

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23241028

研究課題名(和文)ウリ科植物導管液成分、根滲出物を用いた残留性有機汚染物質の検出・浄化植物の開発

研究課題名(英文)Development of monitoring and remediation of persistent organic pollutants using constituents of xylem sap and root exudates from Cucurbitaceae family

研究代表者

乾 秀之(Inui, Hideyuki)

神戸大学・遺伝子実験センター・准教授

研究者番号：90314509

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 38,200,000円、(間接経費) 11,460,000円

研究成果の概要(和文)：ダイオキシンなどの残留性有機汚染物質を多く吸収するウリ科植物を用いてその吸収機構の解明を試みたところ、導管液に含まれる輸送タンパク質が重要な働きをしていることが分かった。また、根から分泌される有機酸もその吸収に重要であることが分かった。そこで、これらに係わる遺伝子を植物に導入したところ、ダイオキシンの吸収量が増加した。これまで植物を利用した浄化が難しかったダイオキシンなどの汚染物質の環境浄化に利用可能な技術を開発できた。

研究成果の概要(英文)：We tried to clarify uptake mechanisms of persistent organic pollutants, such as dioxins, by Cucurbitaceae family. Transporting proteins in xylem sap and organic acids in root exudates were responsible for its uptake to plants. Expression of genes related to uptake in plants led to dioxin accumulation in the aerial parts of plants. These results showed that phytoremediation systems for persistent pollutants are developed by the use of functions derived from Cucurbitaceae family.

研究分野：新複合領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：残留性有機汚染物質 植物 環境浄化 環境モニタリング ダイオキシン PCB 導管液 根滲出物

1. 研究開始当初の背景

残留性有機汚染物質 (Persistent Organic Pollutants, POPs) は脂溶性・難分解性であり、水系の底質に蓄積し、食物連鎖を介してヒトを含む最上位の生物種に高濃度に生物濃縮され、発がん性や催奇形性などの毒性を発現する。現在、ダイオキシン類や有機塩素系殺虫剤、臭素系難燃剤などを含む 21 種類の化合物が POPs に指定され、製造や使用の規制、汚染実態の把握や効率的な汚染除去方法の開発について世界的な取り組みが行われている。日本では、ダイオキシン類、特に、コプラナーポリ塩化ビフェニル (Co-PCBs) や過去に使用した殺虫剤ディルドリンなどによる作物残留が顕在化している。従って、POPs による環境汚染の監視並びに汚染浄化の技術開発は、食の安全を確保するうえで極めて重要な課題である。

植物は発達した根系を介して広範囲から低濃度の化学物質を吸収・蓄積する。従って、広範囲にわたる低濃度の汚染物質の監視・浄化に有効である。しかしながら、脂溶性・難分解性の POPs などは環境中で土壌粒子や有機物に強く結合しており、植物の根から取り込まれ難いことから、汚染浄化が困難であった。従って、植物による POPs の吸収量を高めることがファイトモニタリングとファイトレメディエーションにとっての共通の重要課題である。

一方、我々はウリ科植物、特に、ズッキーニがタバコに比べダイオキシン類を約 180 倍も高濃度に蓄積すること、しかも、ダイオキシン類の中で、特に、PCB を特異的に吸収・蓄積することを明らかにした。

これらの成果より、ウリ科植物は POPs を多く吸収することからファイトモニタリング及びファイトレメディエーションに有用であると考えられる。しかしながら、POPs を多く吸収・蓄積するメカニズムは未だ明らかではない。そこで、我々はそのメカニズムを解明すべく、これまでの知見を整理する。

- (1) ウリ科植物が POPs を根から吸収するには、土壌に吸着した POPs の脱離が重要である。それらの脱離には根分泌物 (根滲出物)、特に、有機酸などが有効である。
- (2) 古来から化粧水に使用しているウリ科のヘチマ水 (導管液) には界面活性作用を示す物質を多く含んでいる。

即ち、ウリ科植物は有機酸やバイオサーファクタント (生物由来界面活性物質) などを分泌して土壌に吸着した POPs を脱離して、それが根から吸収され、さらに、吸収された POPs は導管液に可溶化して地上部に輸送される、という仮説を立てるに至った。

2. 研究の目的

本研究では、ウリ科植物に特異的な

POPs の吸収機構に關与する根滲出物並びに導管液成分の探索・同定並びにそれらの生合成・分泌に關わる遺伝子の単離を行う。ダイオキシン類汚染のファイトモニタリングからレメディエーションまでを総合的に行うダイオキシン類検出・浄化植物の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) ウリ科植物由来の POPs 吸収に關わる根滲出物の探索・同定

ウリ科植物を栽培した水耕液に含まれる根滲出物の同定

これまでに選定した POPs 高吸収ズッキーニ品種並びに低吸収品種を水耕栽培し、水耕液を回収した。酢酸エチルを用いた液-液抽出法により根滲出物を抽出し、高脂溶性蛍光物質ペリレンを人工的に汚染させた土壌に添加することにより、根滲出物が持つ脂溶性物質脱離・可溶化活性を測定した。高速液体クロマトグラフィー (HPLC) により、活性本体を分離し、同様にペリレン人工汚染土壌に添加した。

根滲出物生合成・分泌関連遺伝子の単離

高吸収及び低吸収ズッキーニ品種の根 RNA を用いた次世代シーケンズにより、根滲出物の生合成及び根からの分泌に關する遺伝子の両品種における発現量の違いを解析した。さらに、それぞれに対応するプライマーを合成して、RT-PCR 法を行った。

同定した根滲出物の POPs 吸収に与える影響評価

これまでの報告により明らかとなっている脂溶性汚染物質の土壌からの脱離・可溶化に係わっている低分子量有機酸について、(1) と同様にペリレン脱離・可溶化活性を測定した。

(2) ウリ科植物の POPs 体内移行に關わる

導管液成分の探索・同定

ウリ科植物の導管液に含まれる成分の同定

ダイオキシン吸収能力の異なるズッキーニ 9 品種を数ヶ月間土耕栽培し、茎の切断により導管液を採集した。蛍光脂溶性物質ピレンを吸着させた炭素繊維テナックスに導管液を添加することにより、導管液の脂溶性物質可溶化活性を測定した。次に、導管液タンパク質を SDS-PAGE により分離し、ダイオキシン吸収能力に關して増減するタンパク質のアミノ酸配列を解読した。

導管液成分生合成・分泌関連遺伝子の単離

ズッキーニの根 RNA を用いて、導管液タンパク質遺伝子を RT-PCR 法により単離した。また、cDNA サブトラクション法によりダイオキシン低吸収ズッキーニ

種並びに高吸収品種の間で発現量の異なる遺伝子を取得した。

同定した導管液成分のPOPs吸収に与える影響評価

組換えMLPを大腸菌において生産した。磁性ビーズに水酸化PCBを結合することにより作製したPCB結合ビーズに本タンパク質を添加することにより、PCB結合活性を測定した。さらに、MLPを結晶化し、3次元構造を解析するとともに、PCBとのドッキングモデルを作製した。

(3) 根滲出物、導管液成分を利用した高感度ファイトモニタリング、高性能ファイトレメディエーションシステムの開発 根滲出物、導管液成分によるファイトモニタリングの高感度化

組換え型アリルヒドロカーボン受容体(AhR)を介したダイオキシン類汚染ファイトモニタリング系を導入した組換えタバコにMLP遺伝子3種をそれぞれ発現した。本組換えタバコをダイオキシン汚染土壌で栽培し、地上部のβ-グルクロニダーゼ(GUS)活性、ダイオキシン濃度を定量した。

根滲出物、導管液成分によるファイトレメディエーションの高性能化

ペリレン人工汚染土壌において栽培したズッキーニに、根滲出物に含まれ、ペリレン脱離・可溶化活性のある有機酸(クエン酸、シュウ酸)を添加し、茎のペリレン濃度を測定した。

根滲出物、導管液成分生合成・分泌遺伝子導入組換え植物によるファイトモニタリング及びファイトレメディエーションシステムの確立

ZFP遺伝子をAhR組換えタバコに発現させ、(3)と同様にGUS活性、地上部のダイオキシン濃度を定量した。

4. 研究成果

(1) ウリ科植物由来のPOPs吸収に関わる根滲出物の探索・同定

ウリ科植物を栽培した水耕液に含まれる根滲出物の同定

水耕栽培したズッキーニの水耕液を濃縮した後、ペリレン人工汚染土壌に添加した。その結果、ウリ科植物の水耕液はそのダイオキシン類の蓄積性能に関わらずペリレンを可溶化する活性を持っていることが判明した(図1)。そこで、この濃縮液をHPLCに供することにより、それに含まれる脂溶性物質可溶化活性を持つ物質を同定することを試みた。複数のピークが検出されたものの、可溶化活性の本体となる物質の同定にはいたらなかった。

