

学 位 論 文 題 名

# Root activity and productivity in new plant type of tropical rice lines

（熱帯イネ new plant type 系統の根の活性と生産性）

## 学位論文内容の要旨

イネは主要な穀物であり、その収量の増加は世界の人々への食料供給を確保するために非常に重要である。世界人口の60%以上が生活するアジアではイネを主食にしている地域が多いため、イネの収量増加の重要性が特に大きい。作物の収量を増加する方法の一つとして、単位土地面積あたりの収量（収量性）の向上が考えられる。収量性の向上のために、1960年代からIR8をはじめとする半矮性多分げつ品種（近代品種）が国際イネ研究所（IRRI）で育種され、熱帯アジアの水田で  $10 \text{ t ha}^{-1}$  の最大収量が可能になった。最大収量のさらなる向上を目的に、IRRIにおいてnew plant type (NPT) 系統の育種が1980年代後半から始まった。しかし、NPT 系統の最大収量は近代品種と同程度にとどまっている。このため、NPT 系統の最大収量の向上に関する知見が必要とされている。NPT 系統の育種目標の中で、少分げつ性や1穂粒数の増加など、地上部の草型については具体的に提案され、望ましい形質を備えた系統が既に開発されている。一方、根系についてはvigorous rootという漠然とした育種目標が掲げられているが、NPT 系統の根系の形態や生理に関する知見、目指すべき根系の具体案についての報告は限られている。そこで本研究は、NPT 系統の根系の形態的、生理的な特徴を近代品種と比較し、最大収量の向上のために望まれる根系の形質を提案することを目的とした。

1. 根系の生育には環境的な要因も影響をおよぼすと考えられる。栽植密度もそのような要因の一つであり、最適な栽植密度は多分げつ性の近代品種と少分げつ性のNPT 系統では異なる可能性がある。そこで、近代品種とNPT 系統を複数の栽植密度で栽培し、最適な栽植密度を調査した。近代品種では  $25 \text{ 株 m}^{-2}$  の、NPT 系統では  $44.4 \text{ 株 m}^{-2}$  以上の栽植密度で、収量性および乾物生産性が最大になった。よって、以下の圃場栽培では、近代品種には  $20 \times 20 \text{ cm}$  の株間距離（ $25 \text{ 株 m}^{-2}$ ）、NPT 系統には  $20 \times 10$  もしくは  $15 \times 15 \text{ cm}$  の株間距離（50 または  $44.4 \text{ 株 m}^{-2}$ ）を採用した。

2. 群落または孤立条件下の個体を用いて、NPT 系統の根系の大きさと窒素吸収量を調査した。NPT 系統の根重（ $\text{g m}^{-2}$ ）は生育期間を通して近代品種よりも大きく推移した。この理由として、根重/地上部重比が栽植密度と無関係にNPT 系統で大きいことが明らかになった。根重あたりの根長は近代品種とNPT 系統の間で有意な差が見られなかった

ため、NPT 系統の根長 ( $\text{km m}^{-2}$ ) も生育を通して近代品種より大きく推移した。しかし、NPT 系統の大きい根系は窒素吸収量 ( $\text{g N m}^{-2}$ ) の増加に貢献しなかった。窒素吸収量は近代品種と NPT 系統の間で有意差が見られなかったため、NPT 系統の根重、根長あたりの窒素吸収量 (窒素吸収活性) が近代品種よりも小さいことが明らかになった。

