

学位論文題名

# Measurement of Nutrient Availability and Solute Transport in Soils with Ion Exchange Resin Capsules

(レジンカプセル法を用いた土壤中の養分の可給性と溶質輸送の測定)

## 学位論文内容の要旨

土壤中の養分環境の把握は、農業資源を効率的に活用し作物生産量を高め、農業由来の環境負荷を軽減するために不可欠である。レジンカプセル法は、直径 2cm の球形のメッシュに 2.2mmol<sub>c</sub> の強酸型陽イオン交換樹脂と強塩基型陰イオン交換樹脂を詰めたレジンカプセルを、一定期間土壤中に埋設し、レジンに吸着した養分量から養分環境を把握するものである。レジンカプセル法は近年、養分の可給性評価に多く使用されてきたが、従来の土壌分析法との関係はあまり評価されていなかった。本研究ではまず、レジンカプセル法と従来の土壌分析法との比較を行なった。さらにレジンカプセル法を土壤中における硝酸をはじめとする溶質輸送のモニタリングに利用するために、従来のモニタリング法であるパンライシメータ法、セラミックカップ法との比較も行なった。

### 1. 可給態養分測定

土壌水分と土性の違いによる窒素・リン・カリウムの可給性を評価するためにレジンカプセル法と従来の抽出法を比較した。北海道の畑圃場から採取した砂質土壌とシルト質土壌を用い、水分飽和(含水比 65%)および水分不飽和(含水比 32%)条件で、25℃で 28 日間室内で培養し、レジンカプセルへの吸着量と、従来法による無機態窒素(1M-KCl 抽出)、可給態リン(Bray 法)、交換性カリウム(1M-pH7 酢酸アンモニウム抽出)を比較した。

1)レジン吸着窒素量は土壌の無機態窒素含量と高い直線関係を示した。ただし、その関係は土性と土壌水分により異なった。水分不飽和条件では硝酸化成のため無機態窒素の主体は硝酸となり、レジン吸着窒素量は、硝酸が拡散しやすい細粒土で多かった。一方、水分飽和条件下ではアンモニウムが主体であるが、陽イオン保持能が低い粗粒土のほうがレジン窒素量は多かった。

2)リンのレジンへの吸着量は不飽和条件で著しく低下した。このことはレジンカプセル法が根のリン吸収のアナログであることを示している。供試土壌の可給態リン含量はほぼ同じであったが、レジン吸着リン量は土粒子の表面積が小さい粗粒土で低かった。

3)カリウムもリンと同様、不飽和条件でレジンへの吸着量は著しく低下した。交換性カリウムが多い土壌ほどレジン吸着カリウム量も多かった。

### 2. 養分可給化のカイネティクス

レジンカプセルへの吸着速度の解析を行なった。砂質土壌とシルト質土壌を用い、水分飽和(含水比 65%)および水分不飽和(含水比 32%)条件で、25℃で 1,7,14,28 日間室内で培養し、レジンカプセルへの吸着量の変化を得た。

1)培養期間中の窒素・リン・カリウムのレジン吸着曲線は  $RAQ=at^b$  で回帰された。a 値は可給量因子を示し、b 値は可給速度因子を示し、根への養分移動状態をシミュレートできる。

2)窒素吸着曲線では、無機態窒素含量が高い試料ほど a 値も b 値も大きくなった。このことは、窒素の無機化による可給量の増加と、硝酸化成、イオン交換、拡散に影響される可給速度の変化をよく反映している。

3)リンの吸着曲線の b 値は土壌により変わらなかったが、a 値は粗粒土で小さかった。このことは、土粒子の表面積が小さい粗粒土でリン可給量が制限されやすいことを示している。

4)カリウム吸着曲線の b 値は土壌により変わらなかったが、a 値は交換性カリウムの多い土壌で大きく、イオン交換による放出は単に吸着量に依存することを示していた。

### 3. 圃場における養分可給性のモニタリング

北海道静内町の未熟火山性土の森林、草地、畑地において、植物生育期間中の作土と心土の養分状態をレジンカプセル法と従来法によりモニターした。レジンカプセルを深さ 15cm と 50cm に埋設し、1 ヶ月間隔で測定した。土壌試料は 0-15cm と 30-50cm から、採取し分析に供した。

