

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05516

研究課題名（和文）温暖化環境で生じるオオムギ一株収量低下に関わる遺伝構造の解明

研究課題名（英文）Elucidation of Genetic Structure Related to Barley Yield Reduction Caused by Warming Environments

研究代表者

最相 大輔 (Saisho, Daisuke)

岡山大学・資源植物科学研究所・准教授

研究者番号：90325126

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では沖縄の高温環境を地球温暖化環境に見立てて、温暖化環境下での安定生産に必要な遺伝構造の解明に取り組んだ。国内産ビール大麦品種『はるな二条』は沖縄圃場では稔実歩合が低下し一株収量が減少する一方、オオムギ遺伝資源には稔実歩合に幅広い種内変異があることから、『はるな二条』背景のCSSLsを材料に『はるな二条』の稔実歩合を低下させる遺伝構造の解明に取り組み、稔実歩合を改善するQTLを1つ見出した。沖縄における収量性試験を実施した結果、選抜したNILは沖縄圃場では『はるな二条』に対して子実収量が増加した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で同定したQTLは糸満環境で特異的に生じる不稔を回復する効果を持つが、倉敷環境では稔性に影響しないことから、日本産ビール大麦（はるな二条）の遺伝背景が亜熱帯環境（糸満圃場）との相互作用によって生じる一株収量低下の遺伝的メカニズムを紐解く扉を拓き、温暖化に対してオオムギ自然変異を育種的に活用する成果となる可能性がある。今後、土壌移動と人工気象環境を組み合わせ、より安定して対象形質が発現する実験系を確立し、原因遺伝子の絞り込みを進め、糸満圃場で稔実歩合が低下するメカニズムの理解を深め、高温環境下でも1株収量を低下させない育種素材として利用拡大を図る。

研究成果の概要（英文）：In this project, we utilized the high-temperature environment of Okinawa as a model for global warming conditions to elucidate the genetic structures necessary for stable production under a warming climate. The Japanese malting barley variety "Haruna Nijo" exhibits a reduced seed-setting rate and decreased yield per plant in Okinawa fields. However, there is wide natural variation in seed-setting rates among barley germplasm. Using CSSLs backcrossed by "Haruna Nijo", we aimed to identify the genetic structures that reduce the seed-setting rate of "Haruna Nijo" and successfully identified one QTL that improves this trait. Yield tests conducted in Okinawa showed that the selected NILs had an increased grain yield compared to "Haruna Nijo" in the Okinawa fields.

研究分野：植物遺伝育種学

キーワード：オオムギ 温暖化 収量

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化は生活環全体にわたって植物の生長に影響を及ぼす。作物生産はその影響を受けやすく、定量的な影響予測が数多く実施され概ね深刻な影響を及ぼすことで一致している。ムギ類生産に及ぼす地球温暖化の影響は、作物モデルを使った温暖化影響予測研究を通して幅広く評価され、一様に減収が予測されている(Barlow et al. 2015, Xie et al. 2018 等)。作物モデルに基づく研究では一部の生理機能への温暖化の影響は考慮されているが、応答性の可塑性や品種変異などは殆ど考慮されておらず、圃場環境での実証的な研究も十分ではない。

高温応答に關与する遺伝子機能については、シロイヌナズナの温度形態形成を中心に理解が進んでいるが、主に人工環境下での応答を観測しており、野外環境で十分評価されているとは言い難く、作物の収量に対する影響を説明するには至っていない(Lippmann et al. 2019)。また、特にムギ類では、生理学的な知見に比べて遺伝学的な知見は乏しく、温暖化による減収の原因となる遺伝子についてほとんど明らかにされていない。収量性は、それ自体が量的遺伝を示し且つ環境の影響も大きい複雑な形質である。オオムギでは用途毎に品種の遺伝背景が分化しており、特定の形質を育種的に改変するためには遺伝背景に応じて適切な遺伝子型を選択する必要がある(Kawai et al. 2020)。

量的遺伝を示す形質の遺伝解析には染色体部分置換系統群(CSSLs)の利用が有効である。これらを多様な圃場環境(地点や年次)で評価することで、育種的な利用可能性が検証できる。一方、温暖化の影響は予測研究が主体で、温暖化対応を目的とした遺伝育種研究では、実環境による実証的な栽培実験の実施がネックとなる。

2. 研究の目的

地球温暖化予測情報第9巻によると、最もシビアなシナリオの下では今世紀末の国内オオムギ栽培地の年平均気温は7℃近く上昇することが予想されている(気象庁2017)。オオムギ生育期間の沖縄は、岡山と比較して月平均気温で10℃前後の気温差があることから、本申請課題では沖縄の高温環境を地球温暖化環境に見立てて、**温暖化環境下での安定生産に必要な遺伝構造の解明**を目的とした。沖縄圃場を使って温暖化応答の遺伝解析を実施することにより、これまでに指摘されている圃場環境における温暖化の実証的評価の不足を補う。

