

博士(農学)学位論文

イネの根系分布および鉄毒耐性に関する遺伝機構の解明と育種学的研究

筑波大学大学院生命環境科学研究科生物圏資源科学専攻 富田朝美

論文の要約

常時湛水条件下水田で生じるイネ (*Oryza sativa* L.) の鉄毒害は、特に熱帯・亜熱帯地域で深刻な土壌問題の一つである。このような地域には経済的な余裕がないことから、土壌改良などの手段による問題解決は難しく、耐性品種の利用が唯一の有効な対処法となっている。このため効率的な選抜育種を目指し、これまで水耕栽培を用いた遺伝的変異の評価や量的形質遺伝子座 (QTL) 解析が行われ、遺伝的機構の解明が試みられてきた。しかし、現在までのところ、耐性に高い効果を示す遺伝的要因の同定には至っていない。この理由は、鉄毒耐性の遺伝的機構が複数の形質や遺伝的要因が複雑に関与するため、また圃場試験の結果と対応した簡易検定法が確立されていないためである。このように、鉄毒耐性の遺伝的機構の解明や品種の選抜・育成に関して、生理学的なアプローチのみでは限界があった。

近年イネの土壌問題に対して、根型の遺伝的改良が一つの有効な手段とされ提唱されてきている。常時湛水水田の還元土壌中で生じる鉄毒については、土壌表面の酸化層に根系を伸長させることで二価鉄の過剰吸収を回避し、耐性に効果を示す可能性がある。このことから、鉄毒耐性に関して、これまでの生理学的アプローチに加えて、根系分布の遺伝的改良を取り入れた新たな選抜・育成法を開発することで、より高い耐性品種の効率的な育成が可能になると考えた。本研究では、根系分布および鉄毒耐性に関する形態・生理・遺伝的機構を明らかにし、新たな耐性品種の選抜・育成法を開発することを目的とした。

1. 根系分布に関する遺伝的変異の解明

イネ幼苗期の根系分布を評価できる、育苗箱を用いた新しい評価法を開発した。本法では、冠根の伸長角度に対して9段階(10°-90°)のスコアを割り当て、詳細な根系分布の評価を可能にした。また従来のバスケット法と比べ、短期間でかつ多数の個体を扱うことができ、多様な遺伝資源の変異の解明や雑種集団を用いた分析が可能となった。

この評価法を用いて、インド型品種IR 64、ならびにIR 64を共通の遺伝的背景とする染色体断片置換系統(INL、4)および準同質遺伝子系統(NIL、4)、合計9アクセッションの根系分布について幅広い変異を明らかにした。これらのアクセッションは、共通のIR 64の遺伝的背景をもち、少数の供与品種からの挿入染色体断片のみを有していることから、ここで観察された根系分布の変異は少数の遺伝的要因により生じたものであり、根系分布は少数の遺伝的要因で改変が可能と推定した。

さらに、イネ遺伝資源97アクセッションの根系分布を評価し、その違いによりAとBの2グループに分類した。また一方で、DNA多型情報に基づいて、日本の水稻改良品種、日本型陸稲・在来品種、およびインド型水稻品種が主に含まれる3グループ(Ia、IbおよびII)にこれらを分類した。グループAは地表根形成を含む浅根性を示すもので少数のアクセッションが含まれた。グループBは、浅根性から深根性のものまで幅広い変異を有し、3グループのアクセッションが幅広く含まれていた。また、平均伸長角度(RVA)と総冠根数(TRN)との間には、関連性は認められなかった。これらの結果から、イネ根系分布はインド型および日本型の種内分化、適応する生態系および改良程度に関わらず、幅広く変異することが明らかとなった。特に、地表根形成を含む浅根性の品種は、根系変異の中で特異的なものであると推定した。

2. 地表根形成および浅根性に関する遺伝的様式の解明

IR 64の遺伝的背景にNew Plant Type (NPT) 品種の染色体断片が導入されたINL、YTH16

は、地表根形成を含む浅根性の根系分布を有している。YTH16 の種子根は、重力に対して不完全な反応を示したことから、重力感受性を部分的に欠損していると考えた。

IR 64 と YTH16 との交雑 F₂ 個体および F₃ 系統群 (集団数 89) を用いて、幼苗期から完熟期までの地表根形成程度の達観評価について QTL 解析を行なった。その結果、第 2、5 および 7 染色体の 3 つの領域上に、YTH16 の遺伝子型の作用により地表根形成程度が増大する計 7 つの QTL を検出した。

IR 64 の遺伝的背景に、これらの QTL を含む染色体領域を 1 から 3 個の組み合わせで有する計 19 の固定系統を育成し、その根系分布の評価を行なった。その結果、第 2 および 7 染色体上の QTL は単独でも浅根性を示し、また両 QTL を集積した系統ではより浅根性を示したことから、二つの領域の QTL は相加的に作用するものと考えた。一方、第 5 染色体上の QTL は単独では浅根性を示さなかったが、第 2 および 7 染色体上のものが存在する条件で、これらの領域の単独保有系統よりも浅根性を示したことから、これらの QTL と相補的に作用するものと推定した。

以上のことから、YTH16 の地表根形成および浅根性は、3 つの染色体領域上の QTL の集積と相互作用から生じることが明らかとなった。これらの QTL は、地表根形成および浅根性のための遺伝資源として利用することができる。

3. 根系の形態的特徴および鉄毒耐性との関連性の解明

IR 64 ならびに IR 64 を共通の遺伝的背景とする INL および NIL 計 9 アクセションについて、赤土を用いて作出した鉄毒処理区において乾物重を評価した。その結果、処理区乾物重および相対乾物重 (RDW) について、幅広い変異が認められた。さらに、育苗箱を用いた評価法から算出される RVA と、RDW との間に負の相関関係が認められた。特に、地表根形成および浅根性を示す YTH16 および YTH34 は、IR 64 と比較して高い RDW が認められた。以上のことから、地表根形成および浅根性は、鉄毒耐性に効果があると結論づけた。

4. 鉄毒耐性に関する生理・遺伝的変異の解明

圃場の結果と対応するとされる寒天水耕培地を用いた評価法により、イネ遺伝資源 91 アクセッションについて、鉄毒条件下における幼苗期の葉身ブロンジングスコア (LBS) および RDW を評価した。その結果、LBS および RDW にはそれぞれ幅広い変異が認められた。この2つの形質間には相関関係は認められなかったことから、LBS と RDW の変異は、基本的に異なる遺伝的様式を有すると考えた。

DNA マーカーの多型情報に基づいて分類された 3 グループ (Ia、Ib および II) と、LBS および RDW の変異とを比較したところ、グループ Ia の品種は、低い LBS を示し、RDW については幅広い変異が認められた。グループ Ib の品種は、LBS は中程度から高い値、RDW については幅広く変異した。グループ II の品種は、LBS は低から中程度の値、RDW は低い値を示した。この結果から、LBS は水稲および陸稲品種間、RDW については日本型およびインド型品種との間で差異があることが明らかとなった。

さらに、LBS、RDW、ならびに育苗箱を用いた評価法から算出した RVA および TRN の変異に相関関係は認められなかった。この結果から、根系分布と、生理的機構に關与する鉄毒耐性の変異はそれぞれ異なる遺伝的様式により制御されていることを明らかにした。

以上のことから、低 LBS および高 RDW を示した耐性品種の遺伝的背景に、地表根形成に關連する QTL を含む染色体領域を、DNA マーカーを用いて導入することにより、より高い鉄毒耐性を示す育種素材を開発できると考えた。本論文は、これまで選抜が困難と考えられてきた鉄毒耐性に対して、生理学および形態学の両面から、形質や特性を用いた耐性品種の育種法を提唱するものである。