

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01457

研究課題名(和文) ソルガム子実収量の雑種強勢に機能するゲノムワイドな遺伝子ネットワークの解明

研究課題名(英文) Elucidation of genome-wide gene regulatory networks underlying the heterosis in Sorghum seed production.

研究代表者

堤 伸浩 (TSUTSUMI, NOBUHIRO)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：00202185

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,500,000円

研究成果の概要(和文)：世界五大穀物の一つであるソルガムの子実収量の向上には、他の作物と同様、雑種強勢の利用が効果的です。雑種強勢を利用による迅速かつ効率的な子実多収性品種の開発には、穂や種子の構造に関する遺伝的ネットワークの同定が大変重要ですが、近代育種の歴史が浅いソルガムにおいては、その実体がほとんど不明でした。本研究では、ソルガムの穂や種子といった、子実の構造に関連する形質の高精度な遺伝解析を行うための交雑集団やゲノムデータを整備するとともに、それらの形質に影響を及ぼす遺伝子座を網羅的に同定することに成功しました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、気候変動に起因する穀倉地帯の干ばつは深刻な問題であり、栽培に多量の水を消費するトウモロコシの代替作物として、優れた乾燥耐性を備えるソルガムが注目されつつあります。さらに、小麦食に起因した健康リスクを忌避する消費嗜好の拡大は、ソルガムの消費需要を今後飛躍的に高めることが予想され、生産量の増大を支える多収品種の開発が急務です。本研究の成果は、子実型ソルガムの飛躍的増産を可能にする多収性F1品種の迅速かつ効率的な育種システム的设计に、大きく寄与する知見です。また、ソルガムを含むイネ科作物の子実収量を規定する遺伝機構の多様性や共通性の理解に向けて、高い価値を持つものと考えられます。

研究成果の概要(英文)：The use of heterosis is effective in improving grain yield in sorghum, as in other cereals. The identification of the genome-wide gene regulatory networks underlying the spikelet- and grain-related traits is very important for the rapid and efficient development of high yielding grain sorghum varieties via the use of heterosis. However, in sorghum, which has a short history of modern breeding, these networks have remained largely unknown. In this study, we have developed the cross populations and the genome data for accurate genetic analysis of spikelet- and grain-related traits in sorghum, and succeeded in comprehensively identifying the genetic loci that regulate these traits.

研究分野：植物分子遺伝学

キーワード：ソルガム 子実収量 穂構造 小穂構造 種子構造 GWA解析 QTL解析

1. 研究開始当初の背景

世界五大穀物の一つであるソルガムは、気候変動や消費嗜好の変化を受け、トウモロコシやコムギの代替穀物として、近年その需要を高めつつあります。ソルガムにおける多収性の向上には、他の作物種と同様、雑種強勢の利用が非常に効果的であると考えられています。この雑種強勢を用いた、迅速かつ効率的な多収性 F1 品種の開発には、穂や種子の構造といった子実関連形質の制御に関わる遺伝的ネットワークの同定が大変重要です。その重要性から、これまでに、イネやコムギ、トウモロコシといったイネ科穀物では、穂や種子の構造やサイズに関する研究が数多くなされており、その制御に関わる遺伝的ネットワークの全容解明が進んでいます。しかし、近代育種の研究や歴史が浅いソルガムでは、研究開始当初、穂や種子のサイズや形態をはじめとした子実収量を規定する形質の制御に関わる遺伝的ネットワークについて、得られていた知見は非常に限定的でした。

2. 研究の目的

ソルガムを含めたイネ科穀物の収量向上を考えたとき、穂は大変重要な器官です。ソルガムの穂は、穂軸から、一次枝梗という枝を発生させたのち、そこから二次枝梗という枝を作り、子実を着けるといふ、イネの穂と類似した複雑な階層構造を示します。しかし、イネと比較し、ソルガムにおける穂や種子の形態やサイズは多様性に富んでおり(図1)、子実が稔実する場である小穂の構造についても、比較的大きな種内変異が存在します。これらの子実関連形質の制御に関わる遺伝的ネットワークの理解は、雑種強勢を利用した多収性 F1 品種の開発やデザインという観点からも、極めて有用です。そこで本研究では、独自に整備した交雑集団や、ゲノム情報を活用した遺伝解析を通じ、その遺伝的ネットワークを構成する遺伝要因の特定や、その相互関係の解明に取り組みました。

