

堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性ならびにキャベツとダイコンの収量に及ぼす影響

加藤哲郎*¹・米田和夫*²

Effects of Long-term Application Use of Compost on the Physico-chemical Properties of Andosols and Yields of Cabbage and Japanese Radish

Tetsuo KATO*¹ and Kazuo YONEDA*²

*¹ Tokyo Metropolitan Agriculture Experimental Station, 3-8-1 Fujimi, Tachikawa, 190-0013 Tokyo

*² College of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino, Fujisawa, 252-8510 Kanagawa

Abstract

Studies were done on the effects of long-term use of compost made of cow manure and barks on the physico-chemical properties of andosol and yields of horticultural crops. The aim of the studies was to set standards for soil diagnosis and minimum fertilizer application schedules. The yields of cabbages and Japanese radishes were greatly affected by the weather conditions, and they varied considerably, almost two folds between the lowest and highest yields in cabbage heads and more than three folds in the weight of Japanese radish roots. The effect of the application of the compost was not apparent in the first year on the yields of cabbages and Japanese radishes. But the yields increased more than 10% to more than 30% in the following years. However, their yields were not much greater than those in the plots that had only chemical fertilizers, though the compost was given to them for many years. This trend was seen in the yield of Japanese radish roots. If the soil contained a certain amount of phosphorus, the effect of phosphorus in the compost on the yields was not obvious.

With regard to the physical property of soil, the difference between the sold phases of the plots with and without compost applications tended to widen. Even when bases were applied equally, the amount of bases in the soil decreased rapidly in the plots with good absorption property while they accumulated in the plots where crop yields were low with not nitrogen fertilizer. Cation exchange capacity (CEC) increased even in the increased with application of the compost and fused magnesium phosphate. CEC increased even in the no-nitrogen plots when phosphorus was applied. Total carbon and total nitrogen increased every year when 3 t/10a of compost was applied yearly, though the amounts had some fluctuations.

Key Words : andosol, long-term application use of organic matter, physico-chemical properties, yields of cabbage and Japanese radish

緒 言

東京都内の農耕地土壌の約80%は黒ボク土である(東京都農試, 1977~1997)。この土壌は、土層が厚く、

有機物含量も多く、保肥力や保水力、通気性、透水性などにすぐれており、生産力が高い(東京都農試, 1978)。しかしこの土壌の理化学性は常に一定ではない。それは自然要因以外、耕耘、施肥や改良資材施用などの人為的

*¹ 東京都農業試験場 *² 日本大学生物資源科学部

キーワード : キャベツとダイコンの収量, 黒ボク土の理化学性, 有機物の長期施用

な影響による変化が考えられる。農作物の安定的な生産のためには、地力や生産環境を一定に維持し、将来にわたって土壌を良好な状態に保つことが求められる。それらに関しては、これまで報告されたものは多くはない(上沢, 1991; 金森, 2000; 土壌保全調査事業全国協議会, 1991; 農林水産技術会議事務局, 1977; 松下ら, 1979, 1989)。土壌状態を健全に保ちながら安定した農業生産を行うには、現在の土壌の理化学性を把握するだけでなく、時間の経過にしたがって、土壌に生ずる変化を把握することが必要である(加藤・米田, 2000; 加藤ら, 2000)。しかしながら、これまで都内の土壌に生ずる長期間の変化について報告されたものは少なく(東京都労経局農林水産部, 1997)、長期展望にたった営農指導の資料が不足していた。

東京都内の畑土壌は、かつては pH も低く、肥料成分不足の地点が多かった。現在では、化学肥料などの利用により適正値の地点が増え、さらには過剰な地点も出てきた。このため、大都市近郊における農耕地の土壌保全の立場からも、農業生産上からも堆肥や肥料の施用によって、土壌の養分状態がどのように変化するかを経時的に把握することがより重要になってきた。

そこで本試験では、黒ボク土畑において、長年にわたる堆肥の連用が園芸作物の生育・収量や土壌の理化学性などに与える影響を調査し、東京都内をはじめ、黒ボク土における今後の土壌診断および土壌管理、土壌負荷の小さい施肥基準などに役立つ基礎資料とするために検討した。

材料および方法

供試作物はキャベツとダイコンとした。春作としてキャベツ 'YR 錦秋' を毎年 5 月上旬定植して、毎年 7 月中下旬収穫し、秋作にはダイコン '都大根' を毎年 9 月上旬播種し、12 月中下旬に収穫した。キャベツ、ダイコンとも栽植密度は 28,000 株/ha とし、畝幅は 70 cm、株間は 50 cm とした。

試験では、東京都立川市立川面台地上の表層腐植質黒ボク土(米神統)に、①無窒素区(リン酸、カリのみ施用、肥料として窒素分は無施用)、②化学肥料単用区(三要素施用)、③有機物施用区(三要素+堆肥施用)、④総合改善区(三要素+堆肥+熔リン施用)の 4 区(0.5 a/区の 2 連)を設けた。なお総合改善区は、黒ボク土ではリン酸が固定して不足しがちであることを考慮して、リン酸資材をあらかじめ大量に施用して土壌改良することを目的とした区である。

肥料は窒素として硫酸アンモニウム(硫安)、リン酸として過リン酸石灰(過石)、カリとして硫酸カリウム(硫

加)を用いた。施肥量は無窒素区を除いて、窒素(N)、リン酸(P_2O_5)、カリ(K_2O)を 240:170:130 成分 kg/ha でキャベツ、ダイコンに同量施用した。無窒素区はリン酸、カリを 170:130 成分 kg/ha 施用した。これらの施肥量については、N は東京都の施肥基準とほぼ同じであるが、リン酸とカリに関しては、東京都内の土壌において蓄積が懸念されていることからリン酸は施肥基準量の約 68%、カリは 65% とした。有機物類としては都内の畜産農家で生産され、比較的使用も多い牛ふんパーク堆肥(以下、堆肥と略)を用いた。堆肥を連用する農家も多いため、連用が土壌の理化学性や作物収量に与える影響についても検討した。施用量および方法は、乾物換算で 15 t/ha (現物は 50% 前後の水分を含有)を毎年春作前だけに全面全層施用した。熔リンは 1・2 作目に 10 t/ha ずつの計 20 t/ha を施用し、石灰資材としては苦土入り炭酸カルシウム(苦土石灰)を各区同量、春作前に 1,000~2,000 kg/ha の範囲で前作跡地の土壌 pH を考慮しながら適宜施用した。

調査項目としては、1976 年から 1996 年までの 21 年間にわたる作物収量の変化のほか、収穫後の土壌では、三相分布や保水性などの物理性、土壌や堆肥の全炭素(T-C)、全窒素(T-N)、塩基類などの化学性について行った。土壌の三相分布や保水性については、収穫直後の圃場で 3 日間以上降雨のないことを確認の上、表層部(5~10 cm)から採土管を用いて、3 連で試料を採取し、分析に供試した。化学性については、毎年、キャベツ、ダイコンの収穫直後に各区から作土に相当する 0~20 cm の間の深さから採取し、分析用とした。圃場から採取した生土は、常温の日陰で 1 か月間以上風乾した後、粗大有機物や礫、ビニル片などを取り除いたあと、乳鉢で粉碎後 2 mm のふるいに通したものを供試した。全炭素や全窒素分析用については、さらに微粉碎して分析に供した。

土壌の各分析値は、2 連で行った試験区のそれぞれについて、さらに 2 連で分析し、平均値として示した。堆肥の分析は 2 連で行った。土壌、堆肥とも分析値に 5% 以上の差を生じた場合は、再度 2 連で分析を繰り返した。なお使用した堆肥の分析結果は、第 1 表に示した。分析方法については、以下のとおりであった。

分析方法

1. 土壌

1) 三相分布(固相、液相、気相)、仮比重 100 mL 採土管に圃場で生土を 5~10 cm の深さから採取し、生土重を測定した後、実容積計(大起理化製)を用いて実容積(固相+液相)を測定した。その後さらに通風乾燥機により、100°C で 24 時間乾燥し、乾燥土重を測定し、算

出した(岩田, 1972; 丹原ら, 1972; 丹原ら, 1972b; 横井, 1972)。

2) 保水性, 有効水分 100 mL の採土管を用いて, 三相分布と同様に採取した試料について, 実験室で砂柱法 (pF 1.0~1.8), 加圧板法 (pF 1.8~3.2), 遠心法 (pF 3.2~4.2) を組み合わせた方法(寺沢, 1972)で測定した。

3) pH (H₂O) 風乾土壌: 純水=1:2.5 で1時間振とう後 pH メーター (DKK) により測定した(森ら, 1970)。

4) pH (KCl) 風乾土壌: 1 M 塩化カリウム液=1:2.5 の比率で1時間振とう後, pH メーター (前出) により測定した(森ら, 1970)。

5) 電気伝導度 (EC) 風乾土壌: 純水=1:5 で1時間振とう後 EC メーター (DKK) により測定した(藤沼ら, 1970)。

6) 全炭素 (T-C), 全窒素 (T-N) CN コーダー (ヤナコ MT-500 型, 柳本) により測定した(田辺ら, 1970)。

7) 陽イオン交換容量 (CEC) セミマイクロショールンベルガー法 (pH 7, 1 M 酢酸アンモニウム液抽出, pH 7・80% エチルアルコール洗浄, 10% 塩化ナトリウム抽出), ホルホル法 (0.1 M 水酸化ナトリウム液滴定) により測定した(鎌田, 1986; 山添ら, 1973; 蔵本ら, 1970 a)。

8) 可給態リン酸 (P₂O₅) トルオーグリン酸分析法, 分光光度計 (前出) により測定した(関谷, 1970)。

9) 交換性石灰 (CaO), 交換性苦土 (MgO), 交換性カリ (K₂O) CEC 分析時にセミマイクロショールンベルガー法で pH 7, 1 N 酢酸アンモニウム液によって抽出した液を原子吸光度計 (Z-4000 型, 日立製) により測定した(蔵本ら, 1970 a; 蔵本ら, 1970 b; 三須ら, 1970)。

2. 堆肥

1) T-C, T-N 風乾後粉碎して 1.0 mm のふるいに通したサンプルを C/N コーダー (前出) により測定した。

2) 全リン (T-P) 硝酸・過塩素酸分解後, 分光光度計 (前出) により測定した。3) 全カルシウム (T-Ca), 全マグネシウム (T-Mg), 全カリウム (T-K) 硝酸・過塩素酸分解後, 原子吸光度計 (前出) により測定した。

結果および考察

1. 収量に及ぼす影響

1) キャベツ

(1) 結球部 収量は年度によって大きく変動していた(第1図)。化学肥料単用区だけをみても, 21年間の最高収量と最低収量は約2倍の差があった。特に1985, 1990, 1991と1996年は全体に収量が低下していた。い

わゆる異常気象の年で, 乾燥が続いたり, 降雨が続いたり, 低温の年であった。例えば, 1985年は立川市の東京都農業試験場内の観測地点で, 5月の降雨量が39.0 mm (平年値82.3 mm), 6月の平均気温が19.6°C (平年値22.0°C) であった。1990年は, 5・6月の月間降雨量はそれぞれ41.0 mm, 67.0 mm と平年値の約半分であった。

1991年は5月前半, 6月前半に降雨量がみられなかった。1996年は4月の最低気温の平均値が4.6°C (平年値8.4°C), 6月の降雨量は41.0 mm (平年値128.3 mm) であった。

堆肥施用の効果は1作目ではほとんどなかったが, 2作目以降からみられるようになり, 10数%から30数%の増収としてあらわれた。しかし堆肥を長年にわたって施用し続けても, 有機物施用区と化学肥料単用区との収量差は一定の範囲内にあり, 大きく違うことはなかった。気象的要因で収量が全体的に低かった1985, 1990, 1991, 1996年は, 有機物施用区と化学肥料単用区との差は比較的小さく, 逆に気象条件に恵まれて全体に収量の高い年ほど堆肥施用の効果は認められた。

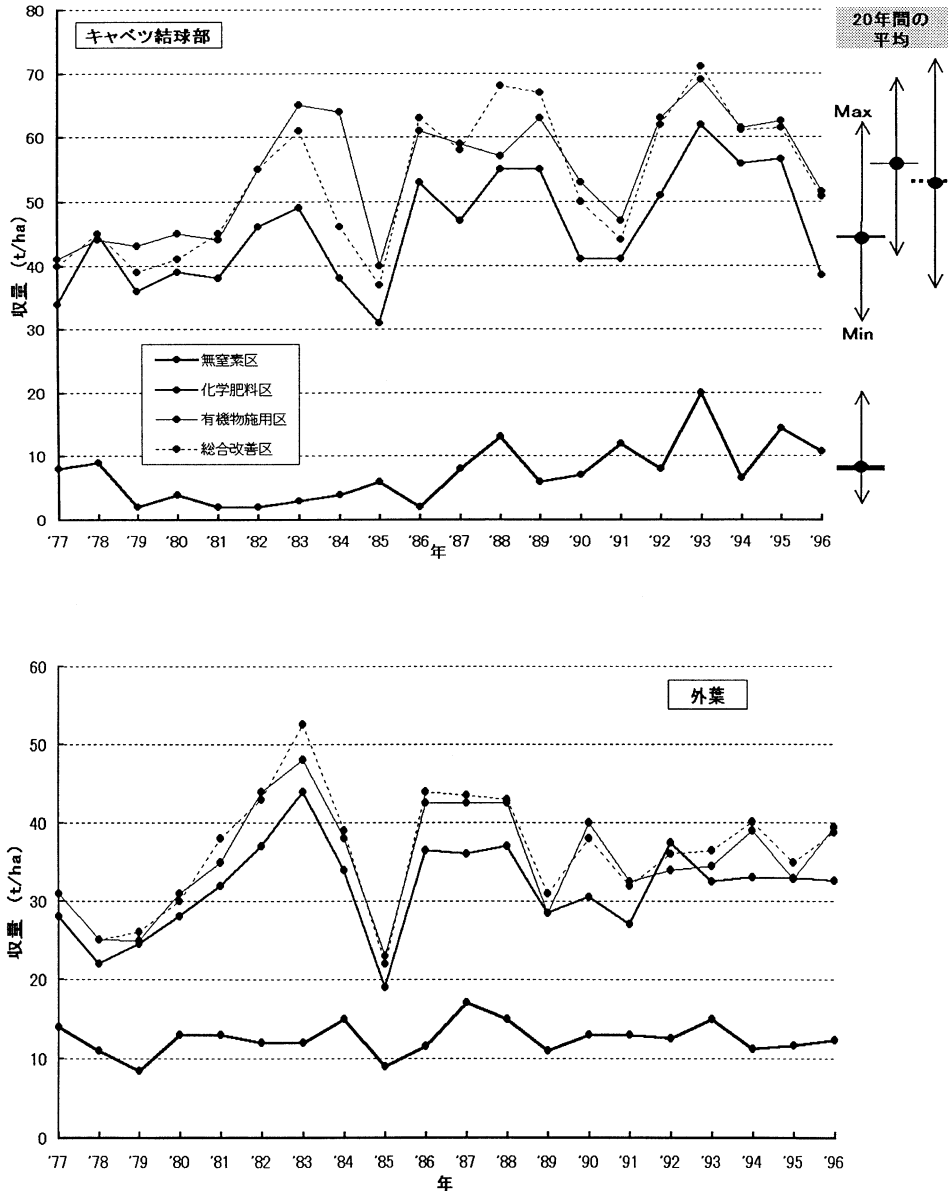
黒ボク土はリン酸固定力が大きく(供試土壌のリン酸吸収係数は1,800~2,000程度), 可給態リン酸が不足しやすいため, 黒ボク土の総合的な改善として, 堆肥にさらにリン酸資材の熔リンを施用した。しかしこのリン酸の影響は結球部ではほとんどみられず, 一定量の可給態リン酸があれば, それ以上に必要のないことが認められた。

無窒素区では, 1作目だけは小さいながらもある程度結球したが, 2作目以降はほとんど結球しなかった。リン酸とカリについては, 化学肥料単用区と同量施肥していたが, 窒素肥料の施用がないことは, キャベツの生育に致命的な影響を与える結果となった。

(2) 外葉部 キャベツの外葉部も結球部と同様であった(第1図)。結球部の収量の少ない年は外葉部の収量も少なかった。また堆肥施用による効果をみると化学肥料単用区と比較して10数%~20数%程度増収していた。リン酸施用の影響を堆肥施用と, それにリン酸を加用した総合改善区と比較しても, 外葉収量に顕著な差は認められなかった。一定量の可給態リン酸があれば, それ以上は収量に影響を与えないことが認められた。また正常に生育している区では外葉部より結球部がどの区も例外なく重かったが, 無窒素区では1作目以外, 外葉部の方が重かった。

2) ダイコン

(1) 根部 ダイコンの根部の収量は年によって大きく変動していた(第2図)。化学肥料単用区だけをみても, 21年間の最高値と最低値とでは約3倍ほどの開きが

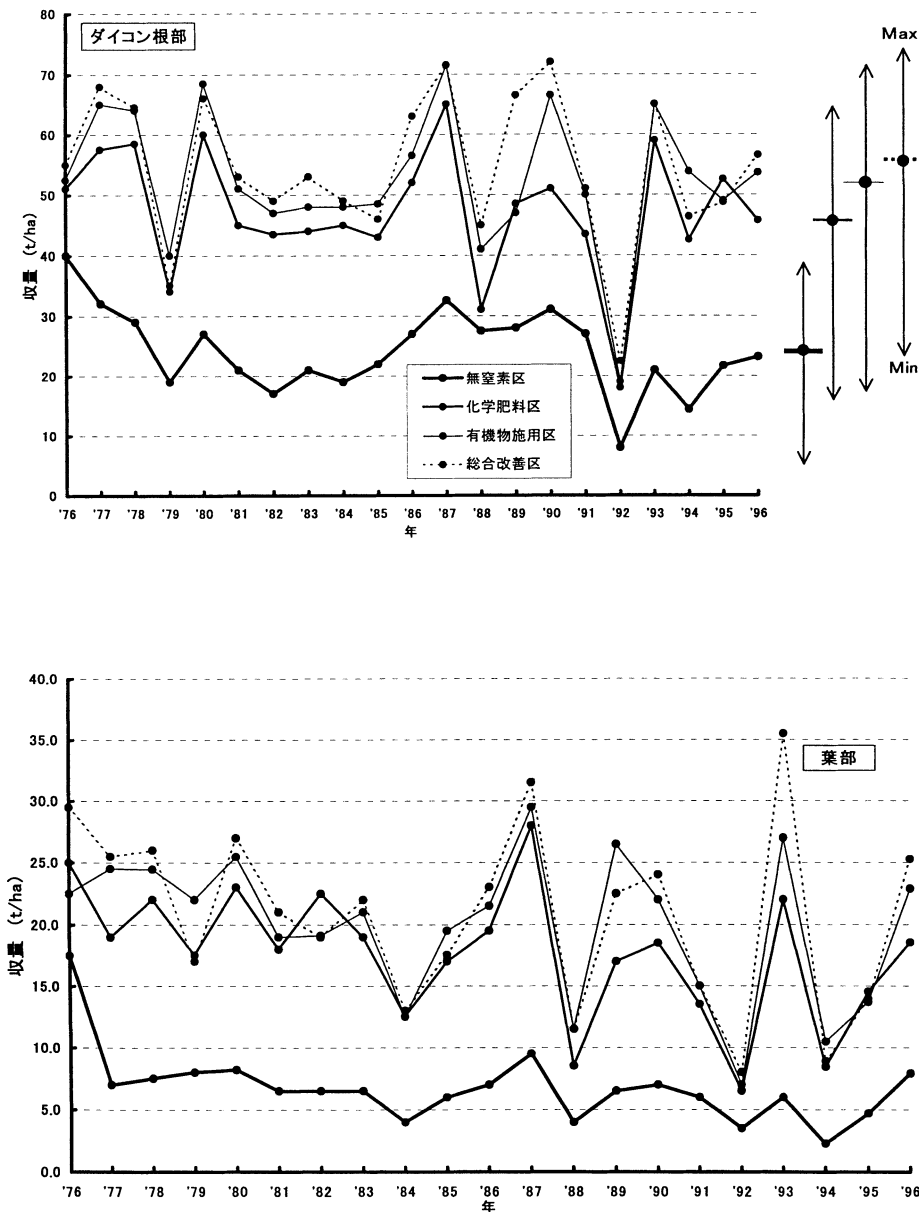


第1図 キャベツの結球部と外葉部の収量変化

Fig. 1 Change in cabbage head yield and external leaves yield.

あった。特に、1979、1988、1992年は全体に収量が低下していた。主として秋に乾燥が続いたり、降雨が続いたり、低温であったことなどが影響していたと考えられた。例えば、東京都農業試験場内の観測では、1979年は10月の降雨量が308.0mm(平年値199.7mm)と多く、一時期に集中していた。1988年は9月の降雨量が307.0mm(平年値182.2mm)と多く、10月では38.5mmと少なかった。また9月の日照時間は54.1時間(平年値

154.0時間)と晴れの日が少なかった。1992年は9月の降雨量が90.5mmと少なく、10月は308.5mmと多かった。このような条件が収量低下の原因のひとつとなったと推察された。また1992年は異常気象に加えて病気および害虫の発生もみられたため、著しく収量が低下していた。これらダイコンの収量低下は、春作キャベツと似た傾向を示してはなかった。異常気象年でも1年中異常状態が続いたわけではなく、春作と秋作が同年に低下



第2図 ダイコンの根部と葉部の収量変化

Fig. 2 Change in radish root yield and leaf yield.

する年は少なかった。

このような気象条件による変動は各区とも同様で、堆肥の施用によって特に緩和されることはなく、気象条件に原因した収量の低下を抑えることはできなかった。

堆肥の施用効果を収量からみると、1作目では施用したばかりであり、ほとんど効果はなかった。2作目以降から効果がみられるようになり、使用した堆肥の熟度等

に特に問題のないことが認められた。2作目以降は大半の年で有機物施用区の収量が化学肥料単用区の収量よりまさっていた。化学肥料単用区と比較してみると、年度により変動しながらも有機物施用区で数%~20%程度増収していた。堆肥を毎年施用し続けても化学肥料単用区との差は開き続けることはなく、一定範囲の差を保ちながら推移していた。特に1978年から1988年までの間

は、化学肥料単用区に比較して堆肥を施用した区では、約10%程の増収が安定的に続いていた。しかし、気象要因などで全体的に収量の低下した年は、化学肥料単用区と有機物施用区の差は、一部を除いて比較的小さかった。さらに病虫害の発生した場合も堆肥施用の有無は、収量に顕著な差をもたらさないことが認められた。

リン酸施用の効果を、どちらも有機物を施用し、リンの施用の有無だけが異なる有機物施用区と総合改善区の間で比較してみると、リン酸施用により21年間の22作のうち9作でわずかに増収していたが、それ以外の年は顕著な差はみられないか、減収していた。これは一定以上のリン酸分があれば、黒ボク土でもそれ以上施用しても増収には結びつきにくいことを示していた。無窒素区では、1作目は他の区と同じような収量であったが、2作目以降は、他の区の収量が増加せず、顕著な差がでてきた。しかしキャベツの無窒素区結球部が全く食用に供することができなかったのに対し、ダイコンではいずれの年度においても、小さいながらも食用に供することは可能な大きさであった。

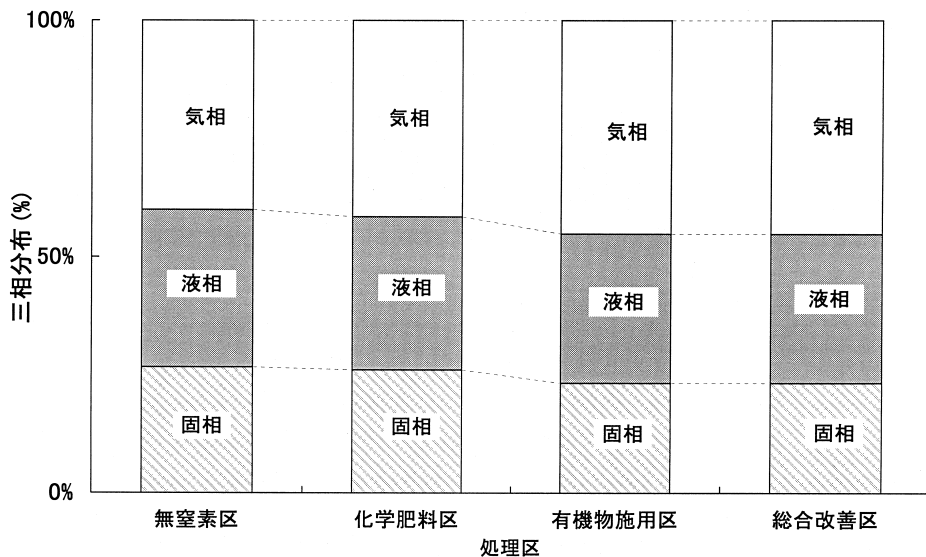
(2) 葉部 ダイコンの1 ha当たりの全葉重も年度によってばらつきがみられ、1988年や1992年では根重と似たような傾向を示した(第2図)。しかし1979年では、根重が低下したのに、葉重は低下しておらず、1984年や1994年では、根重は平年並みであったのに対し、葉重は非常に低下していた。1979年は、気象条件が悪く、葉部ができただけで、根部の生産が十分でなかった。1984年

と1994年は収穫直前まで、生育は順調であったものが、病虫害が急激に発生したため、地上部だけが被害を受けて減収となった。しかしこのときも無窒素区では、病虫害による障害の受けかたは他の区よりやや緩慢であった。1992年も9月前半の少雨と9月後半から10月の多雨という異常気象に加え、病虫害が生育の初期からの発生していたために、葉部と根部ともに、収量減の影響がみられた。

ダイコン葉重に対する堆肥の効果を見ると、根重と同様の傾向にあった。化学肥料単用区と有機物施用区の差は数%~20数%の間で、すべての年で堆肥施用がまさっていた。リン酸の効果は葉部でも顕著ではなかった。無窒素区では、収量は2作目以降に急激に低下し、その後気象条件などにもあまり影響されず、大きな変化がなく、低い値を維持していた。そのため、他の区の生育がよい年は、収量差が大きくなり、他の区の生育が悪くなると、その差は小さくなった。また、地下部に対する地上部の割合(T/R)は、根部の生育が良好で収量の高いときほど小さく、結果として少量の葉で根部を肥大させていた。

2. 土壌中の理化学性に及ぼす影響

1) 三相分布 三相分布は、10年間経過後からはほぼ同じような傾向であったため、試験開始後18年を経過した1993年のデータだけを示した(第3図)。18年間を経過した圃場の状態では堆肥の施用により、気相が増加し、液相と固相が低下し、土壌の膨軟化が起きている



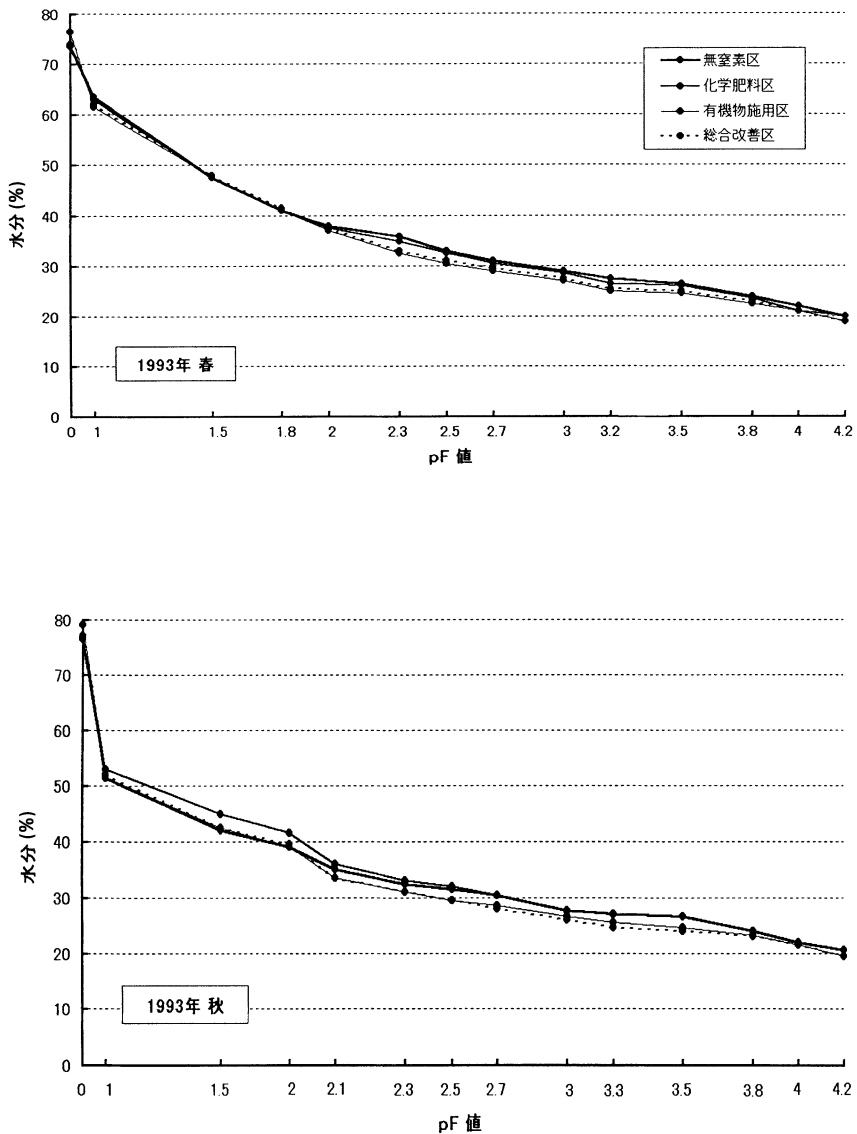
第3図 土壌の三相分布の変化 (1993年春)

Fig. 3 Change in three-phase distribution of soil in spring, 1993.

ことが認められた。総合改善区と有機物施用区の間で大きな差はなかったため、熔リンの施用は影響を与えていなかったと考えられた。化学肥料単用区と無窒素区は、堆肥を施用した他の2区と比べ、気相がやや小さく、液相と固相が大きくなっており、堆肥の施用がないと、土壌が硬くなりやすいことを示していた。無窒素区は化学肥料単用区よりもわずかに固相が大きい傾向にあった。土壌中で植物根が十分に伸びた場合には根によって、孔隙が作り出されるので、土壌の膨軟化が進むと考えられ

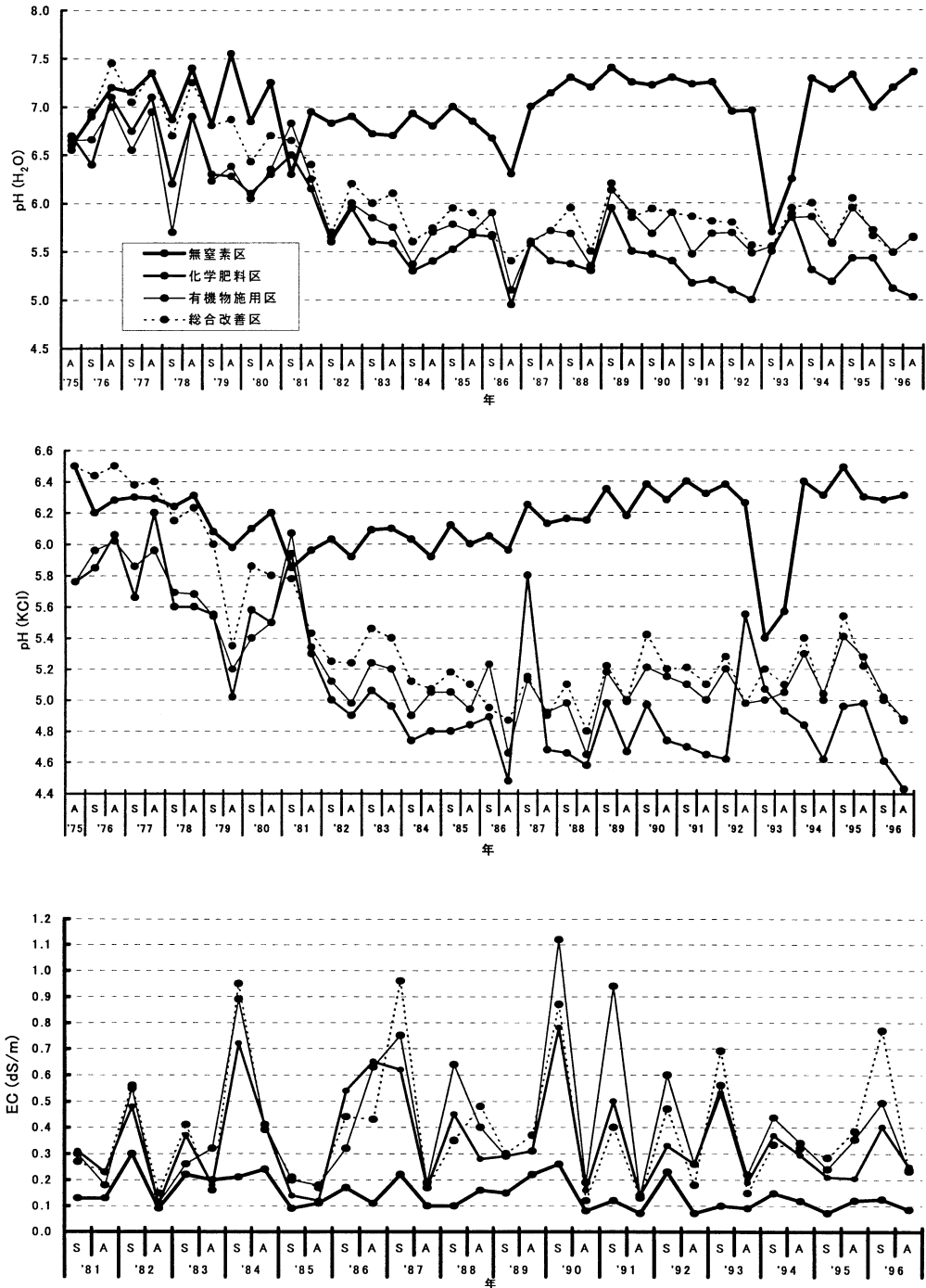
るが、無窒素区では作物体の生育が悪く、化学肥料単用区に比較して根も十分に伸びていなかったため、土壌がより硬くしまりやすかったと推察された。

2) pF 保水性(水分曲線)も、10年間経過後からはほぼ同じような傾向になったため、18年間を経過した1993年のデータだけを示した(第4図)。18年間を経過した圃場の状態では、堆肥を施用した2つの区においては、施用しない他の2区に比較して、いずれのpF値においても体積含水率は低い値となった。このことは、三



第4図 土壌の水分保持曲線の変化(1993年春、秋)

Fig. 4 Changes soil water retention curves in spring and autumn, 1993.



第5図 土壤のpHとECの変化
 Fig. 5 Change in pH and EC of soil.

相分布での液相の減少とも一致していた。有機物施用区では低 pF での水分保持に関わる大孔隙や有効水分量の保持に関わる孔隙が増加し、特に高 pF の水分含量を保持する微細孔隙の減少が大きいと考えられる。これにより、堆肥を施用した2つの区においては、特に高 pF 段階の水分含量が減少するため、各 pF に対応した水分含量が堆肥を施用しない他の2区に比較して低く推移したものと考えられた。この変化に伴って有効孔隙が増加すると、気相を増加させる可能性は高くなると考えられた。

また堆肥を施用した区では、各 pF にわたって水分含量が低下するが、pF 2.0 以上の水分含量の減少が大きいため、結果として、pF 1.5 と pF 2.7 の水分含量の差で表される有効水分量は同じか、ないしは増加していた。

3) pH および EC pH (H₂O) の経年変化については、施用量や気象条件、生長量の違いにより、年度間のばらつきが大きかった(第5図)。また各区同量ずつ石灰資材を施用しているが、作物による塩基などの吸収量や溶脱のし方の相違により、区間の変化が大きかった。作物の生育の悪い無窒素区が常に高い値を維持しており、生育のよい化学肥料単用区や有機物施用区で低下が著しかった。これは生育のよい区では、作物による石灰分の吸収が多く、pH (H₂O) が低くなり、無窒素区では石灰分の吸収量が少なく、土壌中に残ったために pH (H₂O) が高くなったと考えられた。吸収量や土壌の pH に合わせて石灰類を施用することの重要性が認められた。熔リンを1~2作目の作付け前に施用した総合改善区は4~5作目までは無窒素区よりも高い pH (H₂O) 値であったが、8作を過ぎた後から急激に低下し、その後は有機物施用区よりもわずかに高い値を推移していた。これは土壌の pH (H₂O) を上昇させるはたらきをしていた熔リン中の塩基性成分が流亡したためと考えられた。

また石灰資材は春作前に施用していたが、施用のすぐ後の春作跡地土壤よりも、その後の秋作跡地の方が高い pH (H₂O) 値を示すことが多かった。これは土壌中の硝酸イオン含量が秋作跡地では少なくなっていた(データ省略)こと、ダイコンよりもキャベツの方が石灰吸収量は多かったことに一因していると考えられた。

pH (KCl) も個々のデータについては、多少のばらつきがあるものの、pH (H₂O) とおおよそ1程度低い値を示していたが、同様の傾向がみられた。

PH (H₂O, KCl) については、同じ種類の土壤であっても作物の種類や生育の良否、気象条件などで大きく変化しているため、石灰類の施用に関しては、土壌状態を十分に把握しながら行う必要があるといえる。

土壌の EC 値については、春作・秋作ともに化学肥料

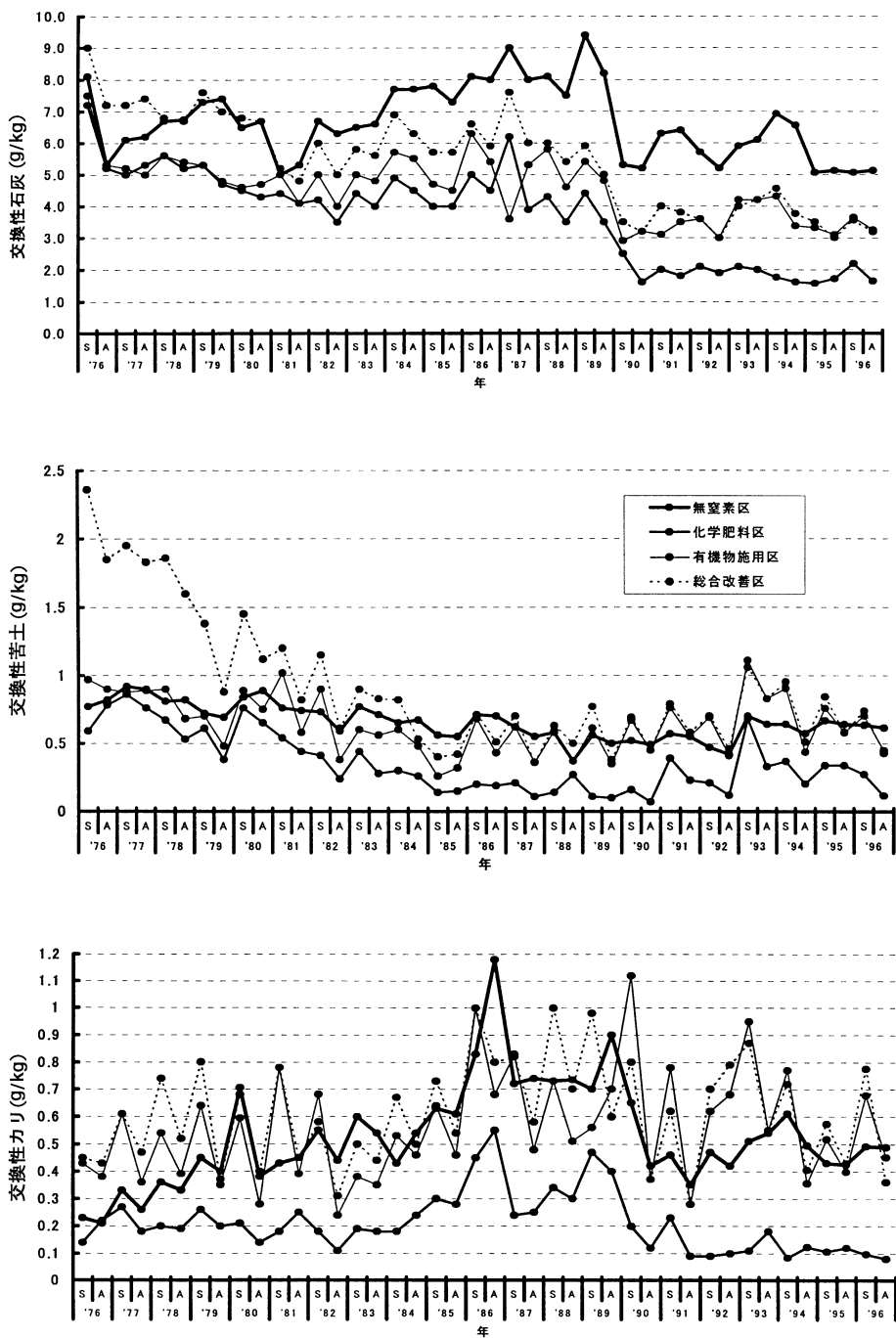
を施用しているが、特に EC が春作跡地で高く、秋作跡地では低くなっていた。春作跡地、秋作跡地とも EC 値は年度によって差がみられたが、その時の気象状態や収量が影響していたためと推察された(第5図)。区間の差については、無窒素区が非常に低い EC 値で推移していた。化学肥料に堆肥を加えた有機物施用区が春にはもっと高くなりやすく、1年間の変動が大きかった。総合改善区と化学肥料単用区はそれよりも多少低い値であった。

EC 値の変化は、窒素分や堆肥の施用が大きく関係していることが認められた。また熔リンは EC の変化には、ほとんど影響していなかった。

4) 交換性石灰量、交換性苦土量および交換性カリ量 交換性石灰量については、各区同量の石灰資材を施用したが、春作と秋作の違いや年度によってばらつきはあるものの、作物生育が悪く石灰吸収量の少ない無窒素区では高く、石灰吸収のよい他の3つの区では、年ごとに低下する傾向がみられた(第6図)。特に化学肥料単用区で低下が著しく、堆肥を施用した2つの区では堆肥からの補給もあり、化学肥料単用区ほどは低くなかった。

交換性苦土量については、試験開始直後は無窒素区、化学肥料単用区、有機物施用区の間で、大きな差はみられなかった(第6図)。熔リンを施用した総合改善区だけが熔リンからの供給で非常に高い値を示していた。苦土入りの石灰資材を各区同量施用したが、10作ほど経過した1980年頃から、徐々に化学肥料単用区の含量が他の区よりも低くなり、その後も低下傾向にあった。総合改善区は7~8作ほど経過した1979年頃から急激に低下し、その後も減少傾向にあり、試験開始から9年間ほど経過した1984年より後で有機物施用区とほぼ同じような数値と変動のし方を示すようになった。総合改善区において熔リン施用によって、当初一時的に増加した交換性苦土は、10年ほどで化学肥料単用区を除く他の区と同程度まで低下したことが認められた。また黒ボク土のもつリン酸固定力の強さに対処するために土壌中の可給態リン酸含量が100 mg/kg 程度の場合、一度に大量のリン酸資材を施用する必要があるが、熔リン投入初期の交換性苦土含量を考えると、10~20 t/ha という多量の熔リン施用には問題があると考えられた。さらに石灰資材として苦土入りの炭酸カルシウムを施用すれば、ほぼ土壌中の交換性苦土量が適量に保てることも認められた。

交換性カリ量については、春作と秋作前にそれぞれ化学肥料でカリ分を施用しているが、春作の跡地で高くなり、秋作の跡地で低くなるという動きを毎年繰り返していた(第6図)。春作跡地では堆肥を施用した有機物施用



第6図 土壌中の交換性石灰、交換性苦土と交換性カリの変化

Fig. 6 Change in exchangeable CaO, exchangeable MgO and exchangeable K₂O content of soil.

区と総合改善区が特に高くなり、化学肥料単用区との差が大きくなることから、春作跡地の交換性カリ含量の高さには、堆肥施用の影響が無視できないと考えられた。またこの交換性カリ含量の変化は土壌 EC 値と非常に似ており、交換性カリ自体も EC 値に少なからず関与していることが示唆された。

区間の比較としては、試験開始時には有機物施用区と総合改善区で交換性カリ含量がやや高く、無窒素区と化学肥料単用区がやや低い状態であった。そのような中で化学肥料単用区では試験開始から 20 作目の 1985 年頃まではほとんど上昇せず、試験開始から 20 作目を経過後にわずかに上昇していた。しかし上昇を示したのもわずかの期間で 28 作目の 1989 年あたりから再び減少しはじめ、試験を開始した直後の値よりも低くなっていた。無窒素区は毎年上昇し、7~8 作後の 1979 年には有機物施用区と総合改善区の値に追いついていた。その後も化学肥料単用区を除く 3 区の値は振れながらも上昇を続け、22~24 作経過した 1986 年あたりからやや低下する傾向がみられた。

1 ha 当たりカリ成分量で 130 kg とキャベツやダイコンの東京都施肥基準量の約 65% 量で実験を行ったが、化学肥料単用区のように、堆肥の施用がない場合には土壌中の含量が低くなり過ぎるため、不足していたと考えられた。しかし土壌中のカリ含量が低くても一定の収穫量を維持しており、また農家による通常の栽培では、全く堆肥類を施用しないことはほとんどないため、今後カリの施肥基準量自体を見直す必要もあると考えられた。

また堆肥を施用した区では、直接的な害はみられないが、徐々に土壌中のカリ含量が増加していた。これまで堆肥中の成分量を見逃しがちであったが、今後は土壌への負荷や生産環境への問題からも、堆肥を併用する場合には、特に蓄積しやすく、かつ過剰に存在するとマグネシウム吸収と拮抗を起こす恐れのあるカリの含有量にも配慮する必要があると判断された。

5) T-C および T-N T-C は試験開始時では 48~50 g/kg 程度であったが、有機物施用区と総合改善区では、振れをみせながらも徐々に増加し、21 年経過後（実験最終年）では、60 g/kg 程度までになっており、およそ 10 g/kg 分が増加していた。土壌中の T-C が増加するということは、土壌の緩衝能や保肥力にも関与する土壌有機物や土壌腐植の増加を意味しており、T-C の増加は土壌改良において目標とする項目のひとつであるとともに、土壌をより良好な状態にする上でも重要な役割を果たしている。黒ボク土は比較的土壌有機物や T-C は多い土壌であるが、そのような土壌に属する供試土壌においても

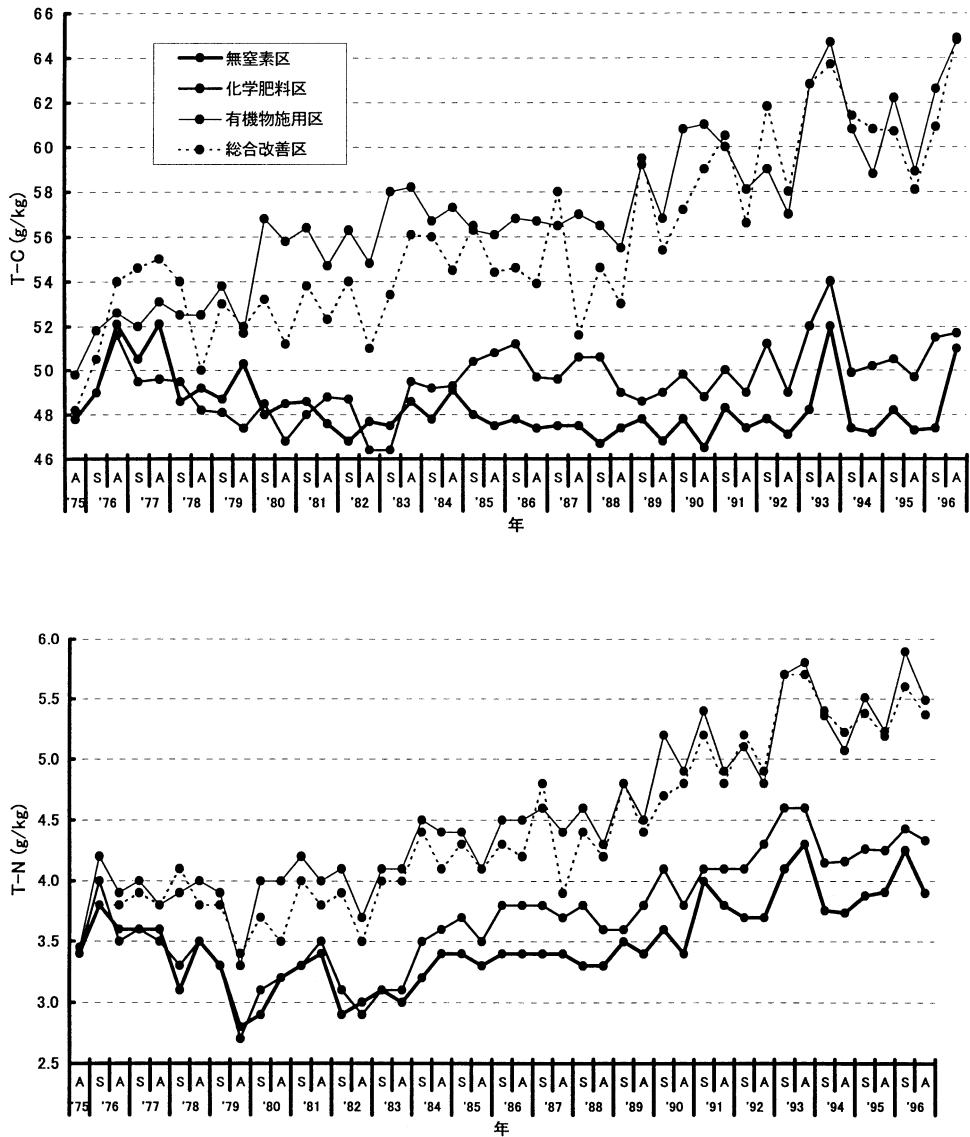
風乾土あたりで 50 g/kg ほどしか T-C は含まれていない。これを 10 g/kg 上昇させることは簡単なことではなく、T-C だけについての増加率の 20% という数字は、きわめて高いものであると考えられた。言い換えれば、黒ボク土において土壌中の T-C を 10 g/kg 高めるためには、乾物換算で 15 t/ha の牛ふん堆肥を 20 年間にわたって施用し続ける必要があることが認められた。実際には水分を 50~55% 程度含む堆肥を利用しており、別の表現では毎年 30 t/ha 以上が必要になると考えられた。

熔リンを施用した総合改善区は有機物施用区よりやや低い値を推移しており、T-C の増加には寄与していないことが認められた（第 7 図）。無窒素区は開始直後わずかな上昇もみられたが、その後は植物体残さなどの供給も他の区に比べて少なく、低下傾向にあった。化学肥料単用区では一度低下していたものの、根などの残さなどからの供給も多少あり、16~18 作経過後の 1983 年あたりからわずかに増加の傾向がみられた。しかし 21 年経過後でも、試験開始時と比較して T-C はほとんど変わらない値であった。

T-N も T-C と似た傾向を示していた（第 7 図）。試験開始時ではどの区も 3.5 g/kg 程度の含有量であったが、堆肥の施用で振れながらも徐々に増加し、21 年経過後の 1996 年では、5.5 g/kg 程度までになっており、およそ 2 g/kg 分が増加していた。この値は、1 ha あたりで試算すると（試験区における実際の耕耘深度である 15 cm、および試験区の実測仮比重値の 1、実測体積含水率の約 0.35 m³/m³ として）約 2,000 kg の窒素分となっていた。通常の施肥基準値では、1 ha あたりで一作に窒素成分 200~250 kg の施用で十分栽培ができることを考えると、非常に多くの量と考えられた。T-N だけについていえば、毎年乾物換算で 15 t/ha の牛ふん堆肥の施用を今後も続ける場合には、化学肥料による窒素施用量を減らしていく必要があると考えられた。

熔リンを施用した総合改善区は有機物施用区よりやや低い値を推移しており、T-C 同様 T-N の増加にも寄与していないことが認められた。無窒素区では窒素肥料の施用がないため、開始直後から低下傾向にあった。しかし 24~26 作経過後の 1988 年頃から増加傾向に転じてきた。これは植物根などの作物残さによる影響が出ていたと考えられた。データでは示さなかったが、無窒素区の作物は多くの養分を吸収するために根を伸ばしており、他の 3 区ほどではないにしても、収穫後には多くの根が残ることが確認された。このことが一因となって、化学肥料区と大差ない T-N 値になったと推察された。

化学肥料単用区でも試験開始直後から低下傾向を示し、16 作目の 1983 年頃までは無窒素区とほとんど同じ

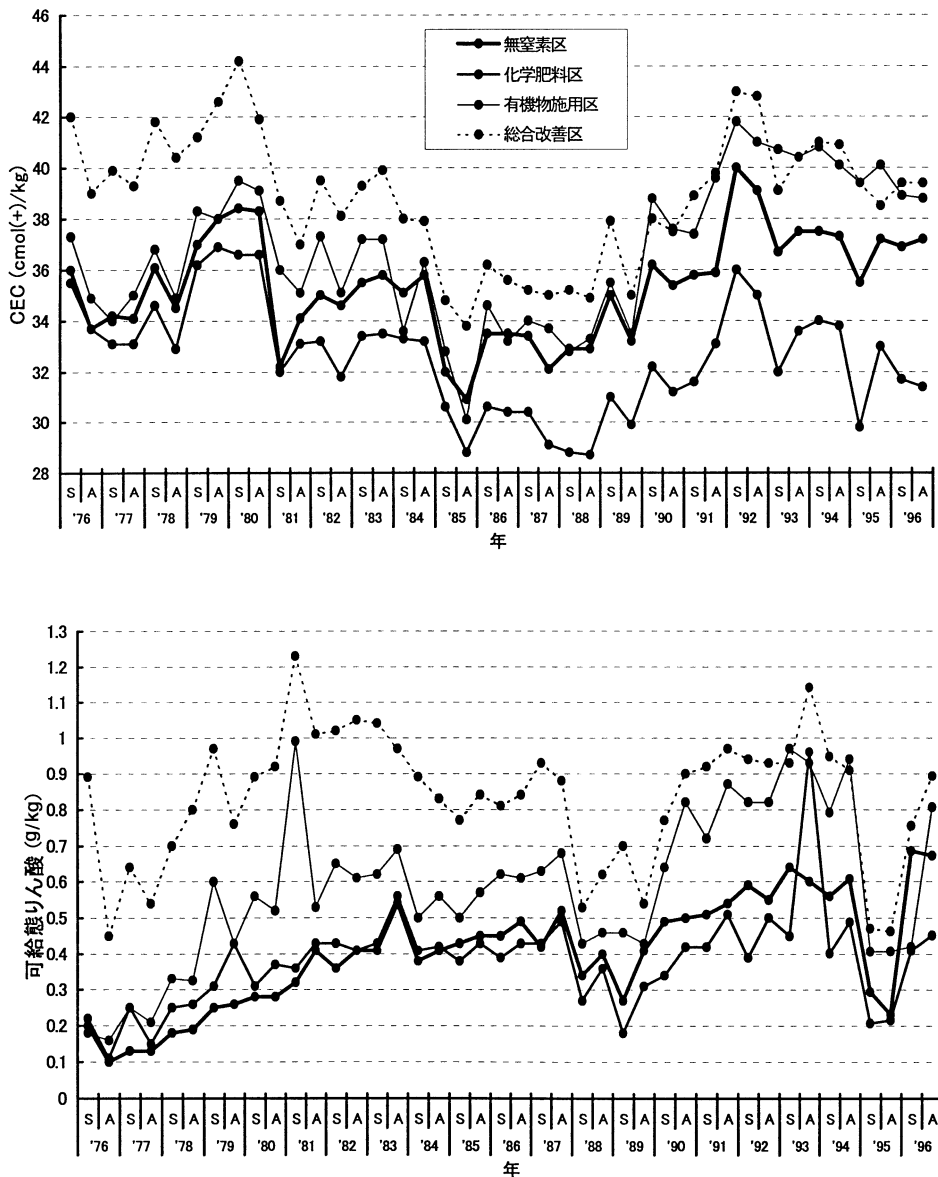


第7図 土壌中の全炭素と全窒素の変化
Fig. 7 Change in T-C and T-N of soil.

動きをしていた。16～18作経過後あたりから増加の傾向がみられ、無窒素区よりも上がり方が大きく、その差は大きくなった。両区とも試験開始時と比較して21年経過後の1996年でも、T-Nはわずかに増えた程度であった。

6) 可給態リン酸およびCEC 可給態リン酸は、試験開始直後の跡地土壌では、熔リンの施用により総合改善区がやや高めであったが、それ以外の3区は低い値であった(第8図)。総合改善区は約10～12作を経過する

1980年あたりまで上昇し続けたが、その後は低下傾向を示した。有機物施用区は試験開始後、異常気象年に一時的に含有量が低下したが、ほぼ一貫して上昇を続け、試験開始から24～26作経過後の1987年頃には総合改善区と大差がなくなっていた。その時点あたりで熔リン施用による可給態リン酸増加の効果が消滅したことをうかがわせた。21年間にわたって堆肥を連用した場合、特に過剰というほどではないにしても、土壌中の可給態リン酸含有量が試験開始時の4～5倍(P_2O_5 で約1g/kg・乾



第 8 図 土壤中の CEC と可給態リン酸の変化

Fig. 8 Change in CEC and available P₂O₅ content of soil.

土)に増加していたので、さらに長期的に堆肥施用を続ける場合は、堆肥中に含まれるリン酸分にも考慮する必要があると考えられた。無窒素区と化学肥料単用区の可給態リン酸はほとんど同じような動きをみせ、年々徐々に増加する傾向にあった。リン酸施肥量は両区とも同量であるが、収穫量は大きく異なっていたので、無窒素区が大きく上昇すると想定できたが、実際は両区の間大きな開きはなかった。この理由は作物によるリン酸吸収

の絶対量が他の多量要素に比べて比較的小さかった(データ省略)ことや、試験を実施した圃場土壌のリン酸吸収係数が1,800~2,000と高い値であったため施用したリン酸分の大半が土壤に吸着されること、そして根などから分泌される有機酸などによって、リン酸分が溶け出しやすくなるが、無窒素区では根の生長量が小さく有機酸の分泌も少なかったと推察されたこと、などが影響していたと考えられた。

CEC は試験開始直後の跡地土壌では、総合改善区が高かったが、それ以外の 3 区は低い値であった (第 8 図)。これは試験開始直前に施用した熔リンの影響であると考えられた。CEC の経時的な変化は土壌中の可給態リン酸と似た傾向を示していた。総合改善区では熔リンから供給される可給態リン酸が開始から約 8~10 作経過後の 1980 年頃までは十分にあって上昇していたが、その後は低下していた。このとき総合改善区の CEC も開始から約 8 作経過後の 1979 年までは上昇し続けたが、その後は低下傾向を示した。これはリン酸のもつ負電荷と CEC が連動し、土壌中の可給態リン酸の増加中は CEC も増加し、可給態リン酸が減少した場合はそれに伴って低下したことが考えられた。それ以外の 3 つの区も 7~8 作目の 1979 年までは同じような傾向で上昇し、その後は有機物施用区が緩やかな低下傾向を示し、無窒素区と化学肥料単用区は急激な低下を示した。この時点で有機物施用区と総合改善区と大差がなくなっていた。堆肥からの可給態リン酸の供給量が徐々に増加したこと、有機物をもつ CEC の高さ由来すると考えられた。無窒素区も一度低下した後少しずつ上昇し、有機物施用区とはほぼ同じような値になってからは有機物施用区よりやや低い値で似た動きをしていた。化学肥料単用区だけは低下が著しく、他の 3 区の間と徐々に差が広がっていった。化学肥料の施用だけでは高い CEC を維持することが難しいことを示していた。21 年経過後には堆肥を施用した 2 つの区が高く、試験開始時の 10% 程度高くなっており、次いで無窒素区が高く、開始時より数%程度上昇していた。化学肥料単用区はもっとも低く、試験開始時よりも低い値になっていた。可給態リン酸や T-C と全ての変動が必ずしも一致したわけではなかったが、CEC の変化の仕方は、堆肥施用やリン酸施用の影響を受けていたと考えられた。以上より肥力を上げるためには堆肥やリン酸の施用が必要であることが認められた。

摘 要

本実験は腐植質黒ボク土畑において、牛ふんバーク堆肥を長年にわたって連用した場合、土壌の理化学性や園芸作物の生育・収量などに与える影響について検討し、黒ボク土野菜畑土壌における今後の土壌診断および土壌負荷の小さい施肥基準などの基礎資料とするために調査したものである。

1. キャベツおよびダイコンの収量は、その年の気象条件に左右され、変動していた。
2. 化学肥料単用区だけを見ても、21 年間の最高収量と最低収量は、キャベツ結球部で約 2 倍、ダイコン根部

で 3 倍以上の開きがあった。

3. 堆肥施用の効果は、キャベツの 1 作めではみられなかったが、その後は 10 数% から 30 数% の増収として現れた。しかし堆肥の長年にわたって施用し続けても、化学肥料単用区との差が大きく開くことはなかった。この傾向はダイコンの根部でもみられた。

4. 土壌中に一定量のリン酸が含まれていれば、黒ボク土であってもリン酸増施の効果は、顕著に認められなかった。

5. 土壌の物理性では、堆肥を施用した区と施用しない区で液相率や気相率の差が広がる傾向にあった。

6. 塩基類は各区同量施用しても、作物の生育がよく、塩基類の吸収がよく、しかも堆肥の供給がない化学肥料区で減少が激しく、生育の悪い無窒素区では徐々に蓄積していた。

7. CEC は堆肥と熔リンの施用で高まっていた。無窒素区でもリン酸の増加により CEC が高くなっていった。

8. T-C や T-N は、毎年乾物換算で 15 t/ha ずつの堆肥施用で変動しながらも上昇していた。

引用文献

- 土壌保全調査事業全国協議会 (1991) : 日本の耕地土壌の実態と対策, p. 36-55, 博友社, 東京。
- 東 俊雄 (1986) : 有機炭素, 土壌標準分析・測定法委員会編 土壌標準分析・測定法, p. 77-85, 博友社, 東京。
- 藤沼善亮・木下 彰 (1970) : 塩類濃度. 土壌養分測定法委員会編 土壌養分分析法, p. 45-52, 養賢堂, 東京。
- 岩田進午 (1972) : 土壌水分. 土壌物理性測定法委員会編 土壌物理性測定法, 47-52, 養賢堂, 東京。
- 鎌田春海 (1986) : 陽イオン交換容量. 土壌標準分析・測定法委員会編 土壌標準分析・測定法, p. 150-154, 博友社, 東京。
- 金森哲夫 (2000) : 国公立試験研究機関における有機物・肥料等の長期連用試験の現状について, 土肥誌, 71 : 286-293。
- 加藤哲郎・長谷川 功・米田和夫 (2000) : 長期間にわたる有機物施用およびロータリー耕耘の有無が作土の理化学性並びに作物収量に及ぼす影響, 土壌の物理性, 83 : 29-40。
- 加藤哲郎・米田和夫 (2000) : 黒ボク土における作土層の深さが作物収量と土壌の理化学性に及ぼす影響, 土壌の物理性, 印刷中。
- 蔵本正義・小菅伸郎・高橋和司 (1970 a) : 塩基置換容

- 量・全置換性塩基・塩基飽和度。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 33-44, 養賢堂, 東京。
- 蔵本正義・小菅伸郎・高橋和司 (1970 b) : カルシウム・マグネシウム。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 281-296, 養賢堂, 東京。
- 松田幹男・堀江正樹・本田勝雄・志村英二 (1980) : 畑輪作に関する研究 (第 11 報)。42 年間にわたる連・輪作方式における畑作物収量の推移について, 日作紀, **49** : 548-558。
- 松下利定・中村伴蔵・小松憲一・鎌田喜孝 (1979) : 火山灰畑土壌における有機質・無機質肥料連用に関する研究—とうもろこしの生育・収量ならびに土壌の理化学性におよぼす影響について—, 長野県農総試中信地方試報告, **1** : 198-207。
- 松下利定・中村伴蔵・小松憲一・鎌田喜孝・長谷川徹 (1989) : 火山灰畑土壌における有機質・無機質肥料連用に関する研究 (第 2 報)。各種野菜の生育・収量におよぼす影響, 長野県中信農試報告, **7** : 67-91。
- 三須 昇・宮里 恵 (1970) : カリウム。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 258-264, 養賢堂, 東京。
- 森 信行・嶋田永生 (1970) : 酸度。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 29-32, 養賢堂, 東京。
- 農林水産技術会議事務局 (1977) : 火山灰土における堆肥及び厩肥の長期連用効果に関する研究。研究成果, **95** : 142。
- 関谷宏三 (1970) : りん酸の比色定量法。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 225-229, 養賢堂, 東京。
- 田辺市郎・蘭 道生 (1970) : 炭素窒素同時分析法。土壤養分測定法委土壤養分測定法委員会編。土壤養分分析法, p. 139-147, 養賢堂, 東京。
- 丹原一寛・美園 繁 (1972a) : 実容積法。土壤物理性測定法委員会編 土壤物理性測定法, p. 1-24, 養賢堂, 東京。
- 丹原一寛・美園 繁 (1972b) : 土壌 3 相。土壤物理性測定法委員会編 土壤物理性測定法, p. 24-42, 養賢堂, 東京。
- 寺沢四郎 (1972) : 保水性。土壤物理性測定法委員会編 土壤物理性測定法, p. 134-159, 養賢堂, 東京。
- 東京都農業試験場 (1978) : 東京都農耕地土壌の基本的性格と生産力特性, 地力保全基本調査総合成績書。p. 1-32, p. 215-302, p. 302-310, 東京。
- 東京都農業試験場 (1977-1997) : 基準点調査。土壤保全対策事業調査成績抄録, 東京。
- 東京都労働経済局農林水産部編 (1997) : 農林水産業の概要。p. 10-17, 東京。
- 上沢正志 (1991) : 化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析, 農業技術, **46** : 393-397。
- 山添文雄・越野正義・藤井国博・三輪睿太郎 (1973) : 詳解肥料分析法, p. 39-43, 養賢堂, 東京。
- 横井 肇 (1972) : 土壌の固相。土壤物理性測定法委員会編 土壤物理性測定法, p. 42-47, 養賢堂, 東京。

受稿年月日: 2000 年 5 月 15 日

受理年月日: 2000 年 10 月 23 日