

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02973

研究課題名（和文）水稲の高温ストレスバイオマーカーの合成に關与する遺伝子の特定とその機能の解明

研究課題名（英文）Genetic regions for biosynthesis of biomarkers against heat stress in rice

研究代表者

中野 洋（Nakano, Hiroshi）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中日本農業研究センター・主席研究員

研究者番号：10414814

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：水稲の高温ストレスバイオマーカーの -oryzanol や phenylpropanoid glycoside の合成に關与する候補遺伝領域を絞り込んだ。また、 -oryzanol や phenylpropanoid glycoside の含有率が増加すると、玄米粒重が減少すること、すなわち、高温ストレス下でも -oryzanol や phenylpropanoid glycoside の生合成を抑えると収量が維持される可能性を見出した。このほか、国内の92品種・系統の -oryzanol と登熟気温との関係を調べたところ、 -oryzanol の含量は、特に登熟前半の最低気温と相関が高いことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水稲の高温ストレスバイオマーカーの -oryzanol や phenylpropanoid glycoside の合成に關与する候補遺伝領域を絞り込むことに成功した。今回の新たに得られた知見は、高温ストレス下でも収量が低下しない極めて画期的な水稲品種の育成に繋がると考えられる。また、 -oryzanol や phenylpropanoid glycoside は、とうもろこしや麦類といった穀類にも含まれるため、地球温暖化に適応した穀類全般の品種改良に役立つ可能性がある。

研究成果の概要（英文）：Genetic regions for biosynthesis of biomarkers against heat stress in rice were explored and the candidate regions were narrowed. Also, the concentrations of 3', 6-di-O-sinapoylsucrose, 24-methylenecycloartanyl ferulate, and total -oryzanol may be strongly correlated with grain weight reduction caused by heat stress in a japonica cultivar Koshihikari, suggesting that these concentrations may be powerful tools for improving the heat tolerance of japonica cultivars. Additionally, the concentrations of 24-methylenecycloartanyl ferulate and total -oryzanol exhibited strong positive correlations with daily minimum air temperatures during 1-15 days after heading.

研究分野：作物学

キーワード：水稲 高温ストレス バイオマーカー -oryzanol 遺伝子 収量

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化が進む中で、米の生産現場では高温ストレスにより、とうもろこしや小麦の生産現場では乾燥ストレスにより、収量や品質の低下が懸念されている。特に、世界のおよそ半数の人々が主食とする米の収量の低下は、食糧問題に直結するため、解決すべき最重要課題である。

水稻では、高温ストレスが出穂後の登熟期にかかるると、玄米品質や粒重の低下が引き起こされる。玄米品質の低下については、多くの研究者が様々な角度から研究に取り組んだ結果、耐性品種や栽培法の開発に成功し、生産現場でも品質の改善がみられるようになった。一方、玄米粒重の低下については、「タカナリ」のようなインド型品種が「コシヒカリ」のような日本型品種に比べ気温の上昇に伴う玄米粒重低下割合が小さい、すなわち、高温ストレス下においても良好な登熟を維持できるといった重要な知見が得られている。しかし、高温ストレスを受けた程度を反映する適切な指標がなく、耐性の鍵となる遺伝子の特定や耐性品種の育成は困難であった。

そこで研究代表者らは、登熟期の高温ストレス下において、「コシヒカリ」玄米中の含有率が変動する化合物（バイオマーカー、ストレスのかかり具合の指標となる化合物）の探索に取り組んだ。その結果、高温ストレス下で含有率が増加する 24-methylenecycloartanyl ferulate (2) や減少する cycloartenyl ferulate (1) (をバイオマーカーとして単離・同定する (Nakano et al., 2013) とともに、総 γ -oryzanol (1-4) も含有率が増加することが明らかになった (図 1、1-4 は γ -oryzanol)。また同様に、高温ストレス下で含有率が増加する 3',6-di-*o*-sinapoylsucrose (6) 及び 3'-*o*-sinapoyl-6-*o*-feruloylsucrose (7) や減少する 3',6-di-*o*-feruloylsucrose (8) を単離・同定した (5-8 は phenylpropanoid glycoside)。

