

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20370017

研究課題名（和文） 植物の乾燥環境適応に寄与する水分屈性分子機構の解明

研究課題名（英文） Analysis of molecular mechanism for root hydrotropism that plays a role in plant adaptation to drought conditions

研究代表者

高橋 秀幸（TAKAHASHI HIDEYUKI）

東北大学・大学院生命科学研究科・教授

研究者番号：70179513

研究成果の概要（和文）：

植物が水獲得のために発現する水分屈性の分子機構を解明するために、これまでに同定した MIZ1 および MIZ2 (GNOM) を軸に、その制御分子を解析した。まず、水分屈性に必須の MIZ1 の機能を明らかにすることを目的に、MIZ1 過剰発現体を作成して解析した結果、MIZ1 の過剰発現が水分屈性を有意に亢進するだけでなく、側根形成を抑制することが明らかになり、これらの現象がオーキシン量の低下によって起こる可能性が示された。また、MIZ1 が小胞輸送を担う GNOM/MIZ2 およびオーキシン応答の上流で機能することもわかった。*miz1-1* 突然変異体に GFP を付加した MIZ1 (MIZ1-GFP) を導入して解析した結果、MIZ1-GFP は *miz1-1* 突然変異体の表現型を相補して水分屈性を回復させること、MIZ1-GFP シグナルは、根の根端皮層細胞と側部根冠組織に認められ、且つ、可溶性タンパク質ならびに小胞体膜の原形質側層に分画されることがわかった。さらに、免疫沈降法および LC-MS/MS 解析によって、MIZ1 と相互作用するタンパク質を探索し、その候補を取得することに成功した。加えて、*miz1* および *miz2* の抑圧突然変異体の単離に成功した。一方、光照射およびアブシジン酸の処理が MIZ1 の発現を正に制御し、光受容体フィトクロムおよび転写因子 HY5 を介した青色光シグナルが、MIZ1 の誘導に機能することを見出した。また、光とアブシジン酸は独立に MIZ1 を誘導することも示された。次に、側根の水分屈性にも MIZ1 が必要なことを明らかにしたうえで、自然界（土壌中）において根の水分屈性が乾燥条件下での水獲得に機能し、根系形成、生存、生産性に大きく貢献することを証明した。

研究成果の概要（英文）：

We attempted to reveal molecular mechanism of hydrotropism in Arabidopsis roots by analyzing the functions of MIZ1 and MIZ2 that play essential roles in hydrotropism. First, we generated the overexpressors of MIZ1 (MIZ1OEs) and analyzed their phenotypes. We found that MIZ1OEs showed an enhanced hydrotropism and a reduced lateral root formation. These phenomena likely resulted from the decreased level of auxin content in MIZ1OEs. Also, it was shown that the *miz2* mutation is epistatic to MIZ1 overexpression. MIZ1-GFP introduced into *miz1* mutant complemented the mutant phenotype and was detected at high levels in cortical cells and lateral root cap cells. MIZ1-GFP was fractionated into a soluble protein fraction and an endoplasmic reticulum (ER) membrane fraction, where it was bound to the surface of the ER membrane at the cytosolic side. Furthermore, we succeeded in isolating proteins that bind MIZ1 by immunoprecipitation method and LC-MS/MS analysis. In addition, we obtained mutants of suppressors of both *miz1* and *miz2*. This study showed that light and ABA signaling are independently integrated into MIZ1 expression and regulate hydrotropism. Then, we demonstrated that the MIZ1-regulated hydrotropism of lateral roots plays an important role in root system development in soil and contributes to drought avoidance, which results in better survival and yield under the water-limited conditions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 20 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
平成 21 年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
平成 22 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
平成 23 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学・植物分子生物・生理学