3. 代表的な近代品種 (4 品種) および NPT 系統 (12 系統) を用いて、収量性、乾物生産性と窒素吸収量を調査した。各品種 (系統) の収量は  $4.8\sim 8.9$  ( $\text{t ha}^{-1}$ ) の範囲に入り、熱帯水田の最大収量 ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) の向上は達成できなかった。乾物生産量は  $1150\sim 2090$  ( $\text{g m}^{-2}$ ) の範囲に、窒素吸収量は  $13.8\sim 26.0$  ( $\text{g N m}^{-2}$ ) の範囲に入った。収量と窒素吸収量および乾物生産量と窒素吸収量の間には有意な正の相関関係が見られた (順に  $R^2=0.558^{**}$ 、 $R^2=0.804^{**}$ )。栄養生長期間、生殖生長期間、登熟期間における乾物増加量と窒素増加量の間にも有意な正の相関関係が見られた (順に  $R^2=0.659^{**}$ 、 $0.507^{**}$ 、 $0.767^{**}$ )。1800 ( $\text{g m}^{-2}$ ) 以上の比較的高い乾物生産性を示した品種 (系統) に共通する特徴として、登熟期間中の乾物増加量と窒素増加量が大きいことが観察された。これらの品種 (系統) の根重は生育期間を通して増加していた。したがって、生育後半まで根への乾物分配が続く品種 (系統) では、窒素吸収も維持されていると考えられた。このため、登熟期にも地上部の乾物生産に必要な窒素が供給され、乾物生産性および収量性が向上することが示唆された。

4. 根の活性と地上部活性の間には、養水分、植物ホルモン、光合成産物等のやり取りを介して、お互いに影響を与えあう root-shoot interaction が存在すると考えられる。そこで、熱帯多収性イネの根の活性 (窒素吸収活性、能動吸水活性、呼吸活性) と地上部活性 (相対生長速度、RGR) との関係を調査した。調査には 5 回の圃場試験で得られたデータを用いた。品種 (系統) や栽培条件とは無関係に、窒素吸収活性 ( $\text{mg N g}^{-1} \text{ root dry weight d}^{-1}$ ) または能動吸水活性 ( $\text{g exudate g}^{-1} \text{ root dry weight } 12 \text{ h}^{-1}$ ) と RGR ( $\text{mg g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) との間には生育期間を通して有意な正の相関関係が見られた。すなわち、熱帯多収性イネにおいて root-shoot interaction が生育期間を通して認められ、地上部の活性が高いときには根の活性も高い必要があることが推察された。また、窒素吸収活性と能動吸水活性は root-shoot interaction における、根の活性の指標になると考えられた。しかし、根の呼吸活性 ( $\mu\text{mol O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ root dry weight h}^{-1}$ ) と RGR の相関関係は生育生育条件の違いで大きく変化した。

5. まとめると、1) 近代品種と比較して、NPT 系統は大きい根系をもつが、その窒素吸収活性は低く、2) 窒素吸収活性は地上部活性と生育期間を通して有意な相関関係を持ち、3) したがって、NPT 系統の最大収量の向上のためには、根の活性の上昇、特に登熟期間の根の活性の維持が重要であり、4) 登熟期間にも根重の増加が続く品種 (系統) は、根の活性も維持される可能性があり、5) 根の活性の指標として、窒素吸収活性および能動吸水活性の利用が、熱帯多収性イネでも有効である。以上の結果から、NPT 系統の根系について、現状の問題点と育種の際に目指すべき方向性が明らかになった。

# 学位論文審査の要旨

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 査 | 教 授 | 大 崎 | 満   |
| 副 査 | 教 授 | 荒 木 | 肇   |
| 副 査 | 助教授 | 信 濃 | 卓 郎 |
| 副 査 | 助教授 | 山 岸 | 真 澄 |

## 学 位 論 文 題 名

### Root activity and productivity in new plant type of tropical rice lines

(熱帯イネ new plant type 系統の根の活性と生産性)

本論分は6章からなり図32、表10、総頁113からなる英文論文で、別に参考論文3編が付されている。

イネは主要な穀物であり、その収量の増加は世界の人々への食料供給を確保するために非常に重要である。イネの最大収量の向上を目的に、国際イネ研究所において new plant type (NPT) 系統の育種が行われている。しかし、NPT 系統の最大収量は近代品種と同程度にとどまっている。このため、NPT 系統の最大収量の向上に関する知見が必要とされている。NPT 系統の育種目標の中に vigorous root system が含まれているが、NPT 系統の根系の形態や生理に関する知見、目指すべき根系の具体案については不明である。そこで本研究では、NPT 系統の根系の形態的、生理的な特徴を近代品種と比較し、最大収量の向上のために望まれる根系の形質を提案した。