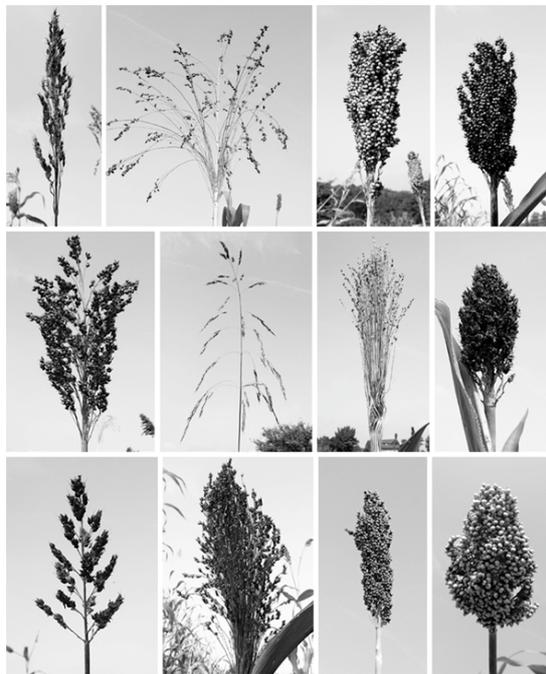


図1. ソルガム遺伝資源にみられる穂形態の多様性

3. 研究の方法

(1) 遺伝資源・交雑集団の整備とゲノムデータ・SNP情報の収集

上述した子実関連形質の遺伝解析の実施に向け、まず、約 500 系統のソルガム遺伝資源を収集しました。さらに、穂形や小穂構造、種子色・形態が異なる二品種(リファレンス品種 BTx623 と日本の在来種タカキビ)と、収集した遺伝資源について、Illumina 社の HiSeq システムを用いたゲノムリシーケンスを行い、SNP 情報収集のための基盤を整備しました。さらに、岡山大学の坂本亘教授らのグループによって整備された、BTx623 とタカキビの交雑に由来する組換え自殖系統約 200 系統について、ロングリードシーケンスと RAD-seq 法から得られたゲノム構造変異や SNPs マーカーの情報を整備しました。また、後述する小穂あたり二粒の種子を稔実させる二粒化形質の遺伝解析のため、標準的一粒系統と二粒化系統の F₂ 集団を作製した後、RAD-seq 法により、それらの SNPs マーカー情報を取得しました。

(2) 子実関連形質と培養特性の評価

上述した遺伝資源、また、組換え自殖系統について、バイオマス関連形質(稈長、草丈、節間長、節数、新鮮重、分けつ数、乾汁性、茎搾汁液糖度)や、穂構造関連形質(穂長、穂軸長、一次枝梗長、出穂期、一株穂数、穂長、穂軸長、穂軸節数、一次枝梗長・数、二次枝梗長・数、一穂粒数・着花数、稔実率、百粒重、出穂期)、小穂構成器官のサイズ、種子関連形質(子実サイズ、子実形態、子実色)などを評価しました。さらに、標準的な一粒系統と二粒化系統の交雑に由来

する F₂ 集団については、小穂あたりに稔実する種子数を評価しました。また、ソルガムにおける安定的な形質転換系の構築に向けて、各遺伝資源系統や組換え自殖系統の培養特性（胚盤由来カサの誘導効率や再分化効率）を評価しました。

