

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25292011

研究課題名(和文) 大気CO₂上昇下で高い生産性を発揮するイネ科・マメ科作物の品種選抜手法の開発研究課題名(英文) Alternative methodology for screening responsive cultivars to elevated atmospheric CO₂ concentration in crops

研究代表者

下野 裕之 (Shimono, Hiroyuki)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：70451490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：進行している大気中CO₂濃度増加を「資源」とし、生産性の向上に効率的に結び付けることのできる適応品種の選抜とその利用は、世界の食料生産への貢献が期待される。本研究では、莫大なコストのかかるCO₂濃度制御する大規模施設を用いることなく安価でかつ信頼できる代替の選抜手法の開発のためイネ科・マメ科作物について、(1)低大気CO₂濃度、(2)気孔のCO₂応答、(3)栽植密度、(4)可塑性、(5)Rural-Urban gradient、(6)自然CO₂スプリングを用いた6種類の選抜法を検討した。結果、(3)栽植密度と(4)可塑性を用いる手法が高濃度CO₂適応品種の選抜に有効であることを見出した。

研究成果の概要(英文)：To feed future world population, adaptive cultivar against increasing atmospheric CO₂, which increase photosynthesis, biomass and productivity, is an option to boost crop productivity. The purpose of this research is to identify alternative, cheap and reliable methodologies to screen responsive cultivars to future elevated CO₂ without using CO₂ fumigation facilities for crops, rice and soybean. Six hypotheses were tested, (1) low CO₂ chamber method, (2) stomatal sensitivity method, (3) planting geometry method, (4) Finlay Wilkinson regression method, (5) Rural-Urban gradient method, (6) natural CO₂ spring method. We concluded that (3) planting geometry method and (4) Finlay Wilkinson regression method can be used for alternative screening method without using CO₂ fumigation facilities.

研究分野：作物学

キーワード：品種選抜 大気CO₂ 生産性 イネ ダイズ

1. 研究開始当初の背景

現在、進行している大気中の CO₂ 濃度上昇は、C₃ 植物の光合成を促進し、生産性を向上させることがポットでの個体レベルでの試験のみならず圃場での群落レベルでの試験からも明らかになっている(Kimball ら 2004)。CO₂ 濃度が現在から 200ppm 増加した場合、10 ~ 20% 程度の収量増加が多くの作物で見込まれている。しかし、2050 年には 90 億人に達する世界人口を養うためには、最低 70% 以上の生産性向上が必要とされる(FAO 2009)。そのため、2050 年までに 550ppm 程度に上昇することが予測される CO₂ 濃度を「資源」として利用し、高濃度 CO₂ 条件下で効率的に生産性を高める品種の選抜が有効な手段の 1 つと考えられる。現在行われている通常の育種は約 10 年の月日を要し、候補品種を選抜した時点での CO₂ 濃度での評価にしかならず、急速に進行している CO₂ 濃度上昇への適応品種の育成につながっていない。

これまでに高濃度 CO₂ への応答の生理的・分子生物学的なメカニズム解明、またその応答性の作物間の比較に着目した報告は数多くあるものの(Stitt & Krapp 1999, Kimball ら 2004)、実際の農業上、極めて重要となる同一作物種内での生産性の品種間差に着目した研究は非常に限られている(イネ: Ziska ら 1996; Shimono ら 2009; De Costa ら 2003, ダイズ: Ziska & Bunce 2000, Ainsworth ら 2004; コムギ: Ziska 2003; エンバク: Ziska & Blumenthal 2007)。それら研究においても最大でもわずか 10 品種程度の非常に限られた数の品種比較に限られている。

高濃度 CO₂ 下で高い生産性を示す品種の群落条件下での選抜には、高濃度 CO₂ を制御した広い面積での複数年にわたる圃場試験が必要となる。大気中の CO₂ を制御する大規模な施設として、Free-Air CO₂ Enrichment (FACE) 施設があるが、その施設でも利用可能な面積が 300m² 以下に限られ、結果、全面積を品種選抜に利用したと仮定しても最大 150 品種(2m²/品種)の選抜にとどまる。コスト的には、FACE 実験施設を 1 シーズンの運用に CO₂ ガス代のみで数千万円に上るため、世代を重ねた選抜が必須である育種事業は、事実上、不可能である。