1. 根系の生育には環境的な要因も影響をおよぼすと考えられる。栽植密度もそのような要因の一つであり、最適な栽植密度は多分げつ性の近代品種と少分げつ性の NPT 系統では異なる可能性がある。そこで、近代品種と NPT 系統を複数の栽植密度で栽培し、最適な栽植密度を調査した。近代品種では 25 株  $\text{m}^{-2}$  の、NPT 系統では 44.4 株  $\text{m}^{-2}$  以上の栽植密度で、収量および全乾物重が最大になった。

2. NPT 系統の根系の大きさと窒素吸収能を調査した。NPT 系統の根重 ( $\text{g m}^{-2}$ ) は生育期間を通して近代品種よりも大きく推移した。この理由として、根重/地上部重比が NPT 系統で大きいことがあげられた。根重あたりの根長は近代品種と NPT 系統の間で有意差が見られなかったため、NPT 系統の根長 ( $\text{km m}^{-2}$ ) も生育を通して近代品種よりも大きく推移した。しかし、NPT 系統では単位根重あたりの窒素吸収活性が低いため、大きい根系は必ずしも窒素蓄積量 ( $\text{g N m}^{-2}$ ) の増加に貢献しなかった。

3. 代表的な近代品種および NPT 系統を用いて、収量性、乾物生産性と窒素吸収能の関係を調査した。収量と窒素蓄積量および全乾物重と窒素蓄積量の間には有意な正の相関関係が見られた（順に  $R^2=0.558^{**}$ 、 $R^2=0.804^{**}$ ）。栄養生長期間、生殖生長期間、登熟期間における乾物生産量と窒素吸収量の間にも有意な正の相関関係が見られた（順に  $R^2=0.659^{**}$ 、 $0.507^{**}$ 、 $0.767^{**}$ ）。 $1800 \text{ (g m}^{-2}\text{)}$  以上の比較的高い全乾物重を持つ品種（系統）に共通する特徴として、登熟期間中の乾物生産量と窒素吸収量が大きいことが観察された。これらの品種（系統）の根重は生育期間を通して増加していた。したがって、生育後半まで根への乾物分配が続く品種（系統）では、窒素吸収も維持されていると考えられた。このため、登熟期間中にも地上部の乾物生産に必要な窒素が供給され、乾物生産性および収量性が向上することが示唆された。

4. 根の活性と地上部活性の間には、養水分、植物ホルモン、光合成産物等のやり取りを介して、お互いに影響を与えあう root-shoot interaction が存在すると考えられる。そこで、熱帯多収イネの根の活性（窒素吸収活性、能動吸水活性、呼吸活性）と地上部活性（相対生長速度、RGR）との関係を調査した。品種（系統）や栽培条件とは無関係に、窒素吸収活性 ( $\text{mg N g}^{-1} \text{ root dry weight d}^{-1}$ ) または能動吸水活性 ( $\text{g exudate g}^{-1} \text{ root dry weight } 12 \text{ h}^{-1}$ ) と RGR ( $\text{mg g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) との間には生育期間を通して有意な正の相関関係が見られた。すなわち、窒素吸収活性と能動吸水活性は root-shoot interaction における、根の活性の指標になると考えられた。しかし、根の呼吸活性 ( $\mu \text{mol O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ root dry weight h}^{-1}$ ) と RGR の相関関係は生育条件の違いで大きく変化した。

5. まとめると、1) 近代品種と比較して、NPT 系統は大きい根系を持つが、その窒素吸収活性は低く、2) 窒素吸収活性は地上部活性と生育期間を通して有意な相関関係を持ち、3) したがって、NPT 系統の最大収量の向上のためには、根の活性の上昇、特に登熟期間の根の活性の維持が重要であり、4) 登熟期間にも根重の増加が続く品種（系統）は、根の活性も維持される可能性があり、5) 根の活性の指標として、窒素吸収活性および能動吸水活性の利用が、熱帯多収性イネでも有効である。

以上の研究により、これまで不明であった NPT 系統の根系の特徴と問題点が初めて明らかになった。これらの知見は学術的に高く評価されるとともに、熱帯多収イネの最大収量を向上させるために極めて有益な情報を提供するものである。よって審査員一同は、鮫島啓彰が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。