

令和元年6月20日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02486

研究課題名(和文) 高温・高CO2登熟耐性イネの開発

研究課題名(英文) Development studies on high temperature and high CO2 tolerant rice during seed ripening stage

研究代表者

三ツ井 敏明 (MITSUI, Toshiaki)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：70183960

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、高温登熟玄米のプロテオームと澱粉グライコーム解析を行い、玄米白濁化は澱粉合成と分解のバランス異常が原因であると結論づけた。また、玄米外観品質に及ぼす強光・高CO2および高温・高CO2の影響を調べたところ、開花から登熟期初期において感受性が高いことが明らかになった。ただし、高CO2条件のみでは顕著な玄米白濁化は起こらないが、高CO2は高温ストレスを助長することが分かった。イネの高温耐性に関して鍵となる酵素としてMn型スーパーオキシドジスムターゼ(MSD1)が同定され、MSD1遺伝子の強発現により高温登熟性が改善され、一方、その発現抑制によって高温感受性が高まることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温室効果ガスCO2の濃度上昇による地球温暖化は疑う余地は無く、高温・高CO2環境による玄米品質低下への対策は農業現場で大きな課題となっている。本研究課題では、イネの高温・高CO2応答の学術的理解を進め、高温・高CO2環境に適応するイネ品種の作出技術確立することを目的とした。本研究からMn型スーパーオキシドジスムターゼ(MSD1)遺伝子の高発現が高温登熟耐性をもたらすことが明らかになった。MSD1はH2O2を生成することからH2O2のタイミング良い濃度上昇が高温耐性をもたらすと考えられた。この知見は、高温に強いイネ品種の作出のみならず、ストレス耐性向上剤の開発にも貢献するものと期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we performed proteome and starch glycome analyses of high temperature ripened brown rice, and concluded that the chalking of grain was caused by the imbalance between starch synthesis and degradation. In addition, when the effects of strong light & high CO2 concentration and high temperature & high CO2 concentration on appearance quality of rice grains were examined, the sensitivity was shown to be high in the early stage of the ripening period from flowering. However, it was found that high CO2 promotes the effects of high temperature stress, although remarkable chalkiness of brown rice does not occur only under high CO2 conditions. Mn-type superoxide dismutase (MSD1) was identified as a key enzyme involved in high temperature tolerance of rice, and it was demonstrated that high temperature ripening tolerance is improved by the constitutively high expression of MSD1 gene, while the suppression of MSD1 gene markedly enhanced the high temperature susceptibility.

研究分野：農学

キーワード：高温 高CO2 コメ品質 玄米白濁化 オルガネラゲノム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

温室効果ガス CO₂ の濃度上昇による地球温暖化は疑う余地はなく、特に夏場の異常高温の影響で、我が国の良食味米・高品質米の生産地でも一等米比率が激減する問題が生じている。特に西日本では一等米比率が低い傾向が近年続いているが、登熟期の高温による影響が大きいとされている。その被害規模は甚大で、平成 22 年の猛暑による新潟県産コシヒカリの被害額だけでもおよそ 100 億円と試算されている。一等米比率の低下は米生産農家の収入減にとどまらず、長期的には産地のブランドイメージの毀損を招きかねないことから、今後も予測される夏場の猛暑への対応は喫緊の課題となっている。

2. 研究の目的

本研究課題においては、温度、CO₂、光、湿度を制御可能な高性能閉鎖温室やバイオトロンを用いた高温・高 CO₂ 登熟性優良系統の遺伝子発現特性の解析から白濁・胴割れ米粒発生の分子メカニズムを明らかにし、高温ストレス耐性に関連する遺伝子並びに高温登熟による品質低下に関わる遺伝子を同定、単離する。さらに、単離遺伝子のコメ品質維持に対する有効性について形質転換体や突然変異体を用いて評価する。イネの高温・高 CO₂ 応答の学術的理解を進め、高温・高 CO₂ 環境に適応するイネ品種の作出技術を確認し、農業振興・国際競争力の向上に貢献する。

