

令和元年6月20日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2013～2017

課題番号：25257410

研究課題名(和文) 熱帯地域におけるダイズの潜在生産力の評価と適応性遺伝子源の探索

研究課題名(英文) Evaluation of potential productivity of soybean in tropical environment and investigation of adaptive

研究代表者

白岩 立彦 (Shiraiwa, Tatsuhiko)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：30154363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,100,000円

研究成果の概要(和文)：アジアの温暖地域におけるダイズ収量は高温による負の影響を受けている可能性が、平均収量の推移と気候諸要素の解析から示唆された。世界のダイズミニコアコレクションを含む多様な品種を熱帯環境で栽培し、温帯産品種は熱帯産品種よりも収量が劣ること、日本産品種はさらに温帯産品種の中でもしわ粒が多くかつ収量が不安定であることを見出した。一部の品種の群落生産関連形質を精査し、熱帯環境において温帯産品種は群落の蒸散機能と受光量当り乾物生産量が劣ること、それには生理的・形態的形質が関連することをみとめた。安定した収量生産機能を示す遺伝資源として米国産のDS25-1およびインドネシア産のTanggamusを選定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候温暖化が進む中、作物の温度応答の定量的解明が求められるが実験の困難さにより知見は極めて限られ、ダイズについては遺伝的変異はほとんど報告されていない。本研究は安定して温暖な気象条件が得られる熱帯地域において、多様な品種の生育・収量を圃場条件下で精査することにより、熱帯産品種と温帯産品種の生産機能が異なること、それは高温に対する適応性の違いに起因している可能性が高いことをはじめて示したものである。さらに、熱帯環境において安定した群落生産機能、収穫指数、収量および外観品質を示す遺伝資源を見出した。これにより、日本における将来のダイズ作のための高温適応性育種に道をひらくことができた。

研究成果の概要(英文)：A statistical analysis on regional and decadal variation of climate and soybean yield showed that soybean production is potentially negatively affected by high temperature. Divergent varieties including World Soybean Mini Core-collection were grown in the field under tropical climate. It was proved that soybeans from temperate region is lower yielding than those from tropical regions and Japanese soybeans were particularly less stable in yield and seed quality. The crop physiological attributes were examined for tropical and temperate varieties under tropical environment. Temperate soybeans showed inferior physiological activity of crop canopy than tropical elite variety and this was attributed to difference in leaf conductance and stomatal density. For future breeding of better adaptation to increased temperature, two varieties, DS25-1 from USA and Tanggamus from Indonesia were selected by their high and stable performance of quality, harvest index and/or biomass productivity.

研究分野：作物学

キーワード：ダイズ 収量 適応性 高温環境 熱帯 遺伝的変異

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界的な需要の急増を背景にしてダイズ生産が熱帯アジアで拡大する一方、気候温暖化にともなう日本を含む温帯地域でも作物に対する高温・乾燥ストレスの発生が頻発するようになってきた。食料安全保障上、このような「高温気象におけるダイズの潜在生産力とその支配要因の解明、適応的生産技術の提示が不可欠である。ダイズの生育に及ぼす温度の影響について、これまで人工気象器などを用いた定性的研究は、生育後半の30以上の高温がダイズの収量形成に阻害的であることを示唆してきた。しかし、栽培環境で発生する高温気象が実際の生産にどのように影響を及ぼしているかは、後述する理由からほとんど把握されていない。インドネシアやタイなど、ダイズ生産の歴史が長く独自の品種を有する生産地域では、すでに高温気象に適応した品種が用いられている可能性が高い。しかし、高温気象適応性に関する温帯産品種と熱帯産品種との間に差異が存在するのか、その実態は不明である。

2. 研究の目的

本研究は、第1に熱帯地域のダイズ生産が高温気象から受けている潜在的影響の定量的把握を行い、第2に熱帯産の栽培品種を日本品種の比較を通じて、高温気象に適応した遺伝資源の探索を行い、さらにこれらより、熱帯地域および温暖化しつつある日本における将来の潜在生産力の推定および収量・品質の安定的確保のための栽培・育種両面からの戦略を提示しようとした。

