

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05988

研究課題名(和文) 穂の光合成を通じたコムギの干ばつ抵抗性の改善

研究課題名(英文) Improving drought tolerance through ear photosynthesis in wheat

研究代表者

柏木 純一 (Kashiwagi, Junichi)

北海道大学・農学研究院・講師

研究者番号：60532455

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：コムギ干ばつ抵抗性改善のために、干ばつ下での穂光合成能力のメカニズムに関して調査した。土壤乾燥により、子実収量に対する穂のソースとしての相対的重要度が高まり、その寄与率は約20%であった。これには品種間差異と干ばつ環境との相互作用が認められた。穂光合成は、土壤乾燥による葉光合成の低下に対する補償作用として機能する可能性が示唆された。穂光合成のCO<sub>2</sub>源は、大気CO<sub>2</sub>だけでなく、子実の呼吸によるCO<sub>2</sub>が考えられ、それを穎内側の気孔から吸収して光合成を維持した可能性が推察された。これらは、干ばつ環境での脱水回避のために、大気と接する気孔が閉鎖しても、穂が光合成を維持できる一因と考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、食用コムギであるパンコムギ(6倍体)およびマカロニコムギ(4倍体)のいずれの種においても、穂の光合成は干ばつ下の子実収量に大きく貢献する事が示された。また干ばつ下における穂光合成メカニズムおよび葉光合成との関係性を示唆する事ができた。これらの知見により、穂の光合成を通じてコムギの干ばつ抵抗性をさらに改善されることが大いに期待できる。これは、世界の食糧問題に資する上で大きな社会的意義がある。

また、本研究で作成した穂光合成を直接評価可能なチャンバーにより、穂光合成能力の評価をより詳細に行う事が可能となった。これは、今後の穂光合成の研究を進めるうえで非常に大きな学術的意義がある。

研究成果の概要(英文)：To improve the drought tolerance of wheat, the mechanisms of ear photosynthetic ability under drought were investigated. Drought enhanced the relative importance of the ear photosynthesis for the grain yield as a photosynthetic source, and the contribution rate was about 20%, although there was significant G x E interaction. Under decline in leaf photosynthesis due to drought stress the ear photosynthesis could work as a compensatory function. It may be possible that not only atmospheric CO<sub>2</sub> but also CO<sub>2</sub> from the of grains respiration was considered as the potential CO<sub>2</sub> source for ear photosynthesis. It was absorbed from the stomata inside the palea so that the ear could maintain photosynthesis. These could be considered a mechanism by which the ears could maintain relatively high photosynthesis even if the stomata were closed to avoid plant dehydration under drought environments.

研究分野：作物学

キーワード：干ばつ抵抗性 穂光合成 コムギ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

世界的規模で進行している気候変動のため、農耕に不適な乾燥地域が拡大し続けるとともに、乾燥地域での干ばつは厳しさを増している。一方、世界人口は増加し続けており、2050年には100億人に迫ると予想されている(United Nation, World Population Prospects 2019)。このことは、深刻な干ばつが発生する乾燥地域における農業生産の安定確保が、将来の世界食料安全保障において不可欠な事を意味している。特に、主要生産地域が比較的乾燥した環境にあるコムギの干ばつ抵抗性改善は、極めて重要な課題である。

「緑の革命」以来、コムギの子実収量は飛躍的に増加し、これまでに多収品種が育成されてきた。これは、短稈かつ収穫部位である穂の大きい、土壌窒素反応性に優れた系統の選抜により、主として達成されてきた。しかし、世界の主要コムギ生産地域では、干ばつによる収量の大幅な低下が、毎年のように大きな問題となっている。これは、これまでに育成されたコムギ多収品種は、十分な干ばつ抵抗性を有していないことを明確に示している。

干ばつ環境では、コムギ植物体が水分ストレス状態となるため、子実生長に重要な生育後半期(登熟期)に緑葉の維持が困難となる。登熟期間に主要な光合成器官である葉を損失することは、子実生長に必要な光合同化産物の供給不足に直結するため、子実収量は大きく減少する。このことは、干ばつ環境下における登熟期の光合成器官(ソース)として、葉だけではなく、他のソースの開発・強化が必要であることを示している。

コムギ植物体の最上位置にある穂は、受光の点で有利であるうえ、クロロフィルを有した若い器官のため、登熟期のソース器官として有望である。申請者のこれまでの研究においても、登熟期間中の厳しい土壌乾燥により、ほとんどの葉が枯死した環境でも、穂は気孔を閉鎖せず蒸散を活発に行えたことを報告した(Kashiwagiら, 2015; 吉岡ら, 2018)。これらは、干ばつ環境下における穂のソース器官としての重要性を示唆している。穂光合成が、コムギの干ばつ収量の改善に貢献するとの報告はあるが(Eduardoら, 2007; Wangら, 2016)、詳細は不明な点が多く、穂光合成能力を利用した干ばつ抵抗性のコムギ品種は未だ育成されていない。

以上が本研究の学術的な背景である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、穂の光合成能力を利用して、コムギの干ばつ抵抗性を改善することである。干ばつ環境では、穂光合成が子実収量に大きく貢献することは知られているが、その詳細は不明な点が多い。これは、これまでの研究方法が穂の遮光試験によるものが多く、得られた結果は、自然環境とは異なる環境であったためである。そのため、穂光合成を利用したコムギの干ばつ抵抗性品種は未だ育成されておらず、本研究の意義は極めて大きい。

### 3. 研究の方法

試験は、北海道大学に降雨を排除するレインアウトシェルターを設置して、シェルター内に作出した干ばつ圃場で行った。点滴灌漑システムで灌水量を精密に制御して、出穂期以降にも十分な土壌水分を維持する灌水区と、土壌水分ストレスが生じる干ばつ区の2水準の土壌水分処理を設け、これに開花後の穂の光合成抑制処理の有無を組み合わせ、計4つの処理区を設けた。穂の光合成抑制は、従来の遮光処理だけではなく、蒸散抑制剤を穂の表面に塗布する処理を行った。蒸散抑制剤処理により、受光に関しても自然環境となる条件で、干ばつに曝されたコムギの穂光合成能力について評価することが可能となった。

試験には、シンク形成の特徴が異なる6倍体コムギ(パンコムギ)の「春よ恋」(北海道育成)、「SW15」, 「Cham6」(共にシリア育成)および、4倍体コムギ(マカロニコムギ)の「ET23」(エチオピア育成)、および「Cham1」(シリア育成)を供試した。

これらについて、生育期間中の全体および部位別バイオマスの経時変化、登熟期間中の光合成能力、収量および収量構成要素について調査した。

### 4. 研究成果

(1) 6倍体コムギにおいて、収量に対する穂の光合成の寄与率は約20%であった。乾燥区での穂光合成能力の品種特性をみると、「SW15」および「Cham6」では、土壌乾燥下における収量および群落光合成に及ぼす穂光合成の寄与率は、灌水環境よりも大きかった。すなわち、これらの品種において、干ばつ環境では穂のソースとしての相対的重要度が、高まる事が示唆された。そして、その程度には品種間差異があることが示された。このことより、干ばつ環境下でも、穂光合成能力の極めて優れたコムギ遺伝資源が存在すると推察された。

(2) 穂の表面への蒸散抑制剤塗布処理による、収量の有意な減少は認められなかった。これより、穂表面が接する大気中のCO<sub>2</sub>のみを吸収して、穂光合成が行われるのではないことが推察された。大気以外のCO<sub>2</sub>源としては、生長中の子実の呼吸が考えられ、それを頰内側の気孔で吸収することで光合成を維持した可能性が推察された。これは、植物体の脱水を抑えるために気孔が

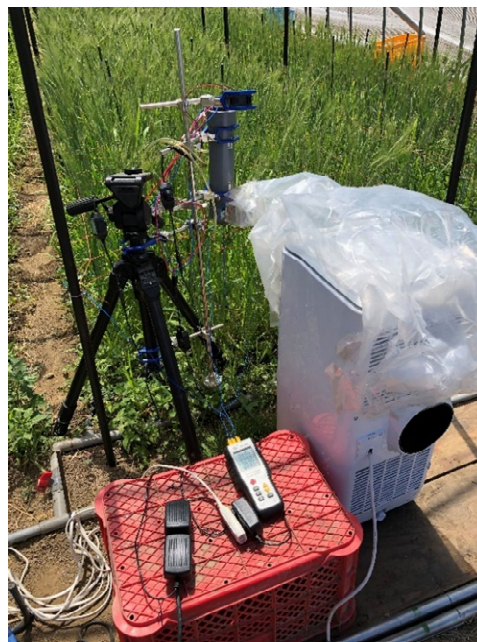
閉鎖する干ばつ環境でも、穂が葉よりも高い光合成能力を維持できるメカニズムの一つであると考えられた。

(3) 4倍体コムギにおける、群落光合成に対する穂の光合成の寄与率は、10~20%であった。群落光合成に対する穂の光合成の寄与率は、葉面積と負の相関を示した。これは、葉での光合成の減少は、穂の光合成の寄与率の相対的な増加をもたらすことを示唆している。すなわち、土壤乾燥ストレスにより、葉光合成が減少すると、その補償作用として穂光合成の機能が強化される可能性が示唆された。

(4) 子実収量は、Cham1がET23より大きく、両品種ともに土壤乾燥処理によって有意に低下した。土壤乾燥による収量の減少について、シンクの構成要因をみると、穂数の減少を通じた粒数(/m<sup>2</sup>)の低下が大きな要因であった。すなわち、土壤乾燥ストレスは、分けつ盛期より植物体に強い負荷となり、そのため十分な茎数を確保できなかったと考えられた。機能的(質的)シンク構成要因である子実の成長速度については、Cham1がET23よりも大きく、土壤乾燥処理により子実成長のピークが前進した。このことより、土壤乾燥ストレスに対する適応力には、品種間差異および干ばつ環境との相互作用があり、本研究の供試品種ではCham1の方が優れる事が示された。

(5) 登熟期間のソースとして光合成関連形質をみると、Cham1、ET23ともに止葉の光合成能力の貢献が大きかったが、Cham1では下位葉の光合成能力も高いことが示唆された。すなわち、Cham1は群落全体で光合成を行なうのに対し、ET23は止葉での光合成に依存していることが示唆された。土壤乾燥処理は、ET23の止葉光合成能力を低下させたが、Cham1では止葉および下位葉の光合成能力が維持された。この一因として、ET23は止葉の着生角度が、Cham1よりも水平で常時強光に曝されたため、止葉で光阻害が生じた可能性が推察された。

(6) 登熟期間中の開花~開花21日にかけての器官別の窒素分配をみると、灌水区では止葉への窒素分配が増加したのに対し、乾燥区では穂への窒素分配、特に芒および内穎への窒素分配が増加した。このことより、土壤乾燥ストレス下では、クロフィルの基となる窒素を、穂に選択的に分配して、穂光合成機能を強化していることが示唆された。また、穂での器官別窒素分配については、芒と内穎への分配が多く、穂の中でもこれらが光合成を行なう上で重要な器官であることが示唆された。



(7) 穂でのCO<sub>2</sub>ガス交換を測定するためにチャンバーを作成して、穂光合成を直接評価することを試みた。屋外の圃場環境で、チャンバー内の測定環境を均一にすることが困難であったため、さらに精密な評価に向けた課題が明らかとなった。

その様な制約はあったものの、試作した穂光合成測定システム(写真)で評価した灌水区の穂の光合成速度(単位表面積当たりの吸収CO<sub>2</sub>速度)は、葉の光合成速度と同程度の値を示した。すなわち、登熟期間中の穂の光合成が、子実成長のための主要なソースとして機能していることが確認された。

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 Kashiwagi Junichi, Yoshioka Yuichiro, Nakayama Suzu, Inoue Yoshiko, An Ping, Nakashima Taiken	4. 巻 207
2. 論文標題 Potential importance of the ear as a post anthesis carbon source to improve drought tolerance in spring wheat ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Agronomy and Crop Science	6. 最初と最後の頁 936 ~ 945
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jac.12541	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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kashiwagi, J., S. Nakayama, Y. Inoue, A. Kato, I. Harada, S. Ichikawa, T. Nakashima and P. An
2. 発表標題 The ear photosynthesis as potential source for drought yield improvements in wheat
3. 学会等名 10th Asian crop science association conference (ACSAC10) (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------	---------