レジンカプセル法は圃場の養分状態を良く反映しており、森林、草地、畑地の上層、下層における養分動態の違いが明らかに認められた。トウモロコシ畑における、硝酸、リンおよびカリウムのレジン吸着量はトウモロコシ生育期間中低下していき、生育期間における養分状態の把握ができる。また同時に土壌養分の空間変動もとらえられた。

レジン吸着養分量と、従来法で測定された養分含有量の間には正の有意な相関関係があったが、相関係数は低かった。このことは、レジンカプセル法が、ある期間、圃場にレジンを埋設して測定するために、植物吸収や溶脱などの養分変化を反映しているのに対して、従来法がその時点の養分状態を示していることを反映している。

### 4. 溶質輸送への適用

北海道三笠市の灰色低地土タマネギ畑において、作物生育期間を含む 7 ヶ月間、パンライシメータ、サクシオンカップ、レジンカプセルを用いて養分の溶脱を測定するとともに、深さ 90cm に埋設された暗渠管からの排水中の養分流出を測定した。暗渠排水とパンライシメータにより採取された溶液中の窒素のほとんどは硝酸で、常時 10mg/L を越えていた。ただし、その硝酸濃度はポーラスカップで採取した土壌粒団中の土壌溶液濃度と異なっていた。このことは、硝酸が粗大孔隙を通り粒団を回避する流れにより溶脱していることを示している。塩基性陽イオンも硝酸とともに粗孔隙流により溶脱していた。レジンカプセルによる表層での硝酸吸着量は、その測定期間の平均の暗渠排水の硝酸濃度と有意な高い正の相関関係が認められた。このことは、表土で可給化した養分量に応じて下層へ溶脱が生じていることを示している。

### 5. 結論

レジンカプセル法は、植物根への養分輸送の支配因子である土性や土壌水分含量の違いを強く反映した結果を与えており、可給態養分の評価に有効な方法であると思われる。さらにレジンカプセル法はバイパス流による養分溶脱を検出する有効な方法でもある。しかし、圃場での養分の可給化のモニタリングは十分な定量性が認められたわけではなかった。今後、その使用方法の規格化を検討する研究が必要である。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 波多野 隆 介

副 査 教 授 山 口 淳 一

副 査 助 教 授 中 原 治

学 位 論 文 題 名

## Measurement of Nutrient Availability and Solute Transport in Soils with Ion Exchange Resin Capsules

(レジンカプセル法を用いた土壤中の養分の可給性と溶質輸送の測定)

本論文は4章からなり、図33、表8、引用文献51を含む総頁数93の英文論文である。別に参考論文が4編添えられている。

土壤中の養分環境の把握は、農業資源を効率的に活用し作物生産量を高め、農業由来の環境負荷を軽減するために不可欠である。レジンカプセル法は、直径2 cmの球形のメッシュに2.2 mmol<sub>g</sub>の強酸型陽イオン交換樹脂と強塩基型陰イオン交換樹脂を詰めたレジンカプセルを一定期間土壤中に埋設し、レジンに吸着した養分量から養分環境を把握するものである。本研究ではまず、レジンカプセル法と従来の土壤分析法との比較を行ない、さらにレジンカプセル法を土壤中における硝酸をはじめとする溶質輸送のモニタリングに利用するために、従来のモニタリング法であるパンライシメータ法、セラミックカップ法との比較を行なった。以下にその結果を要約する。

### 1. 可給態養分測定

土壤水分と土性の違いによる窒素・リン・カリウムの可給性を評価するためにレジンカプセル法と従来の抽出法を比較した。北海道の畑圃場から採取した粗粒土と細粒土を用い、水分飽和(含水比65%)および水分不飽和(含水比32%)条件で、25°Cで28日間室内培養し、レジンカプセルへの吸着量と、従来法による無機態窒素(1M-KCl抽出)、可給態リン(Bray法)、交換性カリウム(1M-pH7酢酸アンモニウム抽出)を比較した。

1)レジン吸着窒素量は土壤の無機態窒素含量と高い直線関係を示した。ただし、その関係は土性と土壤水分により異なり、硝酸主体の水分不飽和条件下のレジン吸着窒素量は、硝酸が拡散しやすい細粒土で多かった。一方、アンモニウム主体の水分飽和条件下では陽イオン保持能が低い粗粒土のほうがレジン窒素量は多かった。

2)リンのレジンへの吸着量は不飽和条件で著しく低下した。供試土壤の可給態リン含量はほぼ同じであったが、レジン吸着リン量は土粒子の表面積が小さい粗粒土で低かった。

3)カリウムもリンと同様、不飽和条件でレジンへの吸着量は著しく低下した。交換性カリウムが多い土壤ほどレジン吸着カリウム量も多かった。

### 2. 養分可給化のカイネティクス

レジンカプセルへの吸着特性の解析により土壤養分の可給化の機作を推定した。前記の

粗粒土と細粒土を用い、水分飽和(含水比 65%)および水分不飽和(含水比 32%)条件で、25°C で1,7,14,28 日間室内で培養し、レジнкаプセルへの吸着量の変化を得た。

1)培養期間中の窒素・リン・カリウムのレジン吸着曲線はこれまでの研究と同様、吸着量(RAQ)は時間(t)により  $RAQ=at^b$  で回帰された。a 値は可給態プール因子を示し、b 値は可給速度因子を示すが、大きな a 値であっても b 値が小さければ、実際の可給量は少なくなる。とくに b 値は植物吸収量と正の相関関係があることが知られている。

2)窒素・リン・カリウムの吸着曲線の a 値はリン・カリウムでは水分含量が高いほど高く、窒素ではさらに無機態窒素含量が高い試料で高かった。b 値は飽和条件では、粗粒土で明らかに高かった。不飽和条件では、粗粒土のリンで著しく低かったが、他は飽和条件とほぼ同じであった。これらのことから、養分可給性の土壌間差は b 値により特徴づけられ、同一土壌での可給量の変動は a 値により特徴づけられる。

### 3. 圃場における養分可給性のモニタリング

北海道静内町の未熟火山性土の森林、草地、畑地において植物生育期間中レジнкаプセルを作土の深さ 15 cm と下層土の 50 cm に埋設し 1 ヶ月間隔で測定するとともに、0-15 cm と 30-50 cm の土壌を採取し可給態養分を測定した。

レジнкаプセル法は圃場の養分状態を良く反映しており、森林、草地、畑地の土層、下層における養分動態の違いが明らかに認められた。トウモロコシ畑における、硝酸、リンおよびカリウムのレジン吸着量はトウモロコシ生育期間中低下していき、生育期間における養分状態の把握ができる。また同時に土壌養分の空間変動もとらえられた。

レジン吸着養分量と、従来法で測定された養分含有量の間には正の有意な相関関係があったが、相関係数は低かった。このことは、レジнкаプセル法が、ある期間、圃場にレジンを埋設して測定するために、植物吸収や溶脱などの養分変化を反映しているのに対して、従来法がその時点の養分状態を示していることを反映している。

### 4. 硝酸溶脱モニタリングへの適用

北海道三笠市の灰色低地土タマネギ畑において、作物生育期間を含む 7 ヶ月間、パンライシメータ、サクシジョンカップ、レジнкаプセルにより土壌中の硝酸動態を測定するとともに、深さ 90 cm の暗渠排水中の硝酸濃度を測定した。その結果、暗渠排水とパンライシメータにより採取された溶液中の硝酸濃度は常時 10 mgN L<sup>-1</sup> を越えており、またそれはポラスカップで採取した土壌粒団中の土壌溶液濃度と著しく異なることを認めた。その理由に、硝酸が粗大孔隙を通り粒団を回避する流れ(バイパス流)により溶脱したと推論した。作土のレジнкаプセルによる硝酸吸着量は、その測定期間における暗渠排水中の平均硝酸濃度と有意な高い正の相関関係にあることを認め、表土で可給化した養分量に応じて溶脱が生じると推論した。

以上のように本論文は、生産性を維持しつつ環境へのインパクトを軽減するために精密な養分管理が要求されている農地における栄養塩状態のモニタリング方法の一つとしてレジнкаプセル法が有効であることを示したものであり、その成果は学術的にも高く評価される。よって審査員一同は、Mirasol F. Pampolino は博士(農学)の学位をうけるのに十分な資格を有するものと認めた。