



Title	ハウス土壌における施肥成分の分布
Author(s)	波多野, 隆介; HATAN0, Ryusuke; 今井, 弘樹 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 13(4), 507-516
Issue Date	1983-07-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11994
Type	departmental bulletin paper
File Information	13(4)_p507-516.pdf



ハウス土壌における施肥成分の分布

波多野隆介・今井弘樹・岡島秀夫

(北海道大学農学部農芸化学科土壌学講座)

(昭和57年11月8日受理)

Distribution of Plant-Nutrient Ions in Soils Used for Vegetables in Plastic Greenhouses

Ryusuke HATANO, Hiroki IMAI
and Hideo OKAJIMA

(Laboratory of Soils, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

1. はしがき

ハウス栽培は気象環境を制御することによって高い作物生産をあげようとするものであり、土地生産性の増大を求めるためにいきおい多肥の傾向にあり、しかも収益の高い作物が連作される。ハウス内では蒸発散量がかん水量より多いのが普通であるため¹⁾、長年にわたる多肥連作が土壌溶液の塩類濃度を植物の濃度障害発現レベルまで上昇させることは多くの研究者により報告されている^{1,2)}。これに伴い土液比1:5水抽出液等による施肥基準の設定を具体化していく試みもなされてきた^{3,4)}。

しかし、ハウス土壌における水と養分の移動集積は主としてマルチ、植物吸収状態に規制されるため、土壌溶液の施肥養分濃度は層位別はもちろんのこと、うねからうね間にかけての横方向にも極めて不均一な状態となっていると予想され、根群域土壌環境を知る上での一つの問題点となっている。

本研究は、このような施肥成分の分布の不均一性を調

査し、その特徴を把握し、ハウスの肥培管理の一助とすることを目的に行った。

2. 調査方法

1) 調査ハウス；1977年、札幌(Sa)、三笠(Mi)、栗山(Ku)、夕張(Ub)の4カ所のハウスを対象として、作物の生育盛期に調査を行った。Table 1に各ハウスの特徴を示した。施肥は、各ハウスとも基肥として化成肥料を全層施肥し、札幌を除き作物生育に応じて各かん水ごとに液肥として適量の追肥を施すのが普通である。Fig. 1にうね、マルチの形式を示した。栗山を除き、15~25 cmの高うねである。

2) 土壌試料の採取方法；金属製モノリス(Fig. 2)により、うねからうね間にかけて土壌を深さ0~1, 1~5, 5~10, 10~20, 20~30, 30~40 cmまで採取した。札幌、三笠の一部の試料は、下層が非常に堅固であったため採土できなかった。採取土壌は水分測定後、風乾し以後の分析に供試した。

Table 1. Plastic greenhouses investigated

Districts	Abbreviation	Formation	Cultivated years	Vegetables	Irrigation	Top dressing
Sapporo	Sa	Moved	2	Cucumber	By hands	Non
Mikasa	Mi	Fixed	5	Cucumber	Tube at five days intervals	Once per two irrigations
Kuriyama	Ku	Fixed	5	Tomato	Tube at four days intervals	At time of irrigations
Yubari	Ub	Fixed	5	Melon	Tube	At time of irrigations

また、三笠を除いた各ハウス土壌では、風乾の際に根を土壌内からふるいわけ、水洗後 80°C で乾燥し、秤量後、重量 100 分率による根の土層内分布を求めた。

3) 土壌試料の分析方法; 土壌 pH は土液比 1:2.5 水懸濁液ガラス電極法。土液比 1:5 水抽出液電気伝導率 (1:5 EC) は東亜電波製電気伝導率計による。1:5 水溶

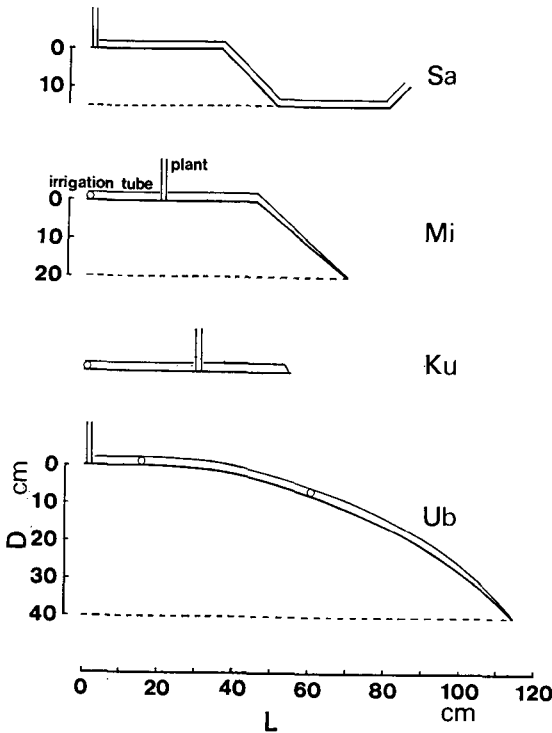


Fig. 1. The types of the ridge and plastic mulch of the plastic greenhouses investigated.

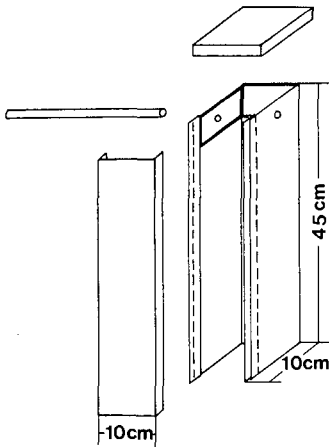


Fig. 2. Outlines of the soil sampler.

