

氏名	蜷木 朋子
学位(専攻分野の名称)	博士(農芸化学)
学位記番号	甲第 690 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 20 日
学位論文題目	国内産農業資源を活用した農作物への放射性セシウム吸収抑制技術の開発
論文審査委員	主査 教授・農学博士 後藤 逸男 教授・農学博士 前田 良之 教授・博士(農学) 高橋 久光 教授・農学博士 門間 敏幸

論文内容の要旨

1. はじめに

福島県は農耕地面積 14 万 5 千 ha の 70% を水田が占め、全国 4 位の米生産県であった。2011 年 3 月 11 日に発生した福島第一原子力発電所の事故により、放射性核種が広範囲に拡散し、福島県農業が未曾有の危機に直面した。飛散した主な放射性核種は ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs で、半減期が 30 年におよぶ ^{137}Cs が農地汚染核種の主体であった。セシウムは土壌中で Cs^+ として挙動し、パーミキュライトやイライトなどの粘土鉱物に吸着され土壌表層に長く留まるため農地では長期的対策が必要となる。農林水産省では原発から半径 20km 圏内の警戒区域と避難準備区域、2011 年度産水稻で玄米の暫定基準値である 500 Bq/kg を超過した地域での水稻作付け制限を決定した。

著者らは、2011 年 4 月に立ち上げられた東京農大東日本支援プロジェクトの一環として、福島県南相馬市と伊達市の水稻作付け制限区域において、水稻を中心に農産物への放射性セシウム吸収抑制対策を確立するための研究を開始した。

2012 年に発表された農水省の除染マニュアルによると、5,000 Bq/kg 以上の放射性セシウムで汚染された農地では表土を除去する。一方、5,000 Bq/kg 以下の農地では、表土を除去せず、耕耘・反転により放射能レベルを下げた上で、作物への放射性セシウム吸収抑制対策を講じるとした。著者らはその方針が妥当と考え、作土の放射能レベルが 2,600 Bq/kg であった南相馬市内の水田で、2011 年秋より試験作付の準備を開始した。著者らと同時期から農林水産省と福島県でも水稻作付け制限区域内約 400ヶ所の水田で試験作付を実施し、その対策の一環としてゼオライトに注目した。

天然ゼオライト(沸石化した白色凝灰岩粉砕物、以下

ゼオライト)がカリウムやアンモニウムイオンに対して選択的な交換吸着性を持つこと(後藤ら 1980)、さらにセシウムはカリウムと同じアルカリ金属に属する元素で、その水和イオン径がカリウムより小さいため、ゼオライトにはカリウム以上に交換吸着されやすい(西村 1973)ことが知られている。福島第一原発内では、その性質を利用して事故発生初期から放射性セシウムなどで汚染された水の処理にゼオライトが使われてきた。また、チェルノブイリ原発事故では、放射性セシウムで汚染された農地の修復にも利用された。そのような背景で、福島周辺での汚染農地ではゼオライトをセシウム吸着材として施用し、作物への放射性セシウム吸収抑制を図ろうとする機運が高まった。2012 年春には、そのメカニズムが明らかにされない状態で福島県内の水田に低減対策資材としてゼオライトが施用された。その後、2013 年 1 月に農水省と福島県から発表され「放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について」では、ゼオライトの吸収抑制効果は、ゼオライトに含まれるカリウムによる効果であり、今後の吸収抑制対策はカリ肥料による土壌中のカリ含量の確保を基本とする(福島県・農水省、2013)とした。そのため、2013 年度以降はゼオライト施用を強く要望した一部の地域を除いて復興予算として計上されなかった。

著者らは、南相馬市の水田で 2012 年より 3 年間、伊達市では 2 年間にわたり水稻や大豆などへの放射性セシウム吸収抑制対策としてゼオライトとカリウムの施用試験を実施した。また、ゼオライトの施用が作物への放射性セシウム吸収に及ぼす影響を検討するための室内実験やポット栽培試験を実施した。その結果、農水省の見解とは異なり、ゼオライトとカリウムの併用が有効であること、カリウム源としては堆肥の活用が合理的であるこ

とを明らかにした。しかし、堆肥を農地に過剰施用すると、土壤養分過剰や地下水への硝酸イオンの流出などの環境負荷が懸念される。そこで、堆肥中の肥料成分を迅速に分析する手法についても検討し、堆肥を肥料資源として活用するための検討を行った。

