

博士論文の要約

(博士論文のインターネット公表保留のため)

論文題目：ケニアにおける改良イネ品種の導入と栽培技術の
高度化による稲作生産性向上に関する研究

名古屋大学大学院生命農学研究科
植物生産科学専攻
実践アフリカ開発研究室

富田 怜那

東アフリカのケニアでは、食の嗜好の変化や都市部の人口増加によりコメの需要は高まっている。中でもバスマティ品種は、食味や香りの良さから特に好まれ、市場での価格が高い。ケニアにおける単位面積あたりのコメ収量は、環境ストレスによるイネの生育不良や不適切な栽培管理が原因で低迷している。コメの増産に向けて、バスマティ品種のストレス耐性を強化するとともに、適切な栽培技術を確立する必要がある。しかしながら、稲作研究の歴史が浅いケニアでは、現地で問題となっている環境ストレスの実態は十分に調査されておらず、環境ストレスの評価手法が確立されていない。

そこで本研究では、ケニアにおける稲作生産性の向上に貢献するため、主要な稲作地域における環境ストレスの実態を明らかにするとともに、環境ストレスを適切に評価する手法を導入、または独自に開発し、バスマティ品種の改良または栽培管理技術の高度化による対策方針を提案することを目的とした。

第2章ではケニア最大の稲作地域であるムエアで問題となっている冷害を対象として研究を実施した。熱帯高地に位置するムエアでは、日平均気温は1年を通して稲作に適した23°C~25°Cで推移するが、低温期の夜温は12°C~19°Cに低下する。ムエアの主力水稻品種であるBasmati 370の耐冷性は極弱であり、低温期に障害型冷害が発生するため二期作はほとんど行われていない。Basmati 370の耐冷性を強化すれば二期作が広まると考えられるが、同品種に不稔が発生する限界温度や二期作の実現に必要な耐冷性程度は不明である。一方、先行研究により、ムエアにおいてBasmati 370の収量最大化を目指して窒素を増肥させても、乾物生産量は増加するものの登熟歩合が低下するため、収量は増加しないことが明らかになっている。高窒素下ではイネの耐冷性は弱まるため、冷害が発生したものと予想されるが、これまでの研究では高窒素下におけるイネの登熟歩合低下と低温ストレスとの直接的な関係は明らかになっていない。そこで、Basmati 370、Basmati 370に穂ばらみ期の耐冷性に関連するQTLである*Ctb1*を導入したIR124713-1、耐冷性の強いNERICA1および戦捷を2週

間毎にムエアの水田圃場に移植することにより穂ばらみ期に晒される気温を変化させ、品種毎の限界温度を調査した。その結果、昼夜の気温日較差が大きい熱帯高地における穂ばらみ期の低温ストレスは、温帯で使われている日平均気温から算出する cold degree day (CDD) を用いた評価手法では適切に評価できず、1時間毎の気温で算出する cold degree hour (CDH) を用いることで高い精度で評価できることが明らかになった。限界温度は、Basmati 370 と IR124713-1 では 19°C~22°C、低温期の稔実歩合が約 50%に維持された NERICA 1 と戦捷では 14°C~17°Cだった。さらに、Basmati 370、IR124713-1 および NERICA 1 を 3 水準の窒素施肥条件下で栽培し、幼穂形成期、穂ばらみ期および登熟初期における CDH と収量構成要素との関係を分析した。その結果、収量の変動は主に籾数によって規定され、籾数は幼穂形成期における低温ストレスの影響で変動していた。幼穂形成期の低温ストレス条件下において、Basmati 370 の籾数は高窒素施肥により増加しなかったが、NERICA 1 および IR124713-1 では増加した。また、IR124713-1 の収量が Basmati 370 よりも高かったのは、高窒素により籾数が増加したにもかかわらず登熟歩合が同程度に維持されたためであった。

第 3 章では、ムエアやビクトリア湖沿岸で罹病化したバスマティ品種のいもち病抵抗性の強化に向けた研究に取り組んだ。バスマティ品種は、インド型および日本型品種と雑種不稔を起こすため、抵抗性育種は十分に進展していない。野生イネ *O. longistaminata* の染色体断片を Kernel Basmati に導入した 50 系統から構成される染色体断片置換系統群である longistaminata chromosome segment introgression lines (LCSILs) は、ケニアで有用ないもち病抵抗性遺伝子を保持している可能性がある。抵抗性品種を開発するためには、現地に蔓延しているいもち病菌レースに即した抵抗性遺伝子 (R 遺伝子) を導入する必要があるが、ケニアでは圃場のいもち病菌レースを調査する評価体系が確立されていない。そこで本章では、感受性品種に 23 個の R 遺伝子の一つずつ導入した国際いもち病菌判別品種群 (DVs) を用いた、実験研究施設が十分に整備されていない開発途上国でも維持管理可能な圃場レベルでのいもち病菌レース評価システムの確立を試みた。4 年間に亘る栽培試験により、いもち病菌レースの分布は、DVs を小雨季の 10 月~12 月に畑地で前年罹病した稲藁を株元に敷き、スプリンクラーで毎日灌水することにより高湿度条件を維持し、罹病性の高い品種と一緒に無農薬で栽培することで安定的にいもち病を発生させることにより評価できることが示された。この評価システムにより、ムエアにはバスマティ品種が保有する *Pik* 複対立遺伝子および *Pita* 複対立遺伝子を感染させる菌系が存在する一方で、*Pish*, *Pit*, *Pi9(t)*, *Piz*, *Piz-5*, *Piz-t* を感染させる菌系は分布していないことが明らかになった。そこで、LCSILs のケニアにおけるいもち病抵抗性育種への利用の可能性を検討するため、国際標準判別いもち病菌レースを利用した接種試験によるフェノタイプングと次世代シーケンサーを用いたジェノタイプングによる R 遺伝子特定を進めるとともに、圃場での生産性評価を行なった。その結果、ムエアの有望系統として *Pish* を保有する LCSIL 6, 12, 27, *Pish*, *Piz-t* を保有する LCSIL 28, 未同定の遺伝子を保有する LCSIL 39 が見出された。