(3) 子実関連形質の遺伝解析

前述した遺伝資源約 500 系統のゲノムリシーケンスデータをもとに収集したゲノムワイド SNPs マーカーと、組換え自殖系統を対象に RAD-seq 法で得られたゲノムワイド SNPs マーカーをジェノタイプデータとして、それぞれの集団を対象とした各子実関連形質の GWA 解析と QTL 解析を実施しました。

4. 研究成果

(1) 子実関連形質の制御に関わる遺伝座の特定

子実収量に大きな影響を及ぼす、穂や種子、小穂のサイズ・構造について、前述した遺伝資源集団や組換え自殖集団を用いた GWA 解析や QTL 解析を実施し、それぞれの形質の制御に関わる遺伝子座を網羅的に特定しました。特に、苞穎とその内側に含まれる小花〔護穎、内穎、鱗皮、雄蕊、および雌蕊（子房+花柱+柱頭）のセット〕の集合からなる、小穂器官の形質と種子サイズに関する QTL 解析では、無柄小穂長・無柄小穂幅・有柄小穂長・小花柄長・葯長・花柱長・柱頭長・柱頭幅・柱頭色の 9 形質について計 36 個の QTL を、子実長・子実幅・子実厚・子実長/子実幅比・子実長/子実厚比・子実幅/子実厚比の 6 形質について、計 7 個の QTL を検出することに成功しました。さらに、これらの結果を精査したところ、複数の小穂関連形質で検出された QTL には、これまで草丈を制御することが知られていた半矮性遺伝子 *Dw1* と *Dw3* が含まれており（図 2）、小穂構成器官のサイズも、この *Dw1* と *Dw3* により制御されていることが分かりました。また、第 6 染色体上に多くの小穂関連形質について共通して大きな影響力をもつ未知の QTL が存在することも判明しました。一方、イネにおいては、子実サイズが小穂サイズに制限されることが報告されていましたが、本研究による小穂構成器官のサイズと子実サイズの間には相関が見られなかったこと、またそれぞれにおいて検出された QTL が全く一致しなかったことから、少なくとも今回の QTL 解析に用いた組換え自殖集団において子実サイズは小穂サイズに制限されないことが明らかになりました。

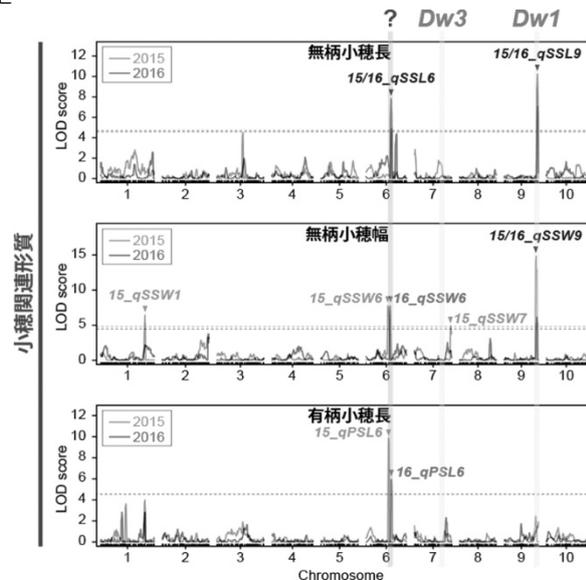


図 2. ソルガムの小穂構造関連形質における QTL 解析結果の例

縦軸は LOD score を、横軸はソルガムの染色体上の位置を表し、各パネルの縦軸上の点線は有意水準を示しています。LOD スコアがより高い領域というのは、すなわちその領域に表現型により強い影響を与える多型が存在する可能性が高いことを意味しています。第 7 染色体、および第 9 染色体長腕上には、草丈を制御することが知られている半矮性遺伝子 *Dw3* および *Dw1* が、それぞれ存在します。

(2) 子実の二粒化を引き起こす責任遺伝子の探索

各種の GWA 解析に使用した遺伝資源系統の中から、小穂あたり二粒の種子を稔実させる系統を発見しました。小穂あたりの稔実小花数の増加は直接的に種子生産数の増加につながることから、その遺伝機構の解明と応用展開を目指し、責任遺伝子の探索に取り組みました。まず、二粒化系統の小穂構造を精査したところ、標準的な一小花/小穂型系統とは異なり、小穂内に、ほぼ完全な小花セットが二つ形成されることが判明しました。さらに、標準的な一小花/小穂型系統と二粒型系統の交配に由来する F₂ 集団の作成する過程で、F₁ 系統では種子が二粒化すること、F₂ 集団における表現型は、二粒型：標準型の分離比が 3 対 1 となったことから、この二粒化形質は優性、かつ一遺伝子支配であることが示唆されました。さらに、上述の F₂ 集団を用いた QTL 解析を行い、二粒化形質の責任遺伝子が座乗している遺伝子座を特定しました。

(3) ソルガムにおける安定的な形質転換系の構築

本研究では、前述の GWA 解析や QTL 解析結果から絞り込んだ子実関連形質の制御に関わる候補遺伝子のより精密な特定や、その機能解析の可能性を見据えて、ソルガム形質転換系の確立に取り組みました。これまで、ソルガムの形質転換は、技術的難易度が高く、形質転換効率も非常

に低いことが知られていました。ただ、本研究では、前出の組換え自殖系統や遺伝資源の脱分化・再分化能力や遺伝子導入効率を網羅的に評価することで、比較的簡便な形質転換に適した系統を特定することに成功し、安定的な形質転換系の確立に筋道をつけることができました。

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクトと今後の展望

近年、気候変動に起因する世界の穀倉地帯の干ばつは深刻な問題であり、栽培に多量の水を消費するトウモロコシの代替作物として、優れた乾燥耐性を備えるソルガムが注目されつつあります。さらに、小麦食に起因した健康リスクを忌避する消費嗜好の拡大は、ソルガムの消費需要を今後飛躍的に高めることが予想され、生産量の増大を支える多収品種の開発が急務です。穂や種子、さらには、小穂の形態やサイズの制御に関わる多数の遺伝子座を同定した本研究の成果は、子実型ソルガムの飛躍的増産を可能にする多収性 F₁ 品種の迅速かつ効率的な育種システムの確立に大きく寄与する知見です。また、ソルガムを含むイネ科作物の子実収量を規定する遺伝機構の多様性や共通性の理解に向けて、高い価値を持つものと考えられます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 21件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yamazaki K, Ishimori M, Kajiya-Kanegae H, Takanashi H, Fujimoto M, Yoneda JI, Yano K, Koshiba T, Tanaka R, Iwata H, Tokunaga T, Tsutsumi N, Fujiwara T.	4. 巻 70
2. 論文標題 Effect of salt tolerance on biomass production in a large population of sorghum accessions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Breeding Sci.	6. 最初と最後の頁 早期公開
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1270/jsbbs.19009	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 Sakamoto L, Kajiya-Kanegae H, Noshita K, Takanashi H, Kobayashi M, Kudo T, Yano K, Tokunaga T, Tsutsumi N, Iwata H.	4. 巻 14
2. 論文標題 Comparison of shape quantification methods for genomic prediction, and genome-wide association study of sorghum seed morphology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0224695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0224695	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 Li F, Shimizu A, Nishio T, Tsutsumi N, Kato H.	4. 巻 9
2. 論文標題 Comparison and Characterization of Mutations Induced by Gamma-Ray and Carbon-Ion Irradiation in Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Using Whole-Genome Resequencing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 G3 (Genes, Genomes, Genetics)	6. 最初と最後の頁 3743-3751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1534/g3.119.400555	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 Yamauchi T, Tanaka A, Inahashi H, Nishizawa NK, Tsutsumi N, Inukai Y, Nakazono M.	4. 巻 116
2. 論文標題 Fine control of aerenchyma and lateral root development through AUX/IAA- and ARF-dependent auxin signaling.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. Natl. Acad. Sci. USA	6. 最初と最後の頁 20770-20775
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1907181116	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 Kazama T, Okuno M, Watari Y, Yanase S, Koizuka C, Tsuruta Y, Sugaya H, Toyoda A, Itoh T, Tsutsumi N, Toriyama K, Koizuka N, Arimura SI.	4. 巻 5
2. 論文標題 Curing cytoplasmic male sterility via TALEN-mediated mitochondrial genome editing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Plants	6. 最初と最後の頁 722-730
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41477-019-0459-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤本 優, 米丸 淳一, 堤 伸浩	4. 巻 54
2. 論文標題 ソルガムにおける茎柔組織髓化の分子メカニズム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 植物の生長調節	6. 最初と最後の頁 66-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18978/jscrp.54.1_66	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujimoto M, Sazuka T, Oda Y, Kawahigashi H, Wu J, Takanashi H, Ohnishi T, Yoneda JI, Ishimori M, Kajiya-Kanegae H, Hibara KI, Ishizuna F, Ebine K, Ueda T, Tokunaga T, Iwata H, Matsumoto T, Kasuga S, Yonemaru JI, Tsutsumi N	4. 巻 115
2. 論文標題 Transcriptional switch for programmed cell death in pith parenchyma of sorghum stems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 E8783 ~ E8792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1807501115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤本 優, 佐塚隆志, 米丸淳一, 堤 伸浩	4. 巻 77
2. 論文標題 ソルガムの茎糖液含量を規定する遺伝子	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 バイオサイエンスとインダストリー	6. 最初と最後の頁 112 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamauchi T, Abe F, Tsutsumi N, Nakazono M	4. 巻 10