2. 南相馬市における水稲試験作付

南相馬市では2012年3月に市内全域での水稲作付けを全面的に制限し、市内130ヶ所の水田約15haで「平成24年度地域水田再生試験栽培事業」として水稲の試験作付を行うことになった。そこで、著者らは試験作付を南相馬市に申請し、「ほ場番号126」として認められた。試験水田は福島第一原子力発電所から20.8km地点で、作土混層後の放射性セシウム強度は $1,475\text{ Bq kg}^{-1}$ であった。2012年4月にこの水田30aにモルデナイトを主体とする福島県産天然ゼオライト0, 1, 2t/10a施用区とカリ標準施用区（塩化カリウムを K_2O として5kg/10a）とカリ多量施用区（塩化カリウムを K_2O として $5+25=30\text{ kg/10a}$ ）を組み合わせた6区の試験区を設けた。基肥として全試験区に窒素5kg/10a、リン酸4kg/10aを施用して、水稲（ひとめぼれ）を定植した。稲体中の放射性セシウム吸収が最高となる幼穂形成期と収穫後に稲体と土壤を採取し分析を行った。

その結果、幼穂形成期の茎葉と玄米中の放射能強度はゼオライト無施用・カリ標準施用区で最も高く、玄米で 17 Bq kg^{-1} であったが、カリ肥料およびゼオライトの施用により $5\sim 6\text{ Bq kg}^{-1}$ に低減された。その低減要因を解析した結果、カリ多量施用区ではゼオライトの効果は認められなかったが、カリ標準施用区ではゼオライトの施用により放射性セシウム強度が低下する傾向にあった。玄米収量については、カリ肥料とゼオライトの施用により増収した。

カリ肥料を施用して、カリウムの植物への吸収を促進すれば競合するセシウムの吸収を抑制できることが明らかになっていて、現状では土壤中に 25 mg/100g 以上の交換性カリが存在すれば、水稲へのセシウム吸収が抑えられるとされている（農研機構、2012）。一方、アンモニウムイオンについてはセシウムイオンとの競合は認められず、天正ら（1961）は水稲の幼植物栽培試験で窒素肥料の施用により放射性セシウム吸収が促進されたとしている。また、塚田ら（2012）や中尾ら（2012）はカリウムイオンより交換浸入力強いアンモニウムイオンが土壤中に施用されると土壤に交換吸着されているセシウムイオンが追い出されるため、植物に吸収されやすくなるとしている。

しかし、本試験ではゼオライトの施用により土壤中でのアンモニウムイオンの水稲への可給性が向上したにもかかわらず、稲体への放射性セシウム吸収促進は認められず、むしろ軽減される傾向にあった。収穫した茎葉中のカリ含有量を分析し、各試験区の水稲へのカリ吸収量を比較した結果、カリ肥料とゼオライト施用により増加した。すなわち、ゼオライトの施用により窒素の肥効率が高まり水稲の生育が増進した。それに伴いカリ吸収量が増加して、土壤中のカリウムイオンとセシウムイオンの競合が生じて水稲へのセシウム吸収が抑制された考えられることができる。

2012年には稲刈り後の稲わらを全量鋤き込んだ。そのカリ還元量は $14\sim 20\text{ kg/10a}$ であった。2013年には、新たにゼオライトの追加は行わず、全面に慣行施用量のカリ5kgを施用し、ゼオライトの継続効果について検証した。土壤中の交換性カリ含量はゼオライト施用量の増加に伴い増える傾向にあり、ゼオライトを施用した上で稲わらを鋤き込めば、毎年多量のカリ施用を行わなくてもよいことが示唆された。2013年産の幼穂形成期茎葉の放射能強度は2012年産を大きく下回ったため、玄米の放射能強度は 10 Bq/kg 程度以下と推定された。しかし、その予想を大きく上回る $30\sim 50\text{ Bq/kg}$ の放射能が検出され、2013年8月19日に起こった原発のがれき除去に伴う放射性セシウムの飛散が原因と考えられた。その後、2014年7月から原発のがれき処理が再開される予定であったが、南相馬市で収穫された玄米から異常に高い放射能が検出されたとのマスコミ報道により、その地域での稲刈りが終了する10月下旬まで工事が延期された。