3. 研究の方法

1) 高温環境下における白濁米粒の発生メカニズムの解明:

玄米の白濁化・粉質化部位の澱粉顆粒構造のパターン解析は電子線マイクロアナライザー (EPMA) を用いて行った。澱粉グライコムは分子ふるいクロマトグラフィー (Hanashiro et al. *Carbohydr. Res.* 337: 1211-1215, 2002) およびキャピラリー電気泳動法 (Morell et al. *Electrophoresis* 19: 2603-2611, 1998) プロテオームは iTRAQ 標識ペプチドを nanoLC-QTL-Orbitrap XL を用いて解析した (Mitsui et al. *Frontier Plant Sci.* 4:36, 2013)。

2) 高 CO₂ 環境下における白濁米粒の発生メカニズムの解明:

新潟大学・刈羽村先端農業バイオ研究センター (<http://www.agr.niigata-u.ac.jp/~nkariwa/index.html>) に設備されている人工光・CO₂ 濃度制御型閉鎖温室 (L2.7 x W3.0 x H2.9m) を用いて玄米外観品質に及ぼす強光・高 CO₂ 濃度 (光量 800 μmol m⁻² s⁻¹・CO₂ 濃度 1600 ppmv) および高温・高 CO₂ 濃度 (温度 L30 /D25・CO₂ 濃度 1600 ppmv) のパルス処理による影響を調べた。なお、コントロール条件は光量 450 μmol m⁻² s⁻¹・温度 L26 /D23・CO₂ 濃度 400 ppmv とした。また、イネ *npp1* 変異体における光合成能は LI-6400XL を用いて解析した (Inomata et al. *Int. J. Mol. Sci.*, 19(9): 2655, 2018)。

3) 高温・高 CO₂ 登熟による品質低下に関わる遺伝子の単離・同定:

各種 α-アミラーゼアイソフォームの特異抗体を用いたイムノプロットティング (Mitsui et al. *Plant Physiol.* 110: 1395-1404, 1996) により様々な条件によって発生した白濁顆粒における α-アミラーゼアイソフォームの特異的発現を解析した。

4) 高温・高 CO₂ 登熟耐性に関連する遺伝子の単離・同定:

高温登熟性優良品種として知られている「ゆきん子舞」の登熟種子のプロテオームを 2D-PAGE 法を用いて解析し、特徴的な発現を示すタンパク質を同定した。ターゲット遺伝子を強発現 (Ubi プロモーター) あるいは RNAi 発現抑制 (Wx プロモーター) した形質転換イネを高温登熟させ、形質を解析した。

5) 高温登熟による胴割れ発生メカニズムの解明:

予備的結果から、高温ストレスによってコメが収穫後に割れてしまう胴割れ米形質に関して、母性遺伝するオルガネラゲノムの関与が示唆されたことから、種々のパーコールおよびショ糖密度勾配遠心分離によるオルガネラゲノム DNA の単離方法について検討した。

6) 高温・高 CO₂ 登熟耐性を示すコシヒカリ培養変異系統の解析:

我々が開発した細胞培養変異法により作出した高温・高 CO₂ 登熟耐性コシヒカリ NU1 号および塩耐性ゆきん子舞 YNU1 号の全ゲノム遺伝子の解読を行った。

4. 研究成果

1) 高温環境下における白濁米粒の発生メカニズムの解明:

一般圃場において高温登熟 (登熟平均気温 28.0°C) したコシヒカリ玄米の澱粉顆粒構造を電子線マイクロアナライザー (EPMA) を用いて解析したところ、澱粉顆粒は丸みを帯び、表面に多数の小穴が認められた (図 1)。このような現象は、発芽穀類種子における α-アミ