キーワード：環境応答

1. 研究開始当初の背景

われわれらは、植物の分子生物学的研究のモデル植物であるシロイヌナズナの根が水分屈性の研究に適した植物種であることを見出し、その実験系を確立して水分屈性突然変異体のスクリーニングを試み、極めてユニークな水分屈性突然変異体を単離することに成功し、それを *mizu-kussei* (*miz*) と命名した。とくに *miz1* と *miz2* は、正の水分屈性を完全に欠損し、重力屈性や成長速度などの他の形質が正常な突然変異体であった。また、*miz3* は水分屈性を欠損するだけでなく重力屈性にも異常のある突然変異体であることがわかった。次に、これらの変異原因遺伝子を同定する研究を行い、世界ではじめて水分屈性に必要不可欠な2分子を同定することに成功した。そのうちのひとつである *MIZ1* は、植物界に保存されている機能未知のモチーフを有するタンパク質をコードしているがわかった。一方、*MIZ2* 遺伝子は小胞輸送を担う *GNOM/EMB30/VAN7* であることが明らかになったが、*miz2* の表現型解析から、水分屈性に特有の小胞輸送系の存在が示唆された。

以上のように、植物は生存戦略として水分屈性を発現する能力を有すること、それが重力屈性などの他の環境応答と相互作用することだけでなく、水分屈性にユニークな分子機構の存在することがわかってきた。しかし、これまでに見出された水分屈性制御分子の機能も含めて、水分勾配感受機構、その後の情報伝達機構、水分屈性と重力屈性のクロストーク機構など、水分屈性の発現機構については不明な点が多かった。さらに、根の水分屈性が、水環境の変化に応じて、自然界あるいは土壌中でどのように機能するかも明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、水分屈性の分子機構を解明するために、1) *MIZ1* の機能解析を進めると同時に、2) *GNOM/EMB30/VAN7* (*MIZ2*) が制御

する、水分屈性に特異的な小胞輸送系を明らかにするための解析、3) *miz3* 突然変異体の変異原因遺伝子の同定・解析を行い、さらに、4) 自然界(土壌中)での水環境の変動に伴う、植物生育に対する水分屈性の寄与について、新たに実験系を構築して解析・評価した。

3. 研究の方法

(1) *MIZ1* の機能解析

これまでに同定した水分屈性に必須の遺伝子 *MIZ1* は、機能未知のユニークなタンパク質をコードしていた。そこで、*MIZ1* タンパク質の機能を明らかにするために、以下の解析を行った。

***MIZ1* タンパク質の局在解析：** *MIZ1* と蛍光タンパク質(GFP)を融合させたタンパク質 (*MIZ1::GFP*)をシロイヌナズナで発現させ、水分勾配応答時における変化を共焦点レーザー顕微鏡で解析することによって、*MIZ1* タンパク質の発現組織、細胞内局在とその動態を解析した。

***MIZ1* タンパク質と相互作用するタンパク質の解析：** 免疫沈降法およびプロテオーム解析によって、*MIZ1::GFP* と結合するタンパク質を網羅的に解析した。その結果として得られる候補タンパク質の T-DNA 挿入系統の水分屈性能を解析した。

***MIZ1* 過剰発現体の表現型解析：** *MIZ1* タンパク質の機能を解明する糸口を見出すために、*MIZ1* 過剰発現形質転換体を作成して、その表現型を解析した。

***miz1* 突然変異体のサプレッサー突然変異体の単離と解析：** *miz1* のサプレッサーを取得するために、*miz1* を突然変異誘発剤のエチルメタンスルホン酸 (EMS) で処理し、その M_2 種子を用いてスクリーニングを行い、水分屈性の回復系統を得た。この回復系統 (Col バックグラウンド) と *Ler* バックグラウンドの *miz1* を交配し、サプレッサー突然変異遺伝子のマッピングを行うとともに、回復系統の特性を解析した。

(2) 小胞輸送が水分屈性に果たす役割の解析

これまでに明らかにした水分屈性に必須かつ特異的な *MIZ2* 遺伝子は、小胞輸送を担う *GNOM/EMB30/VAN7* であった。しかし、*miz2* は、これまでに報告されていない特異なアレルで、水分屈性に特異的に働く小胞輸送系が存在すると考えられた。そこで、*miz2* 突然変異が小胞輸送のどの過程にどのように影響を与えるのかを明らかにするために、以下の解析を行った。

小胞輸送関連遺伝子の T-DNA 挿入系統の表現型解析: 小胞輸送関連遺伝子の T-DNA 挿入系統の水分屈性能を解析した。

GNOM/MIZ2 およびオーキシン輸送担体の動態解析: GNOM/MIZ2 の動態を GFP 融合タンパク質および膜染色マーカーを用いて解析するとともに、*miz2* 変異がオーキシン輸送担体の PIN タンパク質の動態に及ぼす影響を解析した。

***miz2* 突然変異体のサプレッサー突然変異体の単離と解析:** *miz2* のサプレッサーを取得するために、*miz2* を突然変異誘発剤のエチルメタンスルホン酸 (EMS) で処理し、その M_2 種子を取得した。これら M_2 種子を用いてスクリーニングを行い、水分屈性の回復系統を得た。

新規の水分屈性制御分子の同定と機能解析: 水分屈性発現機構の全体像を理解するために、*miz1*、*miz2* に加えて、これまでに単離した水分屈性欠損突然変異体 *miz3* のマップベースクローニングによって変異原因遺伝子のマッピングを行った。

MIZ1 と MIZ2 の相互作用に関する解析: GFP 系統を用いて、MIZ1 タンパク質の局在に及ぼす *miz2* 突然変異の影響、MIZ2 タンパク質の局在に及ぼす *miz1* 突然変異の影響を解析するとともに、*miz2* 突然変異体で MIZ1 を過剰発現させたときの水分屈性を解析し、両者の関係を検討した。

(3) 土壌中における根の水分屈性と植物生育に対する水分屈性の寄与

シロイヌナズナ (野生型、*miz1* 突然変異体、MIZ1 過剰発現体) が生育する土壌中に水分勾配を形成する実験系を構築し、水分屈性が根系形成、植物のバイオマス生産、収量に及ぼす影響を解析した。

4. 研究成果

(1) MIZ1 の機能

MIZ1 プロモーター下で GFP を発現する系統を作出して、MIZ1 プロモーターの活性を解析したところ、GFP の蛍光は、コルメラを含む根冠で顕著に認められた。一方、MIZ1-GFP の局在を解析した結果、シグナルは主に lateral root cap、伸長領域皮層の細胞質および維管束にみられた。MIZ1 のこれら環境刺激に対する応答を解析したところ、MIZ1

の局在は水分屈性発現時に変化しなかった。MIZ1 タンパク質の細胞内局在を解析した結果、MIZ1-GFP が細胞質側の小胞体膜上に存在することがわかり、MIZ1 が小胞体機能に関係するものと考えられた。さらに、免疫沈降法および LC-MS/MS 解析によって、MIZ1 と相互作用するタンパク質を探索し、その候補を取得することに成功した。

一方、暗所芽生えでは、根冠における MIZ1 の消失がみられた。この根冠における局在は暗所芽生えに水分勾配刺激を与えても変動しなかったが、光形態形成を誘導する白色光を長時間照射することで、みられるようになった。さらに、光が水分屈性に与える影響を解析したところ、水分屈性は暗所で顕著に抑制された。以上の結果から、水分屈性が光制御を受け、それを MIZ1 が担うことが明らかになった。また、野生型に比べて *hy5* 突然変異体では顕著な MIZ1 遺伝子発現量の低下が見られたことから、HY5 は MIZ1 を転写段階で制御することが示唆された。*hy5* 突然変異体において MIZ1-GFP のシグナルを ABA 処理後に観察したところ、野生型と同様に ABA 処理によってシグナルの増大が見られ、ABA 処理した *hy5* 突然変異体は、野生型と同様の水分屈性を示したのに対し、*miz1* 突然変異体では ABA 処理によっても表現型の変化は見られなかった。これらの結果は、ABA を介した MIZ1 の調節に HY5 を必ずしも必要としないが、*hy5* 突然変異体の水分屈性の低下が MIZ1 の制御に起因することを示している。

MIZ1 過剰発現系統を作出してその表現型を解析した結果、水分屈性能が亢進されるのに加えて、側根形成が著しく抑制されていることを見出した。オーキシン添加培地で MIZ1 過剰発現体を生育させると側根形成の異常は回復すること、MIZ1 過剰発現体の根端において DR5-GFP のシグナルおよび実際のオーキシン内生量の低下が認められることから、MIZ1 過剰発現によりオーキシン蓄積量が減少し、側根形成が抑制されたものと考えられた。

miz1 種子に突然変異誘発物質のエチルメタンスルホン酸を処理したシロイヌナズナの後世代 15,800 個体に対して、水分屈性が回復、つまり水分屈性欠損が抑圧された突然変異体のスクリーニングを行い、1 系統の *miz1* 抑圧突然変異体の単離に成功し、その系統を *miz1-suppressor1*; *mzpl* と名付けた。

(2) MIZ2 / 小胞輸送と水分屈性

GNOM/MIZ2 の動態を GFP 融合タンパク質および膜染色マーカーを用いて解析したところ、*gnom^{miz2}* は正常な小胞形成機能を有することが示唆された。さらに、GNOM が制御する小胞輸送により細胞内局在が制御される PIN1 の局在を *miz2* において解析したところ、野生型と *miz2* とで差異がみられなかった

ことから、*gnom^{miz2}* は PIN1 の局在を担う小胞輸送系を正常に制御することがわかった。また、GNOM が制御する水分屈性制御系に機能する分子を分子遺伝学的に同定するため、*miz2* 抑圧突然変異体の単離を試み、3 系統の抑圧突然変異体を得ることに成功した。さらに、MIZ2 が MIZ1 の下流で機能することがわかった。

新たな水分屈性制御分子の同定を目指し、水分屈性欠損突然変異体 *miz3* の変異原因遺伝子の同定を試みた結果、*miz3* は *miz1* と比べて水分屈性の欠損程度が弱い変異体であり、*miz3* が *miz1* のアリル変異体であること、MIZ1 の ORF 中に 2 か所の塩基置換が存在することを見出した。

(3) 土壌中における水分屈性と植物生育

根の水分屈性能が自然界における植物の生存戦略として乾燥回避に果たす役割を理解することを試みた。その結果、根系を占める割合の大きい側根も主根と同様に水分屈性を示すこと、側根の水分屈性においても MIZ1 が必須であることを明らかにした。そのうえで、土壌中に水分勾配を形成する実験系を確立し、根系発達と水分屈性の関係を野生型、*miz1* 突然変異体、MIZ1 過剰発現体を用いて解析した結果、水分勾配の存在する土壌中では、野生型の根は高水分側に分布し、それが MIZ1 過剰発現体で促進される一方で、*miz1* 突然変異体ではみられず、またこのような条件では、*miz1* 突然変異体は野生型と比較して早く枯死することがわかった。さらに、植物のバイオマス・種子生産は根の水獲得に大きく依存し、水分屈性を発現することで獲得した水分の量に応じて成長や収量が増大することを検証した。

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 18 件)

1. Moriwaki T, Miyazawa Y, Fujii N, Takahashi H (2012). Light and abscisic acid signaling are integrated by MIZ1 gene expression and regulate hydrotropic response in roots of *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell and Environment* (in press). 査読有り
2. Yamazaki T, Miyazawa Y, Kobayashi A, Moriwaki A, Fujii N, Takahashi H (2012). MIZ1, an essential protein for root hydrotropism, is associated with the cytoplasmic face of the endoplasmic reticulum membrane in *Arabidopsis* root cells. *FEBS Letters* 586: 398-402. 査読有り
3. Watanabe C, Fujii N, Yanai K, Hotta T, Kim D-H, Kamada M, Sasagawa-Saito Y, Nishimura T, Koshihara T, Miyazawa Y, Kim K-M, Takahashi H (2012). Gravistimulation changes the accumulation pattern of the CsPIN1 auxin efflux facilitator in the endodermis of the transition zone in cucumber seedlings. *Plant Physiology* 158: 239-251. 査読有り
4. Iwata S, Miyazawa Y, Takahashi H (2012). MIZU-KUSSEI1 plays an essential role in the hydrotropism of lateral roots in *Arabidopsis thaliana*. *Environmental and Experimental Botany* 75: 167-172. 査読有り
5. Moriwaki T, Miyazawa Y, Kobayashi A, Uchida M, Watanabe C, Fujii N, Takahashi H (2011). Hormonal regulation of lateral root development in *Arabidopsis* modulated by MIZ1 and requirement of GNOM activity for MIZ1 function. *Plant Physiology* 157: 1209-1220. 査読有り
6. Kato F, Araki M, Miyazawa Y, Fujii N, Takeda K, Suge H, Takahashi H (2011). Factors responsible for deep-sowing tolerance in wheat seedlings: varietal differences in cell proliferation and the co-ordinated synchronization of epidermal cell expansion and cortical cell division for the gibberellin-mediated elongation of first internodes. *Annals of Botany* 108: 439-447. 査読有り
7. Miyazawa Y, Yamazaki T, Moriwaki T, Takahashi H (2011). Root tropisms: its mechanism and possible functions in drought avoidance. *Advances in Botanical Research* 57: 349-375. 査読なし
8. Sakata T, Oshino T, Miura S, Tomabechi M, Tsunaga Y, Higashitani N, Miyazawa Y, Takahashi H, Watanabe M, Higashitani A (2010). Auxin reverses plant male sterility caused by high temperatures. *PNAS* 107: 8569-8574. 査読有り
9. Moriwaki T, Miyazawa Y, Takahashi H (2010). Transcriptome analysis of gene expression during the hydrotropic response in *Arabidopsis* seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 69: 148-157. 査読有り
10. Nishio S, Moriguchi R, Ikeda H, Takahashi H, Takahashi H, Fujii N, Guilfoyle T.J., Kanahama K, Kanayama Y (2010). Expression analysis of the auxin efflux carrier family in tomato fruit development. *Planta* 232: 755-764. 査読有り

11. Miyazawa Y, Ito Y, Moriwaki T, Kobayashi A, Fujii N, Takahashi H (2009). A molecular mechanism unique to hydrotropism in roots. *Plant Science* 297: 301. 査読有り
 12. Miyazawa Y, Ito Y, Moriwaki T, Kobayashi A, Fujii N, Takahashi H (2009). A molecular mechanism unique to hydrotropism in roots. *Plant Science* 297: 301. 査読有り
 13. 高橋 秀幸 (2009). オーキシンによる植物の重力形態形成の制御機構に関する研究. *植物の生長調節* 44: 10-21. 査読なし
 14. Miyazawa Y, Takahashi A, Kobayashi A, Kaneyasu T, Fujii N, Takahashi H (2009). GNOM-mediated vesicular trafficking plays an essential role in hydrotropism of *Arabidopsis* roots. *Plant Physiology* 149: 489-502. 査読有り
 15. Takahashi H, Miyazawa Y, Fujii N (2009). Hormonal interactions during root tropic growth: hydrotropism versus gravitropism. *Plant Molecular Biology* 69: 489-502. 査読有り
 16. Miyazawa Y, Sakashita T, Funayama T, Hamada N, Negishi H, Kobayashi A, Kaneyasu T, Ooba A, Morohashi K, Kakizaki T, Wada S, Kobayashi Y, Fujii N, Takahashi H (2008) Effects of locally targeted heavy-ion and laser microbeam on root hydrotropism in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Radiation Research* 49: 373-379. 査読有り
 17. Kitazawa D, Miyazawa Y, Fujii N, Hoshino A, Iida S, Nitasaka E, Takahashi H (2008). The gravity-regulated growth of axillary bud is mediated by a mechanism different from decapitation-induced release. *Plant and Cell Physiology* 49: 891-900. 査読有り
 18. Kitazawa D, Miyazawa Y, Fujii N, Nitasaka E, Takahashi H (2008). Characterization of a novel gravitropic mutant of morning glory, weeping2. *Advances in Space Research* 42: 1050-1059. 査読有り
- [学会発表] (計 67 件)
1. 森脇哲平, 宮沢豊, 藤井伸治, 高橋秀幸. 光による水分屈性発現調節機構の解析. 第 53 回日本植物生理学会年会. 2012 年 3 月 16 日~3 月 18 日. 京都.
 2. 森脇哲平, 小林啓恵, 宮沢豊, 藤井伸治, 高橋秀幸. 光と ABA シグナルは MIZ1 の発現調節を介して水分屈性を制御する. 東北植物学会第 1 回大会. 2011 年 12 月 17 日~12 月 18 日. 盛岡.
 3. 岩田悟, 宮沢豊, 高橋秀幸. シロイヌナズナの根系形成に対する水分屈性の寄与. 日本植物学会第 75 回大会. 2011 年 9 月 17 日~9 月 19 日. 東京.
 4. 森脇哲平, 岩田悟, 渡辺千秋, 内田真弓, 小林啓恵, 宮沢豊, 藤井伸治, 高橋秀幸. オーキシン量の低下はシロイヌナズナ根の水分屈性能を向上させる. 日本植物学会第 75 回大会. 2011 年 9 月 17 日~9 月 19 日. 東京.
 5. S. Iwata, Y. Miyazawa, H. Takahashi. Hydrotropism in lateral roots and its possible contribution to drought avoidance in *Arabidopsis thaliana* (Invited presentation). *Plant Biology* 2011. August 6-10, 2011. Minneapolis.
 6. S. Iwata, Y. Miyazawa, H. Takahashi. MIZ1 regulation of hydrotropism in lateral roots and its contribution to the development of root system in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Biology* 2011. August 6-10, 2011. Minneapolis.
 7. T. Yamazaki, A. Kobayashi, Y. Miyazawa, H. Takahashi. MIZ1, a soluble protein essential for root hydrotropism, is associated with surface of endoplasmic reticulum membrane in *Arabidopsis* root cells. *Plant Biology* 2011. August 6-10, 2011. Minneapolis.
 8. Y. Miyazawa, T. Moriwaki, M. Uchida, A. Kobayashi, N. Fujii, H. Takahashi. Analysis of overexpressor of MIZU-KUSSE11, a gene required for root hydrotropism of *Arabidopsis thaliana*. XVIII International Botanical Congress. July 23-30, 2011. Melbourne.
 9. H. Takahashi, M. Okamoto, K. Morohashi, C. Watanabe, Y. Miyazawa, N. Fujii, T. Yamazaki, A. Higashibata, N. Ishioka, T. Shimazu, Y. Fusejima, H. Kasahara, M. Kamada. Two spaceflight experiments, Hydro Tropi and CsPINs, for the study of hydrotropism in seedling roots. The 28th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS). June 5-12, 2011. Okinawa.
 10. T. Yamazaki, A. Kobayashi, Y. Miyazawa, H. Takahashi. Subcellular localization of MIZ1 protein essential for hydrotropism in *Arabidopsis thaliana*. 第 52 回日本植物生理学会年会. 2011 年 3 月 20-22 日 (開催中止, 発表要旨集による公表). 仙台.
 11. 森脇哲平, 小林啓恵, 宮沢豊, 藤井伸治, 高橋秀幸. 光シグナルと ABA による MIZ1 転写制御と水分屈性能の関係. 第 52 回日本植物生理学会年会. 2011 年 3 月 20-22 日 (開催中止, 発表要旨集によ

- る公表)。仙台。
12. 森脇哲平, 渡辺千秋, 内田真弓, 小林啓恵, 宮沢豊, 藤井伸治, 高橋秀幸. シロイヌナズナ根のオーキシン合成量低下による水分屈性能の向上. 日本植物学会東北支部第 22 回宮城大会. 2010 年 12 月 18 日~12 月 19 日. 石巻.
 13. 森脇哲平, 小林啓恵, 宮沢豊, 藤井伸治, 高橋秀幸. 水分屈性制御遺伝子 MIZ1 は光あるいは ABA に依存した水分屈性を制御する. 植物化学調節学会第 45 回大会. 2010 年 11 月 1 日~11 月 2 日. 神戸.
 14. 岩田悟, 宮沢豊, 高橋秀幸. シロイヌナズナにおける側根の水分屈性能. 日本植物学会第 74 回大会. 2010 年 9 月 9 日~9 月 11 日. 春日井市.
 15. 森脇哲平, 内田真弓, 小林啓恵, 宮沢豊, 藤井伸治, 高橋秀幸. 水分屈性制御分子 MIZ1 の過剰発現はオーキシンを介した側根形成を抑制する. 日本植物学会第 74 回大会. 2010 年 9 月 9 日~9 月 11 日. 春日井市.
 16. T. Yamazaki, A. Kobayashi, Y. Miyazawa, H. Takahashi. Biochemical analysis of MIZ1, an essential protein for hydrotropism in *Arabidopsis thaliana*. Plant Biology 2010. July 31 - August 4, 2010. Montreal.
 17. Y. Miyazawa, T. Moriwaki, M. Uchida, A. Kobayashi, N. Fujii, H. Takahashi. Functional analysis of MIZ1, a gene essential for root hydrotropism. 21st International Conference on Arabidopsis Research. June 6-10, 2010. Yokohama.
 18. T. Moriwaki, Y. Miyazawa, A. Kobayashi, M. Uchida, N. Fujii, H. Takahashi. Hormonal regulation of lateral root development is modulated by overexpression of MIZ1. 21st International Conference on Arabidopsis Research. June 6-10, 2010. Yokohama.
 19. 森脇哲平, 宮沢豊, 藤井伸治, 高橋秀幸. 水分屈性欠損突然変異体 *miz2* の遺伝子内相補性の解析. 第 51 回日本植物生理学会年会. 2010 年 3 月 18-21 日. 熊本.
 20. 宮沢豊, 森脇哲平, 内田真弓, 柿本洋子, 藤井伸治, 高橋秀幸. シロイヌナズナ MIZ1 の水分屈性発現経路における作用点の同定. 第 51 回日本植物生理学会年会. 2010 年 3 月 18-21 日. 熊本.
 21. 高橋秀幸. 陸上植物の水獲得戦略 - 根の伸長方向を制御する屈性機構 -. 園芸学会平成 21 年度秋季大会シンポジウム「園芸作物における水分生理」. 2009 年 9 月 26 日. 秋田.
 22. 宮沢豊, 内田真弓, 柿本洋子, 小林啓恵, 藤井伸治, 高橋秀幸. シロイヌナズナにおける水分屈性制御遺伝子 MIZ1 の過剰

- 発現個体の生理学的解析. 日植物学会第 73 回大会. 2009 年 9 月 18-20 日. 山形.
23. 宮沢豊, 高橋あき子, 小林啓恵, 藤井伸治, 高橋秀幸. 水分屈性突然変異体 *miz2* の変異原因遺伝子は GNOM をコードしている. 日本植物生理学会年会第 50 回大会. 2009 年 3 月 21-24 日. 名古屋.
 24. 森脇哲平, 小林啓恵, 宮沢豊, 藤井伸治, 高橋秀幸. 根の水分屈性制御遺伝子 MIZ1 の光による発現制御. 日本植物生理学会年会第 50 回大会. 2009 年 3 月 21-24 日. 名古屋.
 25. H. Takahashi, Y. Miyazawa, A. Kobayashi, T. Moriwaki, M. Uchida, N. Fujii. Genetic evidence for mechanisms unique to hydrotropism but independent of gravitropism in *Arabidopsis* roots. International Symposium on Plant Sensing, Response and Adaptation to Altered Water Status. March 12-13, 2009. Taipei.

他 42 件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 秀幸 (TAKAHASHI HIDEYUKI)
 東北大学・大学院生命科学研究所・教授
 研究者番号：70179513

(2) 研究分担者

藤井 伸治 (FUJII NOBUHARU)
 東北大学・大学院生命科学研究所・准教授
 研究者番号：70272002

宮沢 豊 (MIYAZAWA YUTAKA)
 東北大学・大学院生命科学研究所・助教
 研究者番号：00342858
 (H22-H23：連携研究者)