2014年にも前年と同様の施肥設計で水稲を作付けた結果、玄米の放射性セシウムは全区で 5 Bq/kg を下回り、ゼオライトの施用により低減される傾向にあった。

3. 伊達市における水稲試験作付

福島県伊達市では、2011年に暫定基準値 500 Bq/kg を超える玄米が産出したため、作付け自粛区域に指定された。そこで、2012年より2ヶ所の水田において試験作付を開始した。試験水田A（ $8,000\text{ Bq/kg}$ ）では、2012年に隣り合う水田にゼオライト施用、無施用区を設け、両区にケイ酸カリを K_2O として 30 kg 施用した。2013年にはゼオライト1t/10a施用区と無施用区のそれぞれにカリ慣行区（ K_2O 5kg/10a）とカリ多量区（ K_2O 30kg/10a）を設けた。なお、 ^{133}Cs を用いた水稲のポット栽培試験で水稲へのセシウム吸収抑制に対するカリ肥料の種類を比較した結果、ケイ酸カリウムより塩化カリウ

ムの方が有効であったため、2013年作では塩加カリウムを施用した。その結果、玄米の放射性セシウムは2012、2013年ともに5Bq/kg程度以下であり、ゼオライト施用区で低減傾向にあった。また、玄米収量は兩年作共にゼオライト施用区で高かった。さらに、2013年作収穫後の土壌中の交換性カリ量はゼオライト無施用・カリ多量区よりゼオライト施用・カリ慣行区で高く保持されていた。

チェルノブイリ原発事故による放射能汚染地において行われた畑作物の栽培試験で、石灰資材の施用による作物への放射能低減効果が報告されている(Nisbetら1993)。そこで、試験水田B(5,000Bq/kg)において、2012年に隣り合う水田に転炉スラグ1t/10a施用、無施用区を設け、両区にケイ酸カリウム肥料を K_2O として30kg施用した。2013年には転炉スラグ施用区と無施用区のそれぞれにカリ慣行区(K_2O 5kg/10a)とカリ多量区(K_2O 30kg/10a)を設けた。なお、2012年作定植前の土壌pH(H_2O)は転炉スラグ施用区で7.5、無施用区で6.0であった。

その結果、2012年産玄米の放射性セシウム強度は、転炉スラグ無施用区の58.2Bq/kgに対して、転炉スラグ施用区では29.3Bq/kgに低減され、玄米収量の増加も認められた。しかし、2013年産玄米では、転炉スラグ施用の有無による放射能強度の相違は認められなかったが、カリ肥料の多量施用による低減が顕著であった。伊達市内で実施した試験作付水田では南相馬市と異なり収穫後の稲わらを全て圃場より持ち出した。すなわち、稲わらを鋤き込まない水田では、水稻への放射性セシウム吸収抑制対策としてカリ肥料の多量施用が必要であることが示唆された。

転炉スラグの施用による放射性セシウム吸収抑制メカニズムを検討するため、2012年の転炉スラグ施用後から収穫後の間に土壌を採取し、可給態窒素量を測定した結果、全期間を通して転炉スラグ施用区で増加した。すなわち、転炉スラグの施用による土壌のアルカリ効果により有機態窒素の無機化が促進されたために増収した。また、土壌中でのアンモニウムイオンの生成によりセシウムイオンとの競合が生じて玄米中の放射能強度が低減されると考えられた。

4. ゼオライトの水稻への放射性セシウム吸収抑制効果(ポット栽培試験による吸収抑制メカニズムの解明)

福島県伊達市の水田から採取した土壌(CEC9meq/100g)にゼオライトを0,0.5,1.0t/10a施用し、 K_2O 施用量を120,198,300,500,600mg/potの5水準(ゼオライ

ト中の交換性カリ量を施肥量中に含めた)として、水稻(ひとめぼれ)を1/5,000aワグネルポットで栽培した。ポット下部より浸透水を200ml/日採取し、カリウムイオンとアンモニウムイオン溶脱量を測定した。その結果、ゼオライト施用により、栽培期間中の両イオン溶脱量が減少した。また、幼穂形成期茎葉の放射性セシウム強度も減少し、その傾向はカリ施用量が少ないほど顕著であった。すなわち、ゼオライトは土壌中でセシウム吸着材としてよりカリウムイオンとアンモニウムイオン吸着材として作用し、それらの下層への溶脱を抑制する。

もう一方の試験として、上記土壌の他に同地域から採取したCEC30meq/100gの土壌にゼオライトを0,0.5t/10a施用し、窒素多量施用区と転炉スラグを施用してpH(H_2O)を7.5にまで高めた試験区を設け、水稻(ひとめぼれ)を1/5,000aワグネルポットで栽培した。なお、本試験では浸透水を抜き取らず、カリ施用量はゼオライト中の交換性カリ量を含めて全区同一とした。その結果、窒素多量施用区では幼穂形成期茎葉の放射性セシウム強度が増加したが、ゼオライト施用区では低下した。pH上昇区では、放射性セシウム強度が低下したがゼオライトの併用効果は認められなかった。

K^+ 、 NH_4^+ 、 Cs^+ はいずれも同族のアルカリ金属元素であり、土壌コロイドに対する吸着力は、 $Cs^+ > NH_4^+ > K^+$ であることが知られている。そのため、土壌コロイド表面に吸着されている交換性セシウムはカリウムイオンを施用してもセシウムイオンと交換放出されにくい。しかし、多量のアンモニウムイオンを一度に施用すると交換性セシウムは土壌溶液中に放出され水稻に吸収される。そのため窒素多量区では茎葉中の放射性セシウム強度が増加したと考えられる。しかし、ゼオライトが土壌中に存在すると施用されたアンモニウムイオンがゼオライトに吸着されるため土壌溶液中のアンモニウムイオンの過剰な増加を防ぎ、土壌コロイドからの交換性セシウム解離を抑制することで水稻への放射性Cs吸収を低減させたと考えられた。

一方転炉スラグ施用区では、アルカリ効果により土壌中で緩慢な窒素の無機化が生じるためアンモニウムイオンが効率的に水稻に吸収され、土壌溶液中のアンモニウムイオン増大は起こらず、土壌コロイドからの交換性セシウム解離が抑制されたと考えられる。さらに土壌溶液中ではアンモニウムイオンとセシウムイオン間で水稻根への吸収拮抗を生じるため、放射性セシウムの吸収が抑制されたと考えられる。伊達市の試験作付水田Bでもこれと同様のメカニズムにより、転炉スラグ施用区の放射性セシウム強度が半減した。そして、転炉スラグによ

るアルカリ効果は二年目ではなくなり、セシウム低減効果は認められなかった。

5. 伊達市における大豆とグリーンピースの栽培試験

福島県伊達地域では、従来から水稲と大豆の輪作が行われてきた。水稲作については2012、2013年に全水田に放射性セシウム吸収抑制対策としてゼオライト（200 kg/10a）とカリ肥料の施用が実施され、玄米の全袋検査では全て60 Bq/kg未満で検出限界（25 Bq/kg以下）が99.9%以上となったが、大豆などの豆類では、基準値を上回る事例が散見された。そこで、2ヶ所の大豆圃場と1ヶ所のグリーンピース畑で放射性セシウム吸収抑制対策試験を実施した。

大豆圃場A（作土：2,540 Bq/kg、2012年作子実：350 Bq/kg）と大豆圃場B（作土：1,060 Bq/kg、2012年作子実：69 Bq/kg）において、①対照区・②カリ施用区・③ゼオライト1t/10a+カリ施用区・④ゼオライト2t/10a+カリ施用区を設け、2013年6月に大豆（品種：タチナガハ）を播種した。なお、カリ施用量は50 kg/10aとして、ゼオライト施用区ではゼオライト中に含まれるカリ量を削減した。両圃場共に②～④区間での大豆子実中の放射性セシウム強度は、対照区（A区：46 Bq/kg、B区：9 Bq/kg）に比べてほぼ半減したが、②～④区間での相違は認められなかった。ただし、ダイズ収穫後の土壤中の交換性カリ量はゼオライト施用区で多く残存していた。子実中の放射性セシウム強度と収穫跡地の交換性カリ量との関係は圃場A,B間で著しく相違したが、カリ飽和度とは良好な相関性が認められ、子実中の放射能を10 Bq/kg程度以下とするにはカリ飽和度を5%程度以上とすればよいと考えられた。

グリーンピース畑では、ゼオライト（1t/10a）のみの対策では有効でなかったが、施肥後に50 mg/100g程度以上の交換性カリ量が確保できれば、子実中の放射能を10 Bq/kg以下とすることができた。

水稲作と同様に、ゼオライトの施用効果はセシウム吸着資材としてではなく、土壤中に施用されたカリウムイオンを吸着し溶脱を抑制して、交換性カリ量を維持することに起因すると考えられる。また、グリーンピースの試験では、カリ肥料の代替として堆肥の施用効果が認められた。

6. 堆肥の多量施用がもたらす環境リスク

わが国では、肥料資源の多くを海外からの輸入に頼っている。その一方、国内で約8,300万トン発生する家畜排せつ物などの有機性廃棄物中に含まれる肥料成分量は

輸入量を大きく上回る。そのため、それらを原料とする堆肥を肥料資源として活用することが望まれる。

しかし、これまで堆肥は主に土づくり資材（土壌改良資材）として、農地に施されてきた。その結果、土壤中の可給態リン酸や交換性カリの蓄積に伴う土壤養分バランスの悪化や硝酸態窒素の溶脱による地下水汚染などが懸念されている。

著者らは、東京都世田谷区内の有機栽培農園の露地野菜畑で堆肥の多量施用が土壤環境に及ぼす影響について調査を実施した。本農園は1968年より有機栽培を継続しているわが国でも先駆的有機栽培農家であり、長期にわたり堆肥の多量施肥が行われてきた。堆肥の種類は剪定枝を原料とする木質堆肥で、施用量は年間10 t/10aにおよぶ。作土の全窒素含有量は約0.9%、全炭素は約10%で、下層土の3～4.5倍に達し、有機物の蓄積が確認された。作土とそれに本農園の堆肥を5 t/10a相当量施用した土壌を30℃の畑条件で保温静置して窒素無機化試験を行った結果、12か月で64 mg/100gに達して、近隣の慣行畑（農大用賀圃場）の5～6倍であった。作土単独区と堆肥施用区との窒素無機化量の差はわずかであったことから、無機化した窒素の大部分は過去に蓄積した地力窒素に由来すると考えられた。また、本農園内から採取した井戸水を分析した結果、年間を通して硝酸性窒素が11.3～38.7 mg/Lと環境基準値である10 mg/Lを著しく超過していた。本農園で施用されているような木質堆肥は、家畜ふん堆肥に比べて肥料成分含量は低いため、家畜ふん堆肥を大量に施用する野菜畑やハウスの土壌のような可給態リン酸や交換性カリの過剰蓄積は認められなかった。

7. 堆肥を肥料資源として活用するための迅速分析法の開発

堆肥をこれまでのような土づくり資材としてではなく肥料資源として有効活用するには、堆肥中の肥料成分含有量を迅速に測定する必要がある。

堆肥中の速効性肥料成分測定法として、棚橋ら（2005）の0.5 M/L塩酸抽出法が広く実用化されるようになったが、抽出成分の分析には小型反射式光度計（RQフレックス）を使用することが多い。この方法は少数の試料分析には向いているが、土壤診断などで多数の堆肥検体を迅速に分析するには不向きである。一方、最近の土壤診断室では土壌から抽出した養分分析にディスクリット方式による自動化学分析装置が導入されるようになり、土壤診断分析の迅速化が図られるようになった。

そこで、本研究では堆肥の0.5 M/L塩酸抽出法により

抽出されるアンモニア態窒素・硝酸態窒素・リン酸・カリ・石灰・苦土をディスクリート方式による自動化学分析装置により迅速に定量するための検討を行った。

生堆肥 10g を 0.5M/L 塩酸 100ml で 1 時間振とう抽出し、ろ過する。その際、ろ紙内に予め 400℃ で加熱処理後 6M/L 塩酸で洗浄処理した活性炭を 0.1g セットしておき、そこに堆肥抽出液を約 10ml 注いでろ過を行う。ろ液を水で 100 倍に希釈して自動化学分析装置により、6 成分を定量する。

家畜ふん堆肥など 20 点について、上記の方法で速効性肥料成分を抽出し、従来法 (ICP, FIA) による分析値と比較した。その結果、硝酸態窒素については活性炭処理を施した方が FIA 値によく一致した。他の 5 成分については、活性炭処理の有無にかかわらず、従来法とよく一致した。本法によれば、40~50 点/日の堆肥分析を行うことができ、ディスクリート型自動化学分析装置を導入済みの土壤診断室では迅速な堆肥分析が可能となる。

