

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301
研究種目：基盤研究(B)
研究期間：2011～2014
課題番号：23380010
研究課題名(和文)高CO₂・高温条件下におけるダイズの物質生産能のダウンレギュレーション発生機構

研究課題名(英文) Physiological mechanisms regulating elevated CO₂ and temperature-induced downregulation of biomass production in soybean

研究代表者
國分 牧衛 (KOKUBUN, Makie)
東北大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：40323084
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円

研究成果の概要(和文)：高CO₂条件下では生育初期には光合成が促進され物質生産量が増加するが、生育後半においてはこれらの機能が低下するダウンレギュレーション現象の存在が認められている。本研究では、ダイズのダウンレギュレーション発生機構を解析し、高CO₂条件に適応する品種育成・栽培方法の方向性を提示しようとした。根粒超着生系統においては、高CO₂下でも窒素の含有量は低下せず、炭素の蓄積量も高まったにも関わらず、子実形成に結びつかなかった。無限型系統においては、高CO₂下では窒素含有量が低下したことがダウンレギュレーションの主要因と推定された。これらの品種を用いた高CO₂に適応した遺伝的改良の方向性を示した。

研究成果の概要(英文)： Under elevated CO₂ conditions, physiological functions of crops decline at the later growth stages although they are enhanced at the early growth stages, and this phenomenon is known as downregulation. The objectives of this study was identify physiological factors and traits of genotypes which confer adaptability to elevated CO₂ conditions by mitigating the magnitude of the downregulation, which should suggest the direction toward genetic improvement of soybean cultivars. A supernodulating genotype was capable of maintaining N content level and photosynthesis under elevated CO₂ conditions, but this favorable function did not lead to an increase in sink formation. An indeterminate genotype showed a decline in N content with growth under elevated CO₂ conditions, which appears to be a major factor causing downregulation. Breeding directions toward improving cultivars adaptable to increasing CO₂ concentration are suggested based on these results.

研究分野：作物学

キーワード：ダイズ 高二酸化炭素 高温 ダウンレギュレーション 根粒形成能 伸育型

1. 研究開始当初の背景

(1) 二酸化炭素 (CO₂) などの温室効果ガスの増加に伴い、地球規模での気温上昇は今後も続く予想されている (IPCC, 2007)。高 CO₂・高温が作物の生育・収量に及ぼす影響については、これまでに多くの研究が行われた。既往の研究を総括すると、高 CO₂・高温条件下では光合成・初期生育が促進されるため、継続的な N 供給がなされた場合には作物の物質生産量や収量は増加することが報告されている (Pritchard and Amthor, 2005)。

(2) 申請者は、高 CO₂ 下でダイズ品種の N 固定能の遺伝的差異と物質生産の特性の関係を解析しており、これまでの結果、高 CO₂・高温下では、

N 固定能の高い根粒超着生品種の光合成能は生育前半では通常品種を上回ることで光合成能の促進に伴う N 固定能の増加がみられること

根粒活性が高い品種ほど N 吸収量が増大するが、N 利用効率 (NUE) は逆に低下することを明らかにした (Matsunami et al., 2009)。

しかし、高 CO₂・高温による光合成は N 供給能の高い品種でも生育後期では低下すること、すなわち生育に伴う光合成能のダウンレギュレーションが起きること、そのため最終的な物質生産量や子実収量は品種や年次によって大きく変動することが認められた。このような変動には、以下のプロセスが関与していると想定されることから、高 CO₂・高温への適応戦略策定には、光合成能・物質生産能のダウンレギュレーション機構解明が必須と思われた。

2. 研究の目的

本研究は、高 CO₂・高温条件下におけるダイズの光合成・物質生産能のダウンレギュレーション発生機構を解明し、高 CO₂・高温条件下への適応戦略を提示しようとする

ものである。具体的には、高 CO₂・高温条件下で想定される現象に注目し、以下の点に焦点をおいて解析する。

- (1) 高 CO₂ による生育前半の光合成促進が体内 C・N 化合物の組成変化と生育後半の光合成・物質生産に及ぼす影響
- (2) 高 CO₂・高温が生育後半の物質生産・シンク形成に及ぼす影響が、品種の遺伝的形質 (N 吸収能や生育型) が異なる系統に及ぼす影響

3. 研究の方法

(1) 材料

ダウンレギュレーションの発生程度が異なると推定される以下の 2 つの形質の異なる系統を用いた。

根粒着生能の異なる品種・系統：

根粒超着生系統 (En-b0-1)、根粒通常着生系統 (エンレイ)、根粒非着生系統 (En1282)。

En-b0-1 と En1282 はいずれもエンレイの突然変異系統である。

伸育性の異なる同質遺伝子系統：

刈交 1222 (おおすず × Athow) から選抜した有限型と無限型系統

(2) 処理および調査・測定方法

CO₂ 濃度・気温の制御

CO₂・気温処理は、東北農業研究センターに設置されている温度勾配実験施設 (グラディオトロン) を用い、生育全期にわたり CO₂ 濃度と気温を組み合わせた下記の処理を与えた。

