

平成22年 5月31日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19580063
 研究課題名（和文） 腐朽有機物由来の易溶性腐植物質の性状解明と土壌中での動態解析
 研究課題名（英文） Studies on the chemical properties of easily extractable humic substances derived from humified organic matter and their fate in soils
 研究代表者
 青山 正和（AOYAMA MASAKAZU）
 弘前大学・農学生命科学部・教授
 研究者番号：60150950

研究成果の概要（和文）：腐植物質は暗色無定形の有機物であり、植物遺体の分解過程や堆肥化の過程で生成する。土壌中においては、土壌溶液に容易に溶解して移動可能な「易溶性腐植物質」が、植物養分や金属イオンの移動に重要な役割を果たしている。本研究では、従来不明な点が多かった易溶性腐植物質の化学的性状を明らかにするとともに、堆肥施用リンゴ園土壌における易溶性腐植物質の挙動、さらには土壌中の重金属移動に対する易溶性腐植物質の効果について明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Humic substances are dark-colored amorphous organic matter derived from the microbiological decomposition of plant materials and the composting process. In soils, easily extractable humic substances are considered to be playing important roles in the mobilization of plant nutrients and metal ions. In this study, the chemical properties of easily extractable humic substances and their fate in soils were revealed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学 / 植物栄養学・土壌学

キーワード：腐植物質、土壌、堆肥、植物遺体、赤外分光法、重金属

1. 研究開始当初の背景

土壌中の腐植物質は、一般に難溶性の有機物であると考えられているが、一部は水や中性塩溶液に可溶の形態で存在する。こうした水や中性塩溶液に可溶の腐植物質を、ここでは易溶性腐植物質と呼ぶ。わが国では、中性リン酸緩衝液可溶の有機態窒素量が可給態

窒素量の指標として使われており、中性リン酸緩衝液可溶の有機物の主体は“タンパク様物質”であるとされてきた。しかし、研究代表者らは、土壌の中性リン酸緩衝液抽出物に“タンパク様物質”は存在せず、“タンパク様物質”とされていた有機物は腐植物質であることを指摘するとともに、中性リン酸緩衝

液抽出物中の腐植物質が無機化窒素の給源として重要であることを見出した。一方、土壤溶液中に溶存している腐植物質は、金属イオンと錯体を形成することから、植物必須元素の動態と密接に関連している。研究代表者らは、ボルドー液の散布によって銅が集積したリンゴ園土壌を用いて重金属集積植物であるカラシナを栽培し、堆肥から水抽出した腐植物質を添加するとカラシナによる銅吸収が促進されることを見出した。これは、土壌中の銅が腐植物質と錯体形成して可溶化されることと、錯体形成した銅が植物によって吸収されやすいためと推定される。このように、易溶性腐植物質は、無機化窒素の給源となるだけでなく、土壌中における微量金属の可溶化と移動ならびに植物による微量金属の吸収においても重要な役割を担っていると考えられる。ただし、腐植物質は、単一の物質ではなく、分子サイズと化学的性状が異なる多くの構成成分からなる物質群である。腐植化学的な区分に基づくと、可給態窒素の給源となるのは主に腐植酸(HA)画分の腐植物質であるのに対して、金属イオンとの錯体形成に関与するのは主にフルボ酸(FA)画分の腐植物質であると考えられる。さらに、研究代表者らが開発したポリマー系モノリスディスクカラムを用いた高速逆相クロマトグラフィー(RP-HPLC)を適用すると、HA画分、FA画分、いずれの腐植物質も親水性と疎水性の程度が異なる5成分に分離することが認められ、金属イオンと錯体形成するのはもっとも親水性が強い成分であることが判明している。

これまでの研究に基づけば、易溶性腐植物質は主に植物遺体の分解過程において生成し、さらに堆肥化の過程においても生成する。こうして生成した易溶性腐植物質は、土壌中で容易に移動し、上述のような機能を発現するものと推測される。しかしながら、腐朽有機物由来の易溶性腐植物質の土壌中での挙動と機能発現とを関連させた研究はまったく行われていない。これには、土壌中の腐植物質全体から見るとわずかしかな存在しない易溶性腐植物質の動態を解析するための手法が確立されていないことが関わっていると考えられた。

2. 研究の目的

本研究では、微量の易溶性腐植物質を構成成分に分けてそれらの性状を解析する手法を確立するとともに、その手法を適用して、室内実験と圃場試験を通じて土壌中における腐朽有機物由来易溶性腐植物質の動態を明らかにすると同時に、易溶性腐植物質による植物体への微量金属元素の吸収促進機構を解明することを目指す。