根滲出物生合成・分泌関連遺伝子の単離

次世代シーケンシング技術を用いてズッキーニの根に発現する遺伝子を調べたと

ころ、有機酸の合成に関わる遺伝子の発現が品種間で異なっていることが判明した(図2)。

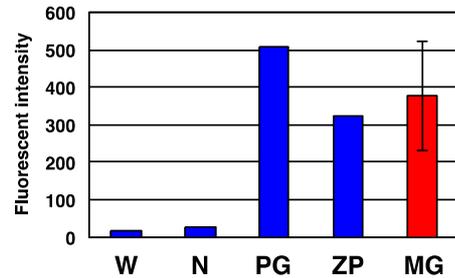


図1 ズッキーニ水耕液を添加したペリレン人工汚染土壌からのペリレンの脱離・可溶化

W: 水、N: 水耕液、PG: Patty Green 品種(低吸収)、ZP: Zephyr 品種(低吸収)、MG: Magda 品種(高吸収)

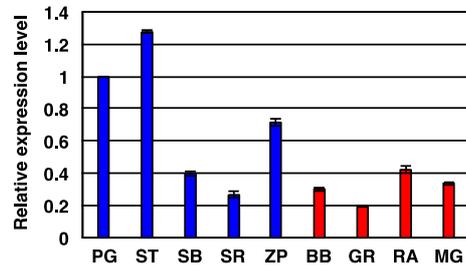


図2 ズッキーニの根における有機酸合成関連遺伝子の発現

図下のアルファベットはズッキーニ品種を表す。青いバーはダイオキシン低吸収品種、赤いバーはダイオキシン高吸収品種を示す。

同定した根滲出物のPOPs吸収に与える影響評価

ペリレン人工汚染土壌に、植物の根滲出物に含まれる各種低分子量有機酸を添加し、脱離されるペリレンの蛍光を測定したところ、コントロールである水の添加に比べてクエン酸、シュウ酸、シトラマル酸がペリレンの土壌からの脱離活性を示した。

(2) ウリ科植物のPOPs体内移行に関わる

導管液成分の探索・同定

ウリ科植物の導管液に含まれる成分の同定

ズッキーニ9品種の導管液を用いてペリレンの可溶化活性を測定したところ、ダイオキシン類の蓄積性能に相関して増加した。また、熱処理によりその活性は失われたことからタンパク質によるものと考えられた。そこで、導管液をSDS-PAGEに供したところ、17kDa付近にダイオキシ

ン類の高蓄積性能に相関して増加するタンパク質が検出された。このタンパク質のアミノ酸配列の一部を決定したところ、Major latex-like protein (MLP) の一種であることが判明した。

導管液成分生合成・分泌関連遺伝子の単離

ズッキーニの根において発現する複数種のMLP遺伝子を取得した。MLP遺伝子について品種間の発現パターンを調べたところ、ダイオキシン類の高蓄積性能に相関して増加するMLPと減少するMLPが見つかった。一方、ダイオキシン低吸収品種と高吸収品種の間で発現量が異なる遺伝子としてジンクフィンガープロテイン (ZFP) 遺伝子を複数種クローニングした。同定した導管液成分のPOPs吸収に与える影響評価

組換え大腸菌において生産したMLP異種発現し、MLPの脂溶性物質への結合活性を測定したところ、PCBに対して結合活性を有していることが判明した。取得したMLP 3種、PG1、GR1、GR3のうち、PG1並びにGR1の結晶を取得することに成功した。大型放射光施設SPring-8においてX線回折実験を行ったところ、PG1の回折像データが得られ、現在その解析を行っている。さらに、MLPとPCBのドッキングモデルを構築したところ、MLPに複数のPCB結合部位が見いだされた。

(3)根滲出物、導管液成分を利用した高感度ファイトモニタリング、高性能ファイトレメディエーションシステムの開発 根滲出物、導管液成分によるファイトモニタリングの高感度化

3種のMLP遺伝子をそれぞれ発現するMLP組換えタバコを作出した。ダイオキシン汚染土壌で栽培し、地上部のGUS活性を測定したところ、MLP組換えタバコにおいて高いGUS活性を示した。さらに、地上部のダイオキシン蓄積濃度はMLP組換え植物で高かった。

根滲出物、導管液成分によるファイトレメディエーションの高性能化

(1) でペリレンの高い脱離活性を示すことが明らかになったクエン酸とシュウ酸をペリレン添加土壌で栽培したズッキーニに添加したところ、ズッキーニ茎へのペリレンの蓄積量がコントロールの水を添加した場合に比べて増加した。これらの結果から、根から分泌される有機酸が脂溶性物質の土壌からの脱離を促進することにより脂溶性汚染物質の植物への蓄積量を向上させると考えられた。根滲出物、導管液成分生合成・分泌遺伝子導入組換え植物によるファイトモニタリング及びファイトレメディエーションシステムの確立

ZFP 遺伝子を組換えタバコに発現させ、

ダイオキシン汚染土壌で栽培し、地上部のGUS活性を測定したところ、ZFP 組換えタバコ植物において高くなっていた。さらに、ダイオキシン類濃度も高くなっていた。

ナス科であるタバコ植物に MLP 遺伝子や ZFP 遺伝子を発現することによりダイオキシン類の地上部蓄積濃度を向上させることができたことから、これら遺伝子の導入は様々な植物種でも同様にダイオキシン類の蓄積を増加させる可能性がある。さらに、有機酸の土壌への添加はダイオキシンやペリレンなどの脂溶性汚染物質の地上部への蓄積を増加させることから、これらの技術を組み合わせることにより、ファイトモニタリングの高感度化、ファイトレメディエーションの高性能化につながると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

1. Gion, K. *, Inui, H. *, Takakuma, K. *, Yamada, T., Kambara, Y., Nakai, S., Fujiwara, H., Miyamura, T., Imaishi, H. and Ohkawa, H., Molecular mechanisms of herbicide-inducible gene expression of tobacco CYP71AH11 metabolizing the herbicide chlorotoluron, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 108, 49-57, 2014(*Equal contribution), DOI: 10.1016/j.pestbp.2013.12.003, 査読有
2. Inui, H., Sawada, M., Goto, J., Yamazaki, K., Kodama, N., Tsuruta, H., Eun, H., A major latex-like protein is a key factor in crop contamination by persistent organic pollutants, *Plant Physiology*, 161(4), 2128-2135, 2013, DOI: 10.1104/pp.112.213645, 査読有
3. Inui, H., Yamazaki, K., Matsuo, S., Yoshihara, R. and Eun, H., Selective uptake of polychlorinated biphenyls by *Cucurbita pepo*, *Organohalogen Compounds*, 74, 1213-1216, 2012, <http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2012/1311.pdf>, 査読無
4. Gion, K., Inui, H., Sasaki, H., Utani, Y., Kodama, S. and Ohkawa, H., Assays of PCB congeners and organochlorine insecticides with the transgenic *Arabidopsis* and tobacco plants carrying recombinant guinea pig AhR and GUS reporter genes, *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 47(7), 599-607, 2012, DOI: 10.1080/03601234.2012.668453, 査読有
5. Inui, H., Gion, K., Utani, Y., Wakai, T., Kodama, S., Eun, H., Kim, Y.-S. and Ohkawa, H., Assays of dioxins and

- dioxin-like compounds in actually contaminated soils using transgenic tobacco plants carrying a recombinant mouse aryl hydrocarbon receptor-mediated β -glucuronidase reporter gene expression system, *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 47(1), 59-65, 2012, DOI: 10.1080/03601234.2012.611018, 査読有
6. Matsuo, S., Yamazaki, K., Gion, K., Eun, H. and Inui, H., Structure-selective accumulation of polychlorinated biphenyls in *Cucurbita pepo*, *Journal of Pesticide Science*, 36(3), 363-369, 2011, DOI: 10.1584/jpestics.G11-03, 査読有
 7. Inui, H., Wakai, T., Gion, K., Yamazaki, K., Kim, Y.-S. and Eun, H., Congener specificity in the accumulation of dioxins and dioxin-like compounds in zucchini plants grown hydroponically, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 75(4), 705-710, 2011, DOI: 10.1271/bbb.100833, 査読有
 8. Yamazaki, K., Suzuki, M., Itoh, T., Yamamoto, K., Kanemitsu, M., Matsumura, C., Nakano, T., Sakaki, T., Fukami, Y., Imaishi, H. and Inui, H., Structural basis of species differences between human and experimental animal CYP1A1s in metabolism of 3,3',4,4',5-pentachlorobiphenyl, *Journal of Biochemistry*, 149(4), 487-494, 2011, DOI: 10.1093/jb/mvr009, 査読有
 9. Shimazu, S., Inui, H. and Ohkawa, H., Phytomonitoring and phytoremediation of agrochemicals and related compounds based on recombinant cytochrome P450s and aryl hydrocarbon receptors (AhRs), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 2870-2875, 2011, DOI: 10.1021/jf102561d, 査読有
- [学会発表](計25件)
1. 岩淵彩、後藤純弥、乾秀之、各種ウリ科植物が持つ残留性有機汚染物質の体内輸送因子の比較、第23回環境化学討論会、京都、2014(5.16)
 2. 吉原亮平、後藤純弥、岩淵彩、池田健一、井上加奈子、乾秀之、ウリ科植物の根における脂溶性物質結合タンパク質の局在性、2014年度日本農芸化学会、東京、2014(3.29)
 3. 後藤純弥、岩淵彩、乾秀之、ウリ科植物における残留性有機汚染物質の体内輸送因子の機能・動態、2014年度日本農芸化学会、東京、2014(3.28)
 4. 乾秀之、廣田又士、後藤純弥、吉原亮平、兒玉典子、松井智美、山崎清志、殷熙洙、ズッキーニにおけるダイオキシン類の取り込みに係わる遺伝子の機能解析、2014年度日本農芸化学会、東京、2014(3.28)
 5. 乾秀之、沢田真美、後藤純弥、山崎清志、兒玉典子、鶴田宏樹、殷熙洙、ウリ科植物における残留性有機汚染物質の取り込みメカニズム、日本農薬学会第39回大会、京都、2014(3.15)
 6. 廣田又士、後藤純弥、吉原亮平、殷熙洙、乾秀之、ウリ科植物が持つダイオキシン類蓄積性能に係わる因子の同定、日本農芸化学会関西支部第483回講演会、京都、2014(2.1)
 7. Hideyuki Inui, Kiyoshi Yamazaki, Miku Yabu, Toshimasa Itoh, Keiko Yamamoto, Motoharu Suzuki, Yuuki Haga, Shintarou Mise, Masahiro Tsurukawa, Chisato Matsumura, Takeshi Nakano, Toshiyuki Sakaki, Amino acid variations in mammalian cytochrome P450 monooxygenases responsible for decrease of dioxin-like toxicity of polychlorinated biphenyls, 33rd International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Daegu, Korea, 2013(8.28,29)
 8. Hideyuki Inui, Structural Basis of Species Differences between Rat and Human CYP1A1s in Metabolism of Polychlorinated Biphenyls, 22nd Symposium on Environmental Chemistry, Mini-symposium, Tokyo, 2013(8.2)
 9. 見世慎太郎、羽賀雄紀、藪未来、伊藤俊将、山本恵子、鶴川正寛、松村千里、中野武、榊利之、乾秀之、ラットおよびヒト由来シトクロム P450 モノオキシゲナーゼによる CB118 の代謝と3次元構造の比較、第22回環境化学討論会、東京、2013(8.2)
 10. Kiyoshi Yamazaki, Hiroki Tsuruta, Hideyuki Inui, Hydrophilic and hydrophobic pathways for the uptake of compounds in lateral roots based on *in planta* observation, International Workshop on Plant Membrane Biology XVI, Kurashiki, 2013(3.28)
 11. 山崎清志、鶴田宏樹、乾秀之、In planta 観察法を用いた根における親水性及び疎水性化合物の取り込み経路の解明、日本農薬学会第38回大会、つくば、2013(3.16)
 12. 藪未来、羽賀雄紀、山崎清志、鈴木元治、伊藤俊将、山本恵子、鶴川正寛、松村千里、中野武、榊利之、乾秀之、ポリ塩化ビフェニル代謝能に影響を及ぼすラットおよびヒト CYP1A1 の基質結合部位を構成するアミノ酸の同定、第85回日本生化学会大会、福岡、2012(12.15)

13. Miku Yabu, Kiyoshi Yamazaki, Motoharu Suzuki, Yuki Haga, Toshimasa Itoh, Keiko Yamamoto, Masahiro Tsurukawa, Chisato Matsumura, Takeshi Nakano, Toshiyuki Sakaki, and Hideyuki Inui, Structural basis of species differences between rat and human CYP1A1s in metabolism of polychlorinated biphenyls, チトクロム P450 発見 50 周年記念シンポジウム、福岡、2012(12.3)
14. 乾秀之、ウリ科植物に学ぶ脂溶性汚染物質の環境浄化メカニズム、創造例会 2012、はりま産学交流会、姫路、2012(11.15)
15. 乾秀之、ウリ科植物に学ぶ脂溶性汚染物質の環境浄化メカニズム、第 10 回積水化学自然に学ぶものづくりフォーラム、東京、2012(10.15)
16. Miku Yabu, Kiyoshi Yamazaki, Motoharu Suzuki, Yuki Haga, Toshimasa Ito, Keiko Yamamoto, Masahiro Tsurukawa, Chisato Matsumura, Takeshi Nakano, Toshiyuki Sakaki, and Hideyuki Inui, Crucial factors in species differences on metabolism of polychlorinated biphenyls by rat and human CYP1A1s, SETAC Asia/Pacific 2012, Kumamoto, 2012(9.26)
17. Ryouhei Yoshihara, Kiyoshi Yamazaki, Heesoo Eun, Hideyuki Inui, High accumulation and congener specific uptake of dioxins and dioxin-like compounds in *Cucurbita pepo*, SETAC Asia/Pacific 2012, Kumamoto, 2012(9.24)
18. Hideyuki Inui, Kiyoshi Yamazaki, Shinryo Matsuo, Ryouhei Yoshihara, Heesoo Eun, Selective uptake of polychlorinated biphenyls by *Cucurbita pepo*, 32nd International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Cairns, Australia, 2012(8.30)
19. 廣田又士、吉原亮平、兒玉典子、殷熙洙、山崎清志、乾秀之、残留性有機汚染物質によるウリ科植物の汚染を引き起こす遺伝子の同定、第 21 回環境化学討論会、松山、2012(7.13)
20. 乾秀之、廣田又士、山崎清志、ズッキーニによるダイオキシン類の取り込みに係わる遺伝子の同定、2012 年度日本農芸化学会、京都、2012(3.25)
21. 山崎清志、鶴田宏樹、乾秀之、植物の根による脂溶性化合物の吸収経路、日本農薬学会第 37 回大会、岡山、2012(3.16)
22. Hideyuki Inui, Taketo Wakai, Keiko Gion, Kiyoshi Yamazaki, Yun-Seok Kim, and Heesoo Eun, Congener specificity in the accumulation of dioxins and dioxin-like compounds in *Cucurbita pepo* grown hydroponically, 8th Solanaceae and 2nd Cucurbitaceae Genome Joint Conference, Kobe, 2011(11.30)
23. Kiyoshi Yamazaki, Shinryo Matsuo, Heesoo Eun, Hiroki Tsuruta, Hideyuki Inui, Accumulation mechanism of dioxins and dioxin-like compounds in *Cucurbita pepo*, 8th Solanaceae and 2nd Cucurbitaceae Genome Joint Conference, Kobe, 2011(11.29)
24. 藪未来、山崎清志、鈴木元治、羽賀雄紀、伊藤俊将、山本恵子、鶴川正寛、松村千里、中野武、榊利之、乾秀之、ラットおよびヒト CYP1A1 によるポリ塩化ビフェニルの代謝と 3 次元構造の比較、第 20 回環境化学討論会、熊本、2011(7.16)
25. 松井智美、松尾申遼、殷熙洙、山崎清志、乾秀之、*Cucurbita pepo* におけるダイオキシン類の器官局在性、第 20 回環境化学討論会、熊本、2011(7.16)
- 〔図書〕(計 2 件)
1. 大川秀郎、乾秀之、嶋津小百合、植物機能のポテンシャルを活かした環境保全・浄化技術—地球を救う超環境適合・自然調和型システム—、第 2 章ファイトレメディエーション：植物による土壌浄化技術、6 残留農薬のファイトレメディエーションとポリ塩化ビフェニル (PCB) などのファイトモニタリング、池道彦、平田収正編、(株)シーエムシー出版、pp.92-99、2011
2. 乾秀之、1-7 バレイショの形質転換プロトコール、形質転換プロトコール【植物編】、田部井豊編、(株)化学同人、pp.64-70、2012
- 〔その他〕
- ホームページ等
神戸大学 遺伝子実験センター 環境遺伝子機能解析研究分野 乾グループ
<http://www.research.kobe-u.ac.jp/rceg/doc./inui/index.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
乾 秀之 (INUI, Hideyuki)
神戸大学・遺伝子実験センター・准教授
研究者番号：90314509
- (2) 研究分担者
殷 熙洙 (EUN, Heesoo)
(独) 農業環境技術研究所・有機化学物質研究領域・主任研究員
研究者番号：60343828
- 鶴田 宏樹 (TSURUTA, Hiroki)
神戸大学・連携創造本部・准教授
研究者番号：20346282