

千葉県畑土壌における化学性の実態解析と土壌診断への適用

八楨 敦・篠田 正彦・家壽多 正樹・牛尾 進吾・斉藤 研二・押田 智子・安西 徹郎

キーワード：畑土壌、pH、EC、CEC、陽イオン飽和度

I 緒 言

農業生産を支える基盤である農耕地土壌は、風雨等の自然条件や、耕うん、施肥及び有機物施用等の営農活動の影響を受けて変化している。特に、野菜畑や施設等の畑土壌の化学性に、それらの影響が顕著に現れる(安西ら、1998; 亀和田ら、2000)。この変化の実態を捉えて、土壌保全管理対策を提示していくために、土壌環境基礎調査が農林水産省の土壌保全対策事業の一環として、1979年から20年間にわたって進められた。筆者らは、この調査で明らかとなった土壌の実態と変化についてはすでに報告してきた(安西ら、1992; 1998、安西、2000)。さらに、1999年からは、土壌環境基礎調査を引き継いで、千葉県に361の定点を設定して、土壌実態モニタリング調査が実施されている。

食料・農業・農村基本法では、適切な農業生産活動を通じて国土・環境保全に資するという観点から、環境保全型農業の確立を目指している。環境保全型農業は、「農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和等に留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業」と定義されている(1994年農林水産省「環境保全型農業推進の基本的な考え方」より)。作物栽培で余剰となった肥料成分を次作で有効利用する、あるいは無駄なく土壌改良資材を施用することが環境負荷の低減をもたらすことから、土壌診断は環境保全型農業を推進していく上で必須の技術である。

実際の施肥指導においては、ECから作付前の硝酸態窒素の多少を推定する、あるいはpHによって石灰資材の要否を判断する等の土壌診断が行われている。このような状況で、環境保全型農業を実践していくためには、より精度の高い土壌診断に基づいた適切な施肥及び土壌

管理を進めていかなければならない。そのためには、ECと硝酸イオンをはじめとした水溶性陰イオン含量との関係、あるいは陽イオン飽和度とpHとの関係等の畑土壌の現状を明確にしておく必要がある。こうした観点に立ち、最新の農耕地土壌の状況を表す1999~2003年に実施した土壌実態モニタリング調査結果を解析したところ、これらの関係を明らかにすることができたので報告する。

本調査の実施に際して、御尽力いただいた農業改良普及センター(現農林振興センター)の方々には感謝の意を表する。

II 方法

1. 調査地点

畑土壌の調査地点は、土壌分布と栽培産地を考慮して、普通畑38、野菜畑94、野菜施設60、樹園地46、露地花1及び花施設37地点の計276地点を選定した。土壌別では黒ボク土158、褐色低地土95、褐色森林土19、黒泥土3及び暗赤色土1地点であった。普通畑及び野菜畑の露地畑の調査地点は、畑面積の約6割を占める黒ボク土が広がる下総台地に、野菜及び花の施設は褐色低地土が分布する九十九里低地や安房地域の海岸沿いに、それぞれ多く設定した。樹園地は、安房地域に多い褐色森林土のピワ園と、東葛飾地域の黒ボク土、九十九里低地の褐色低地土及び夷隅地域の客土された水田転換畑のナシ園を調査対象とした。

2. 調査及び分析方法

千葉県を県南(安房、夷隅、君津地域)、中央(千葉、長生、印旛地域)、県東(山武、海匝地域)及び県北西(東葛飾、香取地域)の4地域にわけて、各地域を1999年から1年ごとに、4年間で調査を行った。各地点ともに、地表面から15cmごとに45cmあるいは75cmまでの土壌を採取したが、本報告では深さ0~15cmの作土に関する化学性について解析した。

化学性の分析は常法(日本土壌協会、2001)に従った。

2005年9月26日受理

本報告の概要は、2004年度日本土壌肥料学会関東支部会において発表した

なお、pH (H₂O) は風乾細土10gに水 (脱イオン水) 50mLを、pH (KCl) は1 mol/L塩化カリウム溶液を50mL加えて測定した。水溶性陰イオン含量は、風乾細土10gに水50mL加え、振とう後ろ過 (東洋濾紙: 濾紙No. 6) して得られた試料を用いて、イオンクロマトグラフ (ダイオネクス社製IC-20) で測定した。交換性陽イオン含量と陽イオン交換容量 (CEC) の測定液の抽出には、全自動汎用抽出ろ過装置 (富士平工業製、SPAD AUTO CEC-10) を用いた。

III 結 果

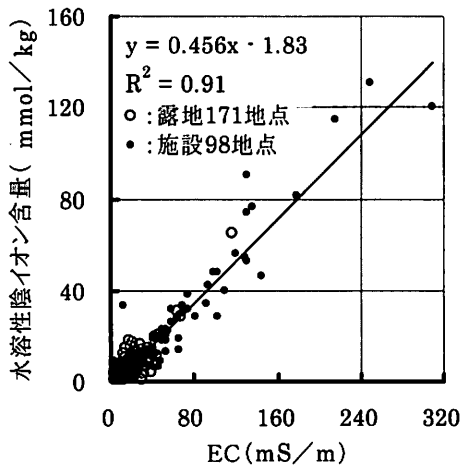
1. ECと水溶性陰イオン含量並びに硝酸態窒素含量との関係

水溶性陰イオン含量は、土壌のフッ化物 (F⁻)、臭化物 (Br⁻) 及び亜硝酸イオン (NO₂⁻) 含量の平均値が、それぞれ0.3、0.0及び0.1mmol/kgと少なかったため、塩化物 (Cl⁻)、硝酸 (NO₃⁻)、硫酸 (SO₄²⁻) 及びリン酸 (PO₄³⁻) イオン含量の合計とした。水溶性陰イオン含量は0～131mmol/kgの範囲にあり、平均値は12mmol/kgであった (第1図)。露地あるいは施設の土地利用の違いに関わ

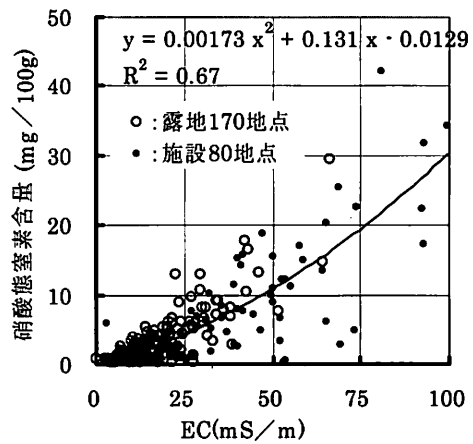
らず、EC (x) が高いほど水溶性陰イオン含量 (y) は高く、両者の関係は $y=0.456x-1.83$ ($R^2=0.91$) の式で表された。

イオン別では、塩化物、硝酸、硫酸及びリン酸イオン含量は、それぞれ0～48、0～45、0～77及び0～9mmol/kgの範囲にあり、リン酸イオンが少なかった (第2図)。ECが100mS/m以上では、ECの増加にともなって塩化物及び硫酸イオン含量は高くなったが、硝酸イオンにはその傾向が認められなかった。そこで、ECが100mS/m未満の土壤に限ると、ECが高いほど塩化物、硝酸及び硫酸イオン含量は高く、それぞれ0～10、0～28及び0～19mmol/kgの範囲にあり、硝酸イオンが占める割合が高かった。なお、ECが100mS/m以上であった16地点中15地点は施設土壤であり、土壤別では11地点が褐色低地土、5地点が黒ボク土であった。

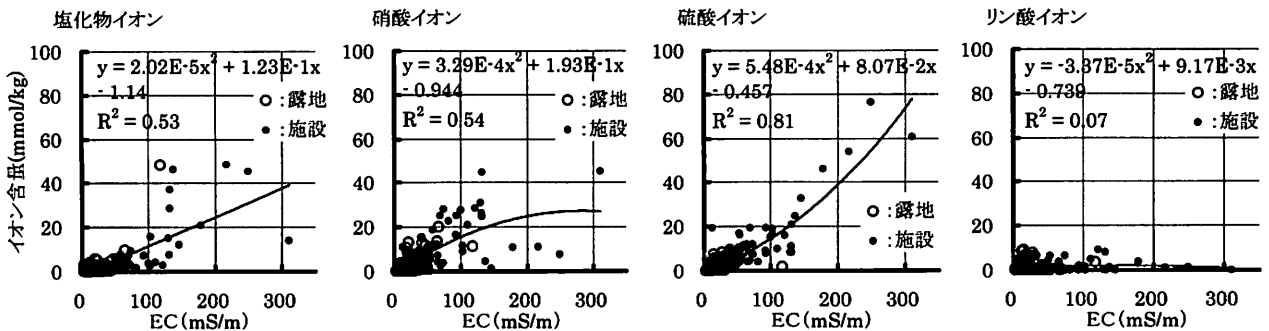
ECが100mS/m未満では、EC (x) と硝酸態窒素含量 (y) との関係は $y=0.00173x^2+0.131x-0.129$ ($R^2=0.67$) の式で表された (第3図)。さらに、ECが30mS/m未満の地点に限ると、硝酸態窒素含量は最も高かった地点が13mg/100gであったが、5mg/100g以下の地点が全体の88%を占め、平均値は2mg/100gであった。



第1図 土壌のECと水溶性陰イオン含量との関係



第3図 土壌のECと硝酸態窒素含量との関係



第2図 土壌のECと各水溶性陰イオン含量との関係

注) 調査地点数: 露地171地点、施設95地点

2. 陽イオン飽和度とpHとの関係

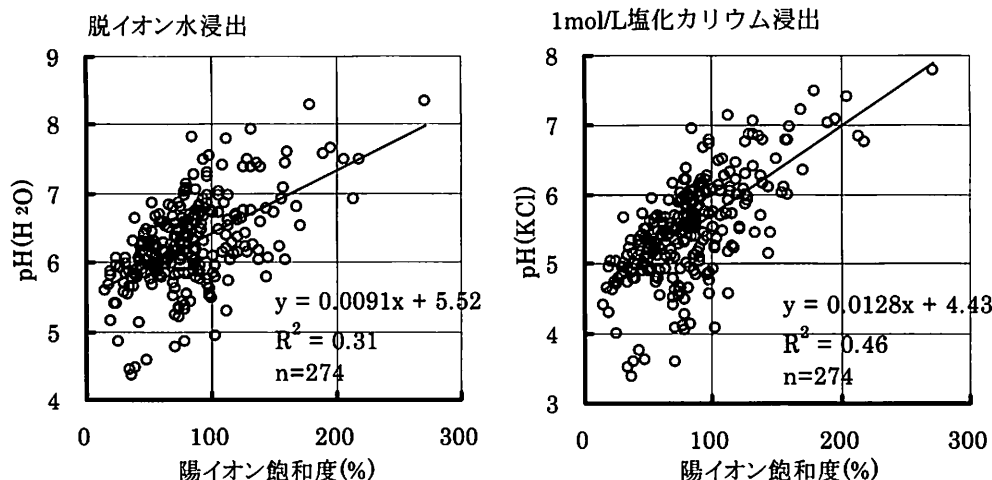
交換性ナトリウム (Na₂O) 含量は、2地点では94及び115mg/100gと特に高かったが、平均値は10mg/100g、中央値は6mg/100gであり、陽イオン飽和度に占める割合は小さかった。さらに、農林振興センター等では交換性ナトリウムを分析する機会が少ないので、以下の陽イオン飽和度は交換性カルシウム (CaO)、マグネシウム (MgO) 及びカリウム (K₂O) 含量から算出した。

pH (H₂O) は、陽イオン飽和度が高いほど高い傾向があり、両者の間には $y=0.0091x+5.52$ ($R^2=0.31$) の関係があった (第4図)。pH (KCl) は、pH (H₂O) に比べて1程度低く、陽イオン飽和度との間にはpH (H₂O) より決定係数が高い $y=0.0128x+4.43$ ($R^2=0.46$) の関係が認められた。

