

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18633

研究課題名(和文)水ストレス下のイネ根系発育に関わる炭素収支解析

研究課題名(英文)Carbon balance analysis of root system development under water stress in rice

## 研究代表者

仲田 麻奈 (Mana, KANO-NAKATA)

名古屋大学・高等研究院(農)・特任助教

研究者番号：70623958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、イネの水ストレス条件下における生産性の向上を目指し、それに必要な根の形質として、根系の可塑性発揮における炭素収支について解明することを目的とした。日本晴とKasalath、系統50番(日本晴/Kasalath 染色体部分置換系統群)を用いて、湛水条件(対照)と軽度な乾燥ストレス条件下で栽培した。その結果、根の通気組織形成量は呼吸速度に密接に関与していることが明らかとなった。また、土壌乾燥ストレスに対する適応性の高いイネは、同条件下において、積極的に通気組織を形成することで根の代謝コストとなる呼吸量を減らし、根系発育とくに側根の発育に光合成産物を利用している可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Water stress is the main factor that determines the rice productivity. Root plasticity is a key root trait for plant adaptation to water stress. This study aimed to evaluate the root respiration as metabolic cost for root plasticity expression, and to evaluate the carbon dynamics among plant organs. Nipponbare, Kasalath and CSSL50 (CSSL50 derived from Nipponbare and Kasalath crosses) were grown under waterlogged (Control) and mild drought stress conditions. No significant difference was observed between genotypes in control for shoot and root growth as well as root respiration rate. In contrast, all the genotypes increased their root respiration rates in response to mild drought stress. CSSL50 showed greater lateral root development and lower root respiration rate than Nipponbare, which was associated by higher root aerenchyma formation under mild drought stress conditions. These results imply that reducing root respiration rate is a key mechanism for root plasticity expression.

研究分野：作物生産科学

キーワード：イネ 乾燥ストレス 根系の可塑性 側根発育 通気組織 根呼吸

## 1. 研究開始当初の背景

(1) イネの生産性の主要な阻害要因である水不足を主体とする水ストレス耐性イネ品種の開発は不可欠である。研究代表者らのグループは、根系機能が、そうしたストレス条件下での適応性や耐性に重要な役割を果たしていることを明らかにしてきた (Gowda et al., 2011)。

(2) 研究代表者のこれまでの研究で、「根系が発揮する可塑性」(可塑性: 環境条件の変化に対して、個体の成長や繁殖の維持や促進に貢献する方向で変化する能力) が、水ストレス条件下に適應するための重要形質であることを示す結果を得た (Kano et al., 2011; Kano-Nakata et al., 2011, 2013)。

(3) ストレス環境下における根系発育の促進には、多大なエネルギー (光合成産物) を必要とするが、同時に 1 日に合成される光合成産物の半分以上が根の呼吸基質として利用される (Lambers et al., 2002)。

(4) リンや窒素などの養分ストレス下において形成される根の通気組織は、根呼吸量を減らして収量維持に貢献することが明らかにされている (Saengwilai et al., 2014)。

(5) 水ストレス条件下における作物の生産性改善に必要な根系形質の特定には、根における炭素収支を解析することはきわめて重要であると考えた。

## 2. 研究の目的

水ストレス条件下で発揮される根系の可塑性に注目して、根呼吸速度と根系発育との関係 (根における炭素収支)、さらには、地上部生育と根系発育との関係 (植物体全体における炭素収支) を定量的に解析することを目的とした。

(1) 根系の可塑性発揮には、通気組織形成→呼吸量の減少→側根発育の促進が関与している、という仮説を立てて検証した。

(2) 炭素安定同位体ラベリングによって植物体内の炭素動態を評価した。

## 3. 研究の方法

### (1) 供試材料

研究代表者のこれまでの研究において、農研機構次世代作物開発センター (旧 農業生物資源研究所) イネゲノムリソースセンターが提供している、日本晴/Kasalath の戻し交雑によって作成された計 54 系統のイネ染色体

部分置換系統群 (CSSLs) のうち、系統 50 番が、日本晴と比較して軽度な乾燥ストレス下で一貫して根系の可塑性を発揮し、地上部生育が優れることがわかっている (Kano et al., 2011; Kano-Nakata et al., 2011)。(第 1 図)。よって材料には、この系統 50 番と日本晴、Kasalath を用いた。

### (2) 栽培条件

①水耕条件で、乾燥ストレス処理として 4% と 8% ポリエチレングリコール (PEG) を与えた区と、与えない区 (対照区) を設け、人工気象機内で 14 日間生育させた。

②土耕条件で、湛水区 (対照区) と軽度な土壌乾燥ストレス区 (土壌含水率 20%) を設けた。1/10000 a ポットを用いてガラス室内で 30 日間生育させた。あわせて、塩ビチューブ ( $\phi \times h = 3 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ ) を用いて、人工気象機内で 21 日間生育させた。

### (3) 測定項目

生育期間中、発育パラメーター (草丈、分けつ数、葉面積等) と生理パラメーター (蒸散量、気孔伝導度、光合成速度等) を測定した。サンプリング後に赤外線アナライザー (IRGA, GMP343, Vaisala 社) を用い、Makita ら (2009) の方法によって、根呼吸速度を測定した (第 2 図)。その後、種子根軸上の部位別の通気組織を、切断切片の空隙率を重量法より計測し、あわせて光学顕微鏡にて観察した。また、根系発育パラメーター (根長、節根数、側根発育程度、乾物重) と地上部乾物重を測定した。

### (4) 炭素同位体ラベリング

サンプリングの前日に  $^{13}\text{C}$  で標識された  $^{13}\text{CO}_2$  を 1 時間供与した。サンプリングの際に、器官別 (葉、茎、根) に分けて液体窒素に浸せきさせた後に、乾燥機で乾燥させた。乾燥後乾物重を測定し、サンプルを粉末にし、各器官の炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) を質量分析計で求めた。

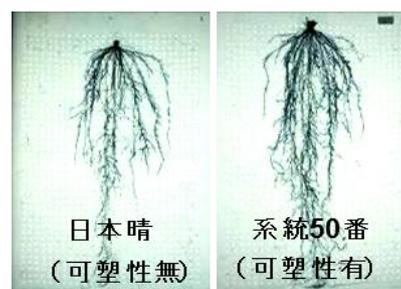


図 1. 土壌乾燥ストレスが根系発育に及ぼす影響 (左: 日本晴, 右: 系統 50 番) . Kano-Nakata et al., 2011 を改変.

#### 4. 研究成果

(1) 軽度な乾燥ストレス条件下の根系における炭素収支解析 (水耕系)

PEG による乾燥ストレス処理によって、いずれの品種・系統においても、根系発育は抑制されたが、根系全体の呼吸速度は増加した。一方、PEG 処理区において、系統 50 番は、日本晴とくらべ地上部生育、根系発育ともに優れる傾向はあるものの、有意な差は確認されなかった。よって、系統 50 番が有する根系の可塑性は、土耕系での評価が重要であると考へた。

(2) 軽度な乾燥ストレス条件下の根系における炭素収支解析 (土耕系)

##### ①ポット実験

湛水区 (対照区) では、地上部生育、根系発育、根呼吸速度ともに品種・系統間差異は確認されなかった。一方、水耕系で得られた結果と同様に、いずれの品種・系統においても、土壌乾燥ストレスによって、地上部生育、根系発育は抑制され、根系全体の呼吸速度は増加した。土壌乾燥ストレス処理区において、根呼吸速度は、Kasalath と系統 50 番より日本晴の方が高かった (表 1)。

##### ②チューブ実験

湛水区 (対照区)、土壌乾燥ストレス区ともに、いずれの品種・系統においても、根呼吸速度は、種子根 (古い根) より上位根 (新しい根) で高かった。さらに、根齢に関わらず、ポット実験で得られた結果と同様に、土壌乾燥ストレス処理によって根呼吸速度の増加が確認された。

空隙率から評価した通気組織形成量は、いずれの品種・系統においても、根齢に関わらず、土壌乾燥ストレス区より湛水区の方が顕著に高く、水処理が根呼吸速度に与える影響は、通気組織形成量が関与していることが明らかとなった。また、土壌乾燥ストレス区において、系統 50 番は日本晴とくらべて、古い根、新しい根ともに、根軸の中央部から先端部にかけて通気組織形成量が高く、このことが系統 50 番の根呼吸速度が日本晴とくらべて小さくなった要因だと推察された。

さらに、単位根軸あたりの側根長から評価した分枝程度 (=側根発育程度) は、土壌乾燥ストレス区において、系統 50 番は日本晴とくらべて大きい傾向があり、とくに根軸上の基部から中央部にかけて側根発育が優れていた。しかし、空隙率と分枝程度の 2 形質について、それらの反応が観察される根軸上

の部位は必ずしも一致しないことが明らかとなった。



図 2. 閉鎖循環式チャンバ法による根呼吸速度測定の様子。

表 1. 土壌乾燥ストレスが地上部生育、根系発育、根呼吸速度に及ぼす影響。

水処理	品種・系統	地上部乾物重 (g)	総根長 (m)	根呼吸速度 (nmol CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )
湛水区	日本晴	3.9 a	163.9 a	190.7 a
	Kasalath	4.3 a	150.7 a	233.2 a
	系統50番	4.1 a	154.6 a	173.1 a
土壌乾燥ストレス区	日本晴	1.7 b	55.2 b	359.8 a
	Kasalath	2.5 a	69.3 a	284.6 ab
	系統50番	2.2 a	89.8 a	305.2 b

表中の値は平均値 (n=4) を表す。

同一処理区内で、異なるアルファベットを付した数値は 5%水準で有意差あり。

(3) 軽度な乾燥ストレス条件下の植物体全体における炭素収支解析

土壌乾燥ストレスによって、いずれの品種・系統においても、根への <sup>13</sup>C 分配率が高まる傾向があった。このことから、土壌乾燥ストレス下において、新規固定炭素が優先的に根に分配された後で、呼吸として消費する分と側根発育として利用する分のバランスに品種間差異が生じている可能性が示唆された。

以上の結果より、根の通気組織形成量は呼吸速度に密接に関与していること、系統 50 番のように、土壌乾燥ストレスに対する適応性の高いイネは、同条件下において、積極的に通気組織を形成して根の代謝コストとなる呼吸量を減らし、根系発育とくに側根の発育に光合成産物を使っている可能性が示唆された。

#### <引用文献>

- ① Gowda et al., 2011. Field Crops Res. 122:1-13.
- ② Kano et al., 2011. Plant Soil. 342:117-128.

- ③ Kano-Nakata et al., 2011. Plant Prod. Sci. 14:307-317.
- ④ Kano-Nakata et al., 2013. Field Crops Res. 114:288-296.
- ⑤ Lambers et al., 2002. In Waisel et al., eds, Plant Roots. 521-552
- ⑥ Saengwilai et al., 2014. Plant Physiol. 166:726-35.
- ⑦ Makita et al. 2009. Tree Physiol. 29:579-585.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 仲田(狩野) 麻奈, 犬飼義明, 山内章. イネの可塑的な根系発育による水ストレス適応機構. 根の研究. 査読無し. 24:53-62, 2015.
- ② Suralta, R.R., Kano-Nakata, M., Niones, J.M. Inukai, Y., Kameoka, E., Tran, T.T., Menge, D., Mitsuya, S. and Yamauchi, A. Root plasticity for maintenance of productivity under abiotic stressed soil environments in rice. 査読有り. Field Crops Res. DOI 10.1016/j.fcr.2016.06.023. 2016

〔学会発表〕(計5件)

- ① 仲田(狩野) 麻奈, Suralta, R.R., Niones, J.M., Tran, T.T, 犬飼義明, 三屋史朗, 山内章. イネの水ストレス耐性に重要な根系の可塑的応答能力. 第43回根研究集会特別シンポジウム「乾燥地における作物生産・生態系管理のための根のデザイン」. 2015年9月30日. 東京農業大学(神奈川県厚木市).
- ② 中村倫理, 三屋史朗, 山内章, 仲田(狩野) 麻奈. 土壌中の水分供給位置の違いに対するイネ根系発育反応. 日本作物学会第241回講演会. 2016年3月29日. 茨城大学.(茨城県水戸市).
- ③ 仲田(狩野) 麻奈. 食糧生産を支える作物の根～イネを育て、子を育て、私のワークライフバランス～. 名古屋大学若手女性研究者サイエンスフォーラム. 2016年8月8日. 名古屋大学.(愛知県名古屋市).
- ④ 仲田(狩野) 麻奈, 犬飼義明, 三屋史朗, 山内章. 土壌乾燥ストレス下のイネ根系発育に関わる炭素収支. 2016年10月1日. 岡山大学資源植物科学研究所(岡山県倉敷市).
- ⑤ 仲田(狩野) 麻奈, 三屋史朗, 犬飼義明,

山内章. イネ根系の土壌乾燥ストレス応答に関与す通気組織形成と根呼吸特性. 日本作物学会第243回講演会. 2017年3月30日. 東京大学.(東京都).

〔その他〕

- ① アウトリーチ活動  
出前授業(国際科学技術財団やさしい科学技術セミナー), 「世界の食糧問題を救うライスサイエンス」, 10月21日. 三重県立津西高等学校.(三重県津市).
- ② ホームページ  
<https://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~brc/jyunkanshigengaku/youkoso.html>

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
仲田(狩野) 麻奈 (KANO-NAKATA Mana)  
名古屋大学・大学院生命農学研究科・高等研究院・特任助教  
研究者番号: 70623958