

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23380011

研究課題名(和文) 穀物の早魘応答指数の生理・遺伝・生態学的解明

研究課題名(英文) Ecophysiological and genetic studies on drought response index in cereal crops

研究代表者

鴨下 顕彦 (Kamoshita, Akihiko)

東京大学・アジア生物資源環境研究センター・准教授

研究者番号：10323487

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：イネの多様な品種群、遺伝集団、準同質遺伝子系統を用いて、早魘応答指数(DRI)を定量し、その生態生理・遺伝学的機構を解明した。品種試験では、DRIは早魘下の収穫指数、稔実性や乾物生産と正の相関が強く、不稔穂の割合、出穂遅延、草丈減少と負の相関が強かった。遺伝集団試験では、第2染色体のRM6911-RM6379の領域、第4染色体RM5953近傍、第8染色体に2か所、DRIの量的遺伝子座が推定されたが、エピスタシスやQTL・環境交互作用も検出された。準同質遺伝子系統試験では、DEEPER ROOTING 1とStele Transversal Area 1を導入した系統では、DRIが向上した。

研究成果の概要(英文)：Drought response index (DRI) of rice (*Oryza sativa* L.) was quantified by using various varieties, 3 mapping populations, and near-isogenic lines of Koshihikari and IR64 with heading date and root trait genes/QTLs to dissect its physiological and genetic mechanisms. In the rice variety experiments, DRI was positively related with harvest index, fertility and biomass production under drought treatment and negatively with percentage of infertile panicles, delay in heading, and reduction in plant height. In the mapping population experiments, QTLs for DRI were detected in RM6911-RM6379 in chromosome 2, around RM5953 in chromosome 4, and 2 loci in chromosome 8. Epistasis and QTL by environment interaction for DRI were significant. In the near-isogenic line experiments, DRI increased by the introgression of DEEPER ROOTING 1, a gene to modify root growth angle toward steeper in response to gravity, and Stele Transversal Area 1, a QTL to enlarge transversal area of stele.

研究分野：作物栽培学

キーワード：ストレス 生態学 遺伝学 植物 環境 耐乾性

1. 研究開始当初の背景

(1) 作物の耐乾性の研究は、海外では、早魘が起りやすい天水農業地域を広く含む先進国(アメリカのトウモロコシ・コムギ、オーストラリアのコムギなど)や中進国(ブラジルの陸稲)で行われてきた。わが国でも陸稲の育種において耐乾性の改良が進められ、収量は約 1.8t/ha(1929年)から 2.8t/ha(2006年)まで増収した(鴨下 2011 日作紀)。現在、国際農業研究協議グループ(CGIAR)等の国際共同研究により、アフリカ、中南米、メコン地域などの開発途上国での作物の耐乾性の改良が進められている。

(2) 耐乾性の研究では、マーカー選抜と遺伝子組み換えによる分子生物学的研究が注目される傾向が強いが、途上国政府にとっては、それを育種の中に取り入れるのはコスト的にも容易ではない。実際、耐乾性の選抜指標をルーティーンで持つ育種プログラムを推進している国は少数である。農業現場に即した技術開発という観点からすると、ポテンシャル収量の改良と、早魘パターンの年次変動と選択肢にある品種・系統のフェノロジーの関連性を、調べる必要がある。早魘応答指数(drought response index; DRI)とは、品種のポテンシャル収量とフェノロジーを加味した上で、早魘下での収量低下の抑制を評価した指数であり、渇水区とストレス区での品種・系統を栽培できれば、ハイテク技術のない育種計画の中でも活用できる強みがある。しかし DRI の生理的・遺伝的基盤や環境との相互作用については、研究が行われていない。

(3) 研究代表者はこれまで、イネの耐乾性のための早魘回避機構として、深根性や葉身水ポテンシャルの維持について生理・遺伝的研究を行い(Kamoshita et al., 2002a,b Crop Sci, Theor Appl Genet)、量的遺伝子座のセミーメタ解析も行ってきたが(Kamoshita et al., 2008 Field Crops Res)、DRI のような総合的な指標に着目し、逆にその生理・形態的機構を明らかにすることも重要であると考えた。耐乾性の改良の中で、DRI は成果が少ないが、インドでのトウジンビエ(Bidinger et al., 1987 Aust J Agric Res)やカンボジアでのイネ(Ouk et al., 2006 Field Crops Res)の育種のための基礎研究が行われてきた。しかし DRI の生理・形態学的解明や、遺伝・環境相互作用、遺伝率、量的遺伝子座の同定、DRI の高い系統・品種の遺伝子発現の特色については、何も知見がない。DRI に関する生理・遺伝・生態学的知見が集積することは、DRI を耐乾性指標として活用した伝統的あるいは分子生物学的な育種法の改良に貢献することが期待される。

