

# 畑作物の放射性セシウム吸収抑制対策技術

小林浩幸

キーワード 放射性セシウム, ダイズ, ソバ, ムギ類, 移行低減

東京電力福島第一原子力発電所の事故（以下、原発事故という）により環境中に放出された放射性物質による土壌および畑作物の汚染については、農林水産省委託プロジェクトを中心として、これまでにダイズ、ソバ、冬作物の吸収抑制対策の検討が精力的に行われてきた。水稻と同様、最初に注目されたのは土壌の交換性カリ含量と子実の放射性セシウム濃度との関係である。独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構という）が中核となって東日本各地の試験研究機関で実施されたダイズの連絡試験では、一部の圃場でカリ施肥が有効であることが比較的早い段階で示されていたが（島田ら、2012）、連絡試験全体を通してみると、なかなか関係が見えてこなかった。これには、一つには畑土壌の不均質性の関与が想定されるが、それでも、各地のデータがそろってくるにしたがって、ダイズでも土壌の交換性カリ含量が子実の放射性セシウム濃度を決定する最も重要な要因であることが明らかになってきた。現在では、ダイズ以外の畑作物でも、放射性セシウムの吸収抑制のために第一にとるべき対策は通常よりも多めのカリ施肥であるとされている。畑作物は多様で、遺伝的背景や栽培の実態も相互に大きく異なるため、カリ施肥を中心にすえながらも、作目毎に放射性セシウム吸収抑制対策技術の検討が行われてきている。そうした取り組みのなかで明らかになってきたことと、今後に残されている課題を作目毎に概説する。

## ダイズ

ダイズではポット試験（杉山、2013）などの均一な条件下では、土壌の交換性カリ含量と子実の放射性セシウム濃度間に明確な負の相関が認められる。しかし、冒頭に述べたとおり、さまざまな場所で得られたデータをまとめると、両者の関係は水稻ほど明確ではない。また、ダイズ子実の放射性セシウム濃度や移行係数は、水稻で見られるようにある値を越えると急激に低下し、低く安定するような閾値的な反応というよりは、土壌の交換性カリ含量が相当

高くなってもなだらかに低下し続けるように見える。このため、農林水産省では、土壌の交換性カリ含量の暫定目標値を栽培後で  $25 \text{ mg-K}_2\text{O } 100 \text{ g}^{-1}$  とする一方で、過去にダイズの放射性セシウム濃度が高かった地域など、放射性セシウム濃度が高いダイズが生産される可能性のある地域では  $50 \text{ mg-K}_2\text{O } 100 \text{ g}^{-1}$  とする、二段階の目標設定を行っている。こうした知見は、「放射性セシウム濃度が高くなる要因とその対策についてダイズ（中間とりまとめ）」として、2013年3月に農林水産省のホームページ上で公表され、現在はその改訂版（農林水産省ほか、2014）が掲載されている。この改訂版によれば、平成25年産のダイズでは平成24年産よりも総じて放射性セシウム濃度が低下しており、カリ施肥対策が各地で行われたこともその要因の一つであると考えられる。また、カリ肥料の施用による放射性セシウム濃度低減効果は、前年に基準値を超過したダイズが生産された圃場でも確認されている。

中央農業総合研究センター（以下、中央農研という；未発表）や東北農業研究センター（以下、東北農研という；未発表）により、カリ肥料の施用効果をさらに高めることを目的として、生育進展に伴うダイズ植物体によるセシウム吸収量の推移が調べられている。その結果、ダイズは主として開花期から子実肥大盛期に放射性セシウムを吸収しており、これはカリウムの吸収パターンとよく一致することが示されている。このことから、ダイズによる放射性セシウムの吸収を抑制するためには、生育前半から土壌の交換性カリ含量を高めておく必要があることが推察される。農林水産省では、緩効性の珪酸カリではなく、即効性の硫酸カリか塩化カリを基肥として施用することを推奨している（農林水産省ほか、2014）。生産現場では、硫酸カリよりも、安価な塩化カリの施用が好まれ、広く利用されている。塩化カリ由来の塩素イオンには根粒着生を阻害する作用があるとの報告（田村、1992）があり、当初は塩化カリの大量施用による大豆の生育阻害が心配されたが、塩化カリで土壌の交換性カリ含量を  $70 \text{ mg-K}_2\text{O } 100 \text{ g}^{-1}$ （播種時）に矯正した場合でも、根粒着生阻害や生育抑制は確認されなかった（東北農研、未発表）。

肥培管理に関しては、農業環境技術研究所（以下、農環研という；未発表）土壌の交換性カリが欠乏している状態で開花期にアンモニア態窒素（硫酸）を追肥すると、子実の放射性セシウム濃度が高まる現象が確認されている。こ

Hiroyuki KOBAYASHI: Countermeasure practices for radiocesium contamination control in upland crops  
農研機構東北農業研究センター（960-2156 福島市荒井字原宿南50）  
日本土壤肥科学雑誌 第85巻 第2号 p.94~98 (2014)

れは、土壌粒子に吸着している交換性放射性セシウムがアンモニア態窒素と置換されて遊離し、吸収されやすくなることによると考えられる。地域によっては窒素追肥は基本技術となっており、その有無が収量に大きな影響を及ぼすことがあるが、放射性セシウム汚染が心配される場合には、追肥の実施は土壌の交換性カリ含量が適正に保たれていることを前提とするべきである。

土壌 pH については、農林水産省による各地での調査結果にもとづいて、pH が低い場合にダイズ子実の放射性セシウム濃度が高まる危険性が検討されたが、その効果は必ずしも明らかになっていない。したがって、現時点では、適正な土壌交換性カリ含量の確保を前提として、ダイズ栽培に相当とされる 6.0~6.5 程度の pH を保つのが妥当と考えられる。

ダイズは、その生育が共生微生物との相互関係によって成り立つ部分大きい点で、他の土地利用型作物とは顕著な違いがある。ダイズの根粒菌や菌根菌との相互依存関係が、放射性セシウムの吸収や移行に影響を及ぼしている可能性は否定できない。このうち、菌根菌についてはポット試験において菌根菌の接種によってダイズ植物体の放射性セシウム濃度が高まったとする報告がある (Goncharova, 2009)。東北農研ではエアージャップ (Tanaka and Yano, 2005) を用いた実験系で、菌根菌により放射性セシウムが吸収されている事実を証明しようとしたが、それを示唆するデータは得られたものの、断定するには至って

いない (内田ら, 未発表)。根粒菌については、農環研において、根粒が着生していない個体と着生している個体を比較する試験が行われているほか (井倉ら, 未発表)、東京大学の研究グループにより、被災地の農地において根粒菌の関与を確かめる研究が進められている (二瓶ら, 私信)。仮に共生微生物との関連が大きいが明らかになれば、窒素やリン酸などの肥培管理や、品種的なアプローチに基づく技術開発が想定されるだろうが、実用技術の開発には時間がかかりそうである。

栽培管理との関連では、中耕培土を行うと不定根が生じ、根系が発達することを通じて放射性セシウムの吸収が促進されるのではないかという懸念があった。しかし、東北農研や中央農研が確認のための試験を行ったところ、中耕培土によって子実の放射性セシウム濃度が高まる現象は確認されなかった。これと関連して、不耕起栽培については、当初からダイズ子実の放射性セシウム濃度を高めるリスクが懸念されていた。そこで、東北農研で、原発事故後、不耕起状態だったほ場でダイズ不耕起栽培を行い、ロータリー耕、プラウ耕を行った後に播種した場合との間で子実の放射性セシウム濃度を比較した。その結果、不耕起栽培の子実の放射性セシウム濃度は  $16.4 \text{ Bq kg}^{-1}$  で、ロータリー耕の  $9.5 \text{ Bq kg}^{-1}$ 、プラウ耕の  $9.5 \text{ Bq kg}^{-1}$  と比較して有意に高かった (図 1)。試験ほ場の放射性セシウム濃度を土壌深度別に調べたところ、不耕起栽培では表層から 5 cm までの土層では  $5,000 \text{ Bq kg}^{-1}$  程度だったのに対して、

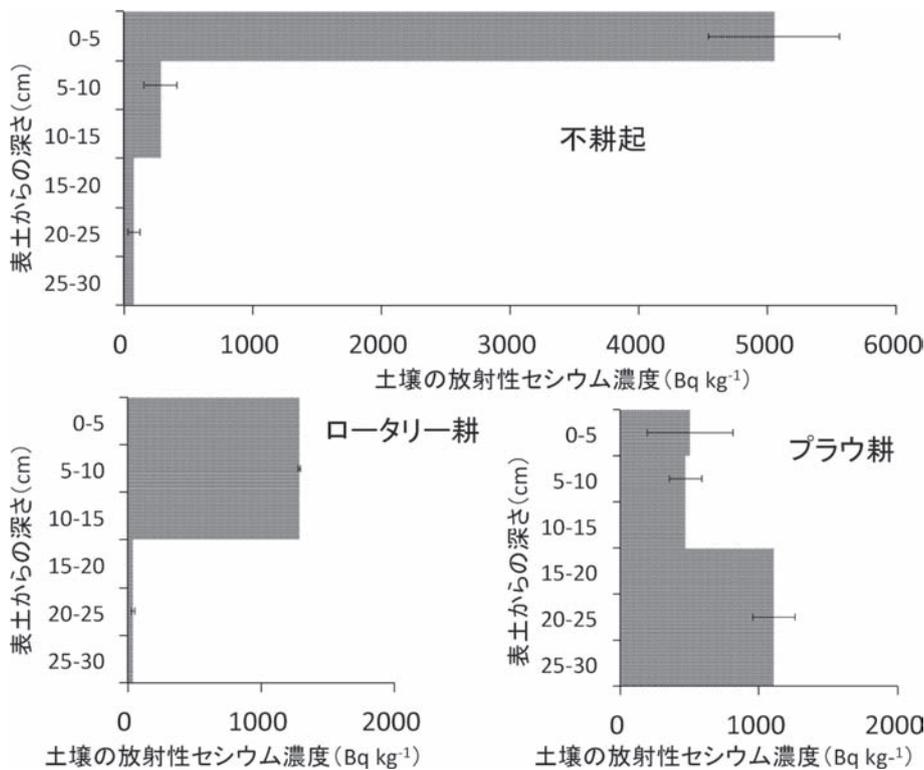


図1 耕起による放射性セシウム濃度の垂直分布の変化  
東北農研福島研究拠点の試験ほ場で平成 23 年に大豆を不耕起栽培または播種時にロータリー耕 (15cm)、プラウ耕 (30cm) を行った後に、深さ別に放射性セシウム濃度を測定した。誤差線は標準偏差。

それより下の層では  $300 \text{ Bq kg}^{-1}$  未満だった。不耕起栽培ではダイズの根系は表層付近に集中する傾向がある (小柳ら, 1998)。このような放射性セシウム濃度の高い層と根系分布の一致が子実の高い放射性セシウム濃度をもたらしたと考えられる。また, ソバの項で述べるように, 放射性物質に汚染された植物残渣が十分に粉碎されないまま鋤き込まれると, その後に植えた作物の放射性セシウム濃度が高まることが懸念される。以上を踏まえれば, 原発事故後, 初めてダイズを栽培する場合には, あらかじめ念入りに耕起 (耕深  $15 \text{ cm}$  以上) を行うとともに, 適正量のカリ肥料を全面全層散布した後に播種する必要がある。近年, 東北地域などではダイズの収量が低くとどまっており, 生育障害要因の解明が求められている。高橋ら (2013) はその要因の一つとして, 作土深が浅くなっていることをあげているが,  $100 \text{ ha}$  を超える大規模経営体の平均はわずか  $8 \text{ cm}$  未満であった。近年のこうしたダイズ栽培の実態が, ダイズの放射性セシウムを高めている要因となっている可能性は否定できない。

ダイズ子実の放射性セシウム濃度の品種間差については, 大規模な試験は行われていないが, これまでのところ, シェアの比較的大きな品種の間では, それほど大きな違いは認められていないようである (中央農研, 私信)。また, 一部で, 在来の色豆品種は放射性セシウム濃度が高くなりやすいと考える向きがあったが, 現在は, これは品種の特性ではなく, カリ欠乏や収穫・調整など栽培管理上の問題に帰結されるとの説が有力である。

## ソバ

ソバについては, 平成 24 年産の子実の一部で基準値超過のロットが見つかったことから, 他の作目よりも少し遅れて 2012 年秋から緊急に対策技術の検討が行われることになった。その結果, やはり土壤の交換性カリ含量が一定程度以上になると玄そばの放射性セシウム濃度は低く安定することがわかった。得られた知見は, ダイズとともに 2013 年 3 月から農林水産省のホームページに掲載されている (農林水産省ほか, 2014)。平成 25 年産のソバでは平成 24 年産よりも総じて放射性セシウム濃度が低下しており, 現在のところ超過も認められていないが, カリ施肥対策が各地で行われたこともその要因の一つと考えられている。なお, カリ肥料の施用による放射性セシウム濃度低減効果は, 前年に基準値が超過または基準値に近い値のソバが生産されたほ場でも確認されている。