3. 研究の方法

3-1 アジアにおけるダイズ生産が高温気象から受けている潜在的影響

気候変動が作物生産に及ぼす影響の解明が求められているが、ダイズ生産が受けている影響については実態が明らかになっていない。観測地点と期間が限られる日射環境について、統一した基準によって広域かつ長期間のデータセットを得る方法を検討した。すなわち、各地の日々の日射量を大気圏外日射量と最高・最低気温から推定するモデルを日本の気象データベースを用いて検証した。これを諸外国の日射環境の推定に適用し、アジアおよび南北アメリカの主要ダイズ生産地13カ国の過去27年間の平均収量と気候諸要素との関連を解析した。

潜在生産力の品種間差異は第1に生産期間すなわち生育特性により規定される。主要な生育段階に達する日数の日長・温度応答の変異を明らかにするために、世界のダイズの遺伝的多様性を含むミニコアコレクション（農研機構農業生物資源ジーンバンク）を佐賀市において2つの播種期での圃場条件とともに、人工気象室を用いた日長制御条件下で栽培した。

熱帯環境での栽培実験として、世界のダイズミニコアコレクション、日本、米国、タイおよびインドネシアの栽培品種を含むのべ134品種を、タイのコンケン市（コンケン大学）およびインドネシアのボゴール市（ボゴール農業大学）で、栽培し、日本産5品種、米国产5品種、インドネシア産10品種を含む計29品種をインドネシアのセラン市のバンテン農業技術研究所で、それぞれ圃場栽培し、生育過程ならびに収量および収量関連形質を調査した（図1）。バンテンでは、乾物生産過程と群落受光量の推移、上位葉気孔コンダクタンス、群落表面温度など、群落の乾物生産機能に関連する諸形質を測定した。

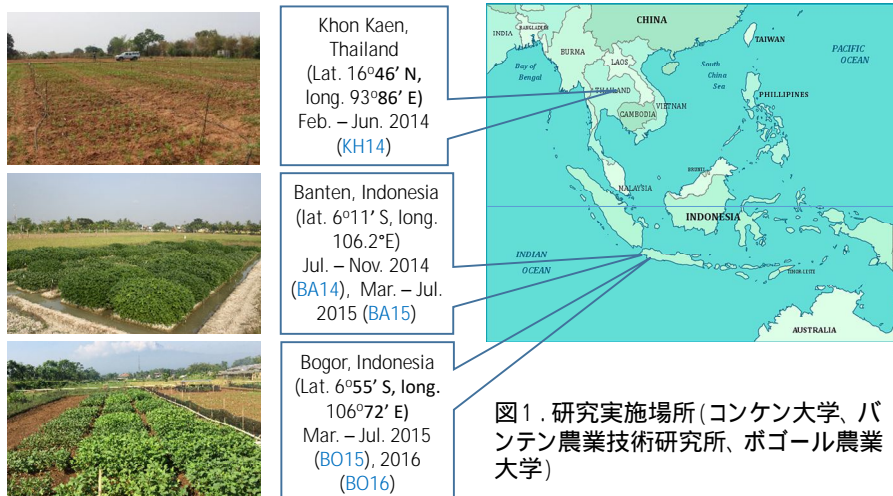


図1. 研究実施場所（コンケン大学、バンテン農業技術研究所、ボゴール農業大学）

4. 研究成果

4-1 アジアにおけるダイズ生産が高温気象から受けている潜在的影響

第3章では、アジアにおける広域の収量変動と気候との関連を解析している。まず、観測地点と期間が限られる日射環境について、統一した基準によって広域かつ長期間のデータセットを得る方法を検討した。すなわち、各地の日々の日射量(R_s ; $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$)を大気圏外日射量(R_a ; $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$)と最高・最低気温(T_{\max} , T_{\min} , $^{\circ}\text{C}$)から推定する次式のようなモデルを作成した。

$$R_s = R_a \times T_t \quad (1)$$

$$T_t = K_{R_s} \times (1 + 2.7 \times 10^{-5} \times \text{Alt}) \{ (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \} \quad (2)$$

ここで T_t は大気透過係数、 $f_{K_{R_s}}$ は T_t と気象条件を関係づける係数。 K_{R_s} は実測値にもとづいて決定した。日本の気象データベースを用いて検証したところ、本方法によって日々の日射量を妥当な精度で推定可能となった。最高・最低温度は日射量とは異なり、国内外の多くの地点で長い期間の記録が利用できる。これにより、日射環境の広域かつ長期間の推定を行った。

諸外国の日射環境の推定に適用し、アジアおよび南北アメリカの主要ダイズ生産地13カ国の過去27年間の平均収量と気候諸要素との関連を解析した。各地域において平均収量が過去27年間に増加してきたことをふまえ同期間を3つの期間に分割して解析したところ、とくにアジア各地の平均収量は日射量が大きいほど高く平均気温（とくに最低気温）が高いほど低い傾向が存在した。この傾向は、夏季の平均気温を対象に検討するとより明瞭にみいだされた(図2)。加えて、収量の年代的推移から、アジア地域のダイズ収量は気候以外の要因によっても制限されていることが示唆された。日本およびアジアの温暖地域におけるダイズ収量は高温による負の影響を潜在的に受けている可能性が強いと推察される。

世界のダイズミニコアコレクションにおける、出芽から開花始期 (R_1) まで日数、および R_1 から着莢始 (R_3) まで日数の変異は、播種の早晚にかかわらず有効積算気温によって表されること、 R_3 から子実肥大始期 (R_5) まで日数の長短にも幅広い変異が存在するが、それは R_3 まで日数によって示される早晩性とは独立していることを見出した。また日長制御実験により、同コレクションでは幼若相の長さ起因すると思われる早晩性に多様な変異が見出されるとともに、それとが独立した日長感受性由来の早晩性の変異が存在することが示唆された。

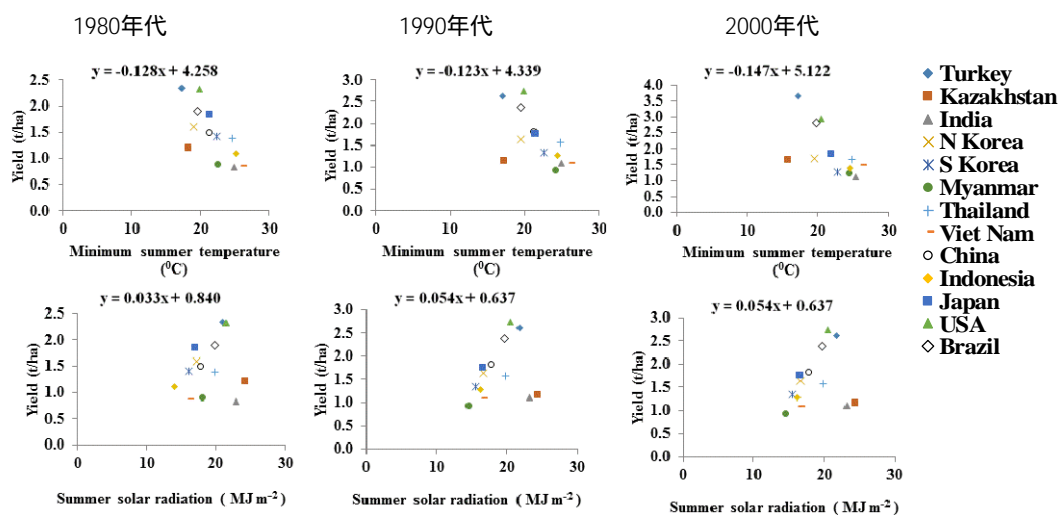


図2. アジアおよび南北アメリカの国別のダイズ平均収量と夏季最低気温および日射量との関係

4-2 熱帯産および温帯産ダイズ品種の熱帯環境における収量生産機能と適応形質

ダイズミニコアコレクションをタイのコンケン市およびインドネシアのポゴール市で栽培し、収量および関連形質の遺伝的変異を検討したところ、温帯産品種は熱帯産品種よりも生育期間が短く収量も明らかに劣っていた。収量の構成要素である収穫指数には産地間の差異は全乾物重のそれに比べて小さく、収量の違いは主に全乾物生産量の違いに起因していた。諸形質の結果を込みにして主成分分析をおこなったところ、熱帯産品種と温帯産品種は生育量と収量を反映する主成分で分けられる傾向が強いが、日本産品種はさらに他の地域の品種群に比べて収穫係数 (HI) が低くかつしわ粒発生率が高い傾向があり、これらを反映する主成分スコアが他の地域の温帯産品種と比較しても異なる傾向がみられた。一

部の品種について、コンケン市(2014年)、セラン市(2014、2015年)、ポゴール市(2015、2016年)の5つの熱帯環境下で栽培した結果を用い、生育・収量の安定性を解析した。収量の安定性は主に収穫指数の安定性が関わっていること、日本産品種丹波黒は供試品種中で収量が最も不安定であるが、それは高温環境になるほどHIが低下することによっていることが明らかになった。

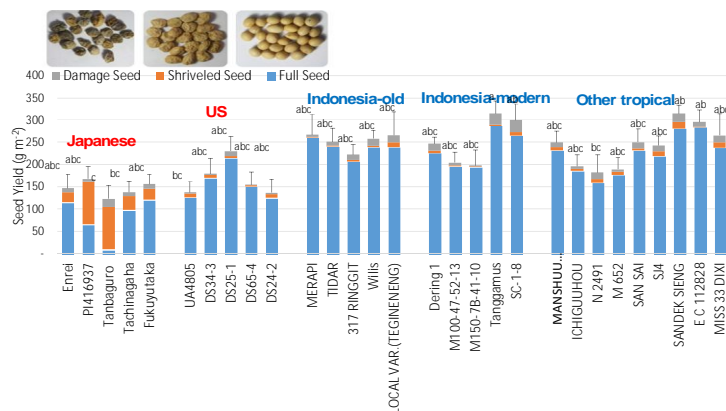


図3 熱帯環境下で群落栽培された熱帯産 (Indonesiaその他) および温帯産 (日本、米国) 品種の子実収量

供試品種を日本産、米国産各5品種(以上、温帯産品種)、インドネシア産旧品種、インドネシア産新品種として各5品種、および他の熱帯産品種として9品種(以上熱帯産品種)に分類し、セラン市において2ヵ年、ポゴール市において1年群落栽培した。収量に関係すると思われる群落乾物生産能の品種群間差異および品種間差異について検討した。収量は120g^m-2から320g^m-2まで幅広く変異し、主に全乾物重の際に起因していた。熱帯産品種と温帯産品種の上述の違いは、生育期間の違いを考慮して補正した収量指標(生育期間の積算日射量当りの収量など)を求めたところ、それらの値においても温帯産品種の収量は熱帯産のそれよりも劣っていた。

子実肥大開始までの乾物生産について解析した。積算受光量は温帯産品種の方が小さい

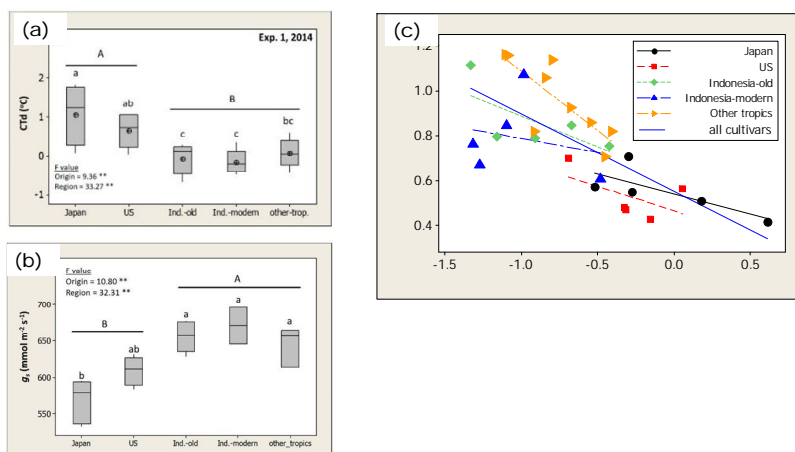


図4 バンテンで群落栽培した29品種を、日本産、米国産、インドネシア産旧品種、同新品種、他の熱帯産品種に分類したときの品種群別形質値
(a) 群落表面温度-気温CTd、(b) 上位葉の気孔密度、(c) CTdと群落日射利用効率

が、それは主に生育期間の違いに起因しており植被の発達速度には産地間差異が認められないことがわかった。一方受光量当り乾物生産量(日射利用効率、RUE)は明らかに温帯産品種が劣っていることを示した。すなわち、熱帯環境下における温帯産品種の群落生長は、葉面積展開では熱帯産品種と同様だが、群落の生産機能が劣っていることが示唆された。群落生産機能と密接な関係にある群落蒸散活性の指標として、群落表面温度から気温を差し引いた値(CTd)と求めた。温帯産品種のCTdは、熱帯産品種よりも小さい、すなわち蒸散活性が低い傾向があった。RUEの品種間変異はCTdのそれと品種群間差異についても、また各品種群内の品種間差異についても、負の相関を示した(図4)。CTdはまた、上位葉の気孔コンダクタンスおよび上位葉身の気孔密度の品種間変異と相関を示した。

