313.1	159.7	1045(100)	1174( 97)	2219( 99)	1606	52.9

\*1 異符号間(a, b)に有意差あり(p&lt;0.05)

\*2 括弧内の数値は慣行区を100とした時の値

## 2 土壌中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{K}_2\text{O}$ の状況 (2011-2012 年)

### (1) 試験 I

0-10 cm 層の土壌中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は、施肥及びたい肥施用後に試験区で急激に増加した。6 月 28 日以降は減少に転じ、7 月 25 日には作付け前のレベルに低下し、その後横ばいで推移した。5 月 27 日から 6 月 28 日の生育期(以下、生育初期)においては試験区 I が慣行区 I より高く、7 月 25 日以降は各区とも差がなかった。10-20 cm 層は 0-10 cm 層と同様の傾向であり、試験区 I の土壌中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は 0-10 cm 層に比較し多かった。20-30 cm 層では、10-20 cm 層と同様の推移を示したが、10 月 7

日を除く全期間を通じて慣行区 I は試験区 I に対し同等以上で推移した(図 1)。

土壌中の  $\text{K}_2\text{O}$  含量は、 $\text{NO}_3\text{-N}$  と同様に生育初期には増加し、その後減少を示したが、全生育期間を通じ土壤管理基準<sup>8)</sup>の目標値 20mg/100g を下回ることにはなかった。また、8 月 31 日以降において、慣行区 I、試験区 I とともに全層における  $\text{K}_2\text{O}$  含量がやや上昇する傾向がみられた。階層別では、0-10cm 層及び 10-20cm 層の  $\text{K}_2\text{O}$  含量は慣行区 I よりも試験区 I が多く、20-30cm 層では逆に試験区 I よりも慣行区 I が多い傾向にあった(図 2)。

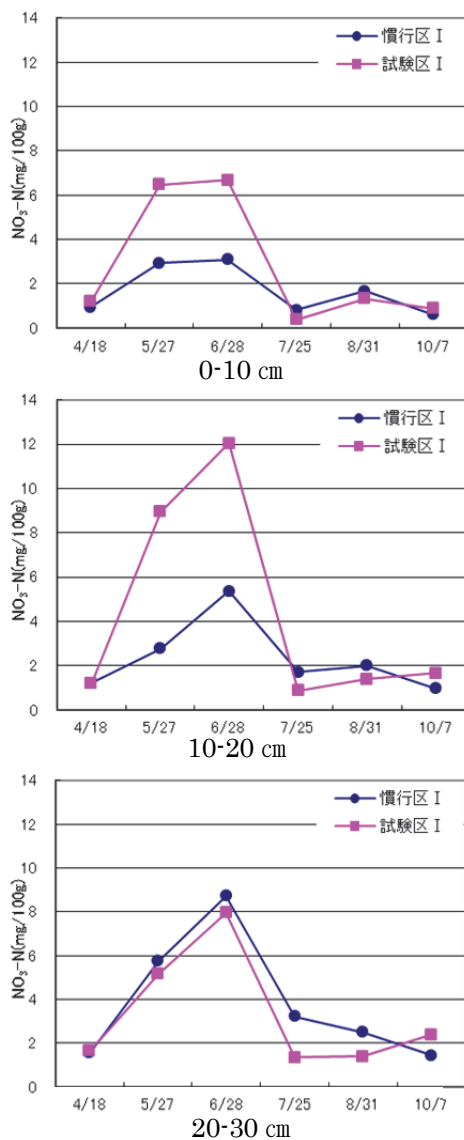


図 1 土層階層別  $\text{NO}_3\text{-N}$  の分布 (試験 I)

\*横軸は土壌採取日 (2011 年)

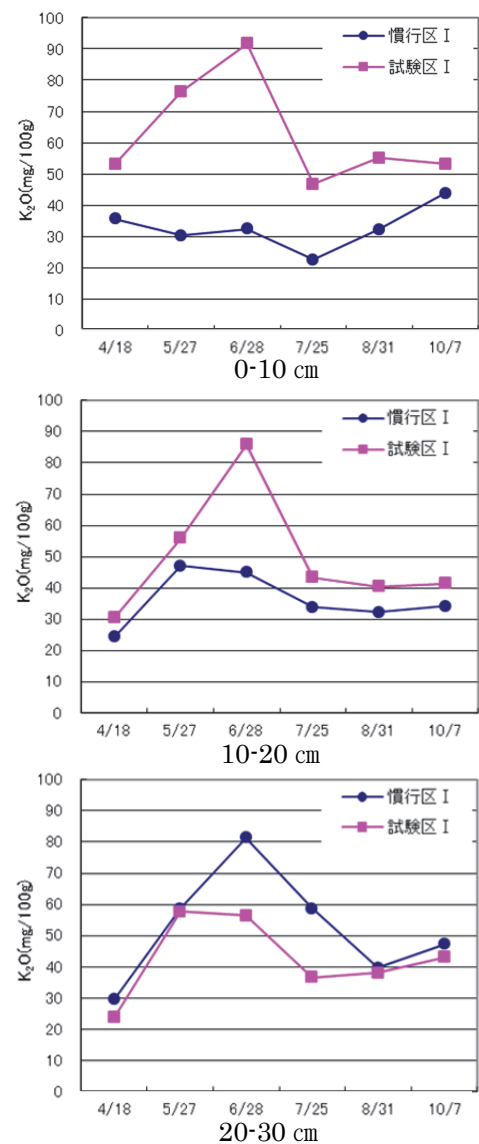


図 2 土層階層別  $\text{K}_2\text{O}$  の分布 (試験 I)

\*横軸は土壌採取日 (2011 年)

## (2) 試験Ⅱ

土壌中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は、0-10cm 層において慣行区Ⅱではほとんど上昇が見られず、試験区Ⅱでは、5月27日時点で試験Ⅰと同程度まで上昇し、その後6月28日には大きく減少した。10-20cm 層および20-30cm 層においては試験Ⅰと同様であったが、試験区Ⅱ、慣行区Ⅱともに7月26日には作付け前のレベルにまで低下した。

一方、 $\text{K}_2\text{O}$  については、階層別の  $\text{K}_2\text{O}$  含量及び経時的な変化について、試験Ⅰと同様であった(図3, 4)。

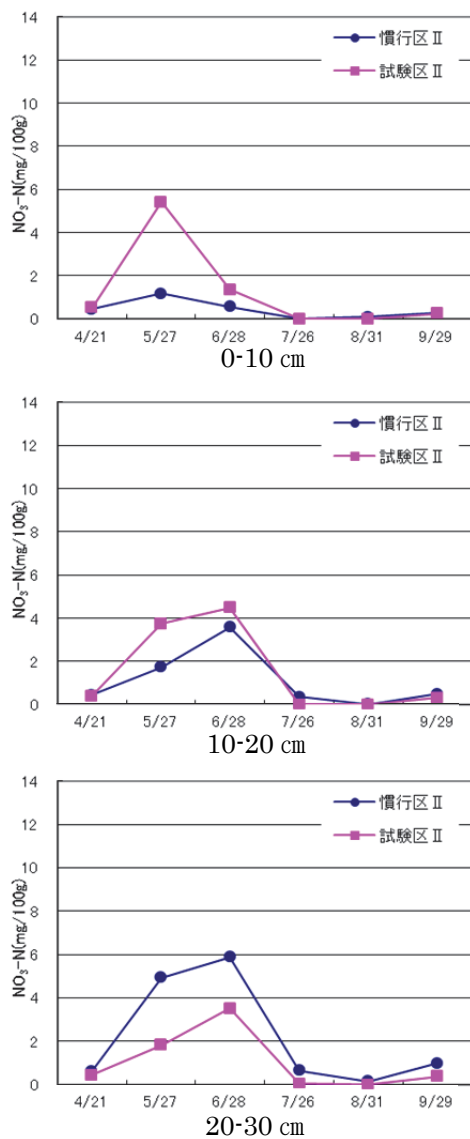


図3 土層階層別  $\text{NO}_3\text{-N}$  の分布(試験Ⅱ)  
\*横軸は土壌採取日(2011年)

## (3) 試験Ⅲ

土壌中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量については、0-10cm 層は試験区Ⅲ-1、試験区Ⅲ-2、慣行区Ⅲの順に多く、10cm 以下の階層(10-20cm, 20-30cm, 30-40cm 層)では慣行区が高く推移した(図5)。