ソバの放射性セシウム濃度を低く安定させるのに必要な交換性カリ含量には土壤によって若干相違があるようだが, 現時点では, 多くの土壤タイプで相応の効果が認められる  $30 \text{ mg-K}_2\text{O } 100 \text{ g}^{-1}$  (栽培後) を暫定目標値として, カリ肥料を施用することが推奨されている (農林水産省ほか, 2014)。したがって, 慣行施肥によりほ場のカリの年間を通じた収支が見合っているなら,  $30 \text{ mg-K}_2\text{O } 100 \text{ g}^{-1}$  の施用に加えて, 慣行施肥を行えばよいことになる。しか

し, 長瀬 (2001) によれば子実  $100 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$  生産の場合のカリ吸収量は  $4.7 \text{ kg-K}_2\text{O } 10 \text{ a}^{-1}$  である一方, 標準的な施肥量は  $1.5 \text{ kg-K}_2\text{O } 10 \text{ a}^{-1}$  とされている。堆肥などによる土づくりを怠れば慣行施肥だけでは収支が見合わず, 特にソバをしばらく連作する場合には, いつのまにかカリ欠乏の土壤になっていた, ということも考えられなくはない。これまで, ソバ栽培では窒素はともかく, カリの施肥量が強く意識されることはなかったと思われるが, 放射性セシウムの吸収抑制を確実に行うためには, これまでの肥培管理でカリが足りていたのかどうかを改めて確認する必要がある。なお, 農林水産省ではダイズと同様, 放射性セシウム濃度の高いソバが生産される懸念がある場合には,  $50 \text{ mg-K}_2\text{O } 100 \text{ g}^{-1}$  を上限としてカリを施用することを推奨している (農林水産省ほか, 2014)。

植物体による放射性セシウムの吸収特性からカリ肥料の施用適期を推定する試みは, ソバでも行われている。東北農研が, ソバ植物体によるセシウム吸収量が生育進展に伴ってどのように変化するかを調べたところ, 幼苗期から開花期にかけての生育前半に大半の放射性セシウムが吸収されていることがわかった (農林水産省ほか, 2014)。一方, それに対応するように, このほ場の土壤の交換性カリ含量は生育前半に大きく低下していた。このことから, ソバによる放射性セシウムの吸収を抑制するためには, 生育前半から土壤の交換性カリ含量を高めておくことが必要と考えられる。ソバの栽培期間は 3 か月程度と短く, また, 慣行的に行われている栽培管理の実態も考慮すれば, 追肥との組み合わせではなく, 播種前に硫酸カリや塩化カリなどの即効性のカリ肥料として必要量を施用するのが望ましいだろう。

pH 矯正による玄そばの放射性セシウム濃度低減効果についても検証が行われているが, これまでのところ, ダイズと同様, その効果は明らかになっていない。

ソバはダイズと比較して条件が不利なほ場で, より粗放的に栽培されることが多く, 放射性物質のフォールアウト後に十分な耕起を行わず, 浅い作土で栽培が行われている可能性がある。耕深とソバの放射性セシウム濃度の関係は明らかになっていないが, 平成 24 年に基準値超過のソバが生産されたほ場のなかには, 作土が  $10 \text{ cm}$  程度と浅いままで栽培されていた例がある (農林水産省ほか, 2014)。一般に, ソバの根系は貧弱とされるが, 垂直方向には比較的深く入る能力を有している (Murakami *et al.*, 2002)。十分な作土深を確保し, 土壤中の放射性セシウム濃度を希釈することは, ソバの根が伸長する能力を活かすことにもつながり, 放射性セシウム濃度を低減させる効果を有している可能性が高い。

平成 25 年産のソバでは, 上述のとおり前年に比べて放射性セシウム濃度は相当低下しているが, 一部で比較的高い例が報告されている (福島県, 2014)。これらのほ場のなかには, 土壤の交換性カリ含量が十分でなかっただけでなく, 原発事故後初作であるにもかかわらず, 十分な耕

起が行われず、生育していた雑草が未分解のまま土壤中に残存していたと推定される場合がある。草地では、更新時に複数回の耕起によって現存植生が十分に粉碎、埋土されていないと、新たに播種された牧草も放射性セシウム濃度が高くなる現象が知られている（遠藤ら, 2013）。ソバ栽培においては、警戒区域の見直しなどに伴って、原発事故後初めてソバが栽培される事例は今後しばらく続くと考えられる。このようなほ場で生産されたソバを基準値超過させないためには、カリ肥料の施用だけでなく、複数回のよいねいな耕起が必要である。

ソバは、水稲やダイズなどと違って収穫された果皮がむかれることなく玄そばとしてそのまま流通するため、外部汚染の影響を受けやすいと考えられる。実際、圃場で倒伏したソバを収穫し、玄そばの調整過程での放射性セシウム濃度の変化を調べたところ、とうみをかけた後に磨きを行うと、とうみだけの場合と比べて、最大で  $86 \text{ Bq kg}^{-1}$  減少した。このように大きな効果があったのは、調査圃場の土壌の放射性セシウム濃度が  $5000 \text{ Bq kg}^{-1}$  程度と相当高かったことも影響しているが、磨きにより外部汚染を低減させる効果のあることは明らかである。

冬作物（コムギとナタネ）

原発事故後、初めて収穫された平成23年産のムギ類では、基準値である  $100 \text{ Bq kg}^{-1}$  を超過するロットが少なからずあり、当時の暫定規制値である  $500 \text{ Bq kg}^{-1}$  を超過するロットも1例みつかった（農林水産省, 2011）。そこで、実態解明と吸収抑制対策の確立のため、農林水産省の委託プロジェクトとして、農研機構はじめ東日本の関係各県による連絡試験が緊急に実施された。しかし、翌年の平成24年産では、基準値を超過するロットは皆無であった（農林水産省, 2013）。このことから、平成23年度産のムギ類で放射性セシウム濃度の高いロットが発生したのは、生育期間中の植物体の沈着によるものであって、経根的な吸収・

移行は他の作物とくらべて少ないと推定された。実際、平成23年産コムギ子実の放射性セシウム濃度は、原発事故直後の2011年3月28日の地上部生育量と極めて高い相関が認められており（竹内ら, 2012）、この事実は、沈着の影響が大きかったことを強く示唆するものである。上述の、緊急に実施された連絡試験では、特段の対策を施さない試験区でもムギ類子実の放射性セシウム濃度は極めて低いレベルであったため、カリ施肥などの効果は判然としなかった（農研機構ほか未発表）。ただし、各地で得られたデータを取りまとめることで、土壌の交換性カリウム含量が高い場合により低くなる傾向は明らかに認められた。したがって、慣行通りに土づくりや適切な肥培管理を行うことが、より安全なムギ類の生産につながると考えられる。子実の放射性セシウム濃度の茎葉に対する比率は10%程度の場合が多かったが、試験地や試験区によってばらついた。このばらつきが、絶対値が小さいために生じた誤差によるものか、植物体内での移行性の違いによるものなのかは現時点では判断できない。今後、ムギ類の子実への放射性セシウムの移行が少ない理由の解明が進めば、他の作物の対策にもつながる可能性がある。なお、東北農研福島研究拠点の試験圃場（作土の放射性セシウム濃度は  $1,500 \text{ Bq kg}^{-1}$  程度）で栽培されたコムギ（ゆきちから）子実の放射性セシウム濃度は、平成25年産では平成24年産の半分近くまで低下している（図2）。この圃場では、この間、慣行施肥以外にはカリの施用は行われていない。したがって、放射性セシウム濃度の低下は、セシウム134の減衰のほか、土壌の粘土粒子による固定など、交換性カリ含量以外の要因が介在している可能性がある。

上述の連絡試験ではナタネも取り上げられ、日本国内で栽培される代表的な4品種の放射性セシウム濃度が調べられたが、いずれもムギ類と同様、子実の濃度は低く、問題になるレベルではなかった（東北農研未発表）。平山ら（2011）によれば、搾油過程での子実からナタネ油への移行率は0.001未満と極めて低く、この点でも、搾粕の利用場面を除けば、放射性セシウムによる汚染が問題になることはないと考えられる。

文 献

遠藤幸洋・松澤 保・塚田祥文・武藤健司・吉田安宏・片倉真沙美 2013. 牧草地の耕うんによる放射性セシウムの吸収抑制. 研究成果情報（東北農業・畜産）. <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H24/katiku/H24katiku010.html> (2014年1月8日に確認)

福島県 2014. ふくしま新発売 農林水産物モニタリング情報. <http://www.new-fukushima.jp/monitoring/> (2014年1月9日に確認)

Goncharova, N. V. 2009. Availability of radiocaesium in plant from soil: facts, mechanisms and modeling. *Global NEST Journal*, 11, 260-266.