次に、生産現場で簡便に測定できる方法として、試験紙による方法を検討した。抽出液を肥料分析にも用いられる 2% クエン酸とし、抽出比率、振とう時間などを検討した。堆肥 1g に 2% クエン酸 50ml を加え 1 分間手で振とうする。上澄液を水で 10 倍に希釈し、「みどりくん N」で硝酸態窒素、「アクアチェック A」でアンモニア態窒素を測定する。また、100 倍に希釈して「みどりくん PK」でリン酸とカリを測定する。なお、アンモニア態窒素の測定では、供試溶液中のアンモニウムイオンをアンモニアにガス化する必要があるため、供試溶液 3 ml に粉末炭酸ナトリウム 10mg 程度を添加して pH を 5~8 程度に高めてから測定する。

8. 総括

福島第一原発事故に伴う放射能汚染農地における放射性セシウム吸収抑制対策として、農水省と福島県ではカリ肥料の施用を中心とすることを基本としているが、本研究によりゼオライトとカリの併用が有効であることが明らかになった。ゼオライトの放射性セシウム吸収抑制メカニズムはセシウムイオンの吸着材としてより、土壤中で肥料として施されたカリウムイオンとアンモニウムイオンを特異的に吸着して、それらの溶脱を抑制すること、また、ゼオライトによるアンモニウムイオンとセシウムイオンの吸着に伴い土壤溶液中の両イオン濃度が低下するため、土壤コロイド表面に交換吸着されているセシウムイオンの解離を抑制すること、さらにはゼオライト構造内に吸着されたカリウムイオンとアンモニウムイオンが効率よく作物に吸収されるため拮抗的にセシウムイオンの吸収が抑制されることによると考えられる。

福島第一原発から 20km 圏内やその周辺には、未だ手つかずの農地が放置されている。今後そのような地域での営農再開のための対策としては、ゼオライトを 1 t/10a 程度施用した上でカリを施用する。カリ肥料源としてはカリ肥料より家畜ふん堆肥の施用が合理的である。ただし、堆肥の過剰施用は地下水の硝酸性窒素汚染などの環境負荷をもたらす恐れもあるので、肥料成分量の分析を行った上で施用量を決定する。土壤中の放射性セシウム吸収を抑制するのに必要なカリ施用量は、水稲では施肥後におけるカリ飽和度を 2% 程度以上、大豆では 5% 程度以上とする。なお水田では、収穫後の稲わら全量を鋤き込めば慣行量程度のカリを施用すればよい。

わが国には東北地方を中心に無尽蔵ともいわれるほど大量の天然ゼオライトが埋蔵され、その中には 1~2% のカリが含有されている。作物の放射性セシウム吸収抑制対策として天然ゼオライト、稲わら、堆肥など国内産農業資源を活用する意義は大きい。

審査報告概要

福島第一原発事故に伴う放射能汚染農地における水稲への放射性セシウム吸収抑制対策として、ゼオライトとカリの併用施用が有効であった。また、稲わらや堆肥がカリの代替資源となることを明らかにした。さらに、ゼオライトが放射性セシウムだけではなく、肥料として施されたカリウムイオンとアンモニウムイオンを特異的に吸着して、それらの溶脱を抑制する。また、ゼオライトによるアンモニウムイオンの吸着に伴い土壤溶液中のア

ンモニウムイオン濃度が低下するため、土壤コロイド表面に交換吸着されているセシウムイオンの解離を抑制して水稲へのセシウムイオンの吸収が抑制されることを明らかにした。

水田に塩安などの速効性窒素を施用すると、水稲への放射性セシウム吸収が促進されることが知られている。しかし、転炉スラグを施用して土壤 pH を高め、アルカリ効果による緩効的なアンモニウムイオンを供給する

と、水稲がそれらを効率的に吸収するため、粘土鉱物に吸着されているセシウムイオンとの交換反応が起こらず、水稲へのセシウムイオン吸収が抑制されることを明らかにした。

これらの研究で開発された農作物への放射性セシウム

吸収抑制技術は、今なお深刻な状況にある福島県内の放射能汚染農地での除染対策にも大いに貢献できる。

よって、審査員一同は博士（農芸化学）の学位を授与する価値があると判断した。