土壌の溶存有機物に関しては世界的にみ

ても数多くの研究が行われてきているが、その給源となる易溶性有機物、とくに腐植物質に関する研究は数少ない。これには、性状解析に必要な試料を調製するのに多大な労力がかかることが関わっている。本研究は、申請者がこれまで独自に開発してきた高速液体クロマトグラフィーの技術を適用して、微量でなおかつ多様な成分からなる易溶性腐植物質の土壌中での挙動解析を腐植物質の機能発現と関連させて行う点が、これまで行われていない独創的な点である。本研究の遂行によって、これまで不明であった腐朽有機物由来の易溶性腐植物質の性状とその動態に関する情報が集積され、有機物施用土壌における肥沃度の維持・向上ならびに重金属汚染土壌のファイトレメディエーションの推進に役立つものと期待される。

3. 研究の方法

(1) 微量腐植物質の性状解析法の検討 赤外線分光法による性状解析

CPMAS ^{13}C NMR スペクトル測定済みの HA10 試料と FA2 試料について、前処理が容易で分解能が高く、微量測定が可能な拡散反射フーリエ変換赤外分光(DRIFT)法により赤外線吸収スペクトルを測定した。得られたスペクトルは、デコンボリューションプログラムとピークフィッティングプログラムを用いて個別の吸収ピークに分離し、得られたピーク面積と CPMAS ^{13}C NMR スペクトルから推定した形態別の炭素割合との関係を調べ、DRIFT 法によって腐植物質の形態別炭素割合が推定可能かどうかを検討した。ついで、この方法が、RP-HPLC によって分画した微量腐植物質にも適用可能かどうか検討した。HA4 試料と FA1 試料について、ポリマー系モノリスカラムを用いて pH 勾配溶出とアセトニトリル濃度勾配溶出を適用して RP-HPLC を行った。溶出液は、5 画分に分け、DRIFT スペクトルを測定した。

二次元電気泳動

試料として褐色低地土から抽出した HA を用い、7M 尿素を含む IEF バッファーに溶解させた(0.5%)。一次元目の等電点泳動は、バイオラッド製 IPG ストリップ(pI 3~6、17cm)を用い、3500V で 4.5 時間泳動した。泳動終了後、二次元目の泳動のためにストリップを 7M 尿素含有 10% ポリアクリルアミドゲルに移し、300V で 1.5 時間泳動した。泳動後のゲルは、自然光下および青色トランスイルミネーター上で写真撮影した。その後、ゲルは 30 の切片に分け、0.1M 水酸化ナトリウムに浸漬して HA を抽出し、DRIFT スペクトルの測定と HPSEC を行った。

(2) 易溶性腐植物質の性状解析 水溶性腐植物質(WSHS)の調製

鶏ふん堆肥と2種類の土壌(沖積土および黒ボク土)から超純水によって水溶性有機物を抽出した。抽出液中の腐植物質は、DEAE セルロースに吸着させ、超純水で洗浄後に0.1M NaOH で溶離し、さらに超純水で洗浄した。NaOH 溶離液と洗浄液を合わせ、H⁺型陽イオン交換樹脂カラムを通して中和し、WSHSとした。

中性リン酸緩衝液可溶腐植物質(NPBSHS)の調製

弘前大学藤崎農場のクリ園から採取した褐色低地土について67mMリン酸緩衝液(pH 7.0)で抽出した後、DEAEセルロースに腐植物質を吸着させた。吸着した腐植物質は0.1M NaOH で溶出し、H⁺型陽イオン交換樹脂カラムを通過させて中和し、NPBSHSとした。

易溶性腐植物質の分析

WSHSとNPBSHSは凍結乾燥し、DRIFTスペクトルを測定するとともにHPSECを行った。

(3) 土壌中での易溶性腐植物質の挙動解析

3年間にわたって堆肥が土壌に混合施用されている弘前大学藤崎農場内のリンゴ園土壌(褐色低地土)ならびに6年間にわたって堆肥が土壌表面に施用されている黒石市内の農家リンゴ園土壌(黒ボク土)を用いて易溶性腐植物質の経時的な変化を解析した。各土壌は、5月と12月の二回、0-20cmおよび20-40cmの部分採取して分析に供した。