2. 研究の目的

本研究では、実際の育種現場でも用いることが可能な信頼でき、かつ安価な高濃度 CO₂ に適した品種の選抜手法の開発を目的とする。世界ではじめて、体系的にイネ科・マメ科作物について、高濃度 CO₂ 適応における簡易な選抜手法として基本概念が異なる 6 つの方法を検討する。

3. 研究の方法

高濃度 CO₂ 応答の品種間差を大規模な CO₂ 富化実験をしなくても検出できる手法を明らかにする。

(1) 低大気 CO₂ 濃度下での選抜

岩手大学が保有する大気中の CO₂ 濃度を 100ppm まで下げることができる小型チャンバー(100cm × 100cm × 30cm, アクリル製)を用いて、幼苗期に高濃度 CO₂ に対する品種間差を明らかにできる最適な CO₂ 濃度、処理期間を明らかにする。

(2) 気孔の CO₂ 応答による選抜

気孔コンダクタンスの絶対値が高いもしくは高濃度 CO₂ 条件下でも低下しにくい品種の選抜が可能な実験系の確立を目指す。イネ、ダイズの CO₂ 応答を評価し、最も品種間差を検出できる環境(土壌水分、大気湿度、光条件など)を明らかにする。気孔の CO₂ 応答を評価する携帯型光合成測定装置(LI-6400)を京都大学にて保有している。

(3) 栽植密度での間接的な選抜

研究代表者は、CO₂ 応答性の高い品種は疎植条件下での生育促進が大きいという関係を用いた選抜法をイネについて確立している(Shimono 2011)。しかし、他の作物について検討した例はない。そこで、ダイズにおいて、高濃度 CO₂ での応答と相関関係を得られる最適な栽植密度、環境を明らかにすることを目的とする。

(4) 年次によるバイオマスの可塑性による選抜

作物のバイオマス生産量は年次間での自然変動に着目した手法の開発を目指す。本手法の検討には、データベースの構築が必須となる。既存のデータベースも含めて、データをイネとダイズについて、CO₂ 応答の明らかとなっている品種を主として扱っている地域を対象に収集する。

(5) Rural-Urban gradient を用いた選抜

東京大学の本郷キャンパスを中心として、都市化の影響により、どの程度、CO₂ 濃度、気温が異なるのか、複数地点についてモニターを行う。既存の George ら(2007)が人口 61 万人の米国メリーランド州ボルチモア市の Rural-Urban の間においても 200ppm 以上の CO₂ 濃度の差を報告していることから、世界的にみても大規模な人口 1000 万人以上の東京においてもより顕著な差異が期待できると考える。なお、それら地点にイネ 1 品種を配置し、気象とイネ成長との関係を解析し、品種選抜に最適な地点を明らかにする。

(6) 自然 CO₂ スプリングを用いた選抜

青森県八甲田山にある CO₂ スプリングについては、東北大学グループを中心に異なる CO₂ 源泉地点での比較調査を生態的な観点から実施し、地点により CO₂ 濃度が大気より 500 ~ 1000ppm 異なることを報告している(Onoda ら 2004)。しかし、大量の交配集団を比較す

る育種事業での利用という視点からの CO₂ 濃度の空間的な分布についての知見は不足している。CO₂ 濃度の分布を複数地点についてモニターを行い、それら地点でのイネを配置し、気象とイネ成長との関係を解析する中で、品種選抜に最適な地点を明らかにする。