平山 孝・関澤春仁・佐藤睦人 2012. ナタネに対する放射性セシウムの影響と油への移行. 研究成果情報（東北農業・作物（畑作物栽培））. <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/>

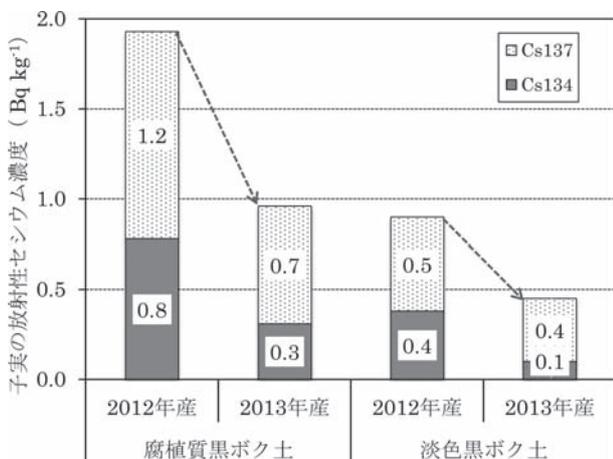


図2 東北農研福島研究拠点の2か所の試験ほ場で連作されたコムギ子実の放射性セシウム濃度の年次推移  
作土の放射性セシウム濃度は  $1,500 \text{ Bq kg}^{-1}$  程度で、カリは毎年、基肥として  $6 \text{ kg-K}_2\text{O}10\text{a}^{-1}$  を施用。

- jiyouhou/H23/hatasaku/H23hatasaku006.html (2014年1月8日に確認)
- Murakami, T., Murayama, S., Uchitsu, M., and Yoshida, S. 2002. Root length and distribution of field-grown buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Soil Sci. Plant Nutr.*, **48**, 609-613.
- 長瀬嘉迪 2001. 秋ソバの栽培. 転作全書第三巻 雑穀, p. 491-497. 農文協, 東京.
- 農林水産省 2011. 平成23年産麦に由来するふすま及び麦ぬかの取扱いについて. <http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/kokumotu/pdf/110913-03.pdf> (2013年10月7日に確認)
- 農林水産省 2013. 平成24年度までの農産物に含まれる放射性セシウム濃度の検査結果の概要 (品目別・25年3月末まで) 表. [http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/s\\_chosa/H24gaiyou.html#mugi](http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/s_chosa/H24gaiyou.html#mugi) (2013年10月7日に確認)
- 農林水産省・農研機構・農業環境技術研究所 2014. 放射性セシウム濃度の高いそばが発生する要因とその対策について—要因解析調査と試験栽培等の結果の取りまとめ— (概要 第2版). [http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/h25soba\\_yoin.pdf](http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/h25soba_yoin.pdf) (2014年2月6日に確認)
- 農林水産省・農研機構・農業環境技術研究所 2014. 放射性セシウム濃度の高い大豆が発生する要因とその対策について—要因解析調査と試験栽培等の結果の取りまとめ— (概要 第2版). [http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/daiz\\_youin2.pdf](http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/daiz_youin2.pdf) (2014年2月6日に確認)
- 小柳 敦史・南石晃明・土田志郎・長野間宏 1998. 汎用水田において耕起および不耕起栽培したコムギ, ダイズおよび水稲の根の垂直分布の解析. *日作紀*, **67**, 49-55.
- 島田信二・関口哲生・前川富也・木方展治 2012. 低汚染地帯の大豆の移行係数に対するカリウム増肥およびパーミキュライト施用の効果. 農業及び土壌の放射能汚染対策技術国際研究シンポジウム要旨集, 152.
- 杉山 恵 2013. ダイズ子実の放射性セシウム濃度におよぼすカリウム施肥の影響. *土肥要旨集*, **59**, 154.
- 竹内 恵・遠藤あかり・荒井義光 2011. 放射性物質飛散時の小麦生育量が子実の放射性セシウム濃度に及ぼす影響. 農業及び土壌の放射能汚染対策技術国際研究シンポジウム要旨集, 172.
- 田村有希博 1992. 塩化ナトリウム由来塩素がダイズの初期生育と根粒着生に及ぼす影響. *土肥誌*, **63**, 411-414.
- 高橋智紀・持田秀之・榊原充隆・森本 晶・小林浩幸・相場 聡・山本 亮 2013. 生産現場での調査をもとにした東北地域におけるダイズ低収要因. *日作紀*, **82** (別2), 232-233.
- Tanaka, Y., and Yano, K. 2005. Nitrogen delivery to maize via mycorrhizal hyphae depends on the form of N supplied. *Plant, Cell & Environment*, **28**, 1247-1254.