

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05983

研究課題名（和文）高温ストレス下でも小麦粉品質低下を起こさない異種遺伝子を導入したコムギの開発

研究課題名（英文）Development of wheat with heterologous genes that do not cause flour quality loss under heat stress.

研究代表者

田中 裕之（TANAKA, Hiroyuki）

鳥取大学・農学部・准教授

研究者番号：70283976

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：高温ストレス下で栽培されたコムギは、小麦粉生地の弾力性が低下し小麦粉品質が低下する。本研究の目的は、高温ストレス下でも小麦粉品質が低下しないコムギの開発とそのメカニズムを解明することである。

スーダンの高温地帯で栽培されている複数のコムギ実用品種の中から、高温ストレス下であっても弾力性に貢献するタンパク質の発現量変動が小さく、通常条件下の場合とほぼ同程度である品種を選抜できた。また、野生種由来の高弾力性をもたらず遺伝子をコムギへ導入できた。さらに、高温ストレス下でも種子形態を維持でき、小麦粉品質への影響が大きいデンプンの量や組成が変動しない系統を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで世界には、高温ストレス下でも栽培できるコムギ品種の報告はあり、私たちも高温ストレス下でも収量の減少が僅かなコムギを育成した。しかし、通常条件下と同等の収量を維持しながら高品質な小麦粉を作る品種は現在まで皆無である。本研究で育成したコムギは、野生種に由来する遺伝子・染色体をもち、高温ストレス下で栽培された場合でも小麦粉生地の弾力性は低下せず、種子形態やデンプンの量・組成を維持できる。また本研究では人工交配によって遺伝子を導入したので、開発した育種素材は遺伝子組換え植物ではない。従って世界中で広く育種素材として利用できる。

研究成果の概要（英文）：Wheat grown under heat stress reduces the elasticity of flour dough and lowers flour quality. The objective of this study was to develop a wheat variety that does not degrade flour quality under heat stress and to elucidate its mechanism. Among several practical wheat varieties grown in the high temperature zone of Sudan, we were able to select a variety in which the variation in the expression level of proteins contributing to elasticity was small even under heat stress, and was almost the same as that under optimum conditions. In addition, we were able to introduce a gene that confers high elasticity from wild species into wheat. Furthermore, we found varieties and lines that can maintain seed morphology under heat stress and that does not change the amount or composition of starch, which has a significant impact on flour quality.

研究分野：植物遺伝育種学

キーワード：コムギ 野生種 高温ストレス 小麦粉品質

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

小麦粉の品質は、小麦粉に水を加えて捏ねるとできる特有の生地「グルテン」が持つ弾力性と粘着性によって特徴付けられる。グルテンの主要成分である種子貯蔵タンパク質 (Seed Storage Proteins, SSPs) は、弾力性をもたらすグルテニンと粘着性をもたらすグリアジンの2つに分けられ、それぞれに数百種類の SSPs が報告されている。

私たちはこれまでに、アジアのコムギ品種について SSPs の種類を調査した結果、アジア、特に日本のコムギ品種は、欧米品種と比べ弾力性を高める種類の SSPs をほとんど持っていないことが分かった。これは、日本品種がグルテンの弾力性をあまり必要としない用途として開発されてきたためである。さらに小麦粉の品質には SSPs の種類だけでなく発現量も大きく影響する。1990 年以降、Conference of Parties 会議で地球温暖化への対応が議論されると、高温ストレスによる植物の応答についても世界中で盛んに研究されるようになった。コムギではこれまでに、高温ストレス下でコムギを栽培すると、たとえ収穫できても、その小麦粉は SSPs 発現量の低下に加え、SSPs の割合が変動 (グルテニン < グリアジン) し、グルテンの弾力性は大きく損なわれ、小麦粉品質は低下することが明らかになっている。

高温ストレス下で栽培されたコムギでも、グルテンの弾力性が低下しないようにするためには、弾力性を高める種類の SSPs 遺伝子を探索し、それらを世代を経ても安定的に導入すると同時に、導入した高弾力性 SSPs を含む全 SSPs の発現量変動を極力抑える必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、私たちがこれまでに探索してコムギへ導入してきた野生種に由来する高弾力性 SSPs 遺伝子に着目する。これら高弾力性 SSPs を利用して、高温ストレス下での小麦粉品質の維持・改良とそのメカニズムの解明を以下のように進めて目指す。

- (1) 高温ストレス下でも SSPs の発現量変動が小さくグルテンの弾力性が低下しないコムギ品種を選抜する。
- (2) 野生種に由来する高弾力性 SSPs 遺伝子が座乗する野生種染色体の微小領域を (1) で選抜したコムギ品種へ導入し、コムギ細胞内で安定化する系統を開発する。
- (3) (2) で開発した系統は、高温ストレス下でも全 SSPs 発現量の変動が小さいのか？小麦粉品質が優れ高温ストレス下でも品質低下しないのか？を確認する。

3. 研究の方法

- (1) スーダンの高温地帯で栽培されている複数のコムギ実用品種に着目し、それらを栽培して種子の登熟期間中に高温ストレスを与えた。収穫後、完熟種子を製粉して小麦粉にし、そこからタンパク質を抽出した。タンパク質をゲル電気泳動法によってバンド・スポットに分離し、それらを染色した濃淡を元に発現量を測定した (図1)。

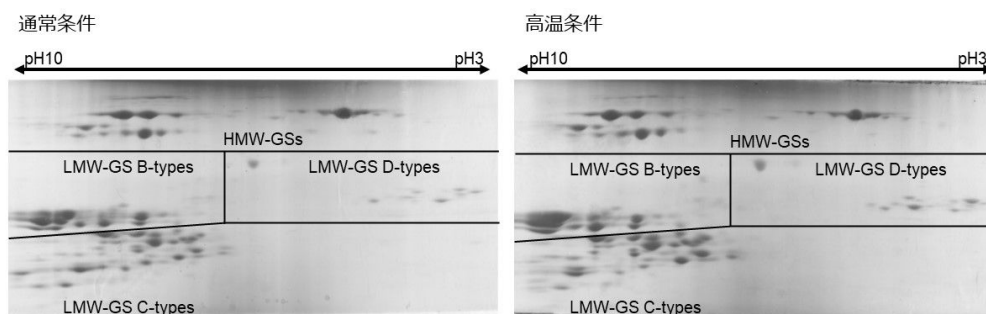


図1. 2次元電気泳動によるグルテニン発現量の通常条件と高温条件下での比較

- (2) 野生種に由来する高弾力性 SSPs 遺伝子が座乗する野生種染色体がコムギ染色体へ転座した系統を播種し、ガラス温室内で育成した。また同時期に、野生種染色体とコムギ染色体間での組換えを誘発させるコムギ系統も播種し、同様に育成した。育成中、DNA マーカーとタンパク質マーカーによって目的個体を選抜した後、これらの人工交配を行い、雑種子を収穫した。それらの雑種子を播種後、同様に育成し、次世代の種子を多く得た。これらを育成後、DNA マーカーとタンパク質マーカーによって目的個体を選抜した。
- (3) ガラス温室で育成後、選抜した各品種・系統の小麦粉 10 g を使って、小麦粉生地の弾力性を測定した。また、小麦粉生地の弾力性に関与するタンパク質以外で小麦粉品質に影響するデンプンに着目し、その量と組成を調査した。さらに、高温ストレス下での小麦粉品質維持・向上に貢献できる野生種由来の新たな遺伝子・染色体を探索することを目的として、野生種の染色体を 1 対ずつ添加したコムギ実験系統シリーズを用い、開花後の穂培養中に高温ストレスを与えた。

4. 研究成果

- (1) 高温ストレス下であってもタンパク質の発現量変動が小さく、通常条件下の場合とほぼ同程度である品種を選抜できた。また、高温ストレス下でタンパク質を高発現する品種も見出した(図2)。

