

平成22年4月26日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17078008

研究課題名（和文） ケイ酸トランスポーター遺伝子の単離と解析

研究課題名（英文） Isolation and characterization of Si transporter

研究代表者

馬 建鋒 (MA KENBOU)

岡山大学・資源生物科学研究所・教授

研究者番号：80260389

研究成果の概要（和文）：

ケイ素は植物の有益元素で、植物の複合ストレスを軽減することができる。本研究では、植物のケイ酸の吸収、分配に関与するトランスポーターを同定した。イネから同定した Lsi1 と Lsi2 は根で発現し、根の外皮と内皮細胞に極性をもって偏在し、根によるケイ酸の吸収に重要な役割を果たしている。また Lsi6 は葉の維間束木部や第 I 節で発現し、ケイ酸の分配に関与している。トウモロコシやカボチャからも同様のトランスポーターを同定しているが、イネと比べ、発現レベルや細胞局在性が異なっていた。

研究成果の概要（英文）：

Silicon (Si) is a beneficial element for plant growth, which helps plants to overcome multiple stresses. In this project, we have identified several transporters involved in Si uptake and distribution. Lsi1 and Lsi2 identified from rice are expressed in the roots and polarly localized at the exodermis and endodermis. These transporters are important for Si uptake by the roots. Lsi6 is localized at the xylem parenchyma of leaf and node I and responsible for distribution of Si. We also identified similar transporters from maize and pumpkin. We found that they have different expression pattern and localization from rice.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	16,300,000	0	16,300,000
2006年度	16,300,000	0	16,300,000
2007年度	16,300,000	0	16,300,000
2008年度	25,200,000	0	25,200,000
2009年度	15,300,000	0	15,300,000
総計	89,400,000	0	89,400,000

研究分野：植物栄養学

科研費の分科・細目：6101

キーワード：イネ、ケイ酸トランスポーター、極性、吸収、分配

1. 研究開始当初の背景

ケイ素は地殻中に最も豊富に存在するミネラルで、すべての植物に含まれている。植物体内のケイ素は生物的及び非生物ストレスを

軽減でき、植物の生育に有益の効果をもたらす。しかし、研究開始当初、植物はどのようにしてケイ酸を吸収するかについては明らかではなかった。

2. 研究の目的

植物の種類によってケイ素の集積能力は大きく異なる。本研究の目的はまず典型的なケイ素集積植物であるイネからケイ酸吸収に関するトランスポーターを同定することである。また他の植物からケイ酸吸収関連遺伝子を単離し、イネと比較することによって、植物のケイ酸吸収の分子機構を明らかにする。

3. 研究の方法

イネケイ酸吸収欠損変異体の単離はゲルマニウムを用いて行った。原因遺伝子はマップベースクローニング法で単離した。遺伝子の発現は定量的RT-PCRで、局在性は抗体染色とGFPとの融合タンパク質で観察した。ケイ酸の輸送活性の測定はアフリカツメガエルの母卵細胞を用いて行った。

4. 研究成果

(1) イネのケイ酸吸収に関するトランスポーターの同定

典型的なケイ素集積植物であるイネからケイ酸の吸収に関するトランスポーター遺伝子*Lsi1*と*Lsi2*を同定した。

① イネの内向きケイ酸トランスポーター*Lsi1*の同定

*Lsi1*はゲルマニウムを用いて選抜したケイ酸吸収欠損変異体を用いて、マップベースクローニング法によって単離された。*Lsi1*は第2染色体の長腕上に座乗し、塩基配列から予想されるタンパク質は298アミノ酸残基から成り、水チャネルタンパク質アクアポリンと類似性がみられた。変異株では*Lsi1*遺伝子に1塩基の置換が生じており、アミノ酸配列が1カ所変化していた。またRNA干渉法(RNAi)を用いてこの遺伝子の発現を抑制したところ、ケイ酸吸収能の減少が確認された。

*Lsi1*遺伝子は根で構成的に発現しているが、十分なケイ酸を与え続けた場合には約1/4に発現の減少がみられた。生育時期別に*Lsi1*の発現量を調べたところ、出穂前後に一時的に発現量の増加が見られ、ケイ酸の吸収量と一致していた。