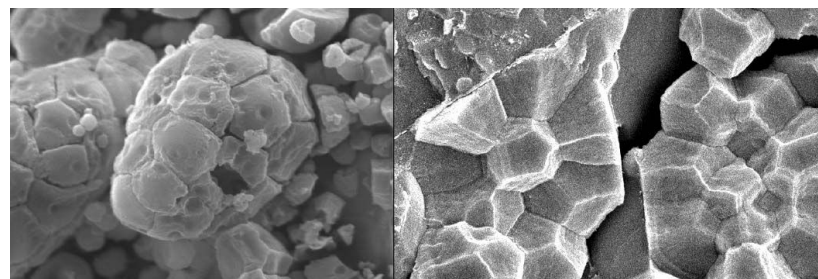


図 1 左図: 白濁粒の澱粉顆粒構造、右図: 整粒澱粉顆粒構造。倍率 10000

ラーゼによる澱粉顆粒分解様式に類似しており、さらに、グライコム解析から澱粉分子構造の顕著な変化を伴わないでグルコースやマルトオリゴ糖含量の増加が認められたことから、高温登熟による玄米白濁化の主要原因の1つが α -アミラーゼの異常な働きであることが強く示唆された。さらに、プロテオーム解析では、高温登熟で生じた白濁部位において約1,000個のタンパク質が同定され、その数%のタンパク質が整粒と比較して2倍以上の発現変動を示した。特に、白濁粒における一群の熱ショックタンパク質、乾燥ストレス応答に関わるLEAタンパク質や酸化ストレス応答関連タンパク質の顕著な増加が見られた。そして、スターチシンターゼ、澱粉枝付け酵素BEIIbの発現が減少し、 α -アミラーゼII-3の著しい発現上昇が観察された。以上の結果から、玄米白濁化は澱粉合成と分解のバランス異常が原因であると結論づけられた (Kaneko et al. *Rice*, 9: 1-16, 2016)。

2) 高CO₂環境下における白濁米粒の発生メカニズムの解明:

人工光・CO₂濃度制御型閉鎖温室(L2.7 x W3.0 x H2.9m)を用いて玄米外観品質に及ぼす強光・高CO₂濃度および高温・高CO₂濃度の影響を調べたところ、開花から登熟期初期において感受性が高いことが分かった(図2)。また、高CO₂濃度環境下のみでは顕著な玄米白濁化は起こらないが、高CO₂濃度は高温ストレスを助長することが明らかになった。