これらより、熱帯環境下で温帯産品種の生産性が劣る理由として乾物生産性の劣ることが挙げられ、それには生理的・形態的形質の品種間差異が関連することが示唆された。

熱帯産品種の中では、インドネシア産品種 Tanggamus が安定的に高い収量を示した。温帯産品種の中でも品種間差異がみいだされ、米国産品種とくに高温耐性品種として近年育成された DS25-1 は、高い収量と安定した HI、および相対的にすぐれた群落特性を示す傾向があった。これらの結果より、熱帯環境において安定した収量生産機能を示す遺伝資源として、米国産の DS25-1 およびインドネシア産の Tanggamus を選定した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

1. Hossain, S., Homma, K., Shiraiwa, T. (2014) Decadal and monthly change of an empirical coefficient in the relation between solar radiation and the daily range of temperature in Japan: implications for the estimation of solar radiation based on temperature. *Plant Prod. Sci.* 17, 333-341.
2. Saryoko, A., Homma, K., Lubis, I., Shiraiwa, T. (2017). Plant development and yield components under a tropical environment in soybean cultivars with temperate and tropical origins. *Plant Prod. Sci.* 20, 375-383.
3. Saryoko, A., Fukuda, Y., Lubis, I., Homma, K., Shiraiwa, T. (2018). Physiological activity and biomass production in crop canopy under a tropical environment in soybean cultivars with temperate and tropical origins. *Field Crop. Res.* 216, 209-216.
4. Karim, Md. A., H. Higuchi and Nawata, E. (2018) A participatory research experience on the introduction of mungbean and short duration aman rice as summer crops in the Char lands of northern Bangladesh. *Trop. Agr. Develop.* 62: 14-23.
5. Boxuan Y. and Nawata, E. (2018) Long-term trends of air temperature and the possible impacts on agriculture in Thailand. *Journal of ISSAAS* 24: 57-80.
6. 吉藤 昭紀, Bagjain Rajen, 米田 真悟, 満田 幸司, 川崎 洋平, 河村 久紀, 白岩 立彦 (2019) サイズの生育初期における湿害発生後の乾物生産回復に及ぼす栽培条件の影響. *日作紀* 88: 50-51.
7. Islam, Md R., Fujita, D., Watanabe, S. and Zheng S-H. (2019) Variation in photosensitivity of flowering in the world soybean mini-core collections (GmWMC). *Plant Prod. Sci.* 22: 220-226.
8. Islam Md R., Fujita, D. and Zheng, S-H. (2019) Genotypic Variation of Sensitivities to Photoperiod and Temperature in Different Growth Stages in Soybean World Mini-Core Collections (GmWMC). *Trop. Agr. Develop.* 63 (in press).

〔学会発表〕(計 24 件)

〔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) 研究分担者

研究分担者氏名: 桂圭佑

ローマ字氏名: Katsura Keisuke

所属研究機関名: 東京農工大学

部局名: (連合) 農学研究科 (研究院)

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 20432338

研究分担者氏名: 縄田栄治

ローマ字氏名: Nawata Eiji

所属研究機関名：京都大学
部局名：農学研究科
職名：教授
研究者番号（8桁）：30144348

研究分担者氏名：田中朋之（勝部朋之）
ローマ字氏名：Tanaka Tomoyuki
所属研究機関名：京都大学
部局名：農学研究科
職名：准教授
研究者番号（8桁）：50224473

研究分担者氏名：田中佑
ローマ字氏名：Tanaka Yu
所属研究機関名：京都大学
部局名：農学研究科
職名：助教
研究者番号（8桁）：50634474

研究分担者氏名：中崎鉄也
ローマ字氏名：Nakazaki Tetsuya
所属研究機関名：京都大学
部局名：農学研究科
職名：教授
研究者番号（8桁）：60217693

研究分担者氏名：本間香貴
ローマ字氏名：Homma Koki
所属研究機関名：東北大学
部局名：農学研究科
職名：教授
研究者番号（8桁）：60397560

研究分担者氏名：鄭紹輝
ローマ字氏名：Shao-Hui Zheng
所属研究機関名：佐賀大学
部局名：農学研究科
職名：教授
研究者番号（8桁）：90253517

(2)研究協力者

研究協力者氏名：ジラワット サニヨン
ローマ字氏名：Jirawat Sanichon

研究協力者氏名：ルビス イスカンダル
ローマ字氏名：Lubis Iskandar

研究協力者氏名：アンディ サルヨコ
ローマ字氏名：Andy Saryoko

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。