研究代表者は、研究開始前に実施した亜熱帯気候に属する沖縄環境での栽培実験を通して、沖縄環境が国内産ビール大麦品種『はるな二条』の1株収量を低下させることを見出した。本申請課題では『はるな二条』背景のCSSLsを材料に『はるな二条』の**稔実歩合を低下させる遺伝構造の理解**に取り組んだ。

3. 研究の方法

課題(1) 稔実歩合を回復するNILの選抜と原因遺伝子マッピング

小課題 : NIL選抜と原因ゲノム領域の同定

『はるな二条』の遺伝背景に『早木曾2号』の染色体断片を導入したCSSLsを倉敷、糸満の各実験圃場で栽培して、糸満圃場での稔実歩合が回復する系統をNILとして選抜する。同時にCSSLsでのマッピングを行い、原因ゲノム領域の特定を試みる。

小課題 : トランスクリプトーム解析による花粉発生時の発現変動遺伝子の探索

課題2で花粉形成過程の影響が確認できたら、課題1で選抜したNILの『早木曾2号』染色体断片と、課題2で得られる差次的発現を示す遺伝子群とを照合して候補となる原因遺伝子を抽出する。

課題(2) 花粉発達過程の機能解析

小課題 : 人工気象環境下での花粉発達過程の影響評価

Sakata et al. (2010)を参考に人工気象条件下での高温処理栽培系を使って、『はるな二条』と課題1で選抜するNILの高温処理での花粉形成過程の影響やオーキシン添加の効果を検証する。花粉発達過程に違いがない場合は、受粉過程や減数分裂に解析対象を広げる。

小課題 : トランスクリプトーム解析による花粉発生時の発現変動遺伝子の探索

『はるな二条』と課題1で選抜したNILの花粉発生過程の時系列RNA seq解析により、NILで差次的発現を示す遺伝子群を同定する。同定した遺伝子群の情報は課題1に活用する。

課題(3) 一株収量の改変

小課題 : 圃場収量性試験

『はるな二条』と課題1で選抜したNILを、倉敷、糸満の各実験圃場で栽培し、収量性や農業特性の改変程度を明らかにする。栽培試験は2シーズンにわたって、坪刈り試験によって実施する。

4. 研究成果

課題(1) 稔実歩合を回復するNILの選抜と原因遺伝子マッピング

稔実歩合の回復に関わるQTLの一つを2HL染色体の4.8cMの領域に見出した(図1)。

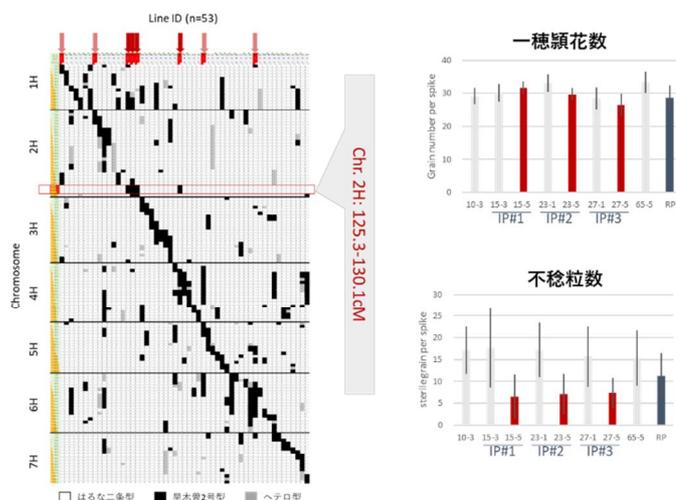


図1.糸満圃場での一穂当たり粒数を回復させるQTL検出

(左) CSSL集団のgraphical genotype. 赤矢印は一穂粒数が回復した系統を表す。
(右) 同一のB3F1個体由来する2H QTLの同質遺伝子系統対 (TP#1~#3) における一穂辺り不稔粒数の比較

CSSL 集団の中から、約 8 Mb の染色体断片を共有する 3 系統を NIL 候補として選抜し、以降の課題に供試した。現在、これらの NILs と『はるな二条』の交配に由来する F2 集団を育成し、原因遺伝子の精密マッピングに取り組んでいる。

課題(2) 花粉発達過程の機能解析

糸満圃場にて『はるな二条』の開花前後の生長を幾つかのステージに分けて器官ごとのサンプルを取得して形態等を詳細に観察したところ、稔実歩合の低下と関連する発生的な違いは見いだされなかった(図2)。



図2. 糸満圃場での受粉から登熟の過程

(左) 出穂期の発達過程
(右) 可稔粒(上)および不稔粒(下)における花粉および胚乳発達と比較

Sakata et al. (2010)は、5葉期以降の一過的な高温処理が葯の発達不全を引き起こし、正常な花粉の形成が阻害されることを報告している。糸満圃場で生じる不稔では同様の発達障害は認められなかった。そのため、糸満環境で生じる不稔と Sakata et al. (2010)との関連は不明である。

本研究で使用した糸満圃場の土壌は pH が 8 程度のアルカリ性であり、倉敷圃場 (pH < 6.0) とは大きく異なることから、2 地点の環境の違いは少なくとも、気温と土壌の 2 つの要因が関係していることが考えられた。これらの相互作用が、Sakata et al. (2010) で報告された高温処理による葯の発達阻害を緩和するのか？など、種々の可能性が考えられたことから、糸満圃場の土壌を使って倉敷環境で栽培することにより、環境要因の寄与について検討した。

倉敷市で実施した土壌移動実験により、糸満圃場での稔実歩合の低下が部分的に再現されることを確認した (図 3)

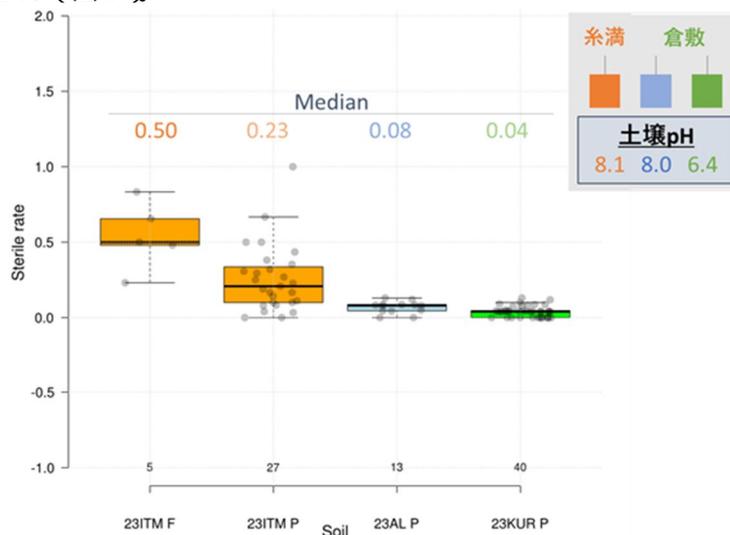


図 3. 土壌移植実験によるはるな二条の不稔発生の再現

23ITM F; 糸満圃場, 23ITM P; 糸満土壌を使った倉敷での鉢植, 23AL P; pH を改変した倉敷土壌を使った鉢植, 23KUR P; 倉敷土壌を使った鉢植. 右上は 3 種の土壌 pH を示す.

1 年だけの結果だが、糸満圃場の気温と土壌の双方が『はるな二条』の不稔発生に関わっている可能性が示されたことから、研究期間中には実現に至らなかった人工気象機での不稔発環境の再現を精緻に進めて、受粉から登熟にかけての発達過程において課題 (1) で同定した QTL の機能について理解を深める必要がある。

課題 (3) 一株収量の改変

糸満および倉敷圃場において、試験設計を統一して収量性試験を実施した結果、選抜した NIL は糸満圃場では『はるな二条』に対して子実収量が増加した (図 4)

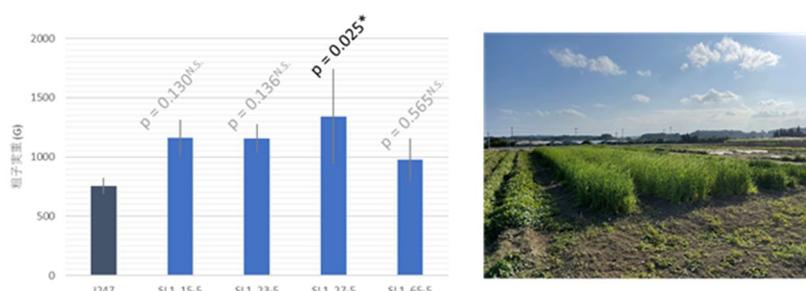


図 4. 沖縄圃場における子実収量

(左) p 値は Dunnett 検定による「はるな二条」 (J247) との有意確率を表す. (右) 糸満市の生産力試験圃場 (2024 年 2 月 13 日撮影)

今後、土壌移動と人工気象環境を組み合わせ、より安定して対象形質が発現する実験系を確立し、原因遺伝子の絞り込みを進め、糸満圃場で稔実歩合が低下するメカニズムの理解を深める。また選抜した NIL の品種登録を進め、高温環境下でも 1 株収量を低下させない育種素材として利用拡大を図る。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Abiko Tomomi, Todoroki Takatomo, Pham Thi Thanh Huyen, Nakamura Tetsuhiro, Haraguchi Yuhi, Tanaka Tsuyoshi, Saisho Daisuke, Kai Hiroomi	4. 巻 26
2. 論文標題 Barley varieties tolerant to waterlogged reduced soil show the better root growth in hypoxia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Plant Production Science	6. 最初と最後の頁 429 ~ 439
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/1343943x.2023.2246215	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4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 最相大輔, 岡田吉弘
2. 発表標題 温暖化環境で生じるオオムギ一穂粒数低下に関わるQTLの検出
3. 学会等名 日本育種学会第143回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Saisho D, Okada Y.
2. 発表標題 Empirical genetic research for sustainable barley production under warming environment.
3. 学会等名 The 3rd International Barley Mutant Conference (国際学会)
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
研究分担者	岡田 吉弘 (Okada Yoshihiro) (70391456)	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)	

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