また、高温ストレスバイオマーカーの合成に関与する遺伝子の特定に向け、「コシヒカリ」の遺伝的背景に「タカナリ」の染色体断片を導入した染色体断片置換系統 (CSSL) 及び「タカナリ」の遺伝的背景に「コシヒカリ」の染色体断片を導入した CSSL の総 γ -oryzanol (1-4) 含有率を調べた。その結果、総 γ -oryzanol (1-4) 含有率は、「コシヒカリ」の遺伝的背景に「タカナリ」の第 5 染色体遺伝子断片が導入された「SL1218」及び「SL1219」が「コシヒカリ」に比べ低いことが明らかになった (Nakano et al., 2018)。

2. 研究の目的

- (1) 総 γ -oryzanol (1-4) の合成に関与する第 5 染色体の候補遺伝子領域の絞り込みを行う。
- (2) 異なる気温で登熟した玄米における γ -oryzanol (1-4) 及び phenylpropanoid glycoside (5-8) の含有率と粒重との関係を明らかにする。
- (3) 多数品種の玄米における γ -oryzanol (1-4) の含有率と登熟気温との関係を明らかにする。
- (4) γ -oryzanol (1-4) の含有率が高い品種「モミロマン」と低い品種「タカナリ」との間の γ -oryzanol (1-4) の合成に関与する量的形質遺伝子座 (QTL) を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 第 5 染色体の総 γ -oryzanol (1-4) の合成に関与する候補遺伝子領域については、組換え固定個体の総 γ -oryzanol (1-4) の含有率及び遺伝子型の調査や、マーカーの追加により、絞り込みを進めた。

(2) 異なる気温で登熟した玄米における γ -oryzanol (1-4) 及び phenylpropanoid glycoside (5-8) の含有率と粒重との関係については、屋外型人工気象室において低温 (25.2/19.1°C、14/10hr、昼/夜)、中温 (29.7/23.2°C、14/10hr、昼/夜) 及び高温 (32.7/26.7°C、14/10hr、昼/夜) で登熟した「コシヒカリ」及び「タカナリ」の玄米に含まれる γ -oryzanol (1-4) 及び phenylpropanoid glycoside (5-8) を高速液体クロマトグラフィー (HPLC) で定量するとともに、粒重を測定することにより、明らかにしようとした。

(3) 多数品種の玄米における γ -oryzanol (1-4) の含有率と登熟気温との関係については、試験ほ場において栽培された 92 品種の玄米に含まれる γ -oryzanol (1-4) を HPLC で定量することにより、明らかにしようとした。

(4) γ -oryzanol (1-4) の含有率が高い品種「モミロマン」と低い品種「タカナリ」との間の γ -oryzanol (1-4) の合成に関与する QTL については、両者の交雑に由来する組換え自殖系統群 (RIL) を用いて解析した。

4. 研究成果

(1) 第5染色体の総 γ -oryzanol (1-4)の合成に関与する候補遺伝子領域については、組換え固定個体の総 γ -oryzanol (1-4)の含有率及び遺伝子型の調査や、マーカーの追加により、絞り込みを進めた。

(2) 高温登熟した玄米における γ -oryzanol (1-4)及び phenylpropanoid glycoside (5-8)の含有率と粒重との関係については、特に「コシヒカリ」は高温ストレスによる玄米粒重の低下に伴って 24-methylenecycloartanyl ferulate (2)、総 γ -oryzanol (1-4) 及び 3',6-di-*O*-sinapoylsucrose (6)の含有率が増加することを見だし、高温ストレスバイオマーカーの含有率と玄米粒重との間に密接な関係があることが明らかになった (図2、Nakano et al., 2021)。

(3) 多数品種の玄米における γ -oryzanol (1-4)の含有率と登熟気温との関係については、24-methylenecycloartanyl ferulate (2)及び総 γ -oryzanol (1-4)の含有率が特に出穂後1~15日間の最低気温との相関が高いことが明らかになった (図3、Nakano et al., 2022)。これまでに、白未熟粒は登熟後半の高温に比べて登熟前半の高温で発生することや、粒重は昼温に比べて夜温の上昇に伴って減少することが指摘されている。したがって、高温ストレスと γ -oryzanol (1-4)の含有率との間には、極めて密接な関係があることが明らかになった。なお、cycloartenyl ferulate (1)及び総 γ -oryzanol (1-4)の含有率は、「モミロマン」が最も高く、「北陸193号」が最も低かった。また、24-methylenecycloartanyl ferulate (2)の含有率は、「あかね空」「モミロマン」及び「やまだわら」が最も高く、「北陸193号」が最も低かった。

(4) γ -oryzanol (1-4)の含有率が高い品種「モミロマン」と低い品種「タカナリ」との間のQTLについては、cycloartenyl ferulate (1)、24-methylenecycloartanyl ferulate (2)及び総 γ -oryzanol (1-4)の合成に関与するQTLが第4、5及び11染色体に検出された (図4、Nakano et al., 2023)。cycloartenyl ferulate (1)、24-methylenecycloartanyl ferulate (2)又は総 γ -oryzanol (1-4)の含有率について、第4、5及び11染色体の「モミロマン」アレルは増加させた一方、第9染色体の「タカナリ」アレルは減少させた。

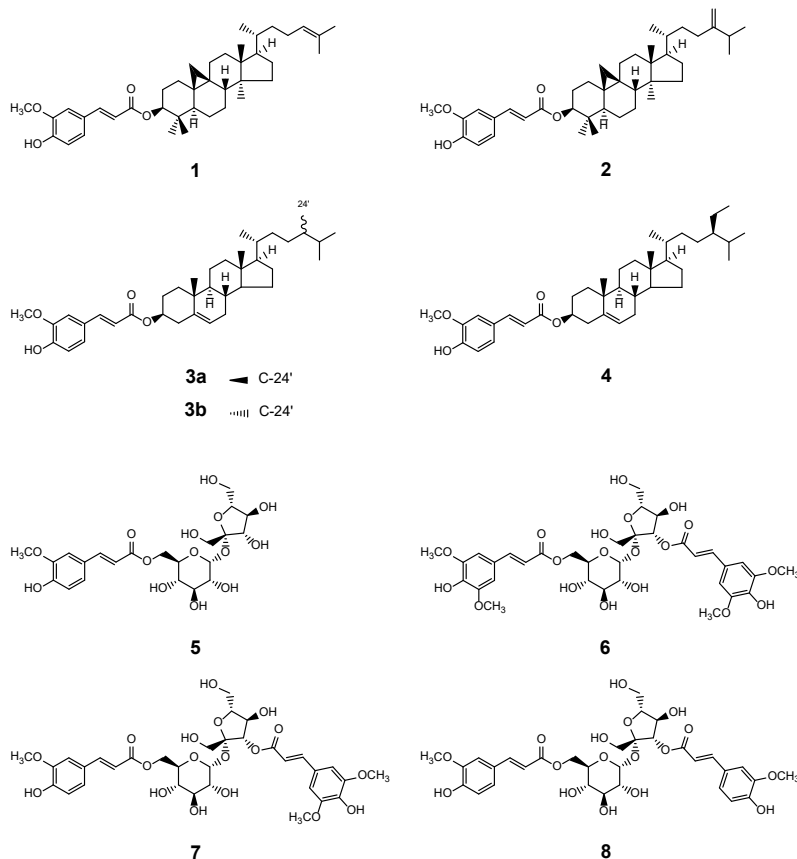


図1 cycloartenyl ferulate (1)、24-methylenecycloartanyl ferulate (2)、campesteryl ferulate (3a)、epi-campesteryl ferulate (3b)、 β -sitosteryl ferulate (4)、6-*O*-feruloylsucrose (5)、3',6-di-*O*-sinapoylsucrose (6)、3'-*O*-sinapoyl-6-*O*-feruloylsucrose (7)及び3',6-di-*O*-feruloylsucrose (8)の化学構造 (1-4は γ -oryzanol、5-8は phenylpropanoid glycoside)

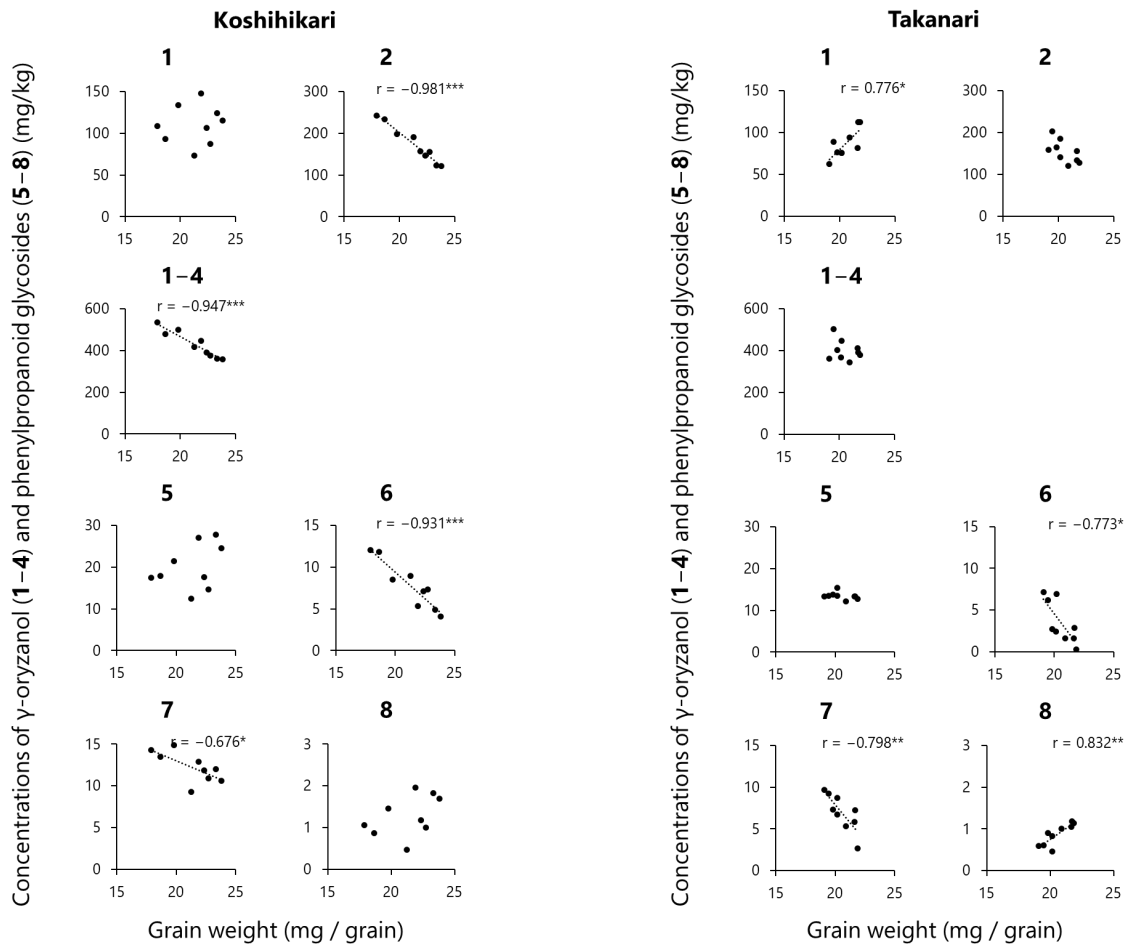


図2 「コシヒカリ」(左)及び「タカナリ」(右)の玄米における cycloartenyl ferulate (1)、24-methylenecycloartanyl ferulate (2)、総 γ -oryzanol (1-4)、6-*O*-feruloylsucrose (5)、3',6-di-*O*-sinapoylsucrose (6)、3'-*O*-sinapoyl-6-*O*-feruloylsucrose (7)及び3',6-di-*O*-feruloylsucrose (8)の含有率と粒重との関係

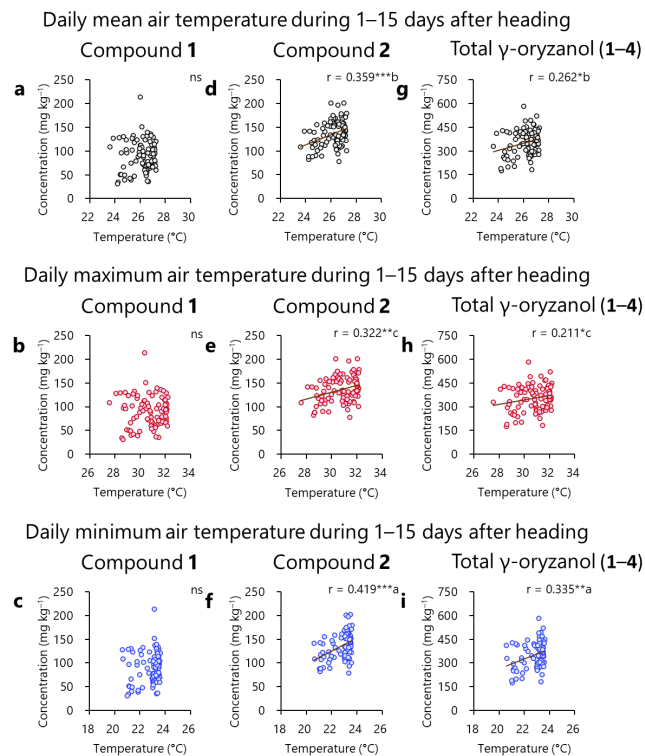


図3 多数品種の玄米における cycloartenyl ferulate (1)、24-methylenecycloartanyl ferulate (2)及び総 γ -oryzanol (1-4)の含有率と登熟気温(出穂後1~15日間、上段が平均気温、中段が最高気温、下段が最低気温)との関係

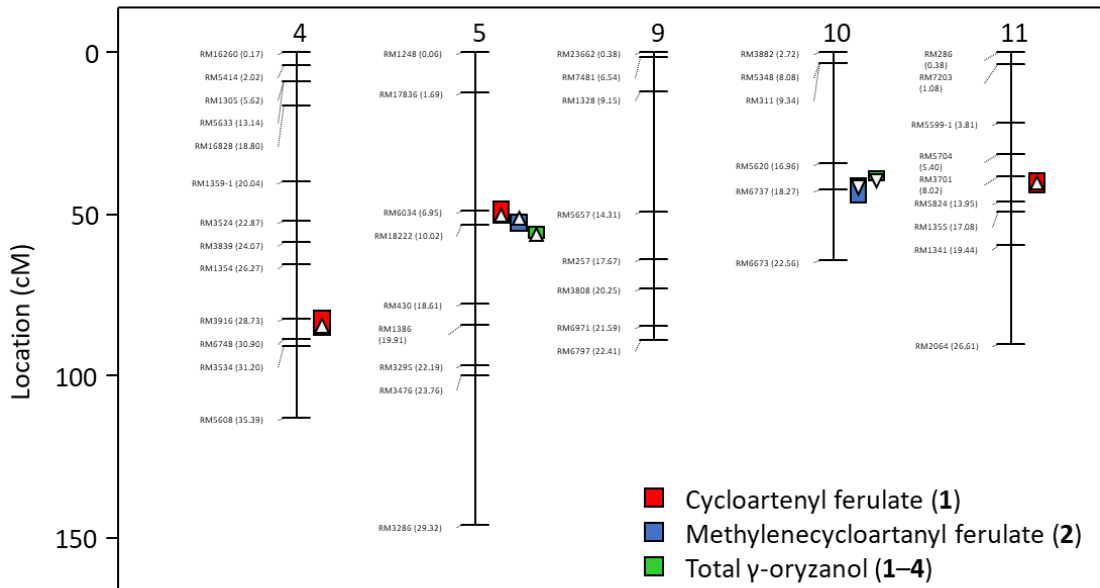
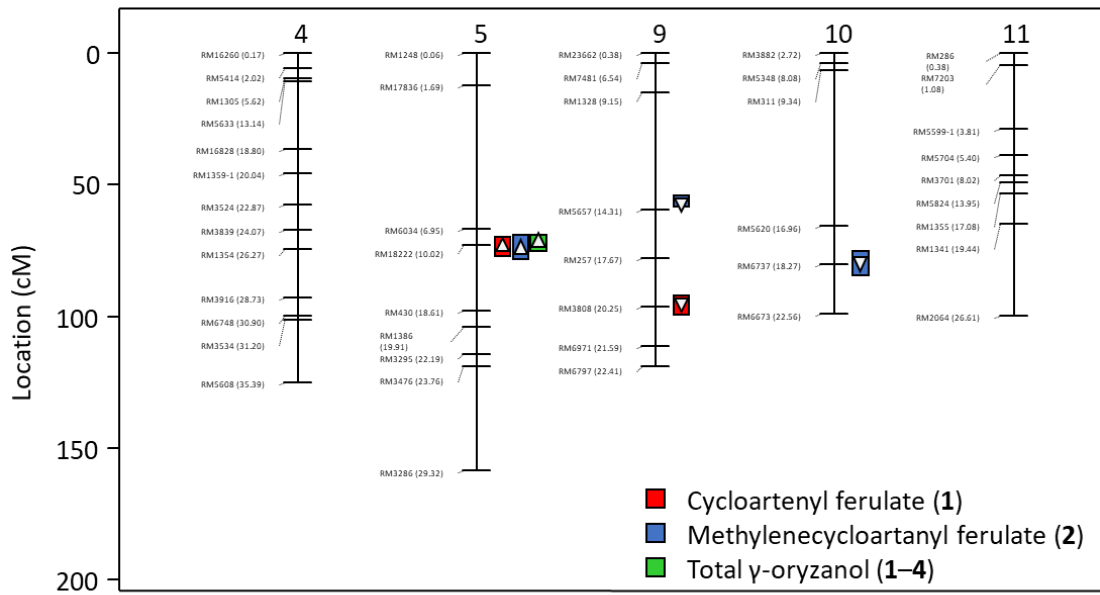