4. 研究成果

6 種類の代替法を検討したところ、実際の品種選抜という点で最終的には 2 つの方法が有効であることを見出した。1 つは、(3) 栽植密度を用いた手法で、イネ 8 品種とダイズ 12 品種について大気中 CO₂ 濃度上昇への応答の品種間差について、疎植応答の品種間差と比較したところ、正の相関関係が認められることを見出した (図 1) (Shimono ら 2014, Kumagai ら 2015)。このことは、疎植応答を評価することで、CO₂ への応答性を評価できることを示す。本手法の応用として、ゲノムワイド関連解析をフィリピンにある国際イネ研究所でインディカイネ 452 品種を対象に実施し、疎植応答性に関わる QTL を 3 か所見出し、CO₂ 応答性の高い 2 品種を見出した。またバングラディッシュイネ研究センターにおいて、同様の試験を在来の 200 品種について実施し、候補 10 品種を特定した。

もう 1 つの手法としては、(4) 可塑性を用いる手法であり、過去の収量データをイネとダイズについて解析したところ、いわゆる Finlay Wilkinson の回帰の傾きと CO₂ 応答性の品種間差が合致することを見出した (Kumagai ら 2016)。

ちなみに、(1) 低 CO₂ 応答と(2) 気孔応答の手法では既存の CO₂ 応答性の品種間差を説明することができず、(5) Rural-Urban を用いる

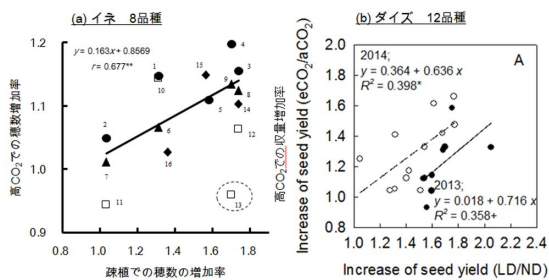


図1 多環境での「表現型可塑性」の発現。疎植で高い応答性示す品種は高CO₂ に対しても高い応答 (a) イネ: 疎植条件下でのイネ8品種の穂数の増加程度の品種間差が高濃度CO₂での穂数の増加程度の品種間差と合致 (Shimonoら2014)。(b) ダイズ: 疎植条件下でのダイズ12品種の収量の増加率が高濃度CO₂での収量の増加率の品種間差と合致 (Kumagaiら2015)

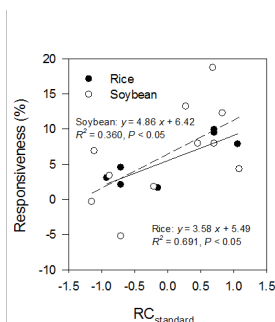


図2 イネ7品種とダイズ11品種についてのFinlay Wilkinson回帰(標準化 RC_{standard})とCO₂応答性の関係

手法は、都心である新宿と田畑に囲まれた田無での CO₂ 濃度を比較したところ最大 100ppm 程度の濃度差しか検出できず採用できないことを、(6) CO₂ spring に関しては CO₂ 濃度そのものは 1000ppm 以上と十分な違いがあるものの自然植生による日陰効果で正常なイネの生育ができないことを明らかにした。

以上、一連の研究により 6 つの手法を検証したところうち 2 つの手法が将来の高濃度 CO₂ 条件に適応した品種選抜に有効であることを世界で初めて明らかにした。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 3 件)

Kumagai, E., Homma, K., Kuroda, E. and Shimono, H.* (2016)

Finlay-Wilkinson's regression coefficient as a pre-screening criterion for yield responsiveness to elevated atmospheric CO₂ concentration in crops. *Physiologia Plantarum* (in press)

Kumagai, E., Aoki, N., Masuya, Y., and Shimono, H.** (2015)

Phenotypic plasticity conditions the response of soybean seed yield to elevated atmospheric CO₂ concentration. *Plant Physiology* 169: 2021-2029.

Shimono, H.*, Okzaki, Y., Jagadish, K., Sakai, H., Usui, Y., Hasegawa, T., Kumagai, E., Nakano, H. and Yoshinaga, S. (2014)

Planting geometry as a pre-screening technique for identifying CO₂ responsive rice genotypes: A case study of panicle number. *Physiologia Plantarum* 152: 520-528.

(学会発表)(計 12 件)

菊池慎二・Raju Bheemanahalli・Krishna S.V.

Jagadish・熊谷悦史・舛谷悠祐・黒田栄喜・下野裕之 (2016) 高濃度 CO₂ 適応性におけるインド型イネ品種のゲノムワイド関連解析 第 241 回日本作物学会講演会 20160328 茨城大学 水戸 口頭発表

竹林佳南・義平大樹・村田容子・下野裕之

(2016) 北海道で育成された秋播性コムギ新旧品種の収量性および疎植適応性 第 241 回日本作物学会講演会 20160328 茨城大学 水戸

*Shimono, H. (2015) The Next Green Revolution: Rising atmospheric CO₂ as a resource. *Global Network of Bangladeshi Biotechnologists*, 9-10 January 2015, Dhaka,

Bangladesh <Oral> 招待
*Shimono, H. (2015) To boost crop productivity under a changing climate, Dhaka University seminar, 11 January 2015, Dhaka, Bangladesh <Oral> セミナー

菊池慎二・Krishna S.V. Jagadish・黒田栄喜・下野裕之 (2015) 高濃度 CO₂ に適応したインド型イネ品種の大規模選抜 第 239 回日本作物学会 150327 日本大学 神奈川県藤沢市

舛谷悠祐・熊谷悦史・松波麻耶・黒田栄喜・下野裕之 (2015) 大気 CO₂ 濃度上昇がアフリカイネ *Oryza glaberrima* Steud. の乾物生産に及ぼす影響 第 239 回日本作物学会 150327 日本大学 神奈川県藤沢市

熊谷悦史・下野裕之 (2015) 早晚性や伸育型が異なるダイズ品種の大気 CO₂ 濃度上昇に対する生育応答の比較 日本農業気象学会 150318 茨城県つくば市

村田容子・竹林佳南・義平大樹・下野裕之 (2015) 栽植密度を用いた大気 CO₂ 上昇下で高い生産性を示すコムギ品種の選抜方法 北海道の春播性コムギの疎植適応における品種間差異 (2ヶ年の結果) 20151205 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会 北海道大学 札幌

竹林佳南・村田容子・義平大樹・下野裕之 (2015) 栽植密度を用いた大気 CO₂ 上昇下で高い生産性を示すコムギ品種の選抜方法 過去 50 年間に北海道で育成された秋播性コムギの疎植適応における品種間差異 20151205 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会 北海道大学 札幌

Shimono, H. (2014) To boost rice productivity in cool regions under a changing climate. 8th Asian Crop Science Association Conference (2014) Conference title: Sustainable Crop Production in respond to Global Climate Change and Food Security, 23-25 September 2014, Hanoi, Vietnam, <Oral>

Shimono, H., Jagadish, K., Hasegawa, T. and Kumagai, E. (2014) Planting geometry as a pre-screening technique for identifying CO₂ responsive rice genotypes: A case study of panicle number. ASA, CSSA, & SSSA international Annual Meeting, 2 - 5 November 2014, Long Beach, CA, USA, <Oral>

*Shimono, H. (2014) Strategies for

improving rice productivity in cool climates under a future climate. Symposium: "Present Forestry, Agriculture and Husbandry conditions in Mongolia", 8-10 December, Morioka, Japan <Oral> 招待

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下野裕之 (SHIMONO, Hiroyuki)
岩手大学・農学部・准教授
研究者番号: 70451490

(2) 研究分担者

田中佑 (TANAKA, Yu) 2015 年度
京都大学・農学研究科・助教
研究者番号: 50634474

川崎通夫 (KAWASAKI, Michio)
弘前大学・農学生命科学部・准教授
研究者番号: 30343213

義平大樹 (YOSHIHIRA, Taiki)
酪農学園大学・循環農学類・教授
研究者番号: 50240346

青木直大 (AOKI, Naoto) 2014~15 年度
東京大学・農学生命科学研究科・助教
研究者番号: 70466811

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

白岩立彦 (SHIRAIWA, Tatsuhiko) 2013~14 年度
京都大学・農学研究科・教授
研究者番号: 30154363

佐々木治人 (SASAKI, Haruto) 2013 年度
東京大学・農学生命科学研究科・准教授
研究者番号: 60225886