2. 研究の目的

開発途上国の天水農業での早魘が起りやすい地域での、適応品種や遺伝子型を明らかにするために、イネなどの穀物の「早魘応答

指数」(drought response index; DRI)の生理・遺伝・生態学的解明を行う。DRI は伝統的な育種法の中でトウジンビエやイネなどの耐乾性の選抜指標として着目されてきたもので、収量ポテンシャルやフェノロジーでは説明できない早魘抵抗性の指標とされているが、そのメカニズムを研究した例は少ない。本研究では、DRI の生理・遺伝的基盤を明らかにし、作物ごとにその有用性の範囲を明確にする。ハイテク技術の早急な導入が困難である多くの途上国での穀類の耐乾性改良育種のために DRI 活用の可能性を評価する。

3. 研究の方法

早魘応答指数(DRI)を、以下に述べる実験作物の組み合わせにより算出し、評価した。

イネ品種群、 C_4 作物としてトウモロコシ・トウジンビエ・キビ、生育期間が短い作物としてソバ(3作物グループ試験)、多様なイネ品種群(イネ品種試験)、を親とする 3 種類の遺伝集団(オトメモチ/ゆめのはたもち自殖組み換え系統、アキヒカリ/IRAT109 戻し交配組み換え系統、亀の尾/Dular 自殖組み換え系統)(遺伝集団試験)、IR64 及びコンヒカリを背景とした準同質遺伝子系統(前者には、重力にตอบสนองして根の伸長角度を鉛直方向にする遺伝子 *DEEPER ROOTING 1 (DRO1)* と、中心柱の断面積を太くする遺伝子座 *Stele Transversal Area 1 (Sta1)* を、後者には、出穂日の早晚性に関する遺伝子座 *Hd1*, *Hd17*, *Hd6*, *Hd16* を導入)(準同質遺伝子系統試験)。

雨除けハウス、上げ床区を利用して、最長 2 ヶ月の無給水の早魘条件と灌水したコントロール条件の畑で栽培試験を行った(2011 年から 2013 年)。

DRI は早魘下の実収量とポテンシャル収量と出穂日から計算される早魘下推定収量との差から算出したが、推定収量の算出を、ポテンシャル収量のみ、出穂日のみ、両者の、の 3 つの組み合わせで行い比較した。DRI の環境条件や栽培条件による変動、他の形質との関連性を明らかにし、遺伝集団を使った試験では、量的遺伝子座を推定した。

DRI の向上が見られた IR64 の準同質遺伝子系統については、異なる水条件や、異なる土壌硬度条件で、親品種と比較栽培を行い、多環境での生産性の評価も行った(多環境試験)(2013 - 14 年)。また、海外の早魘状況の調査として、南インドのため池水田地帯で、早魘年を含む収量の年次間差・圃場間差を比較解析した(2012 - 14 年)。

4. 研究成果

(1) イネ、トウモロコシやトウジンビエなどの C_4 作物、ソバの 3 つの作物グループについて、給水量の異なる畑条件で乾物生産量を測定した。イネの生産量は、最も乾燥し生産レベルの低い条件では、トウモロコシなどの C_4 作物だけでなく、ソバよりも著しく低下し、全般的に乾燥に弱く、早魘応答指数(DRI)

の適用が適当と考えられた。

(2) イネ品種試験では、DRI は早魃下の収穫指数、稔実性や乾物生産と正の相関が強く、不稔穂の割合、出穂遅延、草丈減少と負の相関が強かった。予想通り、Dular やゆめのはたもちでは DRI が最も高かった。ポテンシャル収量と出穂日の両者から DRI を計算することが最も適当と考えられた。

(3) 遺伝集団試験では、オトメモチ/ゆめのはたもちの自殖組み換え系統と、アキヒカリ/IRAT109 の自殖組み換え系統では、早魃ストレスの最も強かった年では、再灌水後の成長と生産がよい系統で収量は高かった。早魃区での収量は、フェノロジーや、灌漑区での収量によって影響されるよりも、DRI により強く影響を受けていたが、その程度は集団による違いも認められた。