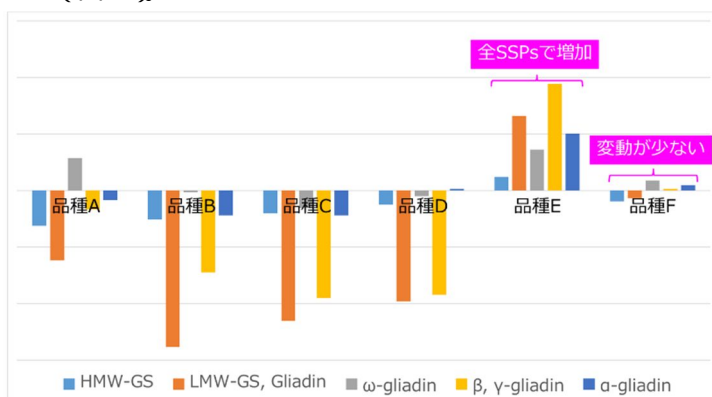


図2. 高温条件のSSPs発現量-通常条件のSSPs発現量

- (2) 野生種染色体とコムギ染色体間での組換えが期待できる系統について、高弾力性タンパク質をコードする遺伝子の遺伝子型を調査した。その結果、その遺伝子がホモ接合である個体を得ることができた(図3)。

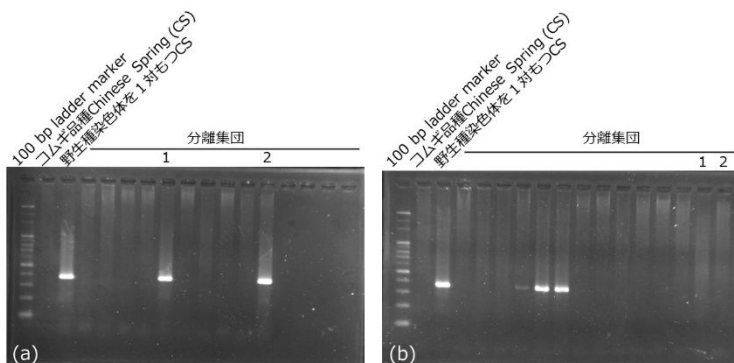


図3. 野生種染色体をもつ個体の選抜

(a)野生種染色体短腕を検出できるDNAマーカー

(b)野生種染色体長腕を検出できるDNAマーカー

分離集団中の1と2は、野生種染色体短腕をもつが、長腕をもたないことがわかる

- (3) 高温ストレス下であっても通常条件下と同程度に小麦粉生地の弾力性を維持できる品種を選抜できた。また、高温ストレス下でも小麦粉中デンプンの量や組成がほとんど変動せず、通常条件下と同程度の小麦粉品質を維持できる品種を見出すことができた。さらに、野生種の染色体を1対ずつ添加したコムギ実験系統シリーズの中に、高温ストレス下でも種子が小粒化せず、通常条件下の場合と同様、充実した種子形態を維持できる系統を見出すことができた(図4)。

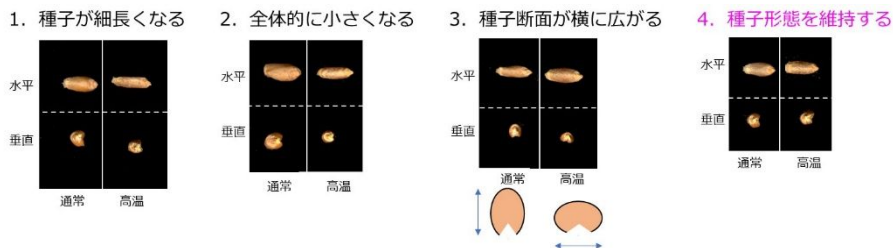


図4. 高温ストレス下で登熟させた種子の形態変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ikram Elsadig Suliman Mohamed, Haruka Oe, Nasrein Mohamed Kamal, Hala Mohammed Mustafa, Yasir Serag Alnor Gorafi, Izzat Sidahmed Ali Tahir, Hisashi Tsujimoto, Hiroyuki Tanaka	4. 巻 6
2. 論文標題 Enhancing wheat flour quality through introgression of high-molecular-weight glutenin subunits from <i>Aegilops tauschii</i> accessions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Sustainable Food Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fsufs.2022.887795	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 該当する
1. 著者名 Ikram Elsadig Suliman Mohamed, Nasrein Mohamed Kamal, Hala Mohammed Mustafa, Modather Galal Abdeldaim Abdalla, Ashraf. M. A. Elhashimi, Yasir Serag Alnor Gorafi, Izzat Sidahmed Ali Tahir, Hisashi Tsujimoto, Hiroyuki Tanaka	4. 巻 23
2. 論文標題 Identification of Glu-D1 alleles and novel marker-trait associations for flour quality and grain yield traits under heat-stress environments in wheat lines derived from diverse accessions of <i>Aegilops tauschii</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijms231912034	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 該当する
1. 著者名 Tanaka Hiroyuki, Gorafi Yasir S. A., Fujita Motohiro, Sasaki Haruka, Tahir Izzat S. A., Tsujimoto Hisashi	4. 巻 71
2. 論文標題 Expression of seed storage proteins responsible for maintaining kernel traits and wheat flour quality in common wheat under heat stress conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Breeding Science	6. 最初と最後の頁 184 ~ 192
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1270/jsbbs.20080	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 該当する
1. 著者名 Elhadi Gamila Mohamed Idris, Kamal Nasrein Mohamed, Gorafi Yasir Serag Alnor, Yamasaki Yuji, Ban Yusuke, Kato Keita, Tahir Izzat Sidahmed Ali, Ishii Takayoshi, Tanaka Hiroyuki, Tsujimoto Hisashi	4. 巻 11
2. 論文標題 Novel Loci for Kernel Hardness Appeared as a Response to Heat and Combined Heat-Drought Conditions in Wheat Harboring <i>Aegilops tauschii</i> Diversity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agronomy	6. 最初と最後の頁 1061 ~ 1061
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/agronomy11061061	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 該当する

1. 著者名 Elhadi Gamila Mohamed Idris, Kamal Nasrein Mohamed, Gorafi Yasir Serag Alnor, Yamasaki Yuji, Takata Kanenori, Tahir Izzat S. A., Itam Michel O., Tanaka Hiroyuki, Tsujimoto Hisashi	4. 巻 22
2. 論文標題 Exploitation of Tolerance of Wheat Kernel Weight and Shape-Related Traits from <i>Aegilops tauschii</i> under Heat and Combined Heat-Drought Stresses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 1830 ~ 1830
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms22041830	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 該当する

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Ikram Elsadig Suliman Mohamed, Haruka Oe, Nasrein Mohamed Kamal, Hala Mohammed Mustafa, Yasir Serag Alnor Gorafi, Izzat Sidahmed Ali Tahir, Hisashi Tsujimoto, Hiroyuki Tanaka
2. 発表標題 Introgression of high-molecular-weight glutenin subunits from <i>Aegilops tauschii</i> improved wheat flour quality
3. 学会等名 2nd International Wheat Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡保賢士, 田中悠, 田中裕之
2. 発表標題 アジアの高アミロースパンコムギが持つ可溶性デンプン合成酵素IIa型遺伝子の新規変異探索
3. 学会等名 第13回中国地域育種談話会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 妻鹿良亮, 石井孝佳, 田中裕之, 安部史高, 岡本昌憲
2. 発表標題 成熟途上種子における乾燥ストレスが及ぼす分子的影響の解析
3. 学会等名 第13回中国地域育種談話会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮本和紀, 小谷貴恵, 佐久間俊, 田中裕之
2. 発表標題 小麦粉生地を弱くするThinopyrum elongatum由来4E染色体の添加による種子貯蔵タンパク質発現への影響とコムギ-4Eロバートソン型転座染色体の開発
3. 学会等名 第12回中国地域育種談話会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小針大輔, 田中裕之
2. 発表標題 高温ストレス下のコムギ種子形態を維持するThinopyrum elongatum由来Eゲノム染色体の探索と利用
3. 学会等名 第15回中国地域育種談話会
4. 発表年 2023年

〔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

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		
スーダン	Agricultural Research Corporation		