

論文の内容の要旨

生産・環境生物学専攻

平成 10 年度博士課程 進学

氏 名 姜 東鎮

指導教官名 石井龍一

論文題目

イネの耐酸性機構に関する研究

—タイ南部酸性土壌地域におけるイネ収量の改善を目指して—

本研究は、酸性硫酸塩土壌を有するタイ南部ナラチワ県を研究対象とし、酸性土壌地域でのイネ収量を向上させることを目指して行われたものである。まず、強酸性土壌を人工的に作出し、それを使って酸性土壌耐性イネ品種を選抜することから研究を開始した。そして、それら耐性品種の耐酸性機構を形態学的・生理学的側面から調べた。その際、低 pH による作物の生長阻害は Al 過剰に起因することが多いので、Al の吸収パターンを耐性品種で調べるとともに、Al に対する耐性機構をいくつかの面から調べることに重点をおいた。最後に、ナラチワ県内の主な生産地における収量レベルの実態を調査し、本研究で同定した耐酸性品種を導入することによって酸性硫酸塩土壌地域の収量を改善できる可能性を検討した。本研究で得られた結果の概要は次の通りである。

I. 酸性土壌条件下における耐性イネ品種の形態学的・生理学的特徴

1. 通常の土壌を、黄鉄鉱 (FeS_2) あるいは黄鉄鉱の酸化過程の中間生成物である硫酸鉄水合物 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ で処理し、酸性硫酸塩土壌を人工的に作成した。そうして作られた pH 3.3~3.5 の強酸性土壌を用いて、アジアイネ (*Oryza sativa* L.) 48 品種、アフリカイネ (*Oryza glaberrima* Steud.) 29 品種、合計 77 品種から、移植後 4 週間での生存の可否によって耐酸性品種 24 品種を選抜した。アジアイネとアフリカイネを比較すると、アフリカイネの方が高い生存率を示したがその差は小さかった。また、アジアイネの生存率については、インディカ品種

の方がジャポニカ品種よりもやや高く、インディカ品種の方が酸性土壌に強い傾向がうかがえた。

2. 選抜された 24 品種のうち、強酸性土壌で最も高い生長量を示した 4 品種と、タイ南部ですでに耐酸性があるとされている 2 品種、それに本実験で耐酸性がないとされた 3 品種を、選抜実験条件よりもややマイルドな酸性土壌 (pH 3.8~4.0) で生育させ、根の形態学的特徴として根長を、また葉の形態学的特徴として葉面積と比葉重とを取り上げ、それらの違いを耐性品種と非耐性品種で比較した。

(i) 根長： 対照区に対する処理区の相対的根長は、耐性品種で大きく、非耐性品種で小さい傾向を示した。この傾向は、生育の進行にともなって拡大し、移植後 10 週目には耐性品種と非耐性品種で有意な差を示した。

(ii) 葉面積・比葉重： 移植後 10 週目で、処理区の植物体の葉面積は、対照区の植物体に対し耐性品種で 9%~39%と大きく減少していた。非耐性品種では、さらに大きく減少しており、対照区の 10%~15%にまで低下していた。この結果、処理区の植物体の比葉重（単位葉面積当たり葉乾重）は、対照区に比べて、大きくなる（葉が厚くなる）傾向が認められた。

3. 酸性土壌条件下で起こる植物の生理活性低下は、Al イオン（以下 Al という）の吸収に起因することが多い。酸性土壌条件下で吸収された Al の、植物体内での分布、Al による無機養分の競争的吸収阻害の有無、そして葉の光合成速度を調べた。

(i) 植物体内での Al の分布： 根および葉鞘における Al の濃度は、葉身に比べて低く、かつ、耐性品種と非耐性品種との間に大きな差はなかった。しかし、葉身の Al 濃度については、耐性品種よりも非耐性品種の方で高くなる傾向が認められた。このことから、耐性品種においては、吸収された Al を葉身にまで移行しにくい性質があることが示唆された。

(ii) Al による他の無機養分の競争的吸収阻害： 酸性土壌条件下では、Al の吸収による他の無機養分の競争的吸収阻害が起こり、無機養分欠乏になると考えられる。そこで、Ca、P、Mn などの吸収量を調べたが、Al による他の無機養分の競争的な吸収阻害は起こっていないと考えられた。

(iii) 葉の光合成速度 (LPS)： 酸性土壌条件下で生育させた植物体の LPS は、耐性品種のいずれにおいても、対照区の 52%以上を維持していた。しかし、いずれの非耐性品種でも対照区の 47%以下しか維持できていなく、耐性品種が非耐性品種よりも有意に高い LPS 値を示した。

II. 低 pH/Al 過剰に対する耐性イネ品種の反応

上記の I でみた通り、酸性土壌条件下で生ずる植物の生長抑制は、Al 過剰害に起因すること

が示唆された。ここで、Al による植物への影響を明確にとらえるため、Al を過剰量含ませた低 pH (pH=3.8) の水耕液で耐性品種と非耐性品種イネを栽培し、Al に対する反応をさらに詳細に調べた。

1. 低 pH/Al 過剰条件におけるイネの根端での Al の蓄積を調べ、次のような結果を得た。

(i) Al 集積パターン： Al 処理後 10 日目のイネの根端組織内での Al の濃度分布をルモガリオン染色法を用いて調べた。根端での Al 濃度は、耐性品種で低く、非耐性品種で有意に高かった。耐性品種の根端での Al 集積は、表皮細胞で多くみられたが、非耐性品種では皮層や中心柱など根の内部組織で多く観察された。また、非耐性品種では、Al による内部組織の破壊から形成されたと思われるフリースペースで、高濃度 Al の集積が認められた。

(ii) 有機酸量：イネ植物体をまず、低 pH 条件に曝すと、クエン酸やリンゴ酸よりコハク酸が著しく多量に形成されていた。この条件に Al を加えると、いずれの品種でもクエン酸やリンゴ酸が急激に増加した。耐性品種と非耐性品種を比較してみると、クエン酸量は耐性品種の方が非耐性品種より有意に多かった。したがって、耐性品種は根端で有機酸、特にクエン酸を多く生産し、根圏や根内に取り込まれた Al に結合させて Al-複合体を形成し、Al を無毒化していると考えられた。

2. 低 pH/Al 過剰条件によって植物体内に水ストレスが生じ、それが酸性土壌における植物の生育阻害を引き起こす原因となる可能性が認められたので、Al 耐性と水ストレス耐性との相互関係について検討し、つぎのような結果を得た。

(i) 植物体内での水の動態：まず、Al を添加しないで低 pH (pH=3.8) に調整した水耕液で 48 時間生育させたイネについて、 $^{18}\text{F}^-$ を用いて非破壊的に植物体内の水の動態を調べた。その結果、低 pH 区のイネは対照区のイネに比べ、水の吸収量が減少していた上、水の輸送速度が遅くなっていた。耐性品種と非耐性品種を比べると、耐性品種では、低 pH 条件にした当初は水の吸収速度がやや遅かったものの、その後徐々に上昇し、非耐性品種を凌駕する傾向がみられた。

(ii) Al 過剰害は、水ストレス害と共通であると言われている。その点を確認するため、低 pH 区 (pH=3.8)、Al 処理区 (pH=3.8)、水ストレス区 (pH=5.0) を設け、それらの葉の水ポテンシャル(LWP)を対照区(pH=5.0)と比較検討した。その結果、低 pH 区では対照区に比べていずれの品種でも LWP が低下していた。さらに、Al を加えるとその低下は顕著に現れ、非耐性品種では耐性品種より大きく低下した。また、水ストレス区でも Al 処理区と同様、大きく低下しており、その低下は、耐性品種で小さく、非耐性品種で大きかった。この LWP の低下は Al 処理区と水ストレス区とで共通な傾向がみられたことから、植物体の水分生理活性に対する影響については、Al 処理と水ストレス処理との間に共通性があることが認められた。

III. タイ南部酸性硫酸塩土壌地域におけるイネの収量性

タイ南部酸性硫酸塩土壌でのイネ収量の実態を調査し、耐酸性イネ品種の導入の可能性を検討した。

1. 酸性土壌地域の中でも、酸性硫酸塩土壌を有し、特に酸性土壌の被害が大きい Tak-bai 地域では、石灰による土壌矯正にも関わらず収量が他の酸性土壌地域の Yi-ngo、Bacho より有意に低かった。このことから、Tak-bai 地域のイネ収量を向上させるには、さらに強い耐酸性イネ品種の導入が必要と考えられた。
2. 本研究で選抜された耐酸性イネ品種を、酸性硫酸塩土壌をつめたポットで現地栽培した。石灰で矯正しなかった区では、耐性品種でさえも植物体は生存できなかった。しかし、石灰要求量(LR) 0.5 レベルで矯正した区ではいずれの品種も生存できたが、収量については大きな差が生じ、本研究で最も強い耐酸性を示した IR53650 の収量が最も高い値を示した。
3. 酸性硫酸塩土壌を有する実際の水田条件下においても収量を調べると同時に、光合成速度などの収量に関連すると考えられる生理的要因について調べた。その結果、耐酸性品種の IR53650 のイネ収量は、最近この地方に導入が計画されているタイ 2 品種(S-buri 90、Chainat 1) よりも有意に高く、LPS の傾向と一致していたことから、IR53650 の子実収量は、酸性硫酸塩土壌条件下において高かった。これらのことから、この品種は酸性硫酸塩土壌地域のイネ収量の改善に貢献できる有望な品種であると考えられた。
4. 上述の 1~3 の実験結果を踏まえ、Yi-ngo 地域で多収であった在来 2 品種、実験レベルで多収を示した IR53650、Tak-bai の奨励品種である Jan hom を、Tak-bai 地域の農民にその管理を委託して栽培した。その結果、まず、Yi-ngo 地域から持ち込んだイネ 2 品種、Colijor、Litmus の収量が、この酸性土壌地域で長年栽培し続けられていた Luk-daeng や Jante のみならず、最近栽培の始った品種 Jan hom よりも有意に高かった。このことから、Yi-ngo の 2 品種の高い潜在収量は、この酸性硫酸塩土壌地域においても発揮されることを示し、他の地域に栽培されている品種の中に、Tak-bai 地域のイネ収量の改善に貢献できるものがあることが示された。また、酸性硫酸塩土壌条件下で高い収量を示した IR53650 は、残念ながらこの試験では生育期間中にネズミの害により、収量解析に至らなかった。本研究でこの品種が有望であることが示されたので、この品種をこの地域に導入する試みを続けて行きたいと考えている。