土壌の水溶性有機物は、5倍量の超純水で抽出し、有機態炭素含量を分析するとともにDRIFTスペクトルの測定とHPSECを行った。黒石市内の農家リンゴ園土壌の場合には、堆肥施用後6年目の土壌から得た水抽出液について、市販のDEAEカートリッジに腐植物質を吸着させ、超純水で洗浄後に0.1M NaOHで腐植物質を溶離した。カートリッジは、さらに超純水で洗浄し、NaOH溶離液と洗浄液を合わせ、H⁺型陽イオン交換樹脂カラムを通して中和した。このWSHSについて、有機態炭素含量を分析するとともに、凍結乾燥試料のDRIFTスペクトル測定とHPSECを行った。

(4) 易溶性腐植物質による重金属の可溶性の推定

易溶性腐植物質として、(2)で供試した鶏ふん堆肥ならびに沖積土と黒ボク土の2種類の土壌から調製した水溶性有機物(WDOM)ならびにWSHSを用いた。さらに、比較のため、同じ堆肥と土壌からアルカリ抽出したHAとFAも供試した。

これらの腐植物質試料は、炭素濃度が50ppmとなるように超純水に溶解した。HAは、一旦0.1M NaOHに溶解した後に、H⁺型陽イオン交換樹脂カラムで中和した。土壌としては、重金属の集積した沖積リンゴ園土壌を風乾細土として供試した。乾土1g相当量に腐植物質溶液5mLを加えて30分で16時間振とう

した後、遠心分離して得た上澄について、原子吸光法で銅と鉛の濃度を測定した。

(5) 植物による易溶性腐植物質の吸収
腐植物質の調製

弘前大学藤崎農場のクリ園から採取した褐色低地土について、(2)の方法でNPBSHSを調製した。比較のため、同じ土壌からアルカリ抽出によりFAを調製した。

水耕栽培

温室内でチンゲンサイを4週間栽培した後、NPBSHSを炭素として40ppm、もしくはFAを炭素として60ppm加えた水耕液にチンゲンサイを移植した。1昼夜栽培した後、導管液を採取した。採取した導管液はHPSECにかけ、ピークを蛍光検出した。検出は、励起波長360nm、発光波長450nmで行い、検出ピークについてオンフローで蛍光スペクトルを測定した。

土耕栽培

弘前大学農学生命科学部内の圃場から採取した黒ボク土を充填したプランターに化学肥料を施肥し、チンゲンサイを5週間栽培後、導管液を採取し、HPSECにかけた。

(6) 植物の重金属吸収に及ぼす易溶性腐植物質の効果の解析

ペトリ皿にろ紙を敷いた上にカラシナ種子を40個播種し、培養液を10mL加えた。培養液中の銅濃度は10ppmとした。これに、前述のように調製した沖積土のWSOM、WSHS、HAおよびFAを、炭素量として10、20および50ppmとなるように加えた。さらに、腐植物質を加えていない対照区も設けた。ペトリ皿は、グロースチェンバー内で、明期25・16時間、暗期20・8時間の条件で1週間生育させた。1週間後に幼植物を回収してシュートと根に分け、脱イオン水で洗浄した。洗浄した植物体は、通風乾燥して重量を測定し、乾式灰化した後に原子吸光法で銅含量を測定した。また、カラシナをレタスに換えて、前項と同様の条件で幼植物を栽培し、銅吸収に及ぼす腐植物質の影響を検討した。ただし、銅濃度は20ppm、腐植物質の濃度は20ppmとした。さらに、pHを4.5、5.5、6.5の3段階に調節した培養液を用いて、カラシナとレタス幼植物の銅吸収に及ぼす腐植物質の影響を検討した。腐植物質としてはFAのみを用い、炭素量で20ppmとなるように加え、銅濃度は20ppmとした。

4. 研究成果

(1) 微量腐植物質の性状解析法の確立

DRIFT法による微量腐植物質の化学的性状解析法

供試した10試料のHAと2試料のFAについて得られたDRIFTスペクトルについて、デ

コンボリューションプログラムとピークフィッティングプログラムを用いて個別の吸収ピークに分離した。まず 2900 cm^{-1} 付近の脂肪族性 C-H の伸縮振動に由来するピーク、1720 cm^{-1} 付近のカルボキシル基の C=O 伸縮振動に由来するピーク、1650 cm^{-1} 付近のアミドの C=O 伸縮振動に由来するピーク、1600 cm^{-1} 付近の芳香族性 C=C の伸縮振動に由来するピークならびに 1020~1120 cm^{-1} の多糖類 OH 伸縮振動に由来するピークを選定し、これらのピーク面積の含量に対する各ピークのアリメントを求めた。次いで、脂肪族ピーク、カルボキシル基 + アミドピーク、芳香族ピークおよび多糖類由来ピークについて CPMAS ^{13}C NMR スペクトルから求めたアルキル炭素、カルボキシル炭素、芳香族炭素および O-アルキル炭素のピーク面積割合との関係を調べたところ、いずれも統計的に有意な正相関を示した。この結果から、測定に長時間を要し、多量の試料が必要となる CPMAS ^{13}C NMR スペクトル測定を行わずに、DRIFT 法によって微量の腐植物質の形態別炭素割合を短時間で推定できることを明らかにした。また、DRIFT 法により、腐植物質中のペプチドおよびリグニン由来成分の多少も推定可能であることを示した。

RP-HPLC と DRIFT 法を組み合わせた微量腐植物質の性状解析法

腐植物質について RP-HPLC を適用すると、親水性の高い成分 (F1) から疎水性の高い成分 (F5) へと順次溶出する。Rp 型のきゅう肥 HA では疎水性のもっとも高い F5 画分が多くを占めたが、腐植化度が高くなるにしたがって、F5 画分の割合が減少し、それ以外の画分の割合が増加する傾向が認められた。一方、FA では、HA と異なって大部分が親水性のもっとも高い F1 画分で占められ、他の成分はわずかしが存在しなかった。

F1~F5 の各成分について DRIFT 法で赤外線吸収スペクトルを測定し、デコンボリューションプログラムとピークフィッティングプログラムを用いて個別の吸収ピークに分離し、それぞれのピーク面積を求めた。これに基づいて、脂肪族、多糖類、芳香族、カルボキシル基およびアミドに由来するピークのアリメントの割合を算出すると、HA では F1 から F5 へと、疎水性が高まると脂肪族ピークとアミドピークの割合が増加する傾向が認められた。一方、FA では疎水性が高い画分で多糖ピークの割合が著しく高まることが認められた。このように、DRIFT 法が HPLC で分取した極微量の腐植物質にも適用可能であることが明らかになった。

二次元電気泳動法と DRIFT 法を組み合わせた微量腐植物質の性状解析法

HA を二次元電気泳動すると、暗色を呈する成分は、主に pI 4.5 以下の部分にフォーカシングし、その大部分は二次元目の電気泳動でゲルの中程まで移動した。また、ゲルの最上端に留まったままの成分も認められた。一方、青色光トランスイルミネーター上で観察すると、pI 5.0 以下の、ゲル下半分で緑色蛍光が認められ、とくに最下端で強い緑色蛍光が検出された。二次元電気泳動後のゲルから抽出した HA を HPSEC にかけて、ゲルの上部の成分ほど分子サイズが大きく、二次元目のポリアクリルアミドゲル電気泳動で分子サイズに基づく分離がなされていることが確認でき、とくにゲル最下端部の強い緑色蛍光を示した成分の分子サイズが小さいことが認められた。

ゲルから抽出した HA の DRIFT スペクトルを測定すると、ゲルの場所によってスペクトルが大きく異なった。もっとも分子サイズが大きいゲル最上端では、2920 cm^{-1} と 2855 cm^{-1} の脂肪族ピークが強く、また 1665 cm^{-1} 付近のアミド および 1540 cm^{-1} 付近のアミドのピークが明瞭に認められ、脂肪族鎖とペプチド構造が主体となっていることが推測された。分子量が中庸なゲル中央部の暗色の濃い部分では、脂肪族ピークは比較的弱く、1720 cm^{-1} 付近のカルボキシル基由来のピークと 1600 cm^{-1} 付近の芳香族由来のピークの強度が比較的強いことが認められた。一方、分子サイズが小さく、強い緑色蛍光を呈した成分は、2920 cm^{-1} と 2855 cm^{-1} の脂肪族ピークが強いことが認められた。また、1665 cm^{-1} 付近のアミドのピークも認められたが、意外なことに、発蛍光団の候補となる芳香族成分に由来する 1600 cm^{-1} 付近のピークは明瞭ではなかった。さらに、暗色物質の存在がほとんど認められなかった pI が 5 以上の成分も、DRIFT スペクトルを測定すると、1665 cm^{-1} 付近のアミド および 1540 cm^{-1} 付近のアミドのピークが明瞭に認められ、タンパク質に類似したスペクトルを示した。