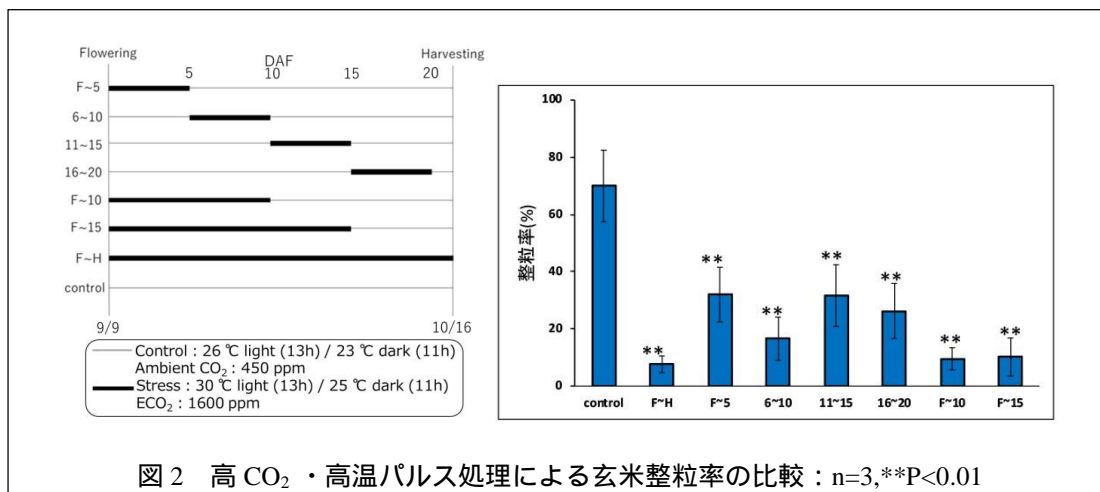


図2 高CO₂・高温パルス処理による玄米整粒率の比較: n=3, **P<0.01

加えて、イネヌクレオチドホスファターゼ/ホスホジエステラーゼ(NPP)1が、高温・高CO₂濃度環境下における光合成、澱粉・ショ糖集積および植物成長のネガティブレギュレーターとして機能することを明らかにした(図3: Inomata et al. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(9): 2655, 2018)。イネ *npp1* 機能欠如変異体においては、葉温の低下、気孔の開孔、光合成の促進、澱粉・ショ糖の蓄積増加、成長促進をもたらすが、稔実率の低下をもたらすことが明らかになった。

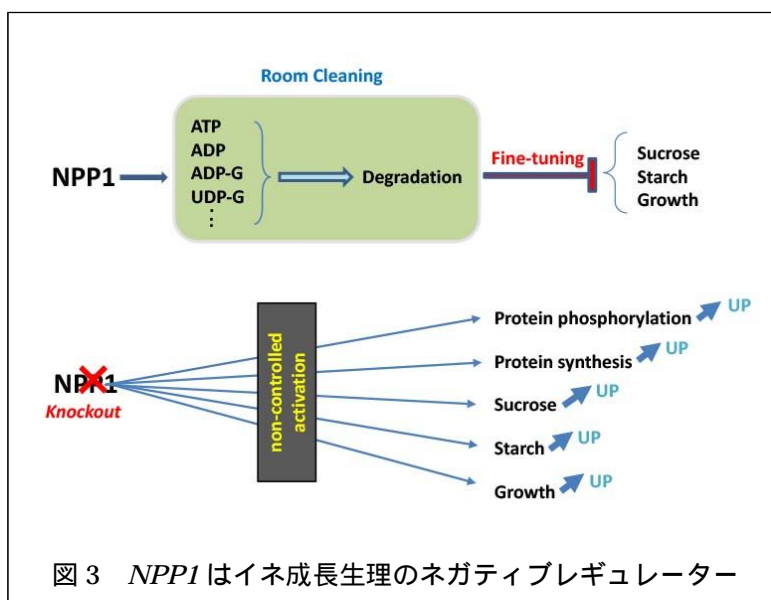
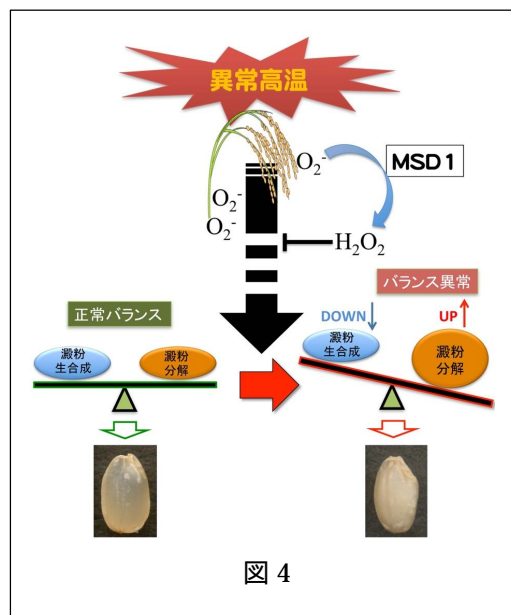


図3 NPP1はイネ成長生理のネガティブレギュレーター

3) 高温登熟による品質低下に関わる遺伝子の単離・同定:

白濁部位における α -アミラーゼタンパク質の増加は特異抗体を用いたイムノブロットングによっても確認された。興味深いことに、平温登熟と高温登熟で生じた白濁部位の α -アミラーゼアイソフォームI-1とII-3の発現パターンは異なっていた。したがって、平温登熟と高温登熟における玄米の白濁化には異なる α -アミラーゼアイソフォームが関与するものと考えられた (Kaneko et al. *Rice*, 9: 1-16, 2016)。イネの主要 α -アミラーゼアイソフォームAmyI-1については、結晶構造が解かれ、イネAmyI-1とオオムギAMY1の立体構造を用いたスーパーインポーズ分析から両者の主鎖構造の類似性が認められた一方で、イネAmyI-1の熱安定性に関与すると考えられているN-結合型糖鎖の結合部位(Asn240)の周辺の立体構造はN-結合型糖鎖を持たないオオムギAMY1とは明らかに構造的な違いがあることが明らかにされている(Mitsui et al. *Amylase*, 2: 30-38, 2018)。イネAmyII-3もN-結合型糖鎖を持たないことから、構造と機能が異なる α -アミラーゼアイソフォームが様々な玄米白濁化に関わっていることが推察された。