(4) 第 2 染色体の RM6911-RM6379 の領域、第 4 染色体 RM5953 近傍、また第 8 染色体に 2 か所に、DRI の量的遺伝子座が推定された。早魃下の収量が、ポテンシャル収量、出穂日によってはあまり説明されなかった。

(5) 準同質遺伝子系統試験では、*DRO1* と *Sta1* を導入した系統では、DRI の向上が見られた。

(6) 多環境試験では、IR64 に *DRO1* を導入した準同質遺伝子系統が、3 つの水利条件を通して親品種よりも多収となり、環境との交互作用は大きくはなかった。一方、*Sta1* のみの準同質遺伝子系統では収穫指数などに改良が見られたものの、多収とはならなかった。*DRO1* と *Sta1* とを両方導入した準同質遺伝子系統では、遮光率が向上し、多収の傾向はみられたものの、*DRO1* 単独の効果より大きくはなかった (Deshmukh et al., 2017)。

(7) 土壌硬度条件と根系成長を調べた多環境試験では、土壌を掘削機で 1.8MPa までまで鎮圧した条件で、*DRO1* による鉛直方向の根の生育はやや弱められ準同質遺伝子系統と IR64 との差が小さくなったものの、根の鉛直方向への伸長角度と、土壌深層 (30-60cm) の根長密度の間には複数年を通して強い正の相関が認められた。*DRO1* は土壌硬度が異なる条件でも、深根化に一定の役割を持っていることを明らかにした (Ramalingam et al., 2017)。

(8) 海外早魃調査では、2012 年の南インドの早魃で、平均出穂日が 1 週間早い品種 (JGL) は晩生品種 (BPT) よりも減収程度が少なかった (3.1 vs 2.1 t/ha)。

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 3 件)

Deshmukh V, Kamoshita A, Norisada M, Uga Y, Near-isogenic lines of IR64 (*Oryza sativa* subsp. *indica* cv.) introgressed with *DEEPER ROOTING 1* and *STELE*

TRANSVERSAL AREA 1 improve rice yield formation over the background parent across three water management regimes. Plant Production Science 2017, DOI: 10.1080/1343943X.2017.1305868(査読有)

Ramalingam P, Kamoshita A, Deshmukh V, Yaginuma S and Uga Y, Association between root growth angle and root length density of a near isogenic line of IR64 rice with *DEEPER ROOTING 1* under different levels of soil compaction. Plant Production Science 20, 2017, 162-175(査読有)

鴨下顕彦, イネ (*Oryza sativa* L.) の耐乾性改良研究の現状、日本作物学会紀事、80 巻、2011、1-12 (査読有)
dx.doi.org/10.1626/jcs.80.1

[学会発表](計 14 件)

Ramalingam P, Kamoshita A, Tong L, Nemoto K, Uga Y. 2017. Eco-physiological and genetic characterization of drought response index of rice (*Oryza sativa* L.) under upland conditions in temperate monsoon climate in Japan. InterDrought V, Hyderabad, India, 21-25 February 2017.

柳沼草介・鴨下顕彦・宇賀優作. 2016. 荒川流域宗岡地区水田における節水型早期落水栽培でのイネ品種 IR64 とコシヒカリの準同質遺伝系統の評価 - 深層施肥の効果と根系 - 日本作物学会第 242 回講演会、龍谷大学(大津市)、2016 年 9 月 10 - 11 日

Ramalingam P, Deshmukh V, Yaginuma S, Manabe T, Nemoto K, Uga Y, Kamoshita A. 2016. Genetic and environmental assessment of root growth angle and its implication under droughted upland conditions in rice. 7th International Crop Science Congress, Beijing, China, 14-19 August 2016.

Kamoshita A. 2016. Current status and techniques to cope with variable water availability and damages in world rice ecosystems. 日本作物学会第 241 回講演会ミニシンポジウム「作物の洪水と干ばつ被害とその問題解決に向けて」、茨城大学(水戸市)、2016 年 3 月 28-29 日

Ramalingam P, Deshmukh V, Yaginuma S, Uga Y, Kamoshita A. 2015. Assessment of growth of a near-isogenic line of IR64 with *DEEPER ROOTING 1* (*DRO1*) under different soil compaction in upland fields. 第 240 回日本作物学会講演会、信州大学(長野)、2015 年 9 月 10 日・11 日

柳沼草介・Deshmukh Vivek・鴨下顕彦、荒川流域宗岡地区におけるイネ品種 IR64 とコシヒカリの準同質遺伝系統の節水型早期落水栽培の事例研究、日本作物学会関東支部第 103 回講演会、2014 年 12 月 5 日、農林水産技術会議事務局つくば事務所(茨城県、つくば市)

Kamoshita A., 2014. Communicating drought resistance improvement in society and case studies of University of Tokyo, Drought workshop: the progress on drought research for rice in rainfed lowland environment, 27 Oct 2014, Bangkok (Thailand)

Deshmukh V, Norisada M, Tong L, Ramalingam P, Uga Y, Yano M, Kamoshita A. Preliminary evaluation of ¹³C among rice genotypes with different root and phenology traits under droughted upland fields, 日本作物学会第 238 回, 2014 年 9 月 9-10 日, 愛媛大学 (愛媛県, 松山市)

Ramalingam P, Tong L, Manabe T, Nemoto K., Kamoshita A. Responses of two japonica x japonica populations under prolonged drought and rewatering, InterDrought IV, 1-6 Sep 2013, Perth(Australia)

Tong L, Ramalingam P, Uga Y, Yano M, Kamoshita A. Responses of near isogenic lines of IR64 and Koshihikari introgressed root angle or heading date to prolonged drought, InterDrought IV, 1-6 Sep 2013, Perth(Australia)

鴨下顕彦, 南インド・タミルナードゥ州における稲作研究とサステナビリティ, AGS 研究会報告会, 2013 年 12 月 12 日, 東京大学 (東京)

Tong Ly・鴨下顕彦, IR64 とコシヒカリの準同質遺伝子系統の長期早魘と再灌水への応答, 日本作物学会第 235 回講演会, 2013 年 3 月 28-29 日, 明治大学 (神奈川県, 川崎市)

Ramalingam P・鴨下顕彦, イネ 2 集団の長期早魘と再灌水に対する早魘応答指数の解析, 日本作物学会第 234 回講演会, 2012 年 9 月 10-11 日, 東北大学 (宮城県, 仙台市)

Tong Ly・Ramalingam Poornima・鴨下顕彦, イネマッピング集団オトメモチ/ゆめのはたもちにおける長期早魘と再灌水への応答, 日本作物学会第 233 回講演会, 東京農工大学 (東京都, 府中市)

〔図書〕(計 8 件)

Deshmukh Vivek Vasant 2017. 多様な管理・環境条件でのイネ遺伝子型の生産のための効率的な水利用に関する生理・生態学的研究. 東京大学博士論文 (主査 鴨下顕彦)

Ramalingam Poornima 2017. 畑条件でのイネの干ばつ応答指数の生理形態学的・遺伝学的特性評価. 東京大学博士論文 (主査 鴨下顕彦)

柳沼草介 2017. 荒川沖積平野の農家水田での出穂日と根形質の異なるイネ準同質遺伝系統群の評価. 東京大学修士論文 (主査 鴨下顕彦)

鴨下顕彦(分担執筆)他, 東京大学出版会, アジアの生物資源環境学, 2013, 244

高野哲夫(分担執筆)他, 東京大学出版会, アジアの生物資源環境学, 2013, 244

根本圭介(分担執筆)他, 東京大学出版会, アジアの生物資源環境学, 2013, 244

鴨下顕彦(分担執筆)他, 文永堂, 作物学, 2013, 312

Wade LJ, Siopongco J, Kamoshita A., Samson BK, Acuna T, Assessing root growth and water extraction for rainfed rice. In: Shashidhar, HE, Henry, A, Hardy, B. eds, Methodologies for root drought studies in rice, 2012, 27-33. International Rice Research Institute, Los Banos (Philippines).

〔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
<http://region.anesc.u-tokyo.ac.jp/research%20theme.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鴨下 顕彦 (KAMOSHITA Akihiko)
東京大学・アジア生物資源環境研究センター・准教授
研究者番号 : 1 0 3 2 3 4 8 7

(2) 研究分担者

高野 哲夫 (TAKANO Tetsuo)
東京大学・アジア生物資源環境研究センター・教授
研究者番号 : 3 0 1 8 3 0 5 7

根本 圭介 (NEMOTO Keisuke)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号 : 4 0 2 1 1 4 6 1