$\text{K}_2\text{O}$  については、試験Ⅰとほぼ同様の結果であったが、階層別の含量については、試験区Ⅰに比べ少なく経過した(図6)。また、試験Ⅰ、Ⅱで見られた8月20日以降の増加は見られなかった。

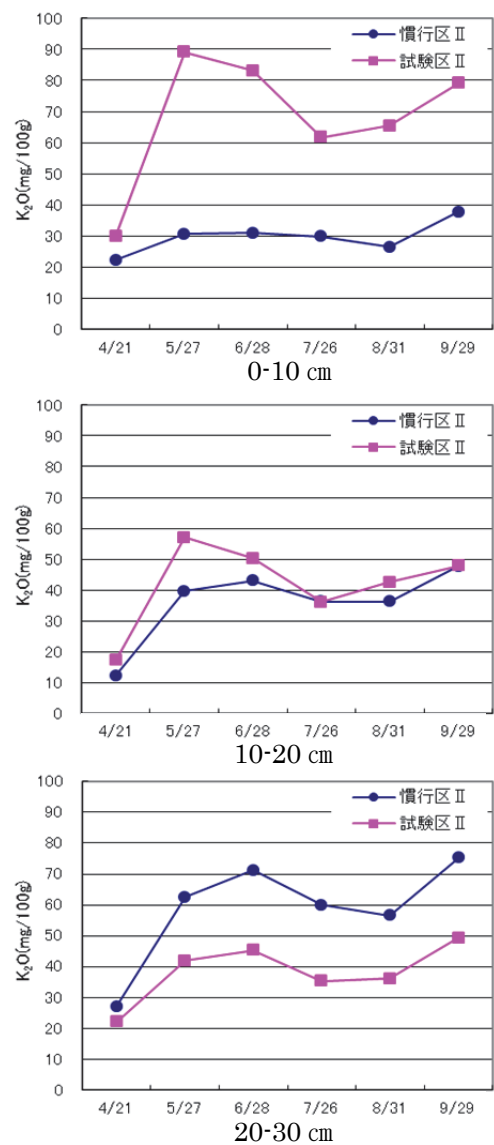


図4 土層階層別  $\text{K}_2\text{O}$  の分布(試験Ⅱ)  
\*横軸は土壌採取日(2011年)