4) 高温登熟耐性に関連する遺伝子の単離・同定：
 高温登熟性優良品種である「ゆきん子舞」の登熟種子のプロテオーム解析から、平温・高温環境下に特徴的に発現し、生理的にストレス耐性に関わりうると推測される遺伝子として Mn 型スーパーオキシドジスムターゼ(MSD1)が見いだされた。イネ MSD1 遺伝子の過剰発現体および発現制御体を作成し、栽培、収穫された玄米品質の変化を解析した結果、MSD1 遺伝子の高発現が高温登熟耐性をもたらすことが明らかになった。MSD1 は H₂O₂ を生成することから H₂O₂ の適量でタイミング良い濃度上昇は澱粉合成・分解のバランス異常を回避するシグナルとなっていると推察した(図4: Mitsui et al. *Plant Production Science*, 19: 22-29, 2016)。



5) 高温登熟による胴割れ発生メカニズムの解明：
 受粉後 4-7 日目の期間に高温ストレスを与えると高頻度で胴割れが発生すること、そして胴割れ被害には品種間差異があり、コシヒカリは割れ易く、日本晴は割れ難いことを確認している。胴割れ発生メカニズムにオルガネラゲノムが関与することを明らかにするために、葉緑体およびミトコンドリアゲノム DNA の単離法の確立を試みた。葉緑体ゲノム DNA については液体窒素ショ糖密度勾配遠心法を改良簡易化した方法によって高度に精製し、高精度に変異を検出することに成功した(Takamatsu et al. *Frontiers in Plant Science*, 9: 266, 1-13, 2018)。オルガネラゲノム DNA の変異解析のために純度の高いオルガネラゲノム DNA の調製は極めて有効であると結論した。胴割れ発生メカニズムの解明に関する研究は引き続きオルガネラゲノムの変異解析を進めている。

6) 高温・高 CO₂ 登熟耐性を示すコシヒカリ培養変異系統の解析:

我々が開発した細胞培養変異法により作出した高温・高 CO₂ 登熟耐性コシヒカリ NU1 号(種子登録出願)の核ゲノム並びに細胞質ゲノム遺伝子の解読を行った。また、NU1 号の登熟胚乳のマイクロアレイ解析から、高温登熟による α-アミラーゼ遺伝子の発現上昇が抑制されることが分かった。高温・高 CO₂ 登熟耐性をもたらすいくつかの原因遺伝子候補についての引き続き解析を進めている。加えて、高温登熟性優良品種「ゆきん子舞」と塩耐性品種「海神」を掛け合わせ、迅速世代促進法により 4 回の戻し交配を行い、塩耐性を有する「ゆきん子舞」新系統を開発した(Rana et al. *International Journal of Molecular Science*, DOI: 10.3390/ijms2010258, 2019)。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 16 件)

