

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18634

研究課題名(和文) 個葉光合成からみた高CO₂環境適応型ダイズの提案研究課題名(英文) High [CO₂] adaptation of soybeans in terms of the single leaf photosynthesis

研究代表者

田中 佑 (Tanaka, Yu)

京都大学・農学研究科・助教

研究者番号：50634474

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：葉の光合成能力はダイズの生産性に影響を及ぼす重要な要因である。本研究では、将来的な高CO₂濃度環境で特に高い光合成能力を示すダイズ系統：PI603911Cを見出し、その高い光合成能力をもたらす生理的要因として、葉内のCO₂固定系が優れていることを示した。付随して、異なるメカニズムで高い光合成能力を示す系統を他にも複数発見した。これらの情報は、今後のダイズ育種において有用な情報になると期待される。

研究成果の概要(英文)：The leaf photosynthesis is one of the most important trait to determine the soybean productivity. This study elucidated that a local variety, PI603911C, showed the extremely high photosynthetic rate under the ambient and high CO₂ condition. This phenotype is partly attributed to the greater carboxylation activity in the mesophyll cells. This study also detected several soybean varieties having high photosynthetic rate. Notably, these varieties achieved high photosynthetic rate with different physiological mechanisms. It is expected that this study provides useful information to the future soybean breeding programs.

研究分野：作物学

キーワード：ダイズ 光合成 高CO₂ 遺伝的変異

1. 研究開始当初の背景

葉の光合成は作物の生産性改良を目指すうえで重要な形質である。将来予測される高CO₂環境において、ダイズの個葉がどのように応答するのかについては複数の先行研究がある。一般に光合成の基質であるCO₂が上昇すればするほど光合成速度は増加する。しかし短期的にはRuBP再生速度、長期的にはそれに加えて光合成のdown-regulationと呼ばれる現象によって光合成速度の増大は制限される。しかし、このような個葉光合成速度の高CO₂環境適応性について、ダイズ系統間でどれほどの遺伝的変異が存在しているのかについては情報が少なく、個葉光合成の面から高CO₂環境に適応したダイズの育種戦略を立てることが難しい状況にあった。

ダイズの個葉光合成能には遺伝的変異が存在していることはすでに示されており、高CO₂環境適応性についても多様性が存在している可能性が高いと考えられた。本研究の前段階として、高CO₂環境下で極めて高い光合成能を示す可能性のある系統を見出していたため、これを手掛かりとして高CO₂環境適応性の観点からダイズ個葉光合成の遺伝的変異を解析する研究計画を立案した。

2. 研究の目的

本研究では、大規模なダイズ遺伝資源の中で見出されてきた、高CO₂環境に優れた適応性・高い個葉光合成能を示す可能性のある系統を用いて、その適応性のメカニズムを明らかにすることを目指した。あわせて、研究過程で高い光合成能を実現するために必要となる生理生態的形質を明らかとし、高CO₂環境に適応したダイズを設計するうえでの基礎的知見を提供することを目的とした。特に葉の形態的特性、および光合成関連タンパクあるいは窒素含量など生化学的な特性に着目して解析を行うこととした。

3. 研究の方法

予備的調査により、有限伸育型品種かつMaturity Group 4のダイズ216系統の中から、高い個葉光合成能を示す可能性のある系統群を選抜した。これらを日米の一般的な実用品種とともに圃場条件で栽培した。栽培は京都大学大学院農学研究科で行った。光合成測定には光合成蒸散測定装置LI-6400 (LiCOR社)を用い、チャンパー内でCO₂濃度を変化させながら光合成速度の応答を解析した。Farquhar (1980)に基づき、最大カルボキシル化速度(V_{max})および電子伝達速度(J_{max})を算出した。あわせて葉のサンプリングを行い、葉身切片の顕微鏡観察を行った。さらに葉身Rubisco含量、全タンパク含量、窒素含量を測定した。生化学的解析を行った。

4. 研究成果

朝鮮半島在来系統であるPI603911Cが、非常に高い光合成能を示すことが明らかとなっ

た。同系統の光合成速度は、大気CO₂条件において日本の代表的な品種であるタチナガハ(PI594287)と比較して約20%、米国多収性品種であるUA-4805と比較して約10%高かった(図1)。