性 NO_3^- はコンウェイ微量拡散法, 同じく SO_4^{2-} は塩化バリウムゼラチン溶液による比濁法。交換性陽イオンは pH 7-N-酢安抽出による。 Ca^{2+} , Mg^{2+} を原子吸光法, K^+ , Na^+ を炎光光度法。

また札幌の一部の試料を用いて圃場に近い水分状態の土壌溶液から、1:5 水抽出溶液まで土液比を変えた水溶液について、pH, EC, NO_3^- , SO_4^{2-} を分析した。

その他、CEC は pH 7-N-酢安によるショーレンベルガー法。 Y_1 は 1:2.5 KCl 抽出, NaOH 滴定による常法。土性は国際法。孔隙分布は土柱法、遠心法の組み合わせによる pF-水分曲線作成後、pF 0~1.8 (粗孔隙), pF 1.8~2.7 (低張力毛管孔隙; 易有効水分), pF 2.7~4.2 (高張力毛管孔隙; 難有効水分), pF 4.2~ (高張力毛管孔隙~膨潤水; 無効水) の水分量を求めた。固相率、仮比重は実容積測定後 105°C で乾燥し求めた。

3. 結果

調査土壌の一般性質 (Table 2): 札幌 (Sa), 三笠 (Mi) は低地土, 栗山 (Ku), 夕張 (Ub) はそれぞれ火山灰由来の土壌である。低地土は粘土含量が多く、CEC も大きい。孔隙分布は、Ku, Ub の火山性土で pF 1.8~2.7 の低張力毛管孔隙が多く、Sa, Mi の低地土は少なく、pF 2.7 以上の高張力毛管孔隙が多い。このことから透水性は $\text{Ub} > \text{Ku} > \text{Sa} > \text{Mi}$ の順に高いと推察される⁵⁾。

根, 土壌水分, 1:5 EC の分布 (Fig. 3): 土壌水分は上層程少なく、下層程多い。根の分布との対応は Ku でよく一致しており、Ub でも類似の傾向にある。Mi の水分分布にも根の影響が強いことが推察される。しかし Sa では極表層 (0~1 cm) を除く以下の土層では概して湿潤であり、その傾向は明確ではない。

水の移動に影響されやすい 1:5 EC の分布は、乾燥方向にある土層で高く、Ku, Mi ではその傾向がよく現われている。Ub では 2 本のパイプにはさまれた位置の土層で EC の低下が起こり、下層に向かって上昇している。このことは Ub の透水性が良好で、かん水が主に垂直方向に強く影響することを示している。Sa は EC の分布と根の分布との対応が前述の土壌と異なり、根は EC が 1 mmho/cm 以上の 0~10 cm の土層をさけて、10 cm 以下の土層に多い。

1:5 水溶性 NO_3^- , SO_4^{2-} の分布 (Fig. 4): NO_3^- , SO_4^{2-} とも EC の分布と対応している。 Cl^- の量は NO_3^- , SO_4^{2-} に比べごく少ないが、これらを合わせた濃度と 1:5 EC には 1:1 の関係がある (Fig. 5)。しかし NO_3^- と SO_4^{2-} の量比は土層内で異なるため、 NO_3^- と EC の関係は必

Table 2. Some characteristics of the soils in the plastic greenhouses investigated

Districts	Soil types	Clay content (%)	Texture	pH		Y ₁	CEC (me/100 g)
				H ₂ O	KCl		
Sapporo	Brown Lowland soils	31	LiC	4.9	4.3	2.7	32.0
Mikasa	Gley Lowland soils	23	CL	5.4	4.9	1.1	21.4
Kuriyama	Ando soils	16	CL	5.8	5.3	0.4	21.2
Yubari	Volcanogenous Regosols	4	S	6.5	5.8	0.3	11.3

Districts	Soil types	Distribution of soil pore volume (cm ³ /100 cm ³)				Solid ratio (cm ³ /100 cm ³)	Bulk density (g/100 cm ³)
		pF 0-1.8	1.8-2.7	2.7-4.2	4.2-		
Sapporo	Brown Lowland soils	23.2	9.3	15.4	24.1	28	80
Mikasa	Gley Lowland soils	17.6	7.3	11.4	28.7	35	105
Kuriyama	Ando soils	31.3	14.3	14.3	16.1	24	70
Yubari	Volcanogenous Regosols	29.5	15.8	8.3	14.4	32	90

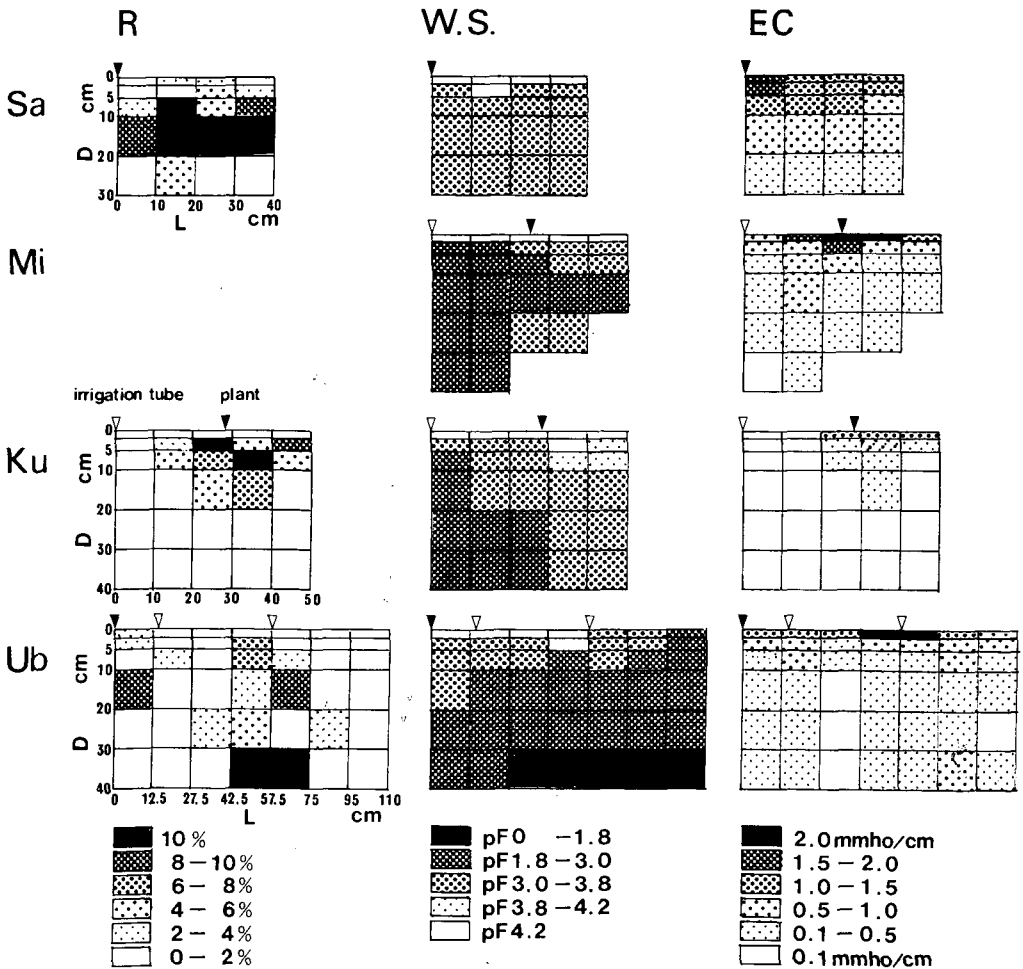


Fig. 3. Distributions of roots (R), water-suction (W.S.) and electrical conductivity (EC) in water extracted solution (soil: water ratio of 1:5) in soil layers from ridge to furrow.

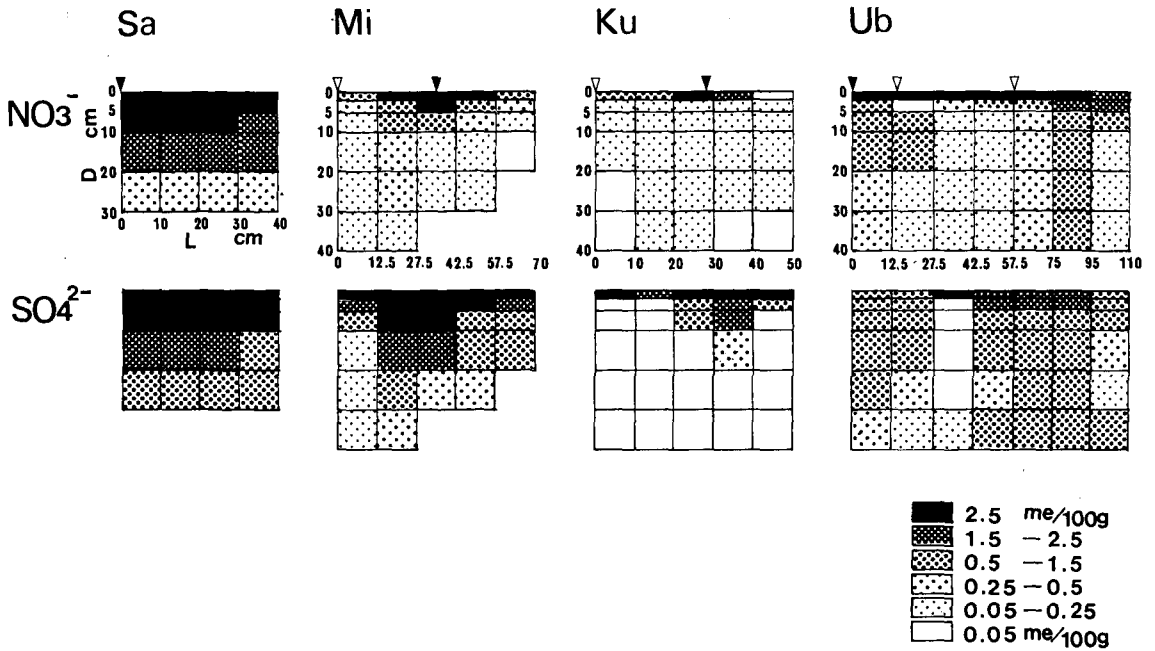


Fig. 4. Distribution of water soluble NO_3^- and SO_4^{2-} in soil layers from ridge to furrow. (The indications of irrigation tubes and plants are the same as Fig. 3.)

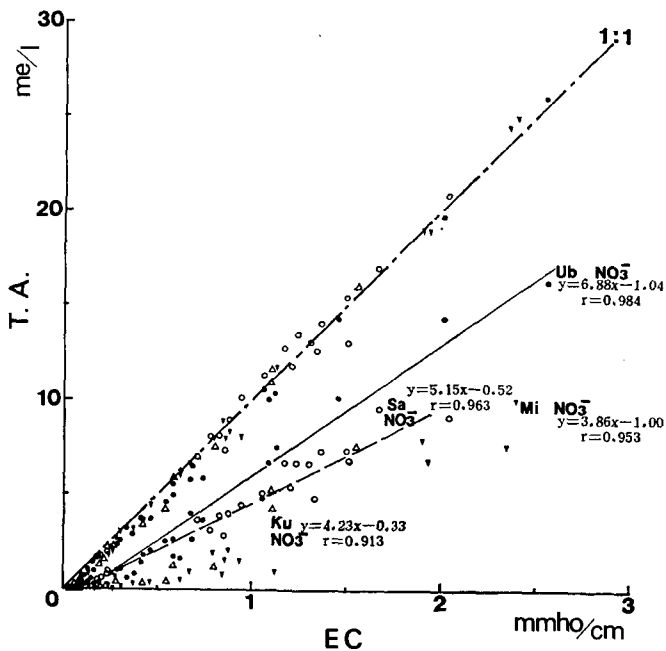


Fig. 5. Relations between electrical conductivity (EC) and total water soluble anions (T.A.) in the water extracted solutions (soil: water ratio of 1:5).

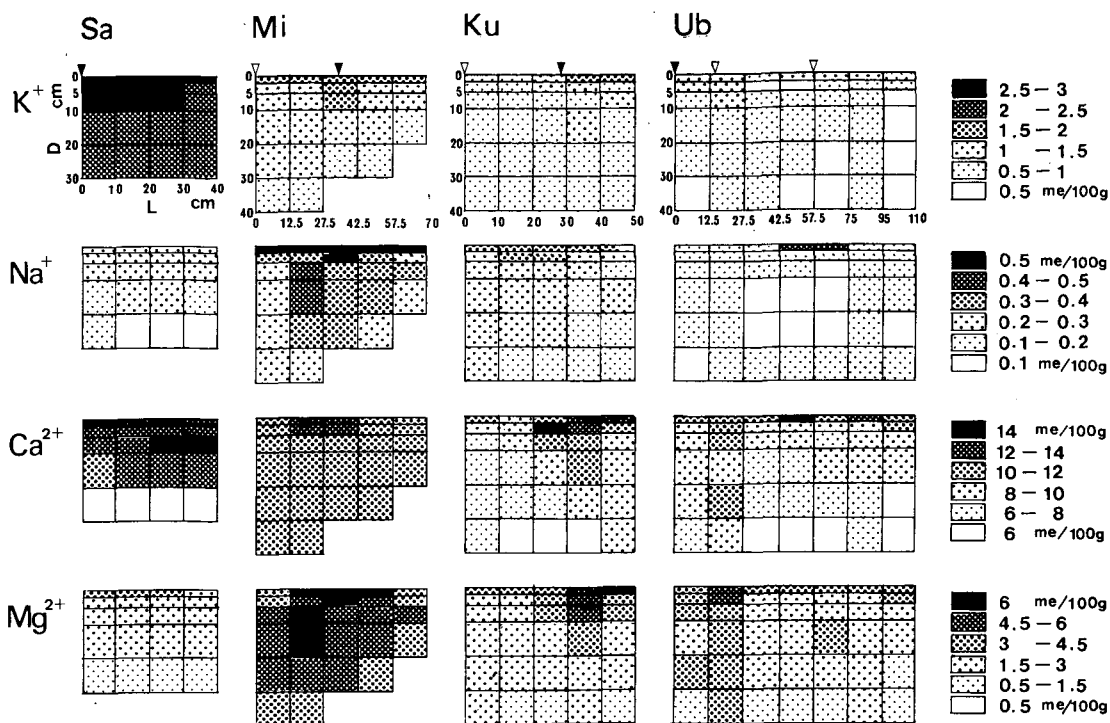


Fig. 6. Distribution of exchangeable cations in soil layers from ridge to furrow.

ずしも直線関係にない。このことは特に Ku で特徴的であり、植物要求量の多い NO_3^- は根群域で希薄になるのに対して、 NO_3^- と同様水の移動で運ばれやすい SO_4^{2-} は植物要求量以上となって根群域で集積するためであると考えられる。

交換性陽イオンの分布 (Fig. 6): 各ハウス土壤とも $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ である。交換性陽イオンの分布は 1:5 EC の分布に類似しており、表層、根群域での高まりがみられる。

土壤 pH の分布 (Fig. 7): 土壤 pH は表層程低く、下層程高い。Fig. 8 に示すように Sa, Mi, Ub では EC が高い程 pH は低い傾向にある。しかし Ku ではそのような対応は認められず、EC の高い根群域で pH が高い。

3. 考 察

ハウス土壤の土壤溶液

本調査では、施肥成分をみるために簡易法である 1:5 水抽出法により陰イオン濃度を決定した。この方法は水溶性塩類の量をみるには適しているが、真の土壤溶液濃度を知るにはいくつかの問題点を含んでいる。

Fig. 9 に土壤水分量を変化させた場合の pH, EC, および NO_3^- , SO_4^{2-} 濃度変化を示した。ここでは Sa の 2 段階の濃度レベルについて示す。pH は濃度レベルの高い方が低く、両レベルとも低水分側でやや低いものの、水分量の変化に対してほぼ一定である。EC は水分量の増加に対数関数状の低下を示す。 NO_3^- 濃度は EC の変化にほぼ類似しているが、 SO_4^{2-} は両レベルとも土液比 1:1 以下に水分を減少させても濃度はほとんど高まらない。事実、多くのハウス土壤溶液を調べた結果でも SO_4^{2-} は 35 me/l が上限であった⁶⁾。従って Fig. 10 のように NO_3^- , SO_4^{2-} の溶液溶容量は、 NO_3^- が水分変化に対してほぼ一定であるのに対して、 SO_4^{2-} は高水分側で著しく上昇する。この現象は ① SO_4^{2-} がその溶液中の Ca^{2+} 濃度との関係で石膏として沈殿する⁷⁾。② pH 依存型の陽荷電を生じやすい火山性土では SO_4^{2-} の特異吸着があり⁸⁾、水分増加により脱着してくる⁹⁾。の 2 点が考えられる。従って土壤溶液濃度を規制している陰イオンは NO_3^- であるといえる。

