

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20380009

研究課題名（和文）高 CO₂・高温条件下におけるダイズのシンク形成機構研究課題名（英文）Mechanisms regulating sink formation of soybean under elevated CO₂ and temperature conditions

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

研究成果の概要（和文）：将来予測される高 CO₂・高温条件下におけるダイズのシンク（莢実）形成機構を解析した。本研究では、ダイズのシンク形成を支配する要因として、根粒の窒素固定能、光合成能に注目した。その結果、高 CO₂・高温条件下では、生育前半では窒素固定能と光合成能のいずれも顕著に促進されたが、生育後半においてはこれらの機能が抑制された。このような生育後半における生理機能の抑制には、高 CO₂・高温下における蒸散の抑制と葉温の上昇や光合成産物の蓄積による葉の機能低下が関係していると示唆された。

研究成果の概要（英文）：We analyzed physiological mechanisms regulating sink formation of soybean under elevated CO₂ and temperature conditions, with emphasis placed on the capacity of nitrogen fixation and photosynthesis. Under elevated CO₂ and temperature conditions, nitrogen fixation and photosynthesis were significantly enhanced at the early growth stage, whereas they were depressed at the later growth stage. This elevated CO₂-induced down-regulation was associated with the decreased leaf activity, which was probably due to decreased transpiration, increased leaf temperature and accumulation of photoassimilate in leaves under elevated CO₂ and temperature conditions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
20 年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
21 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
22 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・作物学・雑草学

キーワード：ダイズ、高二酸化炭素、高温、莢実形成、窒素固定、光合成

1. 研究開始当初の背景

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。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、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。我々は、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、1) 根粒超着生 (スーパーノジュレクション) 品種の物質生産量が通常着生品種を上回ること、2) 光合成能の促進に伴う N 固定能の増加がみられること、3) 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。

しかし、高 CO₂・高温による物質生産量増加は年次を問わずみられたが、莢数や子実収量は品種や年次による著しい変動が認められた。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、シンク形成機構の解明が必須と思われた。

- 高 CO₂ 下での気孔閉鎖
- ⇒ 蒸散量の低下
- ⇒ 体温 (葉と花の温度) 上昇
- ⇒ 生殖器官の受精能低下
- ⇒ シンクの形成・肥大障害

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シンク (胚、莢実) の形成機構を解明し、高 CO₂・高温条件下への適応戦略を提示しようとした。具体的には、高 CO₂・高温条件下で以下の3項目の解明を目指した。

- 1) 蒸散量の低下と体内水分・体温 (葉と花) の変動に伴うスース能の評価
- 2) 体内水分・体温変化に伴う生殖器官 (花粉と雌ざい) の受精能の評価
- 3) シンク (胚、莢実) の物質蓄積能の評価

3. 研究の方法

(1) 研究材料

高 CO₂・高温条件下における物質生産には、品種の N 吸収能が大きく影響するので、遺伝的に根粒着生能・N 固定能、Rubisco 含量ひいては光合成能の異なる数品種・系統群 (根粒通常着生品種エンレイ、根粒超着生品種 En-b0-1、根粒非着生系統 En 1282) を用い

た。これまでの研究では、根粒超着生品種は N 施肥量にかかわらず、N 固定能、Rubisco 含量、光合成速度が高い特性を持つことが解明されている。

(2) 研究方法

ダイズ品種・系統を 7L 容のポットに標準施肥して育成した。高 CO₂・高温処理は、東北農業研究センターに設置されている温度勾配チャンバーを用い、生育全期あるいは生育前期と後期に分けて、CO₂ 濃度と気温を組み合わせた処理を与えた (図 1)。標準 CO₂ は外気 (約 380 ppm、Ambient) を、高 CO₂ 区 (Elevated) はそれより約 200 ppm 高めた空気をチャンバーに供給した。

処理期間中あるいは処理完了後に、生育量、ソース能に関わる形質 (光合成関連形質、N 固定活性)、生殖器官の受精能、シンクへの物質蓄積過程について解析した。

生殖器官の受精能への影響は、開花・結莢の経過を追跡することにより評価した。品種はエンレイを用い、開花開始以降、個々の花にラベルし、毎日開花・結莢の経過を観察記録した。

シンク (胚、莢実) の物質蓄積能については、莢実をサンプリングし、乾物重の推移を測定し、炭素と窒素の含有率を CN コーダーを用いて分析した。

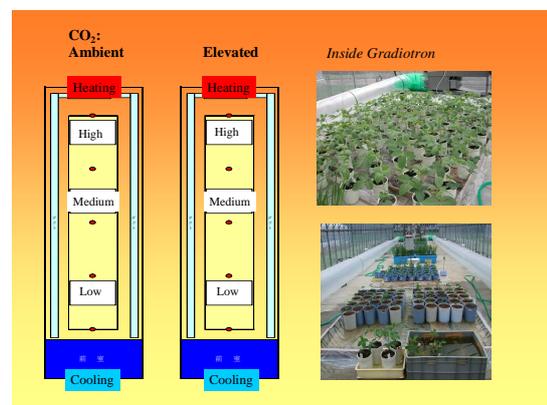


図 1 CO₂ 濃度と気温を組み合わせた処理区とダイズの生育状況

4. 研究成果

1) 蒸散量の低下と体内水分・体温の変動に伴うソース能の評価

高 CO₂ 区 (Elevated) においては、標準 CO₂ 区 (Ambient) に比べ、気孔コンダクタンスが低下し (図 2)、蒸散量が低下した。この現象は、根粒着生能の相異にかかわらず品種共通にみられた。このため、夏期高温時には、高 CO₂ 区においては体温上昇が顕著であった (図 3)。高 CO₂ 下では、生育の前半では品種にかかわらず光合成能の促進がみられたが、生育の後半においては促進効果はみられず、抑制される場合もあった。

2) 体内水分・体温変化に伴う生殖器官 (花粉と雌ざい) の受精能の評価

CO₂ 濃度と気温の組み合わせ処理が開花・結莢に及ぼす影響を解析した。

生育全期間の高 CO₂・高温処理により、開花数は多くなったが、稔実莢数および収量は減少した。対照的に、高 CO₂・低温処理により、開花数は少なかったが、稔実莢数および収量は増加する傾向がみられた。

生育の前半と後半で処理を変更した場合、生育後半の高 CO₂ 処理は開花数、稔実莢数、粒数および収量を増加させた。生育後半の高 CO₂ 処理は、特に分枝の開花・結莢を促進した。一方、生育後半の高温は分枝の開花・結莢を抑制した (図 4)。

物質生産と開花・結莢の関係を解析した結果、成熟期の乾物重および莢形成期から子実肥大初期までの乾物増加量と稔実莢数とは正の相関関係が認められた。

このように、高 CO₂ 処理はシンク形成に影響し、特に莢形成期から子実肥大初期の物質生産への影響をとおして収量に影響することが明らかになった。

3) シンク (胚、莢実) の物質蓄積能について

ては解析中である。

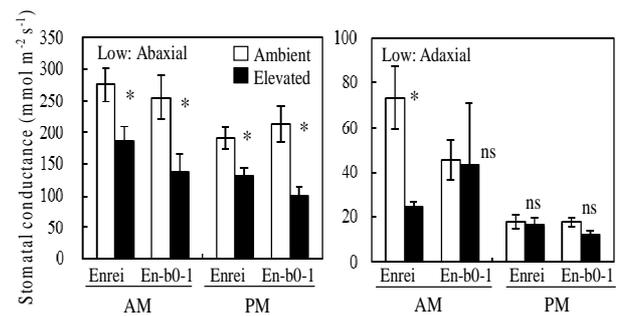


図 2 CO₂ 濃度が異なる場合のダイズ品種の気孔コンダクタンス。

品種: Enrei 根粒通常着生品種
En-b0-1 根粒超着生系統

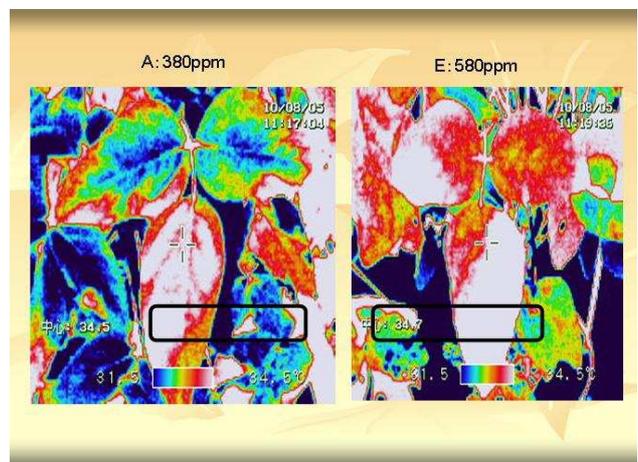


図 3 CO₂ 濃度が葉温に及ぼす影響。

品種はエンレイ。赤い色が濃いほど葉温が高いことを示す。

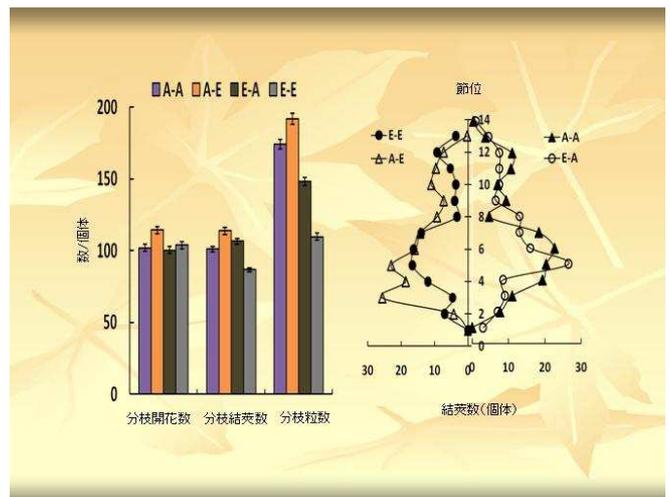


図 4 生育前・後半の CO₂ 処理が分枝の開花数、結莢数および粒数に及ぼす影響。

A-A: 生育前期、後期とも標準 CO₂

A-E: 生育前期は標準 CO₂、後期は高 CO₂

4) 考察とまとめ

本研究は、高 CO₂・高温条件に対するダイズの適応戦略を提示することを目指し、高 CO₂・高温条件下におけるダイズのシンク(胚、莢実)の形成機構を解析した。その結果、高 CO₂条件では、光合成能と窒素固定能は生育前半では促進されるが、生育後半では抑制される現象、すなわち高 CO₂によるダウンレギュレーション機構の存在が明らかになった。そのため、生育後半の物質生産は抑制され、それに伴うシンク形成(莢形成および子実肥大)が阻害された。そして、ダウンレギュレーションは高温が伴う場合に一層顕著に認められた。

ダウンレギュレーションの発生要因としては、既往の研究により、葉内炭水化物の蓄積、窒素吸収能の低下などが関与すると指摘されている。本研究では、ダウンレギュレーションは窒素固定能の高い根粒超生系統でも認められたことから、窒素固定能以外の要因が関与していると推定された。本研究の結果から、体温上昇による生理機能の低下、あるいは体内における糖や窒素化合物の過剰蓄積が光合成・窒素固定能をフィードバック阻害することなどが要因として関与していると推定される。今後、これらの要因の詳細な解析と、ダイズの遺伝的差異の影響の解析が課題である。

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 1 件)

1. Matsunami Toshinori, Otera Masafumi, Amemiya Shun, Kokubun Makie and Okada Masumi、査読有、Effect of CO₂ concentration, temperature and N fertilization on biomass production of soybean genotypes differing in N fixation capacity、Plant Prod. Sci.、12巻、2009年、156-167.

[学会発表] (計 2 件)

1. Mochamad Arief Soleh, Hai Yan, Sato Shuhei, Kokubun Makie and Sameshima Ryoji、査読無、Combined effect of CO₂ concentration and temperature on photosynthetic responses in soybean genotypes that differ in nodulation capacity、2010年3月31日、日本作物学会、宇都宮大学.
2. 海燕、佐藤修平、モハマト アリフ ソーレ、国分牧衛、鮫島良次、査読無、CO₂濃度と気温がダイズの開花と莢形成に及ぼす影響、2010年3月30日、日本作物学会、宇都宮大学.

[図書] (計 1 件)

1. 国分牧衛、世界のダイズ生産技術の現状と展望、2010年2月、喜多村啓介他編、大豆のすべて、サイエンスフォーラム. 76-92.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

国分 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

渡邊 肇 (WATANABE HAJIME)

新潟大学・農学研究科・准教授

研究者番号：10292351

鮫島 良次 (SAMESHIMA RYOJI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・チーム長

研究者番号：70355452