1. Kinia AMEZTOY DEL AMO, Marouane BASLAM, Ángela María SANCHEZ-LOPEZ, Francisco José MUNOZ, Abdellatif BAHAJI, Goizeder ALMAGRO, Pablo GARIA-GOMEZ, Ederne BAROJA-FERNANDEZ, Nuria DE DIEGO, Jan F. HUMPLIK, Lydia UGENA, Lukáš SPICHAL, Karel DOLEZAL, Kentaro KANEKO, Toshiaki MITSUI, Francisco J. CEJUDO, Javier POZUETA-ROMERO, Plant responses to fungal volatiles involve global post-translational thiol redox proteome changes that affect photosynthesis, *Plant, Cell & Environment*, in press 査読有, 2019
2. Md Masud RANA, Takeshi TAKAMATSU, Marouane BASLAM, Kentaro KANEKO, Kimiko ITOH, Naoki HARADA, Toshie SUGIYAMA, Takayuki OHNISHI, Tetsu KINOSHITA, Hiroki TAKAGI, Toshiaki MITSUI, Salt Tolerance Improvement in Rice through Efficient SNP Marker-Assisted Selection Coupled with Speed-Breeding, *International Journal of Molecular Sciences*, 査読有, 20(10), 2585, 2019
DOI: 10.3390/ijms20102585
3. 三ツ井敏明、イネにおける澱粉代謝関連酵素の応用分子細胞生物学的研究、*応用糖質科学*、査読無、第 9 巻第 1 号、3-10、2019
ISSN:2185-6427
4. Takuya INOMATA, Marouane BASLAM, Takahiro MASUI, Tsutomu KOSHU, Takeshi TAKAMATSU, Kentaro KANEKO, Javier POZUETA-ROMERO, Toshiaki MITSUI, Proteomics Analysis Reveals Non-Controlled Activation of Photosynthesis and Protein Synthesis in a Rice npp1 Mutant under High Temperature and Elevated CO₂ Conditions, *International Journal of Molecular Sciences*, 査読有, 19(9), 2655, 2018
DOI: 10.3390/ijms19092655
5. Toshiaki MITSUI, Akihito OCHIAI, Hiromoto YAMAKAWA, Kentaro KANEKO, Aya KITAJIMA-KOGA, Marouane BASLAM, Novel molecular and cell biological insights into function of rice α-amylase, *Amylase*, 査読有, 2:30-38, 2018
DOI: 10.1515/amylase-2018-0004
6. Takeshi TAKAMATSU, Marouane BASLAM, Takuya INOMATA, Kazusato OIKAWA, Kimiko

- ITOH, Takayuki OHNISHI, Tetsu KINOSHITA, Toshiaki MITSUI, Optimized method of extracting rice chloroplast DNA for high-quality plastome resequencing and de novo assembly, *Frontiers in Plant Science*, 査読有, 9:266, 1-13, 2018
DOI : 10.3389/fpls.2018.00266
7. 三ツ井敏明・金古堅太郎・鈴木浩武・佐藤友紀・椎名将平、高温登熟による玄米の白濁化メカニズム (解説) *日本醸造協会誌*、査読無、112(5)323-329, 2017
ISSN:0914-7314
 8. Amr ELGUOSHY, Yoshitoshi HIRAO, Bo XU, Suguru SAITO, Ali F. QUADERY, Keiko YAMAMOTO, Toshiaki MITSUI, Tadashi YAMAMOTO, Identification and validation of human missing proteins and peptides in public proteome databases; Data mining strategy, *Journal of Proteome Research*, 査読有, 16(12), 4403-4414, 2017
DOI:10.1021/acs.jproteome.7b00423
 9. Kentaro KANEKO, Takeshi TAKAMATSU, Takuya INOMATA, Kazusato OIKAWA, Kimiko ITOH, Kazuko HIROSE, Maho AMANO, Shin-Ichiro NISHIMURA, Kiminori TOYOOKA, Ken MATSUOKA, Javier POZUETA-ROMERO, Toshiaki MITSUI, N-glycomic and microscopic subcellular localization analyses of NPP1, 2 and 6 strongly indicate that trans-Golgi compartments participate in the Golgi-to-plastid traffic of nucleotide pyrophosphatase/phosphodiesterases in rice, *Plant and Cell Physiology*, 査読有, 57(8), 1610-1628, 2016
DOI:10.1093/pcp/pcw089
 10. Kentaro KANEKO, Maiko SASAKI, Nanako KURIBAYASHI, Hiromu SUZUKI, Yukiko SASUGA, Takeshi SHIRAYA, Takuya INOMATA, Kimiko ITOH, Marouane BASLAM, Toshiaki MITSUI, Proteomic and glycomic characterization of rice chalky grains produced under moderate and high-temperature conditions in field system, *Rice*, 査読有, 9, 1-16, 2016
DOI:10.1186/s12284-016-0100-y
 11. Marouane BASLAM, Kazusato OIKAWA, Aya KITAJIMA-KOGA, Kentaro KANEKO, Toshiaki MITSUI, Golgi-to-plastid trafficking of proteins through secretory pathway: Insights into vesicle-mediated import toward the plastids, *Plant Signaling & Behavior*, 査読有, 11, 1-5, 2016
DOI:10.1080/15592324.2016.1221558
 12. Toshiaki MITSUI, Hiromoto YAMAKAWA, Tohru KOBATA, Molecular physiological aspects of chalking mechanism in rice grains under high-temperature stress, *Plant Production Science*, 査読有, 19, 22-29, 2016
DOI:10.1080/1343943x.2015.1128112
 13. 三ツ井敏明、高温登熟による米白濁化の分子生理機構、*化学と生物*、査読無、54 巻 254-259、2016
DOI:10.1271/kagakutoseibutsu.54.254
 14. Takeshi SHIRAYA, Taiki MORI, Tatsuya MARUYAMA, Maiko SASAKI, Takeshi TAKAMATSU, Kazusato OIKAWA, Kimiko ITOH, Kentaro KANEKO, Hiroaki ICHIKAWA Toshiaki MITSUI, Golgi/plastid-type manganese superoxide dismutase involved in heat-stress tolerance during grain filling of rice, *Plant Biotechnology Journal*, 査読有, 13(9), 1251-1263, 2015
DOI:10.1111/pbi.12314.Epub 2015 Jan 14.
 15. Shigeto ITAYAGOSHI, Seiichi MIZUSAWA, Osamu KAWAKAMI, Hiroshi SHIBUKAWA, Takeshi TAKAMATSU, Maiko SASAKI, Kentaro KANEKO, Toshiaki MITSUI, Suppressive effects of low seed-soaking temperatures on germination of long-term-stored rice seeds, *Plant Production Science*, 査読有, 18(4), 455-463, 2015
DOI:10.1326/ppp.18.455
 16. Kazusato OIKAWA, Shigeru MATSUNAGA, Shoji MANO, Maki KONDO, Kenji YAMADA, Makoto HAYASHI, Takatoshi KAGAWA, Akeo KADOTA, Wataru SAKAMOTO, Shoichi HIGASHI, Masakatsu WATANABE, Toshiaki MITSUI, Takanori IINO, Yoichiroh HOSOKAWA, Akinori SHIGEMASA and Mikio NISHIMURA, Physical interaction between peroxisomes and chloroplasts elucidated by in situ laser analysis, *Nature Plants*, 1, Article number 15035, 2015
DOI:10.1038/nplants.2015.35

[学会発表](計76件)

1. 三ツ井敏明、イネにおける澱粉代謝関連酵素の応用分子細胞生物学的研究、平成30年度日本応用糖質科学会北海道支部 シンポジウム、2019
2. Toshiaki MITSUI, Proteomic and Glycomic Characterization of Rice Chalky Grains Produced under Moderate and High-Temperature Conditions in Field System, Joint symposium of the 8th International Agriculture Congress 2018 And 6th International symposium for food & Agriculture 2018, 2018
3. Marouane BASLAM (Toshiaki MITSUI), Phytopathogens: A Good Opportunity to Improve Rice Culture Under Changing Environmental Conditions, Joint symposium of the 8th International Agriculture Congress 2018 And 6th International symposium for food & Agriculture 2018, 2018
4. Marouane BASLAM(Toshiaki MITSUI), Phytopathogens: A good opportunity to improve crops culture under changing environmental conditions, KAAB International Symposium 2018,2018