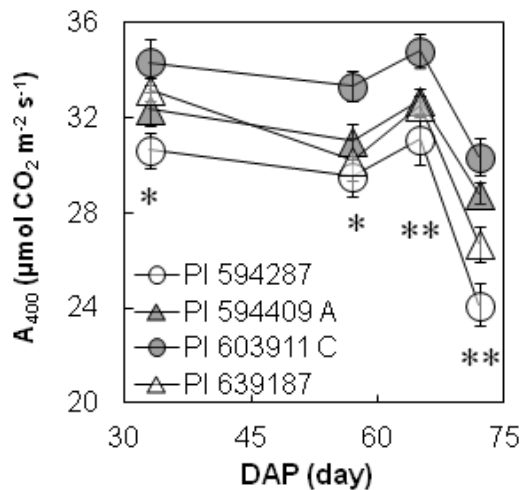


図1. ダイズ4品種の最大光合成速度の推移

CO₂濃度に対する光合成速度の応答を解析すると、PI603911Cの高光合成能は高CO₂環境下でさらに顕著であった(図2)。生化学的モデルにあてはめたところ、同系統では葉内のCO₂のカルボキシレーション速度、および電子伝達速度の双方が優れていることが明らかとなった。

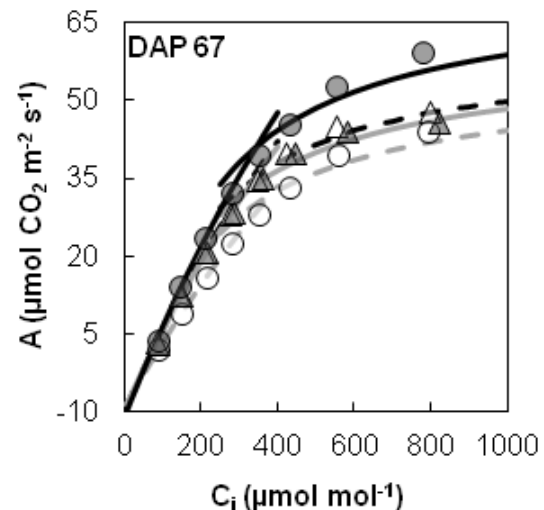


図2. ダイズ4品種の光合成速度のCO₂応答

このようなPI603911Cの特性がどのような生理生態的形質に起因するのかを詳細に調査した。その結果、同系統では生育期間を通して葉身窒素含量とRubisco含量が高く推移することが明らかとなった。さらにPI603911Cでは他系統に比べて葉肉組織が発達しており、葉身が厚いことが明らかとなった。すなわちPI603911Cでは、葉身の構造を発達させることで多量の窒素・Rubiscoを蓄積し、高い光合成能を実現していることが明

らかとなった(図3)。

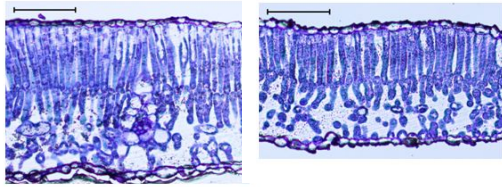


図3. ダイズ2品種の葉身切片画像
(左:PI603911C,右タチナガハ)

時期別の光合成関連形質の推移に着目すると、ダイズは開花期以降、子身肥大期にかけて、品種にかかわらず葉身 Rubisco 含量が大きく増加することが明らかとなった(図4)。これは同時期に根粒の活性と地上部の葉面積展開がおよそ最大に達し、子身への転流に備えて大量の窒素が葉身に蓄積されることを反映していると考えられた。

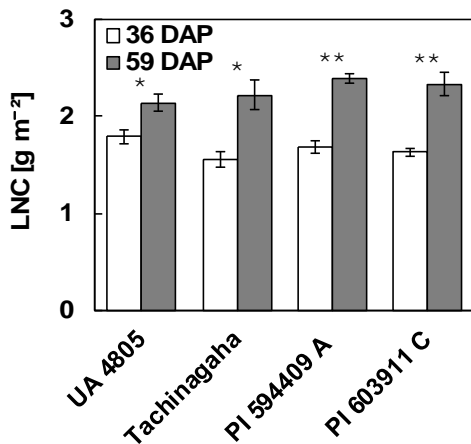


図4. ダイズ4品種の時期別葉身窒素含量

一方で光合成速度そのものには生育の進行に伴う明確な上昇がみられなかった。Rubiscoには活性型と不活性型があり、CO₂固定を触媒するのは活性型のみである。Rubisco 活性化率を調査したところ、子身肥大期にその値が大きく低下していることが明らかとなった(図5)。すなわち現状のダイズ品種ではRubiscoが生育後半に過剰気味となり、そのポテンシャルを十分に発揮できていないことが明らかとなった。