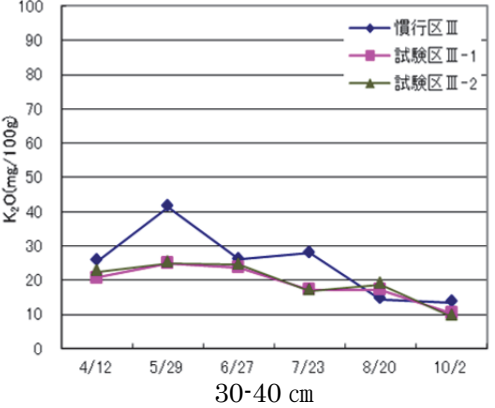
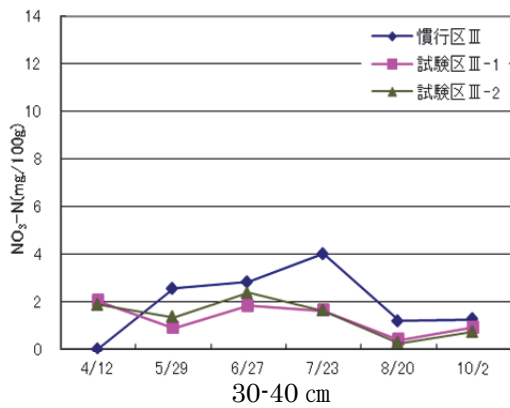
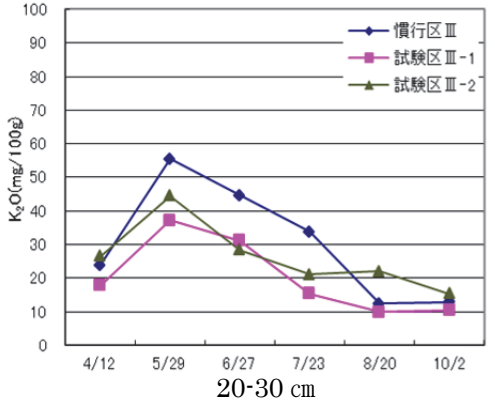
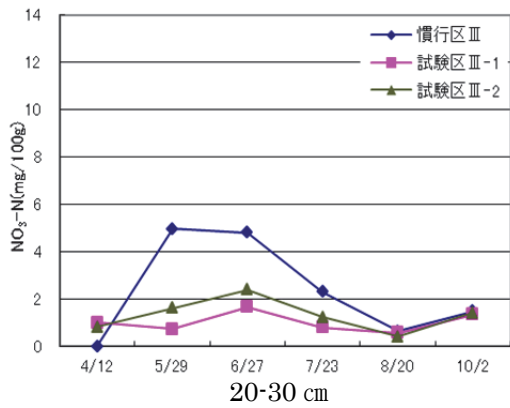
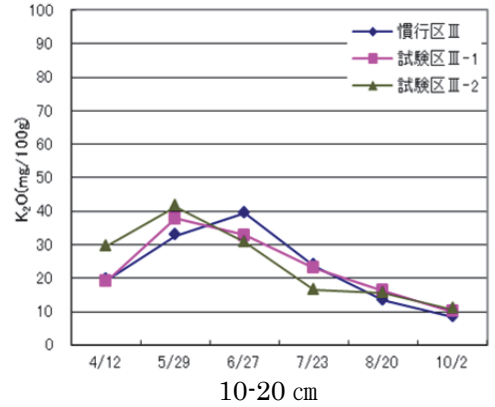
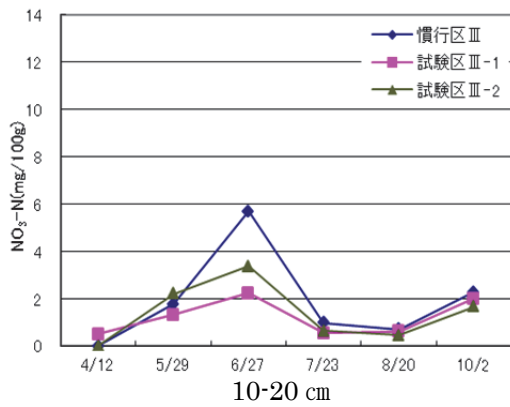
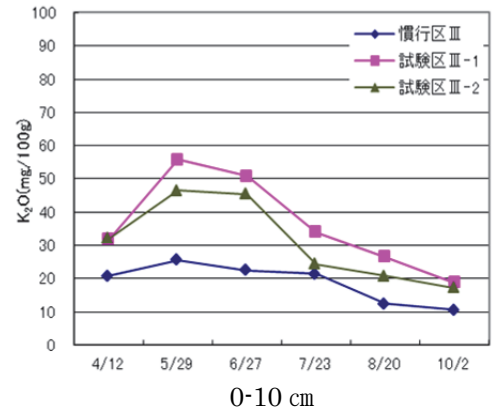
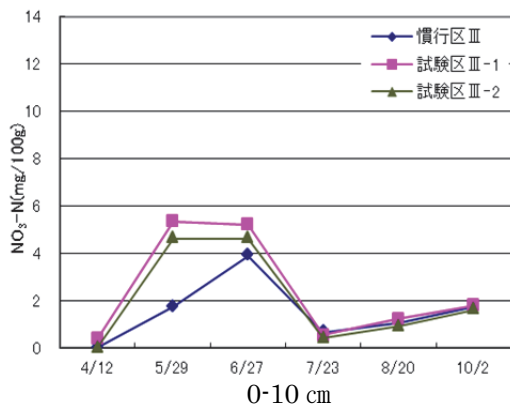


図5 土層階層別 NO<sub>3</sub>-N の分布(試験Ⅲ)  
\*横軸は土壤採取日(2012年)

図6 土層階層別 K<sub>2</sub>O の分布(試験Ⅲ)  
\*横軸は土壤採取日(2012年)

## 考 察

初期生育とたい肥施用の関係について、出口ら<sup>5,7)</sup>はたい肥施用によって地温が上昇し、飼料用とうもろこしの初期生育および登熟が促進されることを報告している。これは土壌の毛管連絡が遮断され、土壌表面での水分蒸発量が減少するためであり、たい肥施用量の増加に伴いその効果も大きくなるためとされている<sup>6)</sup>。本研究でも、0-10cm 層における試験区のたい肥混和量は慣行区より多いため、地温上昇による初期生育の促進も慣行区より優れたと考えられる。一方、慣行区でも、生育初期における土壌中硝酸態窒素は上昇していることから、この期間の窒素不足は無く、初期生育への窒素不足の影響はなかったと考えられる。

本研究では、6月下旬から7月下旬にかけ、各区において土壌中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量の急激な減少が見られた。しかしながら、その減少の程度は試験区と慣行区と異なっており、試験区の20-40cm 土層では、たい肥及び化成肥料の施用前である播種時(4月18日)の値まで減少していたのに対し、慣行区では減少しながらも播種時の値を上回る量を維持していた。このことから、6月下旬以降、試験区では20-40cmの土層で窒素が不足したのに対して、慣行区は試験区以上に窒素が供給されていた可能性が考えられる。6月下旬から7月下旬にかけては、当県内陸部における幼穂形成期と一致しており、登熟期に向け多量の窒素分を必要とする時期である<sup>8)</sup>。さらに、とうもろこしの根系領域については、播種後60日間で深さ70cmまで伸長する<sup>3)</sup>とされており、深さ20-40cmの硝酸態窒素は利用可能である。これらのことから、試験区においては、幼穂形成期に20-40cmの土層からの窒素供給が十分でなかったため、子実収量が減少し乾物収量が低下したと考えられた。

たい肥からの硝酸態窒素は有機物の分解により供給されるが、無通気条件では分解に時間がかかり残存率が多くなる<sup>10)</sup>。試験区において、0-10cmの土層に混合されたたい肥は、好気条件のため早期に分解され生育初期に土壌中硝酸態窒素を上昇させたが、生育初期の必要量に対し過剰で、幼穂形成期までの間に多くが流亡もしくは揮散したと考えられる。一方、慣行区において20-40cm層にすき込まれたたい肥は、嫌気条件のため分解に時間を要し、幼穂形成期以降の窒素要求量が増加する時期に試験区以上の硝酸態窒素を供給できたと考えられた。

試験Ⅱで慣行区と試験区の収量に有意な差が出なかったこと、また、試験Ⅲについて、試験区Ⅲ-1より試験区Ⅲ-2および慣行区Ⅲの乾物収量が多かったことも、

幼穂形成期以降に窒素が十分供給されなかったためと考えられる。なお、試験Ⅱにおける初期生育や収量性が試験Ⅰ、Ⅲよりも低くなっているのは、供試品種の早晩性と施肥方法が異なっているためである。

試験Ⅰ～Ⅲを通じ、土壌中の交換性カリは、試験区対照区とも土壌中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量の変化とはほぼ同様の動きであった。幼穂形成期から登熟期にかけて土壌改良目標値の20mg/100gを大きく下回る区は無かったことから、生育期間を通じて土壌中交換性カリの不足はなく、収量への影響もなかったと考えられる。

本研究では土壌中のリン酸含量と乾物総収量の関係について詳しく検討していないが、飼料用とうもろこしの地上部リン酸含有量は地上部総乾物重を縦軸に  $y=56.6+183.7x$  ( $r=0.944$ ) の関係で示すことができ<sup>4)</sup>、試験Ⅰにおける飼料用とうもろこしのリン酸吸収量は最大で約12kg/10aと試算される。これは基肥のリン酸施用量と同量であり、これに加えて、たい肥からのリン酸供給量を約3kg/10a(リン酸の肥効率60%<sup>10)</sup>で換算)とすると、生育期間を通して収量に影響を与えるほどのリン酸が不足したとは考えにくい。ただし、飼料用とうもろこしにおけるリン酸要求量は特に幼苗期に多く、この時期に根圏へのリン酸施用量が多いほど初期生育が優れることがわかっている<sup>8)</sup>。これらのことからリン酸による乾物総収量への影響はなかったが、試験区の初期生育の促進については、たい肥混和量の差による地温上昇に加え、生育初期の根圏における土壌中リン酸含量が影響していた可能性が考えられた。

以上、たい肥の耕起後施用は、初期生育が優れ6月下旬までの0-10cm層の土壌中硝酸態窒素の含量は上昇させるが、7月下旬には播種前のレベルまで低下し、収量への有効性はなかった。収量を向上させるためには、7月下旬に20-40cm層の土壌に硝酸態窒素が供給されることが重要で、耕起前たい肥散布により20-40cm土層にたい肥をすき込むことが有効であると考えられた。

この結果は諸言で述べた事例における堆肥施用効果と相反するため実態を調べてみたところ、耕起後のたい肥施用量は13t/10a(化学肥料の施肥なし)であり、たい肥から供給される窒素量は約22kg/10a(たい肥の窒素成分含有率を0.57%、肥効率30%<sup>1)</sup>で換算)と推定された。一方、本研究の試験Ⅱでたい肥6t/10aから供給された窒素量は約7kg/10aである。つまり、たい肥を耕起後に施用する場合、たい肥由来の窒素供給量が7kg/10aでは7月下旬の窒素不足により減収するが、現地的事例のように施用量が多ければ一部の有機物は分解せずに残存し、7月下旬以降も生育に必要な窒素を供給

できたと考えられた。また、もう一つの可能性として、たい肥の連用施用による窒素肥効の向上が挙げられる。同じ量のたい肥を毎年連用すると、たい肥施用当年に分解されずに残った有機物が翌年以降に無機化する残効が蓄積していき、1年間に無機化する窒素量がやがては単年に施用したたい肥中の全窒素に相当する量に近づいていく<sup>10)</sup>。県内の事例において、たい肥中の窒素成分含有量が想定よりも極端に低い場合でも、過去に投入されたたい肥からの残効により7月下旬以降も生育に必要な窒素が供給できた可能性が考えられる。よって、たい肥の耕起後施用は収量への有効性はないとの結論に至ったが、これは試験期間3ヶ年、1年間のたい肥施用量3t/10aにおける結果である。堆肥の多量施用には窒素溶脱に伴う環境汚染等の問題も指摘されている<sup>10)</sup>ことから、この問題と併せて、たい肥を多量に施用した場合や長期にわたり連用施用している圃場における耕起後のたい肥施用効果についてはさらに検討が必要である。

## 摘 要

耕起作業前後のたい肥施用が、飼料用とうもろこしの栽培における収量性に与える効果について検討を行った。耕起後のたい肥施用は初期生育が良好となるが、収量は子実収量が少ないことで、乾物総収量が劣った。これはたい肥をすき込む深さが浅く有機物の分解速度が速いため幼穂形成期（雌穂）以降の十分な窒素供給がされなかったためと考えられ、プラウ耕によりたい肥をすき込む深さを深くすることで、幼穂形成期（雌穂）以降の十分な窒素供給が行われ乾物総収量が確保できる可能性が示唆された。

## 引用文献

- 1) 石栗 敏機(1972). 粗飼料の飼料価値査定に関する研究 第3報 青刈りとうもろこしサイレージの品質改善と飼料価値査定に関する試験. 北海道立新得畜産試験場研究報告 3: 1-12
- 2) 岩手県. 牧草・飼料作物生産利用指針(2009).
- 3) 帰山 長憲・山崎 耕宇(1983). トウモロコシの根系領域の形成と1次根の伸長方向ならびに伸長速度. 日本作物学会紀事 52(4): 508-514.
- 4) 高橋 達児・山本 毅(1969). 改良資材施用跡地におけるとうもろこしの生育. 東北農業試験場研究報告 37: 139-156.

- 5) 出口 新・魚住 順・田中 治(2003). たい肥多量施用による地温と飼料用トウモロコシ(*Zea mays* L.)への生育促進効果. 東北農業研究 56: 115-116.
- 6) Deguchi S, Kawamoto H, Tanaka O, Fushimi A, Uozumi S (2009). Compost application increases the soil temperature on bare Andosol in a cool climate region: *Soil Sci Plant Nutr* 55:778-782.
- 7) 出口 新・島崎 由美・河本 英憲・田中 治・魚住 順(2012). たい肥施用による地温上昇と飼料用トウモロコシ初期生育への影響. 日草誌 57(4): 201-204.
- 8) 戸澤 英男(2005). トウモロコシ-歴史・文化, 特性・栽培, 加工・利用-, 農文協. 東京.
- 9) 苫米地 勇作・月舘 鉄夫・川村 五郎・木村 勝一・増井 正孝(1968). 傾斜畑の牧草生産方式に関する研究. 東北農業試験場研究速報 9: 59-66.
- 10) 農林水産技術会議事務局 農業・生物系特定産業技術研究機構. 家畜ふんたい肥の品質評価・利用マニュアル(2004).