このことから考えると 1:5 水抽出液 EC による濃度障害発現濃度を求めることはやや曖昧な点が残される。しかし土壤溶液自体不変ではなく、試料採取の際の不均

一性の問題もある。ここで先の水分変化に対する濃度変化を考えると、 SO_4^{2-} の濃度変化はわずかであるが、 NO_3^- はほとんど単純に濃縮、希釈されていた。従って1:5水抽出液の NO_3^- 、 SO_4^{2-} 濃度がわかれば、現地の土壌水分含量を用いて土壌溶液濃度を推察することができる。

Fig. 11 はこのようにして推定した NO_3^- 濃度と根密度の関係をみたものである。根密度は各土層に含まれる割合を 100 cm^3 土壌あたりに計算して求めたものであるが、根は土壌溶液の NO_3^- 濃度 $5\sim 400\text{ me/l}$ までの高範囲にわたって存在している。

根が高濃度域を避けて伸長する¹⁰⁾ことはよく知られるところであるが、藤沼らは各種塩溶液と蒸留水中の根の

伸長を調べ、トマト、キュウリ等の野菜類は 100 me/l 以上では根の伸長率が蒸留水の50%以下に落ちることを示している¹¹⁾。ハウス土壌の塩類分布状態は極表層への集積が顕著であるので、根は上部からこの層を通過しなければならないが、各ハウスにおける平均濃度(すなわち根が半量存在する上限の濃度)はSa, Ub, Ku, でそれぞれ69.2, 25.4, 8.5 me/l であり、 NO_3^- 濃度 100 me/l 以下に存在する根はSa, Ub, Ku でそれぞれ72.5, 98.3,

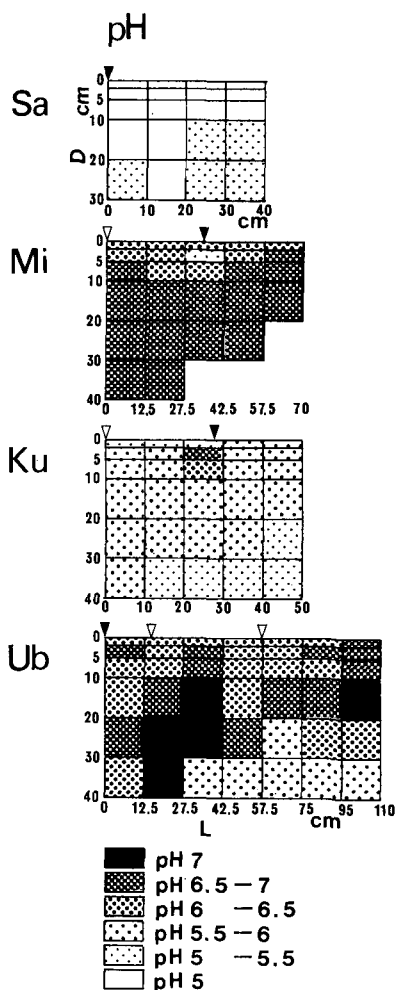


Fig. 7. Distribution of soil pH in soil layers from ridge to furrow.

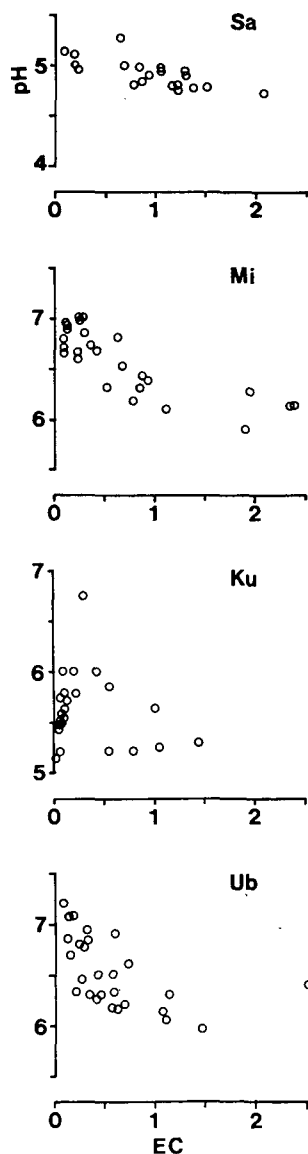


Fig. 8. Relations between EC of water extracted solution (soil: water ratio of 1:5) and soil pH.

98.4%であった。

すなわち Sa のように 0~10 cm 土層がかなり高濃度となっている場合でも半分以上の根がその土層を避けて根群を確保していることがわかる。一方 Ku の場合には施肥された成分が根に良く吸収され、濃度が低下したものとみられる。

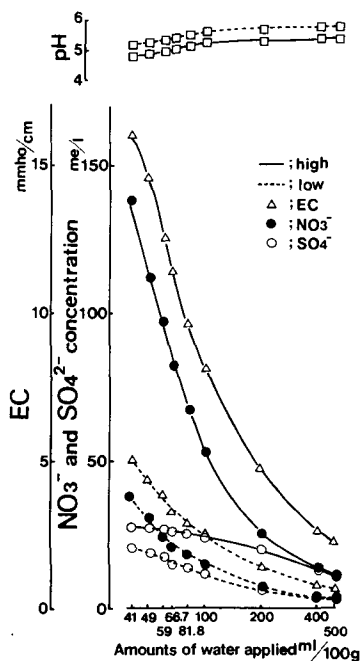


Fig. 9. Effect of water applied on pH, EC and NO₃⁻ and SO₄²⁻ concentration in the solution of Sapporo soil.

塩類濃度とともに土壤溶液の pH も植物生育の重要な土壤環境因子である。Fig. 9 では、土壤水分量の変化による溶液 pH の変動は微かであった。根と接する土壤溶液が根の呼吸による CO₂ 放出、あるいは陰イオン吸収の際放出される HCO₃⁻ によって pH の変動がある¹²⁾ことはよく知られる事実であるが、この場合土液比 1:2.5 の土壤 pH を土壤溶液 pH と等価であるとして、巨視的な根群域の環境因子としてとらえることにする。

Fig. 8 にみたように 1:5EC と土壤 pH の間には Sa, Mi, Ub で関係がみられ、土壤溶液濃度が根の伸長を規制していると共に pH もまた影響をおよぼすことが考えられる。しかし Ku ではその関係が明確ではなかった。

アルカリ土壌と異なり、溶脱環境下にある土壌では土

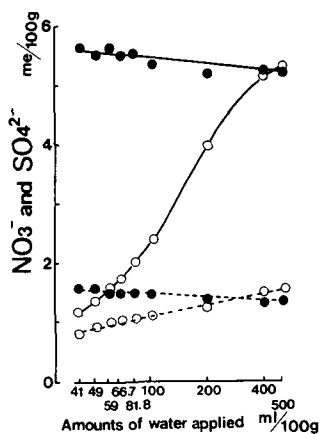


Fig. 10. Effect of water applied on dissolved NO₃⁻ and SO₄²⁻ of Sapporo soil. (The symbols are the same as Fig. 9.)

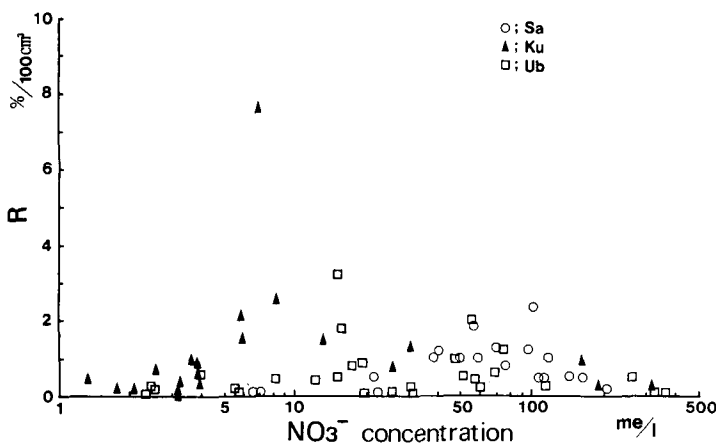


Fig. 11. Relations between calculated NO₃⁻ concentration in soil solution and root density (R).

壤 pH を規制する主要因として交換性 Al^{3+} の効果がある¹³⁾。このような土壤に多量の中性塩類が施与された場合、液相に交換溶出した Al^{3+} の加水分解によって H^+ が生じ、pH は低下する。Sa, Mi 等の低地土は結晶性の粘土鉱物を多く含む傾向にあり、交換性 Al^{3+} を生じやすいタイプの土壤である¹⁴⁾。すなわち Y_1 はやや高く、先述の EC-pH 関係が、交換性 Al^{3+} によって特徴づけられると思われる。従って根は高濃度のみならず低 pH の影響も受ける可能性がある。しかし Ku のような火山

性土はその粘土鉱物に非晶質なものを多く含むため、交換性 Al^{3+} は少なく交換性 H^+ が多い¹⁴⁾。この場合交換性 H^+ が弱酸性的であるために中性塩によって交換されず、塩類濃度との関係はうすい。このような土壤の場合外液の pH に支配されて交換性 H^+ が解離して生ずる負荷電が陽イオンの保持を担うことになる。

Fig. 12 は交換性陽イオンから 1:5 水溶性陽イオンを差し引き、層位別に求めた CEC から塩基飽和度を求め、これと pH の関係を見たものである。ここでは Ub のような高うねで、うね間の下層が明らかにうね内と異なる場合については図から省いた。その結果、塩基飽和度が

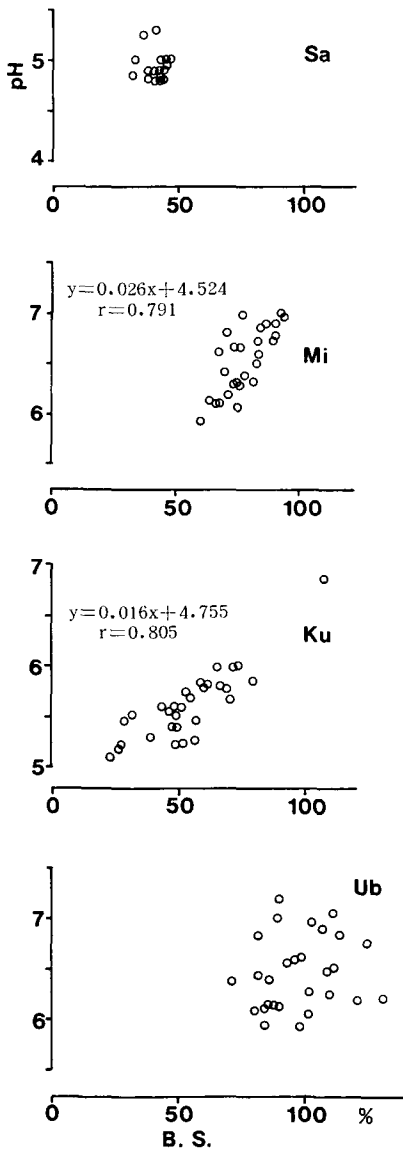


Fig. 12. Relations between base saturation degrees and soil pH.

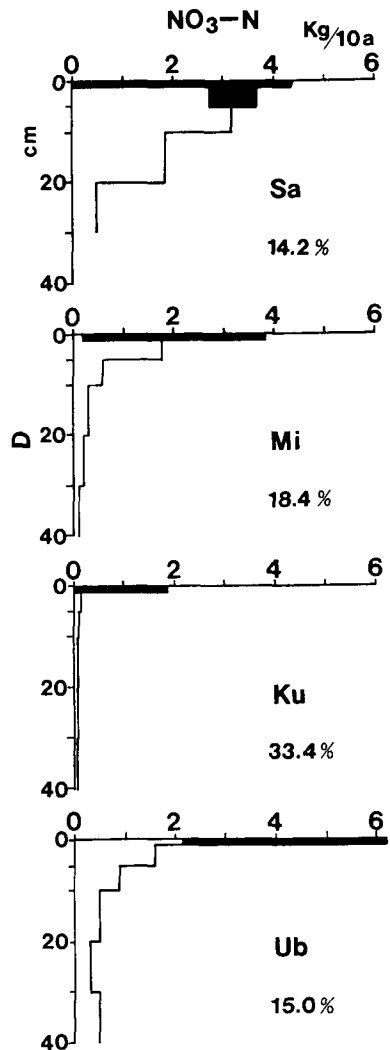


Fig. 13. Distribution of NO_3-N in soil layers. * ■; % of unavailable NO_3^- in soil where soil water suction is over pF. 3.8.

高くなる程土壌 pH は高まる傾向にあり、EC-pH の対応がなかった Ku で最も高い直線関係が認められた。

このことは次のように解釈できる。

交換性 Al^{3+} が少なく、交換性陽イオンが Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , を主体とするならば、塩基飽和度は土壌 pH の負荷電量と pH 7 のその比である。すなわち Ku のような火山性土では、中性塩添加により溶出する交換性 Al^{3+} が土壌 pH を支配する場合は少なく、土壌溶液の炭酸平衡等の外的因子に pH は支配され、これが陽イオン保持量を決めるものと考えられる。従って、交換性 Al^{3+} の少ない Ku のような土壌はハウス土壌として管理しやすいといえる。

施肥成分の表層集積による不可給化

普通畑においても降雨がなく晴天が続いた場合には施肥成分の表層集積がおこり、土壌水分張力との関係で不可給化する^{9,15)}。ハウスにおいてはかん水によって不可給化を防ぐことになるが、多湿になると病気が発生しやすくなるためかん水量をある程度おさえるのがよいとされている¹⁶⁾。すなわち塩類の表層集積はさげがたいものであると考えられる。

Fig. 13 に示すように本調査においても 15~30% 近くの NO_3^- が表層集積し不可給化している。ただしその量はハウスによってかなり異なっている。パイプかん水のつど追肥を行っている Ku では、根群域に NO_3^- は少なく、追肥と作物吸収が対応しているようにみえる。このようなハウスでは表層集積によって不可給化する NO_3^- 量を考慮して追肥量を増すことも考えられよう。

一方基肥主体の Sa では不可給化量は多く、さらに 0~10 cm 土層に 60% 近い NO_3^- があり、この層に根が少なかったこと (Fig. 3) を考えれば、以後さらに表層集積し不可給化していくことが考えられる。この場合には基肥量を減らし追肥による補充を検討すべきであろう。

塩類が集積する可能性があるハウスでは、根群域の養分状態を知るには極表層を取り除かなければ誤差を招くことになるし、逆に後作の施肥設計には塩類集積量を考慮しなければならない。

4. 要 約

ハウス土壌の養分状態を把握する目的で、低地土、火山性土の計 4 カ所のハウスにおいて、うねからうね間にかけて数カ所から層別に土壌を採取し、養分の分布状態を調べた。

得られた結果を要約すれば以下のとおりである。

1) ハウス内は概して乾燥傾向にあり、土壌水分は上

層程少なく極表層では pF 3.8 を越え可溶性塩類の集積傾向にある。1:5 EC は極表層で 2 mmho/cm を越える場合が多い。

2) パイプによるかん水、追肥を行っているハウスでは根群域での水分の減少と可溶性塩類の集積が顕著である。栗山のようにトマト根群域に SO_4^{2-} が集積し、 NO_3^- は希薄となっていた例もあった。一方基肥主体のハウスでは施肥層 0~10 cm の 1:5 EC は 1 mmho/cm 以上であり、根は 10 cm 以下の層に多かった。

3) 土壌溶液中では SO_4^{2-} は石膏の飽和状態となって低濃度である。土壌水分の増減による土壌溶液濃度変化の主体は固相との反応の小さい NO_3^- であり、水分量に比例して単純に濃縮、希釈される。

4) 根は土壌溶液 NO_3^- 濃度 5~400 me/l のところに認められるが、根の半量以上は 70 me/l 以下のところにあり、高濃度層を避けているものと思われる。

5) 土壌 pH は低地土では塩類集積層において低く、火山性土ではその傾向はなく、塩基飽和度と高い比例関係があった。

6) pF 3.8 以上の極表層へ集積した NO_3^- は植物に対して不可給態になっている。従ってこれを考慮した基肥、追肥などの施肥管理が望ましい。

謝 辞

本調査を実施するにあたり、多大の御援助、御協力をいただいた北海道中央農業試験場 岩淵晴郎科長 (現中央農業試験場環境部長)、相馬暁氏 (現道南農業試験場)、岩見沢中央農業改良普及所 山根広海氏、西村勝義氏、南空知農業改良普及所 林秀雄氏、保里与志夫氏、石狩中部農業改良普及所 室崎正利氏、木村秀晴氏および調査農家の各位に記して謝意を表します。

引用文献

1. 伊達 昇：ハウスそ菜の塩類集積害 (1), 農業技術, 23: 10-12. 1968
2. 橋田茂和：ビニールハウス栽培の土壌肥料学的問題点, 土肥誌, 36: 274-281. 1965
3. 橋田茂和：ビニールハウス栽培の塩類濃度障害と簡易測定法, 農業技術, 21: 27-31. 1966
4. 関東ハウス土壌研究グループ：ハウス土壌の塩類集積の実態 —1:5 浸出法にもとづいて—, 農及園, 41: 1451-1455. 1966
5. MARSHALL, T. J.: A relation between permeability and size distribution of pores, *J. Soil Sci.*, 9: 1-8. 1958

6. 岡島秀夫・今井弘樹・神山雅之： 土地利用を異にする土壌の土壌溶液イオン組成に関する研究，(第1報) ハウス土壌について，北大農邦文紀，**12**： 200-209. 1981
7. 岡島秀夫・今井弘樹： 土壌の養分供給能に関する研究 (第4報)，畑苗代土壌溶液の無機イオン組成と濃度，土肥誌，**47**： 256-262. 1976
8. 今井弘樹・松宮晴美・岡島秀夫： 十勝地方に分布する主要火山性土の荷電特性，土肥要旨集，**25**： 33. 1980
9. 波多野隆介・今井弘樹・岡島秀夫： 土地利性を異にする土壌の土壌溶液イオン組成に関する研究，(第3報) 火山性土の畑圃場について，北大農邦文紀，**13**： 118-127. 1982
10. 石塚喜明・田中 明・林 満： 畑作物に対する施肥位置に関する研究 (第2報)，施肥位置及び肥料濃度と根の張り方の関係，土肥誌，**34**： 44-48. 1963
11. 藤沼善亮・田中房江： 作物の塩類濃度障害に関する肥料，土壌要因について，農技研報 B，**26**： 34-38. 1975
12. RILY, D. and BARBER, S. A.: Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **35**: 301-306. 1971
13. 吉田 稔・手代木智： 土壌中の置換性水素の起因と性格，土肥誌，**42**： 133-137. 1971
14. 吉田 稔： 土壌酸性とその測定をめぐる諸問題，土肥誌，**50**： 171-180. 1979
15. 岡島秀夫・今井弘樹： 土壌の養分供給能に関する研究 (第5報)，畑土壌の水分状態と養分の可給性，土肥誌，**47**： 563-570. 1976
16. 沢田一夫・高橋総夫・川原祥司・黒川春一： ハウストマトの環境条件と生産性 (第1報)，地温，かん水量，施肥量が生育収量におよぼす影響，北農，**41**： 14-27. 1974

Summary

The object of this study was to investigate the behavior of plant nutrients in the soils used for the beds of vegetables in plastic greenhouses on farms in the central parts of Hokkaido. The soils were divided into two soil groups: volcanic ash and lowland soils. The distribution of the plant nutrient ions was examined in the soil profiles both vertically and laterally. Water extracted NO_3^- and SO_4^{2-} were determined with a soil: water ratio of

1:5. The exchangeable cations were also determined.

In order to determine the chemical composition of the soil solutions by analysing the water soluble nutrients, the chemical composition of the water extracted solutions were examined in different soil: water ratios of from 1:0.41 to 1:5.

The results obtained are summarized as follows;

1) The distribution of moisture in the profiles indicated that the upper layer was dry. The soil water suction (pF) in 0-1 cm layer was generally above the value of pF 3.8. The electrical conductivity, EC (soil: water ratio 1:5), in that layer was very high and most of them registered more than 2.0 mmho/cm.

2) Accumulation of the water soluble salt in the root zones was found in the greenhouses which were irrigated with fertilizer solution. NO_3^- , which is required in large amounts by the plants, was low in concentration in the root zones while SO_4^{2-} was concentrated there. On the other hand, in the green houses where the fertilizers had been broadcast before planting, EC (soil: water ratio 1:5) registered above the value of 1.0 mmho/cm in the 0-10 cm fertilization layer and most of the roots were found in the layer below 10 cm depth escaping the top layer.

3) SO_4^{2-} in the soil solution was of low concentration because of the gypsum formation, so that the dominant anions were NO_3^- . NO_3^- was simply diluted and concentrated with the change of water applied.

4) Although the roots were able to exist in the soil solutions in the order of 5-400 me/l of NO_3^- concentration, most of the roots were in the soil layers where the NO_3^- concentration was below 100 me/l.

5) In lowland soils pH was low in the soil layers having a high value of EC. The volcanic ash soil, however, didn't show this tendency and indicated a positive relation between the pH and the base saturation degree.

6) The NO_3^- accumulated in the top layers where the soil water suction was over pF 3.8 may be nonavailable for the plants. We therefore need to consider the quantity of the accumulated NO_3^- in the management of fertilization.