図4 「モミロマン」と「タカナリ」の交雑に由来する組換え自殖系統群 (RIL、 $F_{4,5}$ が上段、 $F_{6,7}$ が下段)の玄米における cycloartenyl ferulate (1)、24-methylene-cycloartanyl ferulate (2)及び総 γ -oryzanol (1-4)の合成に関する量的形質遺伝子座 (QTL)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Nakano Hiroshi, Iwasawa Norio, Takai Toshiyuki, Arai Sanoh Yumiko, Kondo Motohiko	4. 巻 98
2. 論文標題 Grain weight and the concentrations of phenylpropanoid glycosides and oryzanol in response to heat stress during ripening in rice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cereal Chemistry	6. 最初と最後の頁 858 ~ 865
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cche.10428	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakano Hiroshi, Yoshida Hiroe, Yabe Shiori, Fushimi Erina, Tanaka Ryo, Yamasaki Masanori, Nakagawa Hiroshi	4. 巻 99
2. 論文標題 Oryzanol concentrations in various rice genotypes ripened under different air temperatures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cereal Chemistry	6. 最初と最後の頁 1362 ~ 1372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cche.10597	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakano Hiroshi, Takai Toshiyuki, Kondo Motohiko	4. 巻 100
2. 論文標題 Identification of quantitative trait loci for oryzanol concentration using a cross between cultivars with extremely high and low oryzanol levels	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cereal Chemistry	6. 最初と最後の頁 650 ~ 662
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cche.10639	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 良 (Tanaka Ryo) (30738109)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター・研究員 (82111)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	羽方 誠 (Hakata Makoto) (80450336)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター・上級研究員 (82111)	
研究分担者	山内 歌子 (Yamauchi Utako) (00414954)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・作物研究部門・上級研究員 (82111)	
研究分担者	堀 清純 (Hori Kiyosumi) (50442827)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・作物研究部門・グループ長 (82111)	
研究分担者	松下 景 (Matsushita Kei) (90502922)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・作物研究部門・上級研究員 (82111)	
研究分担者	高井 俊之 (Takai Toshiyuki) (40547725)	国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・生産環境・畜産領域・主任研究員 (82104)	
研究分担者	繁森 英幸 (Shigemori Hideyuki) (70202108)	筑波大学・生命環境系・教授 (12102)	
研究分担者	佐藤 幹 (Sato Kan) (20250730)	東北大学・農学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	竹内 善信 (Takeuchi Yoshinobu) (10414640)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・作物研究部門・グループ長 (82111)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	杉本 和彦 (Sugimoto Kazuhiko) (50414909)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・作物研究部門・グループ長 (82111)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関