

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14837

研究課題名（和文）オオムギの浅根性を制御する遺伝子群の同定と湿害耐性への効果の解明

研究課題名（英文）Identification of a series of genes controlling shallow rooting in barley and its effect on waterlogging tolerance

研究代表者

中野 友貴（Nakano, Yuki）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中日本農業研究センター・研究員

研究者番号：40884979

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：国内のオオムギ栽培のほとんどは排水性が悪い水田転換畑で行われており、湿害による生育阻害が収量低下の重要な要因となっている。本研究ではオオムギの根の生育角度を浅くすることによる湿害の物理的な回避を目標とし、イネで同定された根伸長角度制御遺伝子OsDR01およびOsqSOR1のオオムギにおける相同遺伝子HvDR01およびHvqSOR1を同定し、その遺伝子多型が根伸長角度の品種間差異と関連していることを明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

根の構造が植物の環境適応に重要な役割を果たすことは示唆されてきたが、目視での観察が難しいことからこれまでの育種過程において根を対象とした選抜はほとんど行われてきていない。本研究で明らかとした大麦の根の角度を制御する遺伝子とその遺伝子多型の情報を用いればDNAマーカーを開発することができるため、目視での観察を行うことなく目的の根の形態を持つ品種の選抜を行うことが可能になる。

研究成果の概要（英文）：Most barley cultivation in Japan is conducted in converted rice paddy fields with poor drainage, and stunted growth caused by waterlogging damage is an important factor in yield loss. In this study, to physically avoid waterlogging damage by shallow rooting, we identified orthologs of OsDR01 and OsqSOR1, root growth angle control genes identified in rice, in barley (HvDR01 and HvqSOR1). We then found that their polymorphisms were associated with the variation of root growth angle among barley accessions.

研究分野：植物栄養学

キーワード：根系構造 根伸長角度 湿害 オオムギ

### 1. 研究開始当初の背景

国内のオオムギ生産の大部分は排水性の悪い水田転換畑で行われており、湿害による根の活性低下が重要な減収要因となっている。湿害対策として弾丸暗渠や額縁明渠の施工などの農業技術が開発されているが、オオムギの生産はイネの水田裏作として行われることが多く、イネの収穫後からオオムギの播種までの間の天候不順や、近年の農業経営の大規模化の影響もあり作業時間がとれず十分な対策が行えないことも多い。また、気候変動の影響による豪雨の増加が予想されており、湿害による被害のリスクは今後増加すると考えられる。しかし、中央アジアの乾燥地が起源とされるオオムギは元来湿害に弱いいため、品種改良による湿害に強いオオムギ品種の開発が重要な課題となっている。

### 2. 研究の目的

近年の研究から、植物の根系構造が土壌環境への適応に重要な役割を持つことが明らかとなってきた (Uga, 2021)。そこで本研究では、根系を地表近くに展開する浅根性の特徴をオオムギ品種に導入し土壌下層の過湿環境の物理的な回避を可能にすることを目標とし、オオムギの根の伸長角度を制御する遺伝子の同定を第1の目的とした。また、湿害条件下でも十分な根伸長の確保を実現するために、多数のオオムギ品種から低酸素条件下でも根伸長を維持できる系統のスクリーニングを行うことを第2の目標とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) オオムギの値伸長角度制御遺伝子の同定

イネで明らかになっている根伸長角度制御遺伝子 *OsDRO1* (DEEPER ROOTING 1) および *OsqSOR1* (quantitative trait locus for SOIL SURFACE ROOTING 1) (Uga et al., 2013; Kitomi et al., 2020) のオオムギにおける相同遺伝子 (*HvDRO1* および *HvqSOR1*) を BLASTP 解析により探索し、その品種間多型を解析した。また、ハイドロゲルポリマー培地 (Ito et al., 2016) を用いてオオムギ品種の初期生育における根伸長角度を測定し、各遺伝子の多型との関連を解析した。

#### (2) オオムギ品種の低酸素条件下での根伸長の評価

水耕栽培においてエアレーション有りおよびエアレーション無しの条件下でオオムギ品種の栽培を行い、根伸長を測定した。顕著な根伸長の差を示した2品種を選抜し、各条件における根端部位のトランスクリプトーム解析を行い、遺伝子発現パターンの品種間差異を解析した。

### 4. 研究成果

#### (1) オオムギの値伸長角度制御遺伝子の同定

*OsDRO1* および *OsqSOR1* のオオムギにおける相同遺伝子を探索したところ、それぞれ 75% および 61% のアミノ酸配列の相同性を示す遺伝子が検出された (*HvDRO1* および *HvqSOR1*)。オオムギ 47 品種において *HvDRO1* および *HvqSOR1* の ORF 領域のシーケンス解析を行い品種間多型を探索したところ、*HvDRO1* においてはエキソン-イントロン境界領域に多型が存在し、それに起因するフレームシフトによりナンセンス変異が生じていることが明らかとなった。また、*HvqSOR1* においてはリン酸化予測部位にアミノ酸多型が存在することが明らかとなった。これらの多型は生育初期の根伸長角度と関連しており、*HvDRO1* のマイナーアレルを保有する品種は根伸長角度が浅い傾向があり、*HvqSOR1* のマイナーアレルを保有する品種は根伸長角度が深い傾向があった (図 1)。これらの結果から、*HvDRO1* および *HvqSOR1* の多型がオオムギ品種間における根伸長角度の品種間差異に関連していることが示唆された (Nakano et al., 2022)。

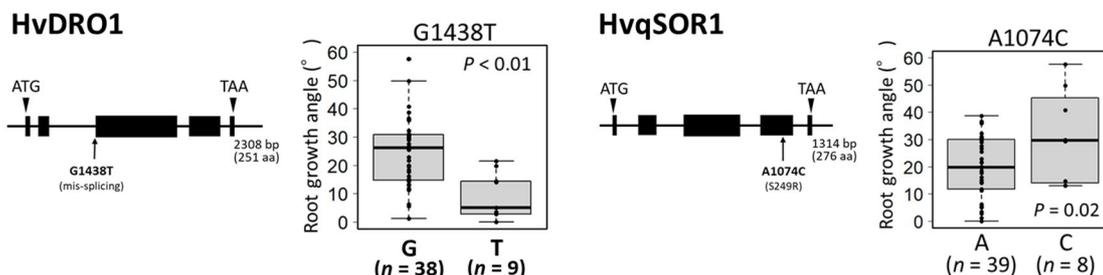


図 1 *HvDRO1* および *HvqSOR1* の多型と根伸長角度の関連

#### (2) オオムギ品種の低酸素条件下での根伸長の評価

エアレーション無しの水耕栽培においてオオムギ 99 品種の根伸長を評価したところ、幅広いバリエーションが観察された (図 2)。顕著に短い根伸長を示した品種の根では根毛が著しく発達していた。根伸長が顕著に異なった品種を用いて TTC (2,3,5-トリフェニルテトラゾリウムクロラ

イド) 染色により根端の活性を評価したところ、根端の染色程度に顕著な差は観察されず、活性に大きな差はないことが示唆された。また、エアレーション有りの条件下では短い根伸長を示した品種の根伸長が回復し、顕著な根毛の発達も見られなかった。これらのことから、観察された根形態の変化は酸素濃度に依存するものであることが示唆された。根伸長が顕著に異なった品種を用いて根端のトランスクリプトーム解析を行い遺伝子発現のパターンを比較したところ、顕著に短い根伸長を示した品種では過酸化水素応答に関与する遺伝子発現量が顕著に変動していることが明らかとなった。そのため、この根形態の変化は過酸化水素を介したシグナル伝達経路が関与する可能性が考えられた。

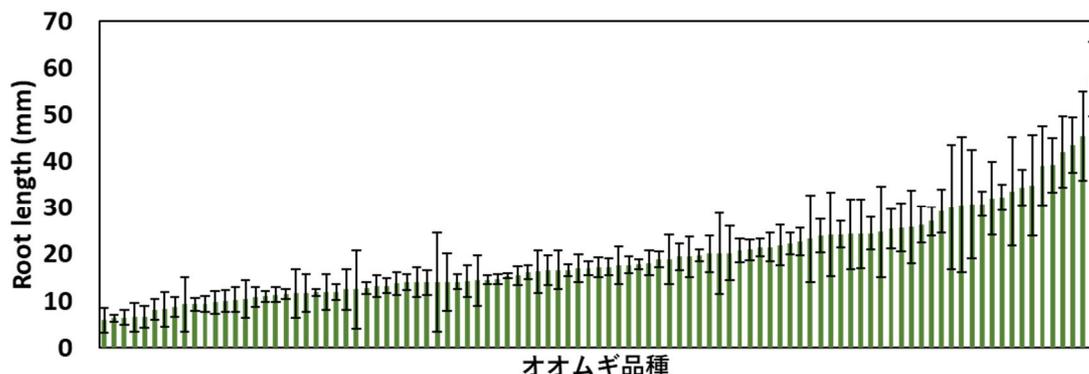


図2 大麦 99 品種の水耕栽培における根伸長

以上の結果から、本研究ではオオムギの根伸長角度を制御する遺伝子およびその品種間多型を同定できたことに加え、低酸素条件下でも根の生育を維持できる品種の特定も行い、現在はその原因遺伝子の同定を進めている。今後は同定した複数の有用遺伝子の積み重ねにより、高い湿害耐性を持つオオムギ品種の開発につなげてゆきたい。

<引用文献>

- Ito H, Kaneko M, Nakamura T, Nakazawa Y, Yoshida H** (2016) Comparison of root growth angles of wheat cultivars grown in a hydrogel polymer medium. *Plant Root* **10**: 4–10
- Kitomi Y, Hanzawa E, Kuya N, Inoue H, Hara N, Kawai S, Kanno N, Endo M, Sugimoto K, Yamazaki T, et al** (2020) Root angle modifications by the DRO1 homolog improve rice yields in saline paddy fields. *Proc Natl Acad Sci* **117**: 21242–21250
- Nakano Y, Konishi J, Ito H, Tanaka T, Seki M, Aoki H, Nagamine T** (2022) Polymorphism of *HvDRO1* and *HvqSOR1* associated with root growth angle in barley accessions. *Plant Root* **16**: 1–10
- Uga Y** (2021) Challenges to design-oriented breeding of root system architecture adapted to climate change. *Breed Sci* **71**: 3–12
- Uga Y, Sugimoto K, Ogawa S, Rane J, Ishitani M, Hara N, Kitomi Y, Inukai Y, Ono K, Kanno N, et al** (2013) Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. *Nat Genet* **45**: 1097–1102

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nakano Yuki, Konishi Junpei, Ito Hirotake, Tanaka Tsuyoshi, Seki Masako, Aoki Hideyuki, Nagamine Takashi	4. 巻 16
2. 論文標題 Polymorphism of HvDR01 and HvqSOR1 associated with root growth angle in barley accessions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Root	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3117/plantroot.16.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Konishi Junpei, Nakano Yuki, Itoh Hirotake, Nagamine Takashi	4. 巻 30
2. 論文標題 Varietal differences of seminal root angle among barley cultivars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Root Research	6. 最初と最後の頁 119~123
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3117/rootres.30.119	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中野友貴、伊藤博武、青木秀之、長嶺敬
2. 発表標題 水耕栽培での酸素条件に应答した大麦根伸長の品種間差異
3. 学会等名 日本育種学会 第143回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中野友貴
2. 発表標題 高湿害耐性品種の開発を目指したオオムギの根伸長角度および低酸素应答の品種間差異に関する研究
3. 学会等名 第18回ムギ類研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------