5. Md Masud RANA(Toshiaki MITSUI), Rapid improvement of salinity tolerance in an elite rice cultivar through an efficient SNP marker-aided backcrossing coupled with speed breeding technique, KAAB International Symposium 2018,2018
6. Shigeru HANAMATA(Toshiaki MITSUI), Roles of autophagy in endosperm development during rice seed maturation, KAAB International Symposium 2018,2018
7. Takeshi TAKAMATSU(Toshiaki MITSUI), Optimized method of extracting rice chloroplast DNA for high-quality plastome resequencing and de novo assembly, KAAB International Symposium 2018,2018
8. 三ツ井敏明、イネにおける澱粉代謝関連酵素の応用分子細胞生物学的研究、平成 30 年度大会(第 67 回)日本応用糖質科学会全員集会、2018
9. Takeshi TAKAMATSU(Toshiaki MITSUI), Optimized Method of Extracting Rice Chloroplast DNA for High-Quality Plastome Resequencing and de Novo Assembly, 第 16 回イネ機能ゲノミクス国際シンポジウム, 2018
10. 黒田昌治、ガイド RNA 超多重発現バイナリーベクターと高密度水耕栽培法によるコメ品質関連遺伝子のゲノム編集研究、日本育種学会第 134 回講演会、2018
11. 黒田昌治、人工気象機での多様な作物栽培に適用できる高密度水耕栽培法とそれを活用したコメのゲノム編集研究、第 41 回日本分子生物学会年会、2018
12. 三ツ井敏明、膜交通を利用したプラスチックタンパク質蓄積技術の開発: TMN1 のプラスチックターゲティング機構、日本農芸化学会 2018 年度大会、2018
13. Toshiaki MITSUI, Rice α -Amylase Involved in Grain Chalking under Heat Stress, Green for Good IV: Biotechnology of Plant Products, 2017
14. Toshiaki MITSUI, Rice transmembrane nine protein 1 is involved in membrane trafficking through secretory pathway to plastid, Plant Biology 2017, 2017

他 62 件

〔図書〕(計 3 件)

1. Abdelilaf MEDDICH, Mohamed Ait EL-MOKHTAR, Widad BOURZIK, Toshiaki MITSUI, Marouane BASLAM, Mohamed HAFIDI. Root Biology Chapter 9: Optimizing growth and tolerance of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) to drought, salinity and vascular fusarium-induced wilt (*Fusarium oxysporum*) by application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), Springer, 2018, 20
2. 三ツ井敏明・金古堅太郎・白矢武士、「米の外観品質・食味 - 最新研究と改善技術 - 」第 15 章 高温耐性イネの開発戦略 - 澱粉代謝関連酵素の細胞分子生物学の視点から - 、養賢堂、2018、14
3. Kazusato OIKAWA, Takuya INOMATA, Yoshitoshi HIRAO, Tadashi YAMAMOTO, Marouane BASLAM, Kentaro KANEKO, Toshiaki MITSUI, Plant Membrane Proteomics: Methods and protocols, Chapter 6: Proteomic analysis of rice Golgi membranes isolated by floating through discontinuous sucrose density gradient. Humana Press, New York, 2017, 15

〔産業財産権〕

○出願状況(計 1 件)

名称: イネ高効率プラスチックタンパク質蓄積技術 発明者: 三ツ井敏明 権利者: 同上
種類: 特許 番号: 2018-021212 出願年: 2018 年 国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 高橋 秀行 ローマ字氏名: (TAKAHASHI,hideyuki) 所属研究機関名: 公益財団法人岩手生物工学研究センター 部局名: 園芸資源研究部 職名: 主任研究員
研究者番号(8桁): 00455247

研究分担者氏名: 花城 勲 ローマ字氏名: (HANASHIRO,isao)
所属研究機関名: 鹿児島大学 部局名: 農水産獣医学域農学系 職名: 准教授
研究者番号(8桁): 30336325

研究分担者氏名: 黒田 昌治 ローマ字氏名: (KURODA,masaharu)
所属研究機関名: 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
部局名: 中央農業研究センター 職名: 上級研究員 研究者番号(8桁): 30355581