2. 論文標題 Root Cortex Provides a Venue for Gas-Space Formation and Is Essential for Plant Adaptation to Waterlogging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2019.00259	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arimura SI, Yanase S, Tsutsumi N, Koizuka N	4. 巻 93
2. 論文標題 The mitochondrial genome of an asymmetrically cell-fused rapeseed, Brassica napus, containing a radish-derived cytoplasmic male sterility-associated gene	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Genes & Genetic Systems	6. 最初と最後の頁 143 ~ 148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1266/ggs.18-00005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takanashi H, Sumiyoshi H, Mogi M, Hayashi Y, Ohnishi T, Tsutsumi N	4. 巻 96
2. 論文標題 miRNAs control HAM1 functions at the single-cell-layer level and are essential for normal embryogenesis in Arabidopsis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 627 ~ 640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11103-018-0719-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arimura SI, Kurisu R, Sugaya H, Kadoya N, Tsutsumi N	4. 巻 18
2. 論文標題 Cold Treatment Induces Transient Mitochondrial Fragmentation in Arabidopsis thaliana in a Way that Requires DRP3A but not ELM1 or an ELM1-Like Homologue, ELM2	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 2161 ~ 2161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms18102161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi M, Ohyanagi H, Takanashi H, Asano S, Kudo T, Kajiya-Kanegae H, Nagano AJ, Tainaka H, Tokunaga T, Sazuka T, Iwata H, Tsutsumi N, Yano K	4. 巻 24
2. 論文標題 Heap: a highly sensitive and accurate SNP detection tool for low-coverage high-throughput sequencing data	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 DNA Research	6. 最初と最後の頁 397 ~ 405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/dnares/dsx012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagaoka N, Yamashita A, Kurisu R, Watari Y, Ishizuna F, Tsutsumi N, Ishizaki K, Kohchi T, Arimura SI.	4. 巻 7
2. 論文標題 DRP3 and ELM1 are required for mitochondrial fission in the liverwort <i>Marchantia polymorpha</i>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-04886-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamauchi T, Yoshioka M, Fukazawa A, Mori H, Nishizawa NK, Tsutsumi N, Yoshioka H, Nakazono M	4. 巻 29
2. 論文標題 An NADPH Oxidase RBOH Functions in Rice Roots during Lysigenous Aerenchyma Formation under Oxygen-Deficient Conditions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Plant Cell	6. 最初と最後の頁 775 ~ 790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1105/tpc.16.00976	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ayabe H, Kawai N, Shibamura M, Fukao Y, Fujimoto M, Tsutsumi N, Arimura SI.	4. 巻 40
2. 論文標題 FMT, a protein that affects mitochondrial distribution, interacts with translation-related proteins in <i>Arabidopsis thaliana</i> .	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Cell Rep.	6. 最初と最後の頁 327-337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00299-020-02634-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishimori M, Takanashi H, Hamazaki K, Atagi Y, Kajiya-Kanegae H, Fujimoto M, Yoneda J, Tokunaga T, Tsutsumi N, Iwata H.	4. 巻 10
2. 論文標題 Dissecting the genetic architecture of biofuel-related traits in a Sorghum breeding population	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 G3	6. 最初と最後の頁 4565-4577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1534/g3.120.401582	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arimura S, Ayabe H, Sugaya H, Okuno M, Tamura Y, Tsuruta Y, Watari Y, Yanase S, Yamauchi T, Itoh T, Toyoda A, Takanashi H, Tsutsumi N.	4. 巻 104
2. 論文標題 Targeted gene disruption of ATP synthases 6-1 and 6-2 in the mitochondrial genome of <i>Arabidopsis thaliana</i> by mitoTALENs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant J.	6. 最初と最後の頁 1459-1471
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/tpj	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishimori M, Hattori T, Yamazaki K, Takanashi H, Fujimoto M, Kajiya-Kanegae H, Yoneda J, Tokunaga T, Fujiwara T, Tsutsumi N, Iwata H.	4. 巻 70
2. 論文標題 Impacts of dominance effects on genomic prediction of sorghum hybrid performance.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Breed Sci.	6. 最初と最後の頁 605-616
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1270/jsbbs	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujimoto M, Ebine K, Nishimura K, Tsutsumi N, Ueda T.	4. 巻 117
2. 論文標題 Longin R-SNARE is retrieved from the plasma membrane by ANTH domain-containing proteins in <i>Arabidopsis</i> .	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. Natl. Acad. Sci. USA.	6. 最初と最後の頁 25150-25158.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2011152117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kajiya-Kanegae H, Takanashi H, Fujimoto M, Ishimori M, Ohnishi N, Wacera W F, Omollo EA, Kobayashi M, Yano K, Nakano M, Kozuka T, Kusaba M, Iwata H, Tsutsumi N, Sakamoto W.	4. 巻 61
2. 論文標題 RAD-seq-Based High-Density linkage Map construction and QTL mapping of biomass-related traits in Sorghum using the Japanese landrace Takakibi NOG.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol.	6. 最初と最後の頁 1262-1272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcaa056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamauchi T, Tanaka A, Tsutsumi N, Inukai Y, Nakazono M	4. 巻 9
2. 論文標題 A Role for Auxin in Ethylene-Dependent Inducible Aerenchyma Formation in Rice Roots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plants (Basel)	6. 最初と最後の頁 610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants9050610	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamauchi T, Nakazono M, Inukai Y, Tsutsumi N.	4. 巻 183
2. 論文標題 Distance-to-Time Conversion Using Gompertz Model Reveals Age-Dependent Aerenchyma Formation in Rice Roots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Physiol.	6. 最初と最後の頁 1424-1427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.20.00321	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 1件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 石森元幸, 山崎清志, 高梨秀樹, 鐘ヶ江弘美, 藤本優, 米田淳一, 徳永毅, 藤原徹, 堤伸浩, 岩田洋佳
2. 発表標題 遺伝子型×環境交互作用モデルによるソルガムのゲノミック予測
3. 学会等名 日本育種学会・第137回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 綾部弘基, 日高朋美, 田村美子, 堤伸浩, 有村慎一
2. 発表標題 植物ミトコンドリアゲノム編集の試み: mitoTALENによるシロイヌナズナNAD7遺伝子の破壊
3. 学会等名 日本育種学会・第137回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中里一星, 肥塚信也, 堤伸浩, 有村慎一
2. 発表標題 パーティクルガンを用いたミトコンドリアゲノムへの外来遺伝子導入の試み
3. 学会等名 日本育種学会・第137回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ワセラフィオナ, 藤原徹, 山崎清志, 高梨秀樹, 堤伸浩, 鐘ヶ江弘美, 坂本亘
2. 発表標題 たかきびRILのイオノームを用いたソルガム種子の元素含量に関するQTL解析
3. 学会等名 日本育種学会・第137回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鶴田遊, 菅谷元, 柳瀬俊吾, 亘悠太, 堤伸浩, 有村慎一
2. 発表標題 mitoTALEN によるミトコンドリアゲノム編集: シロイヌナズナ ATP6-1・ATP6-2 遺伝子の冗長性の解析
3. 学会等名 日本育種学会・第136回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 綾部弘基, 日高朋美, 田村美子, 堤伸浩, 有村慎一
2. 発表標題 mitoTALENによるシロイヌナズナミトコンドリアゲノムNAD7の標的遺伝子破壊
3. 学会等名 日本育種学会・第136回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 七条光年, 高梨秀樹, 藤本優, 鐘ヶ江弘美, 石森元幸, 小林正明, 矢野健太郎, 山崎清志, 藤原徹, 米田淳一, 徳永毅, 岩田洋佳, 堤伸浩
2. 発表標題 ソルガム不稔小穂の発達度合に関するGWA 解析
3. 学会等名 日本育種学会第132回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三輪幸哉, 七条光年, 高梨秀樹, 藤本優, 鐘ヶ江弘美, 石森元幸, 小林正明, 矢野健太郎, 山崎清志, 藤原徹, 米田淳一, 徳永毅, 小童谷利恵, 大西紀和, 坂本亘, 岩田洋佳, 堤伸浩
2. 発表標題 ソルガム苞穎毛の先端構造に関する遺伝子座の探索
3. 学会等名 日本育種学会第132回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂本莉沙, 藤本優, 高梨秀樹, 鐘ヶ江弘美, 野下浩司, 小林正明, 矢野健太郎, 七条光年, 小童谷利恵, 大西紀和, 堤伸浩, 坂本亘, 岩田洋佳
2. 発表標題 QTL解析に価値ある画像解析: ソルガムRIL集団の葉形態を例に
3. 学会等名 日本育種学会第132回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山内卓樹, 高梨秀樹, 藤本優, 鐘ヶ江弘美, 石森元幸, 小林正明, 矢野健太郎, 小童谷利恵, 大西紀和, 岩田洋佳, 坂本亘, 堤伸浩
2. 発表標題 ソルガム RIL 集団を用いた塩・浸透圧ストレス耐性に関する QTL 解析
3. 学会等名 日本育種学会第132回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三輪幸哉, 七条光年, 高梨秀樹, 藤本優, 鐘ヶ江弘美, 石森元幸, 矢野健太郎, 山崎清志, 藤原徹, 米田淳一, 徳永毅, 石網史子, 小童谷利恵, 大西紀和, 坂本亘, 岩田洋佳, 堤伸浩
2. 発表標題 ソルガム毛状突起の先端構造に関する遺伝子座の探索
3. 学会等名 日本育種学会第133回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村明日香, 七条光年, 三輪幸哉, 高梨秀樹, 藤本優, 鐘ヶ江弘美, 小林正明, 矢野健太郎, 小柴太一, 徳永毅, 岩田洋佳, 坂本亘, 堤伸浩 ソルガム未熟胚の培養応答性に関するGWA 解析およびQTL 解析
2. 発表標題 ソルガム未熟胚の培養応答性に関するGWA 解析およびQTL 解析
3. 学会等名 日本育種学会第133回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石森元幸, 鐘ヶ江弘美, 山崎清志, 高梨秀樹, 藤本優, 米田淳一, 徳永毅, 藤原徹, 堤伸浩, 岩田洋佳
2. 発表標題 全ゲノムSNP を用いたGWAS におけるSNP-set 解析の可能性
3. 学会等名 日本育種学会第133回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂本 莉沙, 鐘ヶ江弘美, 野下浩司, 石森元幸, 小林正明, 藤本 優, 高梨 秀樹, 永野 惇, 佐塚隆志, 矢野 健太郎, 徳永 毅, 堤 伸浩, 岩田 洋佳
2. 発表標題 輪郭形状のゲノミック予測のための定量化手法の比較
3. 学会等名 日本育種学会第133回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堤伸浩
2. 発表標題 高速ジェノタイピングによるテラーメード育種
3. 学会等名 日本育種学会第134回講演会・ワークショップ植物科学は農業生産へいかに貢献するか～植物科学のこれから～（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂本 莉沙, 藤本 優, 高梨 秀樹, 鐘ヶ江 弘美, 野下 浩司, 小林 正明, 矢野 健太郎, 小童谷 利恵, 大西 紀和, 堤 伸浩, 坂本 亘, 岩田 洋佳
2. 発表標題 Phenomics に適したQTL 解析手法の提案：ソルガムRIL 集団の葉形態を例に
3. 学会等名 日本育種学会第134回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石森 元幸, 高梨 秀樹, 藤本 優, 鐘ヶ江 弘美, 米田 淳一, 徳永 毅, 堤 伸浩, 岩田 洋佳
2. 発表標題 遺伝子型×年次交互作用モデルによるソルガムのゲノムワイド関連解析
3. 学会等名 日本育種学会第135回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内 卓樹, 中園 幹生, 堤 伸浩
2. 発表標題 多様な土壌水分環境に適応的なイネ科植物の根の解剖学的形質のモデル化
3. 学会等名 日本育種学会第135回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千々谷 涼介, 坂本 莉沙, 石森 元幸, 高梨 秀樹, Kimberly Cervantes, 永野 惇, 鐘ヶ江 弘美, L.J. Grauke, 堤 伸浩, Jennifer J. Randall, 岩田 洋佳
2. 発表標題 ビーカン遺伝資源のもつ食部形態の多様性を画像とゲノムデータをもとに解析する
3. 学会等名 日本育種学会第135回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamasaki, K., Fujimoto, M., Yoneda, J., Koshiba, T., Ishimori, M., Takanashi, H., Kajiya-Kanegae, H., Iwata, H., Tsutsumi, N., Tokunaga, T., Fujiwara, T
2. 発表標題 Large scale analysis of elemental composition in sorghum
3. 学会等名 Sorghum in the 21st Century, Cape Town, South Africa (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ishimori, M., Takanashi, H., Fujimoto, M., Kajiya-Kanegae, H., Yoneda, J., Yano, K., Tokunaga, T., Tsutsumi, N., Iwata, H
2. 発表標題 Genome-Wide association studies and genomic prediction with 3,000 biomass sorghum plants
3. 学会等名 Sorghum in the 21st Century, Cape Town, South Africa (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takanashi, H., Kajiya-Kanegae H., Ishimori, M., Yano, K., Ohnishi, N., Fujiwara, T., Iwata, H., Sakamoto, W., Tsutsumi, N
2. 発表標題 Mapping of QTLs associated with awn length in sorghum
3. 学会等名 Sorghum in the 21st Century, Cape Town, South Africa (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>世界初の植物ミトコンドリアのゲノム編集に成功 https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20190709-1.html イネの水田での生育を支える通気組織形成の仕組みを解明 https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20190924-1.html ソルガムにおける乾汁性決定遺伝子の発見～糖やエタノールの生産性向上に関わる100年来の謎を解明～ https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/2018/20180828-1.html</p>
--

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

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
---------	---------