- ・ CO₂ 濃度：標準 (外気)、高 CO₂ (外気 + 200ppm)
 - ・ 気温：標準 (外気)、高温 (外気 + 3-5)
- 生理機能と関連形質の測定
- ・ 光合成速度、クロロフィル蛍光反応、蒸散速度、気孔コンダクタンスなど生理活性
 - ・ 生育量、体内成分の分析
- 物質生産量：開花期および子実肥大始期
- ・ C/N 成分の経時的分析

4. 研究成果

これまでの研究において、高CO₂・高温条件下では生育初期には光合成が促進され物質生産量が増加するが、生育後半においては光合成能の低下と物質生産能が低下する、いわゆるダウンレギュレーション現象の存在が認められた。

本研究では、高CO₂・高温条件下においてみられるダイズ物質生産能のダウンレギュレーション発生機構を解明し、高CO₂・高温条件に適応したダイズの育種・栽培技術の方向を呈示することを目的として実施した。そのため、ダウンレギュレーションの発生機構を、以下の2つの側面に焦点をあてて解析した。第1に、高CO₂による生育前半の光合成促進が体内C・N化合物の組成変化と生育後半の光合成・物質生産に及ぼす影響を解析した。第2に、高CO₂・高温が生育後半の物質生産・シンク形成に及ぼす影響を、品種の遺伝的形質(N吸収能や生育型)が異なる系統を用いて比較解析した。

(1) N吸収能の異なる系統間の比較解析

高CO₂・高温条件下における物質生産量は、栄養成長期および生殖成長期のいずれにおいても、根粒着生系統では有意に増加した。一方、成熟期においては、高CO₂あるいは高温条件下での物質生産量の増加はいずれの系統においても認められなかった。その要因として、シンク(莢実)形成数の不足により、シンクの光合成産物の需要程度が少なかったことが推測される。

個葉の光合成速度は、高CO₂により開花期まではいずれの系統においても促進され、その促進程度は根粒超着生系統においてより顕著であったが、子実肥大期においては高CO₂による促進はみられず、根粒超着生系統では低下した。高CO₂下においては、葉への光合成産物の蓄積や葉の老化が促進され、それに伴う気孔伝導度の低下が生じ、光合成速度のダウンレギュレーションが生じたものと推定された。

(2) 生育型(有限型と無限型)間の比較

開花期までの物質生産量は、無限型においてのみ高CO₂により増加したが、子実肥大期においてはいずれの草型でも増加はみられな

かった。光合成速度は、開花期においてはいずれの草型でも高CO₂により促進されたが、子実肥大期では促進されなかった。また、いずれの草型においても高CO₂により、葉の炭素含有量は増加したのに対し、窒素含有量は低下した。このように、いずれの草型においてもダウンレギュレーションが発生し、その程度は草型間で差は認められなかった。

(3) 今後の課題

根粒超着生系統においては、高CO₂下でも窒素の含有量は低下せず、炭素の蓄積量も高まったにも関わらず、子実形成に結びつかなかったことから、高CO₂下でのシンク形成機構の解明が今後の課題として抽出された。一方、無限型系統においては、高CO₂下では窒素含有量が低下し、それが生育後半の物質生産能の主たる制限要因と推測され、この系統ではN吸収能の遺伝的な改良あるいは土壌からの供給能の増加が課題と推定された。

<引用文献>

IPCC. Forth Assessment Report, Climate Change 2007: Synthesis Report. (<http://www.ipcc.ch/>)

Pritchard, S.J. and Amthor, J.S.. Crops and environmental change, Food Products Press, New York, 2005, 1-421.

Matsunami, T., Otera, M., Amemiya, S., Kokubun, M. and Okada, M. Effect of CO₂ concentration, temperature and N fertilization on biomass production of soybean genotypes differing in N fixation capacity. Plant Prod. Sci. 12, 2009, 156-167.

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 2件)

Otera, M., Kudo, S., Kumagai, E., Kato, S., Kikuchi, A., Kokubun, M. Elevated CO₂-induced down-regulation of photosynthesis in soybean is mitigated by additional nitrogen application regardless of stem growth habit. The 8th Asian Crop Science Association Conference (ACSAC8), 2014年9月24日, Hanoi, Vietnam.

大寺真史、工藤祥平、熊谷悦史、加藤信、菊池彰夫、国分牧衛. 高二酸化炭素濃度

条件下における窒素追肥が伸育型の異なるダイズ系統の物質生産および収量に及ぼす影響. 日本作物学会講演会、2014年3月30日、千葉大学、千葉.

〔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：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

國分 牧衛 (KOKUBUN, Makie)
東北大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号：40323084

(2) 研究分担者

鮫島 良次 (SAMESHIMA Ryouji)
農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・グループ長
研究者番号：70355452

熊谷 悦史 (KUMAGAI Etsushi)
農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・研究員
研究者番号：80583442