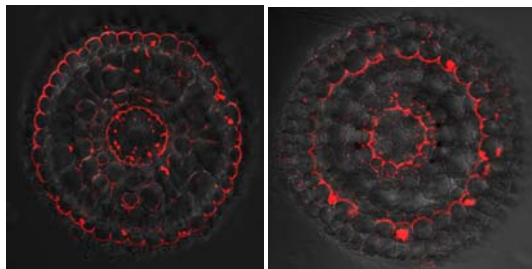


図1 *Lsi1* (左)と*Lsi2* (右)の細胞局在性

*Lsi1*は根の外皮(表皮と接している皮層の最外層)と内皮(皮層の最内層、中心柱と接する)の2層に発現が検出された。さらに抗体染色では、*Lsi1*タンパク質はいずれの層でも細胞の遠心側に偏在していることが明らかになった(図1)。

アフリカツメガエルの卵母細胞で*Lsi1*のケイ酸輸送活性が認められた。また*Lsi1*のケイ酸輸送活性は水銀により阻害されたが、低温では阻害されなかった。*Lsi1*の基質特異性を調べたところ、グリセロールに対して輸送活性を示さなかったが、尿素やホウ酸に対して輸送活性を示した。しかし、ケイ酸と等モルの尿素の共存下でもケイ酸の輸送活性は影響されなかった。また等モルのホウ素の共存下で、ケイ素の輸送活性は20%減少した。これらのことは*Lsi1*がケイ酸に対して高い親和性を持っていることを示している。さらに、亜ヒ酸に対する輸送活性も示した。*Lsi1*が属する植物に特有のアクアポリンサブファミリーNIPを輸送基質とselectivity filterの解析から、三つのサブグループに分けることを提唱した。NIP I サブグループは水、グリセロールや乳酸などの小分子、NIP II サブグループは尿素やホルムアミド、ホウ酸など比較的に大きい分子を輸送するのに対し、NIP III サブグループはケイ酸を輸送すると考えられる。

② イネの外向きケイ酸トランスポーター*Lsi2*の同定

*Lsi2*は新規ケイ酸吸収欠損突然変異体*Lsi2*を用いて単離された。*Lsi2*は第3染色体に座乗し、全長cDNA が2085bpであり、472アミノ酸のタンパク質(putative anion transporter)をコードしていた。その遺伝子の塩基配列を野生型(T-65)と変異体とで比較した結果、一塩基置換が起きており、その一塩基置換がアミノ酸をセリンからアスパラギンに置換していた。この遺伝子は主に根に構成的に発現し、その発現量も*Lsi1*と同様ケイ酸の存在下で四分の一程度に減少した。この遺伝子にコードされているタンパク質は*Lsi1*と同様、根の外皮と内皮に局在していた(図1)。しかし、*Lsi1*とは異なり、外皮と内皮の向心側に偏在していた。また*Lsi2*はケイ酸の内向き輸送

活性を示さなかったが、外向きの輸送活性を示した。*Lsi2*の輸送活性は低温やイオノフォアによって阻害され、能動的なトランスポーターである。*Lsi2*は亜ヒ酸も輸送するが、DMA、MMAと亜セレン酸に対しては輸送活性を示さなかった。

以上の結果から、*Lsi1*はイネの根において外液から細胞内へ輸送する内向きトランスポーターで、*Lsi2*は細胞内からアポプラストへ排出する外向きケイ酸トランスポーターであることを示している。*Lsi1*と*Lsi2*の協同作業によって外液中にあるケイ酸を効率よく導管へ輸送することが果たされる。

③ ケイ素の分配に関するトランスポーター*Lsi6*の同定

イネのゲノム上には、*Lsi1*と相溶性が高い

遺伝子*Lsi6*が存在する。この遺伝子をアフリカツメガエルの卵母細胞に発現させると、*Lsi1*と同様にケイ酸の輸送活性を示した。しかし、*Lsi1*が根にのみ発現するのに対して、*Lsi6*は根と地上部の双方で発現がみられた。免疫組織染色の結果、葉鞘と葉身の導管に隣接する柔組織に局在していることがわかった(図2)。T-DNAが第二イントロンに挿入された株では、短期間の根からのケイ酸吸収には変化がみられなかった。しかし、葉身へのケイ素の蓄積を観察したところ、野生型では葉脈に沿ったケイ化細胞に続いて機動細胞が選択的にケイ化されるのに対して、変異株では機動細胞に加えて、背軸側の表皮細胞が高い頻度でケイ化されていた。また変異体の葉から排出される排水(guttation)中に高いケイ酸濃度が検出された。これらの結果から*Lsi6*は導管からのケイ酸のアンローディングに関与し、それに続く組織特異的なケイ素の蓄積に影響することを示している。

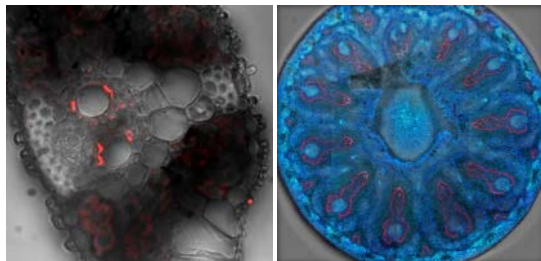


図2 葉身(左)及び第I節における*Lsi6*の局在性

また生殖成長期において*Lsi6*は出穂期以降の上位の節で著しく発現が増大し、特に肥大維管束の周縁部の木部柔組織(木部転送細胞)において導管に面した極性局在がみられた(図2)。*Lsi6*のT-DNA挿入変異株では穂(籾、穂軸、穂首)のケイ素蓄積量が約1/3に低下し、逆に止め葉の葉身には2倍の蓄積が見られた。また切除した未熟穂について水分の蒸散量を測定したところ、T-DNA挿入株では蒸散速度が有意に増大し、「白穂」が容易に再現された。これらの結果から、蒸散流に伴って根から地上部へと吸い上げられたケイ酸は、節において穂の維管束へと積み替えられ、その過程のうち*Lsi6*は下位の導管からのケイ酸の積み降ろしを担うと考えられた。

④ トウモロコシからケイ酸吸収関連遺伝子の同定

トウモロコシからイネ*Lsi1*、*Lsi6*、*Lsi2*の相同遺伝子*ZmLsi1*、*ZmLsi6*、*ZmLsi2*をそれぞれクローニングした。その結果、いずれもアミノ酸レベルで80%以上の高い相同性があった。アフリカツメガエルの卵母細胞を用いてケイ酸輸送活性の測定を行なったところ、*ZmLsi1*と*ZmLsi6*はケイ酸の内向き輸送活性を示した。これに対して、*ZmLsi2*は外向きの

ケイ酸輸送活性を示した。部位別の発現量を調べると、*ZmLsi1*と*ZmLsi2*は主に種子根で、*ZmLsi6*は主に地上部で発現していた。抗体染色で局在性を調べたところ*ZmLsi1*は根の表皮と皮層細胞に、*ZmLsi2*は内皮細胞に、*ZmLsi6*は葉鞘と葉身の導管に隣接する柔組織で発現していた。これらの結果は*ZmLsi1*と*ZmLsi2*が根からのケイ酸吸収に、*ZmLsi6*は地上部のケイ酸の分配に関与していることを示唆している。しかし、根での細胞局在はイネと異なっていた。

⑤ カボチャからのケイ酸吸収関連遺伝子の単離と機能解析

ブルームきゅうりとブルームレスきゅうりを作るための台木として使われているカボチャ2品種、新土佐2号(ST)とスーパー雲竜(SU)から、イネのケイ酸吸収関連遺伝子*Lsi1*のホモログを単離した。推定アミノ酸配列において品種間で2つの残基の違いが見られた。アフリカツメガエルを用いたケイ酸輸送活性の測定によりST由来の*Lsi1*は活性が認められたが、SU由来のものは活性が認められなかった。更なる解析から、242番目のアミノ酸置換がケイ酸輸送活性の有無に影響を与えていることが分かった。イネ外向きケイ酸トランスポーター*Lsi2*の相同遺伝子もカボチャ2品種から単離したが、品種間において配列や発現の違いは認められなかった。これらのことから、カボチャ2品種間のケイ素吸収量の違いは、*Lsi1*型内向きケイ酸トランスポーターの輸送活性の有無に起因すると考えられる。以上のように世界ではじめてケイ酸トランスポーターを多数同定することができた。今後はこれらのトランスポーターの発現制御、局在性の制御などを明らかにしていく必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計30件)

- ① Yamaji N, Ma JF. (2009) A transporter at the node responsible for inter-vascular transfer of silicon in rice. *Plant Cell* 21, 2878-2883 (査読有)
- ② Li RY, Ago Y, Liu W J, Mitani N, Feldmann J, McGrath SP, Ma JF, Zhao FJ. (2009) The rice aquaporin *Lsi1* mediates uptake of methylated arsenic species. *Plant Physiol.* 150, 2071-2080 (査読有)
- ③ Mitani N, Chiba Y, Yamaji N, Ma JF. (2009) Identification and characterization of maize and barley *Lsi2*-like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. *Plant Cell* 21, 2133-2142 (査読有)
- ④ Brunings AM, Datnoff LE, Ma JF, Mitani N, Nagamura Y, Rathinasabapathi B, Kirst M.

- (2009) Differential gene expression of rice in response to silicon and rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. *Ann. Appl. Biol.* 155, 161-170 (査読有)
- ⑤ Li RY, Stroud JL, Ma JF, McGrath SP, Zhao FJ. (2009) Mitigation of arsenic accumulation in rice with water management and silicon fertilization. *Environ. Sci. Technol.* 43, 3778-3783 (査読有)
- ⑥ Kamiya T, Tanaka M, Mitani N, Ma JF, Maeshima M, Fujiwara T. (2009) *NIP1;1*, an aquaporin homolog, determines the arsenite sensitivity of *Arabidopsis thaliana*. *J. Biol. Chem.* 284, 2114-2120 (査読有)
- ⑦ Koster JR, Bol R, Leng MJ, Parker AG, Sloane HJ, Ma JF. (2009) Effects of active silicon uptake by rice on ²⁹Si fractionation in various plant parts. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 23, 2398-2402 (査読有)
- ⑧ Zhao FJ, Ma JF, Meharg AA, McGrath SP. (2009) Arsenic uptake and metabolism in plants. *New Phytol.* 181, 777-794 (査読有)
- ⑨ Dallagnol LJ, Rodrigues FA, Mielli MVB, Ma JF, Datnoff LE. (2009) Defective active silicon uptake affects some components of rice resistance to brown spot. *Phytopathology* 99, 116-121 (査読有)
- ⑩ Chiba Y, Yamaji N, Mitani N, Ma JF. (2009) HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. *Plant J.* 57, 810-818 (査読有)
- ⑪ Mitani N, Yamaji N, Ma JF. (2009) Identification of maize silicon influx transporters. *Plant Cell Physiol.* 50, 5-12 (査読有)
- ⑫ Ma JF, Yamaji N, Mitani N, Xu XY, Su YH, McGrath S, Zhao FJ. (2008) Transporters of arsenite in rice and their role in arsenic accumulation in rice grain. *PNAS* 105, 9931-9935 (査読有)
- ⑬ Mitani N, Yamaji N, Ma JF. (2008) Characterization of substrate specificity of a rice silicon transporter, Lsi1. *Pflügers Arch-Eur. J. Physiol.* 456, 679-686 (査読有)
- ⑭ Tamai K, Ma JF. (2008) Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. *Plant Soil* 307, 21-27 (査読有)
- ⑮ Yamaji N, Mitani N, Ma JF. (2008) A transporter regulating silicon distribution in rice shoots. *Plant Cell* 20, 1381-1389 (査読有)
- ⑯ Ma JF, Yamaji N. (2008) Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences* 65, 3049-3057 (査読有)
- ⑰ Yamaji N, Ma JF. (2007) Spatial distribution and temporal variation of the rice silicon transporter Lsi1. *Plant Physiol.* 143, 1306-1313 (査読有)
- ⑱ Ma JF, Yamaji N, Mitani N, Tamai K, Konishi S, Fujiwara T, Katsuhara M, Yano M. (2007) An efflux transporter of silicon in rice. *Nature*, 448, 209-211 (査読有)
- ⑲ 馬 建鋒、山地直樹、三谷奈見季. (2007) イネのケイ素トランスポーター. *蛋白質核酸酵素* 52, 1849-1856
- ⑳ Ma JF, Yamaji N, Tamai K, Mitani N. (2007) Genotypic difference in Si uptake and expression of Si transporter genes in rice. *Plant Physiol.* 145, 919-924 (査読有)
- ㉑ 馬 建鋒. (2007) イネにおけるケイ素の有益性及び吸収機構に関する研究. *日本土壤肥料学雑誌* 78, 431-434
- ㉒ Ma JF, Tamai K, Yamaji N, Mitani N, Konishi S, Katsuhara M, Ishiguro M, Murata Y, Yano M. (2006) A silicon transporter in rice. *Nature* 440, 688-691 (査読有)
- ㉓ 山地直樹、馬 建鋒. (2006) イネのケイ素吸収機構. *化学と生物* 44, 453-458
- ㉔ 馬 建鋒、山地直樹、三谷奈見季、玉井一規. (2006) イネのケイ酸輸送体. *細胞工学* 25, 778-779
- ㉕ Ma JF, Yamaji N. (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Sci.* 11, 392-397 (査読有)
- ㉖ Wu QS, Wan XY, Su N, Cheng ZJ, Wang JK, Lei CL, Zhang X, Jiang L, Ma JF, Wan JM. (2006) Genetic dissection of silicon uptake ability in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Sci.* 171, 441-448 (査読有)
- ㉗ 馬 建鋒. (2006) イネケイ素吸収遺伝子の同定. *ブレインテクノニュース* 118, 17-21
- ㉘ Ma JF. (2005) Plant root responses to three abundant soil mineral: silicon, aluminum and iron. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24, 267-281 (査読有)
- ㉙ Mitani N, Ma JF, Iwashita T. (2005) Identification of silicon form in the xylem of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Cell Physiol.* 46, 279-283 (査読有)
- ㉚ Mitani N, Ma JF. (2005) Uptake system of silicon in different plant species. *J. Exp. Bot.* 56, 1255-1261 (査読有)
- [学会発表] (計 60 件)
- ① Ma, J.F., Yamaji, N. and Mitani, N. Transporters involved in uptake and distribution of silicon in rice. *Plant Biology* 2009. Honolulu, Hawaii. July 18-22, 2009.
- ② Ma, J.F. Silicon uptake and translocation in plants. XVI International Plant Nutrition Colloquium 2009. California, USA. August 26-30, 2009.
- ③ Mitani, N., Yamaji, N. and Ma, J.F. Maize silicon transporters. XVI International Plant Nutrition Colloquium 2009. California, USA. August 26-30, 2009.
- ④ 山地直樹・馬 建鋒：ケイ酸輸送体 Lsi6

によるイネ生殖生長期のケイ酸分配. 第 50 回日本植物生理学会年会, 名古屋, 2009 年 3 月 21 日~24 日

⑤馬 建鋒・吾郷幸子・山地直樹・三谷奈見季・岩崎貢三:ブルームレスキュウリ用カボチャ台木のケイ酸吸収特性のさらなる解析. 日本土壌肥料学会年会, 京都, 2009 年 9 月 15 日~18 日

⑥山地直樹・馬 建鋒:イネのケイ素分配の分子機構 (I). 日本土壌肥料学会年会, 京都, 2009 年 9 月 15 日~18 日

⑦馬 建鋒:Silicon Transporters in higher plants. 第 31 回日本分子生物学会年会, 第 81 回日本生化学会大会合同大会, 神戸, 2008 年 12 月 9 日~12 日

⑧Mitani, N., Yamaji, N. and Ma, J.F. Characterization of silicon transporters from rice and maize. Silicon in Agriculture Conference South Africa 2008. KwaZulu-Natal, South Africa. Oct. 26-31, 2008.

⑨Yamaji, N., Mitani, N. and Ma, J.F. Silicon transporters in rice. Silicon in Agriculture Conference South Africa 2008. KwaZulu-Natal, South Africa. Oct. 26-31, 2008.

⑩Ma, J. F. Influx and efflux transporters of silicon in higher plants. Final Meeting of the DFG-Priority Program 1108. "Dynamics of Plant Membrane Transport". Schlob Hirschberg, Germany, May 19-21, 2008.

⑪Ma, J. F. Transporters involved in iron acquisition and xylem loading in gramineous plants. XIV International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants. Beijing, China. Oct. 11-16, 2008.

⑫山地直樹・三谷奈見季・Xiao-Yan Xu・Steve P. McGrath・Fang-Jie Zhao・馬 建鋒:イネのヒ素吸収におけるケイ酸輸送体の関与. 日本植物生理学会年会, 札幌, 2008 年 3 月 20 日~22 日, 2008.

⑬三谷奈見季・山地直樹・馬 建鋒:トウモロコシのケイ酸トランスポーターの同定. 日本植物生理学会年会, 札幌, 2008 年 3 月 20 日~22 日, 2008.

⑭馬 建鋒:イネのケイ酸トランスポーター. 日本農芸化学会, 名古屋, 2008 年 3 月 26 日~27 日

⑮馬 建鋒・山地直樹・三谷奈見季・Fang-Jie Zhao:イネのヒ素吸収に関するトランスポーターの同定. 日本土壌肥料学会年会, 名古屋, 2008 年 9 月 9 日~13 日

⑯三谷奈見季・千葉由佳子・山地直樹・馬 建鋒:異なるイネ科植物由来のケイ酸トランスポーター特性の比較解析. 日本土壌肥料学会年会, 名古屋, 2008 年 9 月 9 日~13 日

⑰Ma, J. F., Yamaji, N., Mitani, N., Tamai, K., Konishi, S., Yano, M. Silicon transporter genes in rice. International Plant and Animal Genome

Conference XV. San Diego, USA, Jan. 13-17, 2007

⑱Ma, J. F., Yamaji, N. and Mitani, N. Silicon transporters in rice. XIV International Workshop on Plant Membrane Biology. Valencia, Spain, June 26-30, 2007. p. 139.

⑲Mitani, N. and Ma, J. F. Functional characterization of rice silicon transporter Lsi1. XIV International Workshop on Plant Membrane Biology. Valencia, Spain, June 26-30, 2007. p. 80.

⑳Yamaji, N., Mitani, N., Tamai, K. and Ma, J. F. Functional analysis of silicon efflux transporter Lsi2 in rice. XIV International Workshop on Plant Membrane Biology. Valencia, Spain, June 26-30, 2007. p. 141.

㉑Ma, J. F., Yamaji, N. and Mitani, N. A rice aquaporin functions as a silicon transporter. The 5th International Conference of Aquaporin. Nara, Japan, July 13-16, 2007. p. 46.

㉒Ma, J. F. Influx and efflux transporter genes of silicon in rice. The 5th International Symposium of Rice Functional Genomics. Tsukuba, Japan, Oct. 15-17, 2007.

㉓Ma, J. F. A unique uptake system of silicon required for high and sustainable production of rice. The University of Tokyo International Symposium, Frontier of Microbial and Plant Biotechnology in Environmental and Life Sciences. Tokyo, Dec. 5-6, 2007.

㉔三谷奈見季・山地直樹・且原真木・馬 建鋒:イネ科 NIP のケイ酸輸送特性の解析. 日本植物生理学会年会, 愛媛, 3 月 28 日-30 日, 2007. p. 102.

㉕山地直樹・三谷奈見季・馬 建鋒:イネケイ酸輸送体 Lsi6 の機能解析. 日本植物生理学会年会, 愛媛, 3 月 28 日-30 日, 2007. p. 102

㉖馬 建鋒:イネにおけるケイ素の有益性及び吸収機構に関する研究. 日本土壌肥料学会賞記念講演, 東京, 8 月 23 日, 2007

㉗三谷奈見季・山地直樹・馬 建鋒:トウモロコシ由来のケイ酸吸収遺伝子の単離と解析. 日本土壌肥料学会年会, 東京, 8 月 22 日-24 日, 2007. p. 76.

㉘馬 建鋒:植物のケイ素輸送機構. 特定領域研究「植物の養分吸収と循環系」シンポジウム, 東京大学弥生講堂, 9 月 24 日, 2007

㉙馬 建鋒:イネのケイ酸吸収を司る遺伝子の単離と解析. 「イネゲノム解読記念シンポジウム-イネゲノム解読でなにができるか?」, つくば, 3 月 22 日, 2006.

㉚Ma, J. F. : Roles of an NIP gene in silicon transporter in rice. 植物生理学会年会シンポジウム, Plant NIP-their structure function analysis and roles in plant physiology, つくば, 3 月 21 日, 2006

- ③玉井一規・小西左江子・矢野昌裕・馬建鋒：イネ新規ケイ酸吸収関連遺伝子 *Lsi2* のクローニング。日本植物生理学会，つくば，3月19-21日，2006。
- ④三谷奈見季・且原真木・馬建鋒：イネケイ酸吸収関連遺伝子 *Lsi1* の輸送特性の解析。日本土壌肥料学会年会，秋田，9月5日-7日，2006。
- ⑤山地直樹・馬建鋒：イネケイ酸吸収関連遺伝子 *Lsi2* の機能解析。日本植物生理学会年会，茨城，3月19日-21日，2006。
- ⑥山地直樹・馬建鋒：イネの根におけるケイ酸吸収関連遺伝子の分布と発現解析。日本土壌肥料学会，秋田，9月5日-7日，2006。
- ⑦Ma, J. F. Silicon requirement for rice. III Silicon in Agriculture Conference, Uberlandia Brazil, Oct. 22 - 26, 2005.
- ⑧Ma, J. F. Silicon and stress tolerance in plants. Agricultural Plant Stress Response V, Gwangju, Korea, Sept. 29, 2005.
- ⑨Ma, J. F., Tamai, K., Yamaji, N., Mitani, N., Konishi, S. and Yano, M. Isolation and functional analysis of genes controlling Si uptake in rice. 10th International Congress of SABRAO, Tsukuba, Japan, Aug. 22-23, 2005.
- ⑩Ma, J. F., Yamaji, N., Mitani, N., Tamai, K., Konishi, S., Iwashita, T. and Yano, M. Uptake and translocation of silicon in higher plants. Pacifichem, Hawaii, United State, Dec. 15-20, 2005.
- ⑪Mitani, N. and Ma, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. XV International Plant Nutrition Colloquium, Beijing, China, Sept. 14-19, 2005.
- ⑫Tamai, K., Takeoka, Y., Konishi, S., Mitani, N., Yano, M. and Ma, J. F. Isolation and characterization of novel rice mutant defective in Si uptake. III Silicon in Agriculture Conference, Uberlandia Brazil, Oct. 22 - 26, 2005.
- ⑬Mitani, N., Tamai, K., Konishi, S., Yano, M., Yamaji, N., Kyo, M. and Ma, J. F. Isolation and characterization of *Lsi1* 日本植物生理学会年会 新潟 3月24日-26日、2005
- ⑭玉井一規，武岡祐子，小西左江子，矢野昌裕，藤原徹，馬建鋒 Characterization of a novel low Si rice mutant (*lsi2*) and molecular mapping of responsible gene in rice 日本植物生理学会年会 新潟 3月24~26日、2005
- ⑮玉井一規，三谷奈見季，山地直樹，小西左江子，矢野昌裕，馬建鋒 新規イネケイ酸吸収関連遺伝子 *Lsi2* の単離と解析 日本土壌肥料学会年会 島根 9月6日-9日、2005

〔図書〕(計2件)

- ① Ma JF. (2007) Silicon uptake in different plant species. *In Handbook of Biomineralization* (Baeuerlein E. Ed), WILEY-VCH, pp, 113-124
- ② 馬建鋒. (2006) II イネのケイ酸要求性と吸収特性. イネの生産性・品質と栄養生理. 博友社 pp. 37-54

〔産業財産権〕

○出願状況(計3件)

名称：ケイ素吸収に関与する遺伝子、及びその利用

発明者：馬建鋒

権利者：同上

種類：特許

番号：2004-381899

出願年月日：2004年12月28日

国内外の別：国内外

名称：ケイ素吸収に関与する遺伝子、およびその利用

発明者：馬建鋒

権利者：同上

種類：特許

番号：2005-238030

出願年月日：

国内外の別：国内外

名称：ケイ素吸収に関与する遺伝子の利用

発明者：馬建鋒

権利者：同上

種類：特許

番号：2007-065580

出願年月日：2007年3月14日

国内外の別：国内外

〔その他〕

朝日新聞、読売新聞、山陽新聞など研究成果の報道があった。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

馬建鋒 (MA KENBOU)

岡山大学・資源生物科学研究所・教授

研究者番号：80260389

(2) 研究分担者

山地直樹 (YAMAJI NAOKI)

岡山大学・資源生物科学研究所・助教

研究者番号：00444646

(3) 連携研究者