3. 水溶性陰イオン含量を反映するECとpH (H₂O) との関係

pH (H₂O) に対する水溶性陰イオン含量が影響する程度を評価するために、陰イオン含量を反映するECによって陽イオン飽和度とpH (H₂O) を階級区分した。EC (mS/m) が0~10未満、10~20未満、20~40未満、40~60未満、60~100未満及び100以上と6段階に区分すると、pH (H₂O) の平均値はそれぞれ6.5、6.3、6.2、6.1、6.3であり、100以上の階級を除くと、ECが高い階級ほど低かった (第1表)。また、各階級における陽イオン飽和度とpH (H₂O) との関係式を求めると、100以上の階級を除くと、ECが高い階級ほど関係式の傾き及び切片が小さくなる傾向があった。

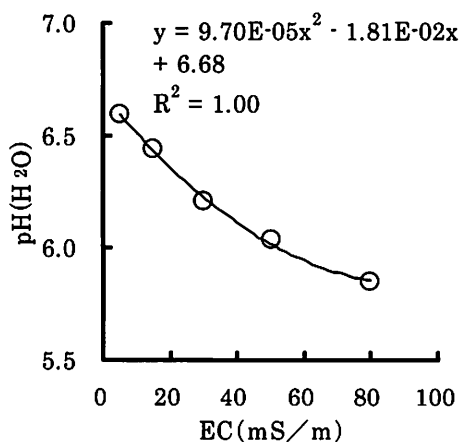
陽イオン飽和度の全地点に関する平均値は84%であったので、各階級において飽和度が84%のときのpH (H₂O)



第4図 陽イオン飽和度とpH(H₂O)並びにpH(KCl)との関係

第1表 ECによって階級区分した陽イオン飽和度 (x, %) とpH(H₂O)(y)との関係

EC (mS/m)	地点数 (点)	pH(H ₂ O)の平均値	回帰式	決定係数
0~10未満	48	6.49	$y=0.0125x+5.54$	$R^2=0.38$
10~20未満	98	6.28	$y=0.0122x+5.41$	$R^2=0.38$
20~40未満	72	6.23	$y=0.0121x+5.19$	$R^2=0.56$
40~60未満	28	6.13	$y=0.0105x+5.15$	$R^2=0.39$
60~100未満	14	6.07	$y=0.0085x+5.14$	$R^2=0.26$
100以上	16	6.27	$y=0.0047x+5.64$	$R^2=0.20$

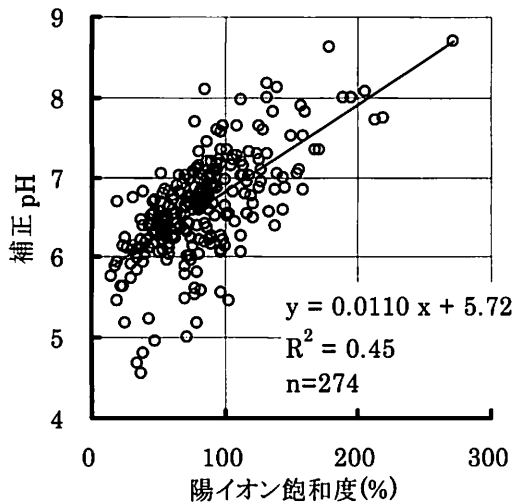


第5図 階級区分したECの中央値と各区分の陽イオン飽和度84%におけるpH(H₂O)との関係
注) ECの階級区分は第1表を参照。

を関係式から求めた。その値はそれぞれ6.6、6.4、6.2、6.0、5.9及び6.0となり、ECが100以上の階級を除くと、ECが高い階級ほど低かった。そして、100以上の区分を除いた各階級におけるECの中央値(x)、すなわち5、15、30、50及び80mS/mと、各階級の飽和度84%のpH(H₂O)(y)との関係は $y=9.70E-5 \times 2 - 1.81E-2 x + 6.68$ ($R^2=1.00$, 1式とする)で表された(第5図)。

4. ECによる補正pHの推定

ECが10 mS/m未満で低い状態にあるときのpHを「補正pH」として、1式から切片を除いた式によって推定した(補正pH=pH(H₂O) - 9.70E-5x² + 1.81E-2x (x: EC))。陽イオン飽和度(x)と補正pH(y)との関係は、 $y=0.0110x+5.72$, ($R^2=0.45$)で表され、陽イオン飽和度とpH(H₂O)との関係より高い相関関係が認められた(第6図)。



第6図 陽イオン飽和度と補正pHとの関係

第2表 CECによって階級区分した陽イオン飽和度の平均値

CEC (me/100g)	地点数 (点)	陽イオン飽和度の平均値 (%)
0~10未満	23	120.3
10~20未満	52	113.3
20~30未満	65	81.5
30~40未満	120	66.5
40以上	16	65.9

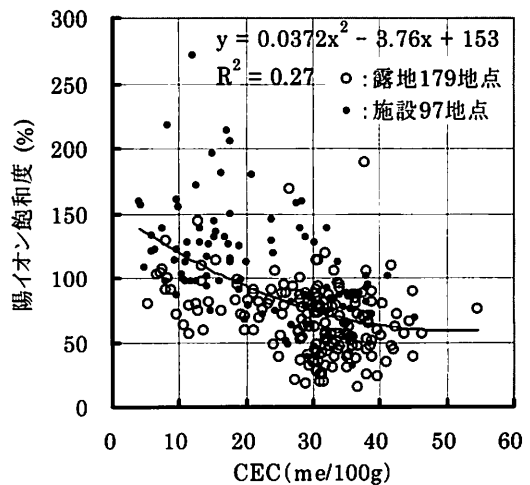
5. CECと陽イオン飽和度との関係

黒ボク土、褐色低地土及び褐色森林土のCECの平均値は、それぞれ33、16、31me/100gであった。CEC (me/100g) が0~10未満、10~20未満、20~30未満、30~40未満、40以上と、CECによって陽イオン飽和度を階級区分すると、各階級における陽イオン飽和度の平均値は、それぞれ120、113、82、67、66%であり、CECが低い土壌では陽イオン飽和度が高い傾向があった(第2表)。露地と施設を比較すると、施設の方が陽イオン飽和度はやや高かったが、利用形態を区別しないと両者の関係は $y=0.0372x^2 - 3.76x + 153$ ($R^2=0.27$)で表された(第7図)。

IV 考 察

1. ECによる硝酸態窒素含量の推定

施肥や有機物施用による環境負荷の低減を進める上では、作付前の硝酸態窒素含量を考慮して施肥量を決定する技術が必要不可欠である。そのため、容易に測定できるECと硝酸態窒素含量との関係は、施肥診断において重要な情報となる。ECと塩化物、硝酸及び硫酸イオンの合計量とが直線的な関係にあることはすでに報告されており(瀧・沖野, 1990; 亀和田, 1991)、ECと硝酸態窒素含量との間に高い相関関係があることが示されている(嶋田, 1979)。一方、施設栽培において、硫酸イオンによってECが高くなっている事例がある(荒垣ら, 1986; 瀧・沖野, 1990)。硫酸イオンは、過リン酸石灰や有機質資材の施用にともなって土壌に投入され、かん水等によって溶脱しにくいために、多量に蓄積したと推察されている(瀧・沖野, 1991; 瀧・沖野, 1992)。本報告においても、ECが100mS/mを超える施設土壌で、硝酸



第7図 CECと陽イオン飽和度との関係

イオン含量に比べて塩化物あるいは硫酸イオン含量が高い地点が多数認められた(第2図)。このように、ECが特に高い施設土壌では、ECから硝酸態窒素含量を推定すると、これを過大評価する危険性が高い。

これまでに、硝酸態窒素含量はECが100mS/mのときに黒ボク土では28、沖積土では29、砂土では24mg/100gになると推定されている(藤原, 1996)。本報告においてもECが100mS/m未満の土壌では、ECと硝酸態窒素含量との間には高い相関関係があり、ECが30、50、100mS/mでは、硝酸態窒素含量はそれぞれ5、11、30mg/100gになると予測された(第3図)。土壌診断基準では、ECは30mS/m未満が適正な状態とされている(千葉県, 2004)。ECが30mS/m未満であれば、ほとんどの土壌の硝酸態窒素含量は5mg/100g以下であり、基肥窒素は減量することなく、施肥基準に従って施用して差し支えないと判断される。しかしながら、ECが30mS/m以上の場合、特に施設栽培において塩化物あるいは硫酸イオン含量が高い可能性があるため、的確な施肥診断を行うためには硝酸態窒素含量を分析することが望ましい。

2. 土壌診断における補正pHの推定ける

土壌のpHを制御することは、作物に対する養分供給、特に微量元素の供給性を保つためだけでなく、近年では土壌病害の発生を抑制するためにも重要となっている(猪野ら, 1985; 家壽多ら, 1997)。pH(H₂O)は陽イオン飽和度に規定されるが、本報告においても確認したように、水溶性陰イオン含量の影響を強く受け、ECの増加に伴い低下する(第5図)。ECが高い施設土壌等では、陽イオン飽和度が高くてもpH(H₂O)は低くなるので、土壌診断に際してpH(H₂O)だけから石灰資材施用の必要性を判断できない。一方、pH(KCl)は、カリウムイオン(K⁺)が土壌に吸着されている水素イオン(H⁺)を交換浸出するため、pH(H₂O)より0.5~1.0低い値を示し、水溶性陰イオン含量の影響を受けることは少ない(田中, 1997)。本報告においても、陽イオン飽和度とpH(KCl)の関係の決定係数はpH(H₂O)より高かったことから(第4図)、pH(KCl)は石灰資材施用の診断に有効と考えられる。しかし、土壌診断基準値がpH(H₂O)で定められているだけではなく(千葉県, 2004)、環境保全型農業の推進においては肥料成分の残存量を少なく管理することが求められることから、土壌診断に際してはECが低い状態におけるpH(H₂O)を知る必要がある。

本報告では、ECによって階級区分したpH(H₂O)と陽イオン飽和度との関係から、水溶性陰イオン含量の影響によるpH(H₂O)の低下量をECから求める式を導い

た(pH(H₂O)の低下量=9.70E-5x²-1.81E-2x(x: EC)、第5図)。この式から、ECが5mS/mのときに6.7であったpH(H₂O)は、ECが30mS/mになると6.2と0.5低くなり、50mS/mになると0.7、100mS/mでは0.8低くなると推測される。pH(H₂O)の低下量を差し引いて、ECが10mS/m未満と低い状態におけるpHを「補正pH」として推定し、補正pHと陽イオン飽和度との関係の決定係数はpH(H₂O)より高かった(第6図)。この補正pHによって、ECが高い土壌においても、石灰資材の要否の判断が可能となる。

これまでに、pH(H₂O)にECを200で除した値を加えることで、水溶性陰イオンの影響を除いている例がある(藤原, 1989)。この方法では、ECが100mS/m高くなるとpH(H₂O)は0.5低くなると推測される。これに比べると補正pHは、pH(H₂O)に対する水溶性陰イオン含量の影響がやや大きく見積もられた。

3. 土壌診断における陽イオン飽和度の適正範囲

土壌診断では、交換性陽イオンの過不足を是正して、陽イオン飽和度を適正に保つように、石灰資材などの施用量を算出する。これによって、pHは変化するので、陽イオン飽和度とpHとの関係を把握しておく必要がある。陽イオン飽和度が60、80、100%のときに、陽イオン飽和度とpH(H₂O)との関係式から(第4図)、pH(H₂O)はそれぞれ6.1、6.2、6.4に、陽イオン飽和度と補正pHとの関係式から(第6図)、補正pHはそれぞれ6.4、6.6、6.8になると推定される。

さらに、陽イオン飽和度と補正pHとの関係式から、水溶性陰イオン含量が低い状態を前提とした、陽イオン飽和度の適正範囲を導くことができる。例えば、畑作物等の生育に適正なpH(H₂O)が5.5~6.0にある作物では、陽イオン飽和度を10~40%、野菜等の生育に適正なpHが6.0~6.5では飽和度を40~70%に管理をすべきと求められる。

しかしながら、CECが10me/100g程度の土壌では、陽イオン飽和度の適正值は100%以上にあるとされ(藤原, 1989)、本報告においてもCECが10me/100g未満の褐色低地土の多くは、陽イオン飽和度は100%を超えていた(第7図)。CECと陽イオン飽和度の関係式から(第7図)、CECが10me/100gでは陽イオン飽和度は119%で、陽イオン飽和度とpH(H₂O)(第4図)あるいは補正pH(第6図)との関係式から、このときのpH(H₂O)は6.6、補正pHは7.0になると推測される。褐色低地土では施設栽培が盛んであり、pH(H₂O)の適正範囲が6.0~6.5である野菜が広く栽培されているが、大きな障害は起きていない。このことから、CECが低い土壌では野

菜のpH (H₂O) の適正範囲は、より高い可能性がある。今後、CECが低い土壌における陽イオン飽和度と野菜の生育収量関係や生育に適正なpHの範囲等を明らかにして、CECの違いを考慮した診断基準値の策定を進める必要がある。

以上のように、県内276地点の畑土壌を対象としたモニタリング調査の結果を解析することから、ECと水溶性陰イオン含量、陽イオン飽和度とpHの関係等が明らかとなり、補正pHを推定することが可能となった。本報告で明らかにしたこれらの関係を適用することによって、よりの確な土壌診断が可能となる。さらに、今後これらの結果を活用して、「環境保全型農業」の推進に向けた施肥及び土壌改良の処方箋が作成できる土壌診断システムの開発や、環境負荷に配慮した土壌診断基準値の策定が進むことが期待される。

V 摘 要

千葉県内276地点の畑土壌を対象にしたモニタリング調査の結果から、ECと水溶性陰イオン含量との関係、陽イオン飽和度とpHの関係等が明らかとなり、ECが10mS/m未満で低い状態におけるpH (補正pH) を推定した。

1. ECが100mS/m未満ではECの増加にともなって硝酸イオン含量は高くなり、EC (x) と硝酸態窒素含量 (y) との間には $y = 0.00173x^2 + 0.131x - 0.0129$ ($R^2 = 0.67$) の関係が認められた。100mS/m以上では塩化物あるいは硫酸イオン含量が高い土壌が多かった。
2. ECによって階級区分した陽イオン飽和度とpH (H₂O) との関係から、補正pH = $pH (H_2O) - 9.70E - 5x^2 + 1.81E - 2x$ (x: EC) の式が導かれた。
3. 陽イオン飽和度をCEC (me/100g) が0~10未満、10~20未満、20~30未満、30~40未満、40以上と階級区分すると、各階級における陽イオン飽和度の平均値は、それぞれ120、110、81、72、66%であり、CECが低い土壌では陽イオン飽和度が高い傾向にあった。

引 用 文 献

荒垣憲一・藤井弘志・中西政則 (1986) 野菜ハウス畑における土壌化学性の実態と問題点. 山形農試研報. 21: 45-62.

安西徹郎・渡辺春朗・日暮規夫・金子文宜・真行寺孝・在原克之・松本直治 (1992). 千葉県におけるこの10年間の農耕地土壌の実態と変化. 千葉農試研報. 33: 107-121.

安西徹郎・篠田正彦・八楨 敦・戸辺 学・在原克之・

渡辺春朗 (1998). 千葉県における主要農耕地土壌の実態と変化—この15年間の解析—. 千葉農試研報. 39: 71-86.

安西徹郎 (2000). 千葉県における農耕地土壌の実態と変化. ペドロジスト. 44: 155-160.

藤原俊六郎 (1989). 土壌診断システムの改良と施設野菜への適用. 神奈川園試研報. 38: 51-62.

藤原俊六郎 (1996). 土壌診断の方法と活用. 126-131. 農文協. 東京.

猪野 誠・篠原茂幸・屋敷隆士 (1985). 千葉県におけるカンショ立枯症状の発生実態と発生条件. 千葉農試研報. 26: 25-37.

亀和田國彦 (1991). 土壌溶液イオン組成からのECの推定とアニオン種の違いがECおよび浸透圧に及ぼす影響. 土肥誌. 62: 634-640.

亀和田國彦・岩崎秀穂・柴田和幸・鈴木智久・鈴木康夫・印南一憲 (2000). 農耕地土壌の化学性の変化および化学性を性格付ける因子と土壌管理の影響. 栃木農試研報. 49: 25-32.

日本土壌協会 (2001). 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び作物体分析法. 1-184. 日本土壌協会. 東京.

嶋田永生 (1979). ハウス土壌の特性と改良. 130-138. 農文協. 東京.

瀧 勝俊・沖野英男 (1990). 県内トマト栽培における塩類蓄積の実態と硝酸態窒素の簡易測定法の検討. 愛知農総試研報. 22: 285-293.

瀧 勝俊・沖野英男 (1991). 施設土壌における硫酸塩蓄積の原因 (1) 東三河地域トマト施設土壌について. 愛知農総試研報. 23: 271-280.

瀧 勝俊・沖野英男 (1992). 施設土壌における硫酸塩蓄積の原因 (2) —海部地域のイチゴ施設土壌を中心として—. 愛知農総試研報. 24: 165-171.

田中 樹 (1997). 土壌環境分析法. 195-197. 博友社. 東京.

千葉県 (2004). 主要農作物等施肥基準. 15-25.

家壽多正樹・梅本清作・加藤正広・真行寺孝・青木孝一 (1997). 土壌pHの調整によるコウライシバ葉腐病 (ラージパッチ) の制御. 芝草研究大会誌26: 56-57.

Application of the Relationships between Soil Chemical Properties in Upland Field, Chiba Prefecture to Soil Diagnosis

Atsushi YAMAKI, Masahiko SHINODA, Masaki YASUDA, Shingo USHIO,

Kenji SAITO, Tomoko OSHIDA and Tetsuo ANZAI

key word: upland field soil, pH, electric conductivity, cation exchange capacity, base-saturation degree

Summary

Results of monitoring upland field soil at 276 sites in Chiba Prefecture showed that soil electric conductivity (EC) was related to water-soluble anion content and pH to the base-saturation degree. The finding was used to estimate pH (corrected pH) under low EC, less than 10 mS/m.

1. When soil EC was lower than 100 mS/m, it increased with increased nitrate ion contents and the following equation was found between EC (x) and nitrate-nitrogen content (y): $y = 0.00173x^2 + 0.131x - 0.0129$ ($R^2 = 0.67$). When the EC was 100 mS/m or higher, high contents of chloride or sulfate ions were often found in the field soil.
2. The following equation was derived from the relationship between pH (H₂O) and the base-saturation degree, grouped by EC: $\text{corrected pH} = \text{pH (H}_2\text{O)} - 0.000097x^2 + 0.0181x$ (x: EC).
3. When the fields were grouped into 0 - less than 10, 10 - less than 20, 20 - less than 30, and 40 or more in cation exchange capacity (CEC, me/100 g), average base-saturation degree was 120, 110, 81, 72, and 66%, respectively. Base-saturation degree tended to be higher in soil with lower CEC.