以上のように、二次元電気泳動によって HA を分子サイズと化学構造が異なる多くの成分に分離可能であることが示された。

(2) 易溶性腐植物質の性状

WSHS の DRIFT スペクトルを測定すると、腐朽有機物である堆肥と土壌とではその化学的性状が大きく異なることが認められた。堆肥の場合には 1665 cm^{-1} 付近のアミドのピークが卓越し、1720 cm^{-1} 付近のカルボキシル基と 1600 cm^{-1} 付近の芳香族に由来するピークの強度はアミドのピークより小さかった。これに対して、土壌の WSHS ではカルボキシル基のピークが卓越し、アミド および芳香族のピークは小さかった。沖積土と黒ボク土を比べると、アミドのピーク強度は黒

ボク土でより弱かった。しかし、 2920cm^{-1} と 2855cm^{-1} の脂肪族のピークはいずれの WSHS においてもほとんど認められなかった。沖積土から調製した NPBSHS についても、カルボキシル基、アミド、芳香族に由来するピークの割合は、沖積土由来の WSHA とほとんど変わらなかった。ただし、 1200cm^{-1} より波数の小さい領域に強いピークが認められたが、これらピークの帰属はできなかった。

HPSEC に基づくと、堆肥から調製した WSHS の分子サイズは土壤から調整した WSHS よりかなり大きく、ポリエチレングリコールをスタンダードとした場合の分子量は 3000Da と推定された。一方、沖積土の WSHS の分子量は 1200Da と推定されたのに対して、黒ボク土の WSHS の分子量はより小さく、 800Da と推定された。沖積土の NPBSHS の分子量は、沖積土の WSHS の分子量よりやや大きく、 15000Da と推定された。

以上のように、土壤の易溶性腐植物質は分子量が小さく、カルボキシル基に富むことが特徴的であったが、堆肥の易溶性腐植物質は分子量が大きく、ペプチド構造が主体となっていることが窺われた。ペプチド構造を多く含む特徴は、FA よりもむしろ HA の特徴であり、堆肥の易溶性腐植物質は HA 成分を多く含むことが示唆された。

(3) 土壤中での易溶性腐植物質の挙動

堆肥が土壤に混合施用されている藤崎農場においては、4 年間施用しても全炭素量と全窒素量を指標とした土壤有機物量の増加は認められなかった。また、水溶性有機物含量にも、堆肥施用の有意な影響は認められなかった。

堆肥を 6 年間表面施用した黒石市の農家リンゴ園でも、堆肥施用は、全炭素量と全窒素量を指標とした土壤有機物含量の増加は判然としなかったが、土壤表層の水溶性有機物を明らかに増加させた。6 年目に採取した土壤について DEAE セルロースで水溶性腐植物質を分離すると、水溶性有機態炭素に対する水溶性腐植物質炭素の割合は、堆肥区より化学肥料区で高くなった。また、水溶性腐植物質の HPSEC によって推定した分子サイズおよび DRIFT 法から推定した化学的性状は、堆肥区と化学肥料区では大きなちがいを見せなかった。

以上のことから、土壤への堆肥の混合施用は土壤の水溶性有機物を増加させないのに対して、堆肥を土壤表面に施用した場合には土壤表層の水溶性有機物を明らかに増加させることが認められた。ただし、堆肥の表面施用によって集積する水溶性有機物の多くは非腐植物質であり、水溶性腐植物質だけに限ると堆肥施用による増加はわずかであることが判明した。

(4) 易溶性腐植物質による土壤中に集積した銅の可溶化能

重金属が集積したリンゴ園土壤からの銅の溶出に及ぼす易溶性有機物および易溶性腐植物質の効果は、その給源によって大きく異なった。鶏ふん堆肥から調製した WSOM および WSHS は、いずれも土壤中の銅の溶出を大きく促進した。超純水による溶出量と比べると、鶏ふん堆肥の WSOM は銅の溶出量を約 2 倍に増加させ、WSHS は 2.5 倍に増加させた。一方、沖積土から調製した WSOM と WSHS は銅の溶出をわずかに促進したが、黒ボク土から調製した WSOM と WSHS は有意な影響を及ぼさなかった。これに対して、アルカリ抽出により調製した HA と FA は、その給源に関わらず銅の溶出を促進した。鶏ふん堆肥の場合には、HA の銅溶出効果が高く、超純水の約 4 倍の銅を溶出させた。しかし、土壤 HA の銅溶出効果はわずかであった。FA は、土壤からの銅の溶出を 1.5~2 倍に高めたが、給源によるちがいは小さかった。