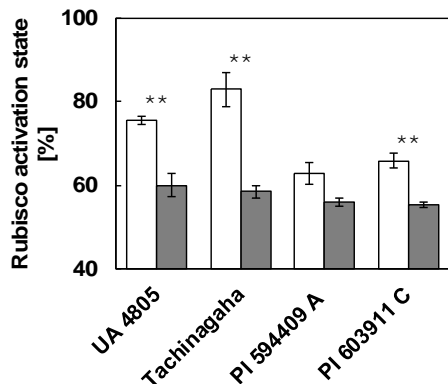


図5. ダイズ4品種のRubisco活性化率

RubiscoはCO₂固定を触媒する酵素であることから、将来予測される高CO₂環境では、Rubiscoの過剰傾向はより顕著になると推察される。今後のダイズ育種戦略としては、PI603911Cのように多量のタンパク質、Rubiscoを蓄積し高い光合成能を維持しながら、生育後半のRubisco活性化率の低下を回避するような最適な窒素分配が重要であると考えられた。

PI603911C以外の高光合成系統として、Peking(中国由来の在来系統)、UA-4910(米国の多収品種)、PI592940(中国由来の在来系統)が見出された。これらはそれぞれ異なったメカニズムで高い光合成能を実現していた。すなわちPekingにおいては気孔を介したガス交換能の指標である気孔コンダクタンスが非常に高かった。UA-4910においては気孔コンダクタンスと最大カルボキシル化速度(V_{max})の双方が高いことにより、優れた光合成能を実現していた。PI592940は上述の系統とは異なり、葉肉細胞間隙から葉緑体に至るまでのCO₂拡散コンダクタンス(葉肉コンダクタンス)が高いことが示唆された。ダイズにおいて、葉肉コンダクタンスに明瞭な遺伝的変異を見出した例はほとんどなく、PI592940が高い葉肉コンダクタンスを実現しているメカニズムを今後解明する必要があると考えられた。以上のように、ダイズは品種・系統によって異なるメカニズムで高い光合成能を実現していることが明らかとなった。この事実は今後、優れた光合成特性を有するダイズ品種を育成する方策は複数存在しており、これら優良形質を集積することでさらなる高光合成を実現する余地があることを示している。

本研究の成果は以下のように要約される。(i)ダイズの個葉光合成能には大きな遺伝的変異が存在していることが明らかとなった。このうちPI603911Cは高CO₂環境下で特に優れた光合成特性を示した。(ii)高い光合成能を達成する主な生理的要因として、気孔コンダクタンス、葉身Rubisco含量、葉肉コンダクタンスが挙げられた。中でも、ダイズの葉肉コンダクタンスに関しては情報が少なく、そのメカニズムについてはさらなる解明が待たれる。(iii)系統によって、それぞれ異なる生理生態的メカニズムにより高光合成能を実現しており、これらの生理形質を集積することで、さらなる光合成能向上を目指す余地がある。(iv)このうち葉身Rubisco含量については生育後半に過剰となっている可能性があり、Rubisco活性化率との間で最適化を行うことで、将来の高CO₂環境への適応が可能となるかもしれない。本研究で得られた知見は、今後のダイズ育種において有用な情報になると期待される。

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 2件)

Kazuma Sakoda, Yu Tanaka, Stephen P. Long and Tatsuhiko Shiraiwa.

Genetic and physiological diversity in the leaf photosynthetic capacity of soybean. Crop Science 56:2731-2741. 2016

Kazuma Sakoda, Seita Suzuki, Hiroshi Fukayama, Yu Tanaka and Tatsuhiko Shiraiwa.

Activation state of Rubisco decreases with the nitrogen accumulation during the reproductive stage in soybean [Glycine max. (L.) Merr.]

Photosynthetica (in press)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 佑 (TANAKA, Yu)

京都大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号：5 0 6 3 4 4 7 4

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし