

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450017

研究課題名(和文) 子実への転流活性に着目したコムギおよびダイズの早魃抵抗性の改善

研究課題名(英文) Drought tolerance improvements through remobilization activities in wheat and soybean

研究代表者

柏木 純一 (Kashiwagi, Junichi)

北海道大学・(連合)農学研究科(研究院)・講師

研究者番号：60532455

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：作物の早魃抵抗性を改善するために、収穫部位の温度が、子実への同化産物の転流におよぼす影響について調査した。土壌乾燥環境下におけるコムギの子実発達には、系統間差が認められ、子実生長が大きい系統(SW-15)と小さい系統(SW10)を特定した。子実の貯蔵糖類を調査した結果、SW10の子実は、ショ糖含有率が、SW15よりも大きいことが示された。これは、SW10ではデンプン合成が十分に行われていないことを示唆している。そして、穂温には両系統間で差異が認められ、SW10の穂温は、SW15よりも高かった。この穂温の差異が、デンプン合成・分解酵素活性に影響して、子実生長に差異が生じた可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to improve the drought tolerance of food crops through the remobilization under drought conditions. In wheat, a unique genotype (SW15) was identified. It could develop the grains relatively well under drought environments compared to the other genotypes. Maintaining the wheat ear temperature could be one of the important traits relating to better remobilization ability which SW15 showed.

研究分野：作物学

キーワード：乾燥抵抗性 コムギ 転流 穂温

1. 研究開始当初の背景

地球規模での気候変動により、近年は乾燥地域が拡大するとともに、穀倉地帯において早魃が頻発している。大規模な早魃による主要な食用作物の生産量の予期せぬ低下は、世界的に取引価格の上昇をもたらし、深刻な影響を世界経済に及ぼすことが考えられる。したがって、重要な食用作物の早魃抵抗性の改善は、世界の食料安全保障の上で極めて重要な課題である。

早魃環境下において、一般的に収量ポテンシャルが高いと考えられる十分な生育期間を有する品種・系統は、生育の進行に伴い土壤水分が枯渇するため、開花後の生殖生長期に強い水ストレスに曝される。そのような環境では、植物は細胞内の水分保持のために、気孔を閉鎖して、蒸散による体内水分の損失を抑えることにより対応している。しかし、このために、植物体の温度が上昇することが指摘されている。

作物の子実収量を決定する主要因の一つとして、茎葉に蓄積された同化産物の子実への転流が挙げられる。茎葉に蓄積された同化産物の子実への転流の主動力は、茎葉と子実との可溶性糖類(ショ糖)濃度勾配であり、子実でのショ糖濃度が低いことにより活発な転流が生じる。したがって、子実のショ糖をデンプンとして合成・蓄積することが重要である。これらに関連する酵素の活性は、温度による影響を受けるが、早魃環境下においても、収穫部位(穂や莢など)の蒸散を維持して、子実の温度を適正に保つことができれば、関連する酵素は、正常な働きを維持することができると考えられる。

これらのことより、早魃環境下における作物の収量を安定化させるうえで、同化産物の転流のメカニズムの解明が重要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、主要な食用作物(コムギ、ダイズ)の早魃抵抗性を改善するために、収穫部位の温度が、子実への同化産物の転流におよぼす影響について調査することである。

3. 研究の方法

実験は、北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの附属農場で行った。早魃環境を作出するために、降雨の影響を排除できるビニールハウスを圃場に設置し、この内でコムギを、また常設ガラス温室内でダイズを栽培した。

実験には、世界の多様な6倍体コムギ(Cham-6, SW-10, SW-15, SW-20: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) 育成, シリア; 春よ恋, はるきらり, さぬきの夢 2000, 農林 61 号, にしほなみ: 日本育成), 4倍体コムギ(Cham-1: ICARDA, シリア育成; ET-23: エチオピア育成)を供試した。また、ダイズについては、196系統よ

りなるミニコアコレクションから選んだ72系統に加えて、日本の10系統を供試した。コムギについては、2013年、2014年および2015年にビニールハウス内の実験圃場に、保水力の低い黒砂土を30cmの高さで客土して、土壤乾燥が生じ易いように改造した実験圃場で、栽培試験を行った。ここで、出芽後も定期的に灌水栽培を行う灌水區、および出芽後は灌水を行わない土壤乾燥區の2処理を設けてコムギを栽培した。各処理區には、土壤水分センサーを設置して、土壤水分含有率(v/v)の経時変化を測定した。出穂期、登熟期などを記録するとともに、定期的に、地上部をサンプリングして、部位別の乾物重を測定した。そして収穫期には、収量調査を行った。また、ポット(直径:21.3cm x 高さ:22.4cm)でも、各系統を8個体の栽植密度で栽培した。これらは、出穂期までは十分に灌水を行って、健全な個体を確保した。そして、出穂直後に灌水を停止することで、短期間に強い土壤乾燥ストレスを与えた土壤乾燥區と、出穂後も十分な灌水を行った灌水區の2処理を設けた。開花0日後から開花25日後(完熟期)まで、5日ごとにサーモグラフィを用いて穂温を測定した。これと同時に植物体を収穫して、部位別乾物重および子実重を調査した。また、収穫後の子実の一部は凍結保存して、酵素法によるUV吸収法を用いて、子実中に含まれるデンプン、ショ糖、麦芽糖、グルコースを定量した。

ダイズについては、2014年に温室内で水耕栽培試験を行った。試験開始から3週間後に植物体を収穫して、地上部と根系に切り分けた。根系については、デジタル画像解析システムを用いて、主根と側根の長さを測定した後、地上部とともに乾物重を記録した。これらの結果に基づいて、特徴的な根系形態を有する10系統を選抜した(Fendou-16, RINGGIT, 鳥豆 K-099, 国府7号, 青黄豆 PEKING, JAVA-5, HTAI, HM-39)。これらの選抜系統について、さらに水耕栽培を行い、主根型(最長根長が大きく、総根長が小さい)として、Fendou-16, RINGGITの2系統を、側根型(最長根長が小さく、総根長が大きい)として、K-099, 国府7号の2系統を選抜した。これら4系統について、一面をアクリル板(縦:90cm x 横:56cm)とした根箱に土壤を充填して栽培した。さらに、土壤を充填した高さ50cmの塩ビ管(直径:13cm)を用いて、これらの系統を栽培した。そして、土壤水分を一定に保つ灌水區と、灌水量を制限することで、土壤乾燥ストレスを作出する土壤乾燥處理區の2処理を設けた。そして、塩ビ管の重量を経時的に調査することにより、土壤ストレス環境下における系統間の蒸散量の差異について調査した。

4. 研究成果

(1) ハウス内圃場における灌水処理により、処理区間の土壤水分含有率には明瞭な差異

が認められた。灌水処理区では、生育期間を通じて、緩やかに土壌水分含有率が減少していた。一方、乾燥処理区では、開花始期（播種後 43 日頃）から、60cm の深さまでの土壌主水分含有率が急激に減少した。そして、深さ 100cm の土壌における土壌水分含有率も、緩やかに減少し始めた。このことより、本試験では、圃場栽培したコムギにおいて、開花期以降の生殖生長期に強い土壌水分ストレスがかかったものと考えられた。

コムギの生長(全乾物重)および子実生長(粒重)には、系統間差異が認められた。灌水区においては、'はるきらり'が最も大きな地上部生長を示した。子実生長においては、4 倍体の Cham-1 が全系統中で最も大きく、6 倍体コムギの中では、SW-15 が最も大きかった。土壌乾燥処理区においては、ICARDA 育成の SW-20 が最も大きな地上部生長を示した。また子実生長においても、ICARDA で育成された SW-15 が、他系統よりも大きな子実を形成していた(図 1)。

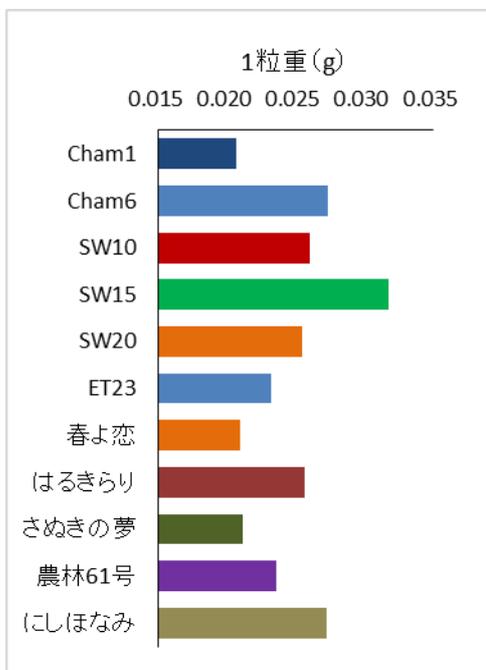


図 1 圃場試験での土壌乾燥処理区におけるコムギの子実重の系統間差異

(2) ポットで栽培したコムギにおいて、供試したいずれの系統においても、灌水停止からおよそ 15 日迄には、ポット重がほぼ一定となり、全ての土壌水分を使い切っていたことが示唆された。そして、土壌乾燥処理区における蒸散量には、系統間差異が認められ、全系統中で SW-15 が最も大きな蒸散量を示した。

また、土壌乾燥処理区における子実生長にも、系統間差が認められた。これにより、最終的に収穫時の子実重量が、系統間で異なった。土壌乾燥環境下における、子実生長に対する

育成地の栽培環境の影響は明確ではなかった。すなわち、降水量が少なく乾燥した環境であるシリア育成の系統が、湿潤な環境である日本育成の系統よりも、常に大きな子実生長を示したわけではなかった。しかし、同じシリア地域育成の系統間において、子実生長には系統間差異が認められ、子実生長が大きい系統(SW-15)と小さい系統(SW-10)の存在を発見した(図 2)。

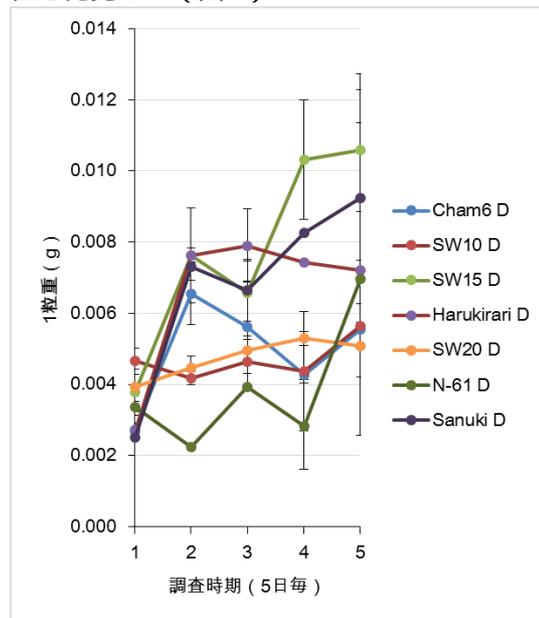


図 2 ポット栽培における土壌乾燥条件下のコムギの子実生長の経時変化

(3) 同一地域で育成されたにもかかわらず、土壌乾燥環境下における子実生長が異なった SW-10 と SW-15 に着目して、子実の貯蔵糖類を調査した。その結果、開花 20 日後の子実において、SW-10 ではショ糖含有率が、SW-15 よりも 1.3 倍程度大きいことが示された。このことは、SW-10 では、子実におけるデンプン合成が、SW-15 と比べて十分に行われていないことを示唆している。

さらに、サーモグラフィーによる穂温測定の結果、SW-10 の穂温は、登熟初期の期間中に常に SW-15 よりも高いことが示された(写真 1)。この穂温の系統間差異が、デンプン合成あるいはデンプン分解酵素活性に影響して、SW-10 においては、デンプン合成が十分に行われず、これにより両系統の子実生長に差異が生じた可能性が示唆された。この原因として、SW-10 の根系は、根の吸水能力が SW-15 よりも低く、また登熟初期の土壌乾燥環境において、根の吸水能力の低下が大きかったため、SW-15 と比較して土壌水分の吸収が乏しかったことが推察された。これにより、SW-10 では、SW-15 よりも植物体が強い水ストレス状態となり、これを回避するために気孔コンダクタンスが低下したために、穂温が高くなったものと推察された。

(4) アクリル板を通じて観察された4系統のダイズの根系分布は、水耕栽培で得られた根系の形態的特性と一致し、Fendou-16, RINGGITは主根型の、一方K-099, 国府7号は側根型の特徴を示した。これは、水耕栽培による根系タイプの評価が、ダイズにおいて有効であることを示唆している。土壌栽培した植物体における根系の評価は、根長の測定を行う前に、土壌からの掘り取り、そして洗浄という非常に労力を要する作業を経ることが不可欠である。本研究の結果は、これらの作業を要しない水耕栽培によっても、ダイズの根系タイプの分類を行える可能性を示しており、ダイズにおける大規模な根系調査を進める場合に、非常に有効な方法となり得るものと期待される。

総蒸散量については、灌水区ではいずれの系統においても、生育が進むにつれて上昇した。一方、乾燥処理区においては、利用可能な土壌水分である約2000ccの水を消費した、生育後44-51日目に蒸散が停止して、葉に萎凋が認められ始めた。

主根型、あるいは側根型という根系タイプによる差異と、土壌乾燥ストレスに対する系統間の反応との関係は明確ではなかった。しかし、供試した4系統(Fendou-16, RINGGIT, K-099, 国府7号)では、RINGGITが他系統と異なる反応を示した。すなわち、乾燥処理区における蒸散速度が遅く、また地上部での萎凋の発生も遅かった。このことは、RINGGITが、緩やかに土壌水分を利用する特性を有する可能性があることを示唆している(学会発表1)。

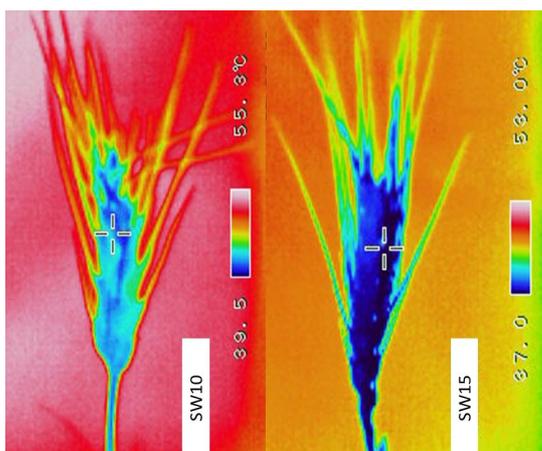


写真1 サーマグラフィーによる穂温の評価。濃い青は、温度が低いことを示す。

本研究では、コムギの収穫部位(穂)における温度が子実の発達に影響を及ぼすことが示唆された。特に、土壌乾燥環境下で穂温が高くなる系統は、デンプン合成が不十分となり、子実生長に悪影響をもたらすことが示唆された。したがって、植物体が水分ストレスに陥り、気孔コンダクタンスを低下すること

のないように、蒸散を維持して、穂の温度を適正に保つことが重要であると考えられる。このためには、吸水器官である根に関する形質が重要であると考えられる。土壌水分の吸収に関係する根形質は、根系分布などの形態形質と、根そのものの吸収能力などの機能形質とに大別することができる。本研究では、根系分布域を制限したポットでの急激な土壌乾燥条件と、そのような制限がなく、土壌表層から比較的穏やかに乾燥が進んだ圃場条件において、いずれの土壌乾燥環境においても、同一系統(SW-15)が、他系統と比べて大きな子実生長を示していた。また、ダイズにおいては、土壌乾燥条件下での蒸散量は、根の量や分布域との間に明確な関係が認められなかった。これらのことは、根の量や分布域などの形態形質と比べて、根の吸水能力といった機能形質の相対的な重要性を示唆しているのかもしれない。しかし、これらの詳細なメカニズムの解明のためには、今後の更なる研究の遂行が必要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

1. 大内優一郎・吉清翼・柏木純一・アウチチャ ディサナヤカ・許東河・高橋良二・阿部純

ダイズにおける根系の変異と乾燥ストレス耐性との関連

平成26年度日本育種学会・作物学会 北海道談話会年次講演会(於 酪農学園大学, 北海道, 江別市, 2014年12月6日) 日本育種学会・作物学会 北海道談話会会報 55:95-96.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:

番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
http://www.hokudai.ac.jp/bureau/nyu/frontier/rpdf/03/03_p136-137.pdf

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柏木 純一 (KASHIWAGI Junichi)
北海道大学・大学院農学研究院・講師
研究者番号：60532455

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：