第 4 章ではケニア東部の乾燥・半乾燥地域に位置するブラおよびホラで問題となってい

る塩害を研究対象とした。現地では、4日～5日周期で畑地がほぼ水没するまで畝間に灌漑するフラッシュ灌漑によってイネが栽培されており、土壌中の塩分は水分の移動に伴って作土層に集積すると考えられる。しかしながら、異なる土壌水分条件下における塩ストレスの定量化は困難であるため、実際の塩分動態は明らかになっていない。塩害の実態を解明し、被害を軽減するための灌漑方法について検討するためには、灌漑条件が異なる土壌中における塩分動態とイネの生育との関係を明らかにする必要がある。そこで、水分条件が異なる土壌中の塩分動態を簡易的に定量化する手法の開発を試みた。その結果、WET2 あるいは WET150 (Delta-T Devices) を用いて測定した土壌 EC および誘電率から土壌溶液の EC を高精度で推定することが可能であり、異なる水分条件下における塩ストレスを定量化できることが示された。フラッシュ灌漑下では土壌表面から深さ 0 cm～10 cm の上層に塩分が集積するが、湛水下では塩分移動が抑制されるとともに水分量も維持された。これにより、イネ葉身への Na⁺蓄積は抑制され、生育は維持された。砂質土壌では、粘土質土壌より多くの塩分が移動するためフラッシュ灌漑下での生育抑制が著しい一方で、湛水では土壌溶液量が粘土質土壌より多いため、塩害軽減効果が大きかった。また、塩害条件下で栽培可能なバスマティ品種の開発に向けて、LCSILs の耐塩性を評価した。その結果、既知の耐塩性品種を超える耐性を示す系統は認められなかったが、葉身への Na⁺蓄積が抑制された 13 系統が耐塩性系統として選抜された。

以上の結果に基づき、第 5 章では環境ストレスの実態に即した今後の対応方針を地域別に検討した。ムエアの冷害は、*Ct1* を導入した IR124713-1 を利用することで軽減可能であることが示されたが、耐冷性遺伝子をピラミディングすることによりさらに強化する必要がある。また、二期作の経済効率性を高めるためには、冷害強度に即して作期別に窒素施肥水準を設定することが有効であると考えられた。さらに、観測した CDH に合わせて追肥量、追肥時期を調整することで冷害を軽減できる可能性がある。いもち病防除対策としては、Basmati 370 に導入すべき、ムエア向け R 遺伝子が明らかになったため、品種改良を具体的に進めることが可能である。ただし、いもち病菌レースは、圃場で栽培されるイネ品種の抵抗性に応じて変化するため、本研究で構築したいもち病菌レース評価システムを利用してモニタリングを継続することが重要である。一方、バスマティ品種の栽培が中断されているビクトリア湖沿岸におけるいもち病菌レースは未調査であるため、いもち病菌レース評価システムを導入し、いもち病菌レースの分布を評価し、必要な R 遺伝子を明らかにする必要がある。ブラおよびホラにおける塩害は、本研究により、フラッシュ灌漑から湛水栽培に切り替えることにより軽減できることが示唆された。今後、本研究で開発した塩ストレスの定量化技術を活用して、現地の圃場で湛水による塩害軽減効果を実証する必要がある。また、湛水による塩害回避は 10 cm より浅い土層で効果的であると考えられた。したがって、耐塩性品種の開発に当たっては、塩排除能に加えて、浅い土壌に根を発達させる能力が重要であることが示唆された。今後、塩排除能や根系形質が異なる品種の塩害回避灌漑に対する生育収量反応を現地の圃場条件下で調査する必要がある。

以上の通り、冷害、いもち病および塩害を適切に評価する手法を新たに確立または導入することによって、これまで不明であったケニアにおけるこれらの環境ストレスの実態が明らかになった。また、これらの環境ストレスによる被害を軽減するために必要なイネ遺伝資源および栽培技術が示された。