以上のように、腐朽有機物由来の易溶性腐植物質は土壤中に集積した重金属の可溶化を促進することが認められた。この重金属溶出効果は、易溶性腐植物質の FA 成分よりも HA 成分によるものと推定された。

(5) 植物による易溶性腐植物質の吸収

土壤から調製した NPBSHS を加えた培養液と加えない培養液でチンゲンサイを水耕栽培し、導管液を採取して HPSEC を行ったところ、腐植物質を加えた培養液で栽培したチンゲンサイの導管液中に腐植物質を加えない場合には認められないピークが検出された。このピークの蛍光スペクトルをオンフローで測定すると、腐植物質と類似したスペクトルを示した。また、土壤から調製した FA について同じ実験を行うと、やはり FA と同じ蛍光スペクトルを示すピークが検出された。こうした事実から、チンゲンサイが腐植物質を根から吸収し、導管を通じて地上部まで輸送していることが明らかとなった。

さらに、土耕栽培したチンゲンサイの導管液について HPSEC を行うと土壤の易溶性有機物とほぼ同じ位置にピークが認められ、実際の土壤で栽培されている植物においても易溶性有機物を吸収している可能性が示唆された。

(6) 植物の重金属吸収に及ぼす易溶性腐植物質の効果

カラシナ、レタスのいずれを用いた場合にも、添加した腐植物質の種類に関わらず、シュート、根ともに銅吸収量の増加は認められなかった。シュートに関してみると、腐植物質の添加によって銅含量が低下する傾向が

認められ、腐植物質がむしろ幼植物による銅吸収を抑制することが示唆された。

培養液の pH を変えて幼植物の銅吸収に及ぼす FA の影響を調べたところ、カラシナ幼植物の場合には、培養液の pH を変えても、シュート、根ともに腐植物質による銅吸収の促進は認められなかった。一方、レタス幼植物の場合には、根では腐植物質による銅の吸収促進は認められなかったが、シュートでは、pH4.5 と 5.5 の場合に、FA の添加による銅の吸収促進効果が認められた。したがって、pH が低い場合には、易溶性腐植物質による植物体への銅吸収が促進されることが判明した。

植物による重金属吸収に及ぼす易溶性腐植物質の効果を解析することは、土壌重金属のファイトレメディエーションへの腐植物質の利用にとって重要であるが、今後、さらなる検討が必要であると考えられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

坂本 清・青山正和：リンゴ剪定枝堆肥の施用がリンゴ苗木の生育および土壌理化学性に及ぼす影響．園芸学研究、9、153-158 (2010)

Nagao, S., Aoyama, M., Watanabe, A. and Tanaka, T.: Complexation of Am with size-fractionated soil humic acids. *Colloids and Surfaces A: Physico-chemical and Engineering Aspect*, **347**, 239-244 (2009)

[学会発表](計5件)

青山正和：腐植酸の二次元電気泳動．日本腐植物質学会第25回講演会．2009.11.26 姫路市

青山正和：農耕地における土壌有機物の動態と機能．平成20年度東北ブロック環境保全型農業シンポジウム．2009.3.11 青森市

青山正和：モノリスチューブカラムを用いた HPLC により分画した腐植物質の DRIFT スペクトル．日本腐植物質学会第24回講演会．2008.11.4 札幌市

青山正和・渡辺 彰：拡散反射フーリエ変換赤外分光(DRIFT)法による腐植物質のキャラクタリゼーション．日本土壌肥料学会愛知大会．2008.9.9 名古屋市

青山正和・荒谷崇史・遠藤 綾：植物による養分および重金属の吸収における腐植物質の役割．日本腐植物質学会第23回講演会．2007.11.9 弘前市

[図書](計2件)

青山正和：2. 調査・分析項目の意味と診断、腐植、農山漁村文化協会編、土壌診断・生育診断大事典、p. 120-125、農山漁村文化協会(2009)

青山正和：土壌団粒・形成・崩壊のドラマと有機物利用、pp. 173、農山漁村文化協会(2010)

6. 研究組織

(1)研究代表者

青山 正和 (AOYAMA MASAKAZU)
弘前大学・農学生命科学部・教授
研究者番号：60150950

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし