

アフリカの栽培環境に適した効果的なイネ施肥技術の開発と普及

辻本 泰弘 (国際農林水産業研究センター)

tsjmt@affrc.go.jp

はじめに

世界の食料を安定して確保するためには、気候変動にともなう不安定な栽培環境に適応し、かつ、過度の資源投入から脱却した環境負荷の少ない作物生産技術の開発と普及が求められている。こうした生産技術は、灌漑排水設備などの生産基盤が脆弱で、肥料の投入力も乏しいサブサハラアフリカなどの貧困農家の作物生産および食料安全保障にとっても重要な課題となっている。本研究では、土壌のリン欠乏、肥料投入量の不足、気象要因による様々な環境ストレスが顕在化するマダガスカルの稲作を対象に、少ない肥料でも効果が高く、環境ストレスの回避にも繋がる施肥技術の開発と普及に取り組んだ。

少ない肥料で増収効果の高い施肥技術 P-dipping の開発

風化が進んだ熱帯の土壌では、作物の三大栄養素の一つであるリンが不足し、また、土壌中に豊富に含まれる鉄やアルミニウムがリンを強く吸着する（土壌のリン吸着能が高い）性質をもつために、リンを施用しても作物に吸収されにくい問題がある。一部の地域では、この利用効率の低さを克服するために、多量のリンを施用することで多収穫を実現してきた。しかし、肥料資源の枯渇や過度の肥料投入にともなう環境負荷が国際的に懸念される中、多量の資源投入に依存した作物生産から脱却し、少ない肥料でも高収量を得られる持続的な生産技術が求められている。こうした生産技術は、肥料の購買力が乏しい貧困農家が作物の生産性を改善するためにも重要な課題である^{2,3)}。

水田稲作では、苗床施肥や肥料溶液に苗を浸してから移植する浸漬処理が、少ない肥料で効果の高いリン施肥法とされるが、苗に吸収される養分は微量であり、顕著な収量差を生むほどには効果が持続しないのが一般的である。そこで、明治期に国内で実践されていた苗の根に骨粉を揉み付ける稲作手法に発想を得て、「苗を泥に浸けてから移植する」だけで多くのリンを株下に局所施用できる P-dipping 技術を考案した (図 1)。

同技術を実現する上で、まず、ポットでの制御実験において、肥料焼けによる生育阻害が生じず、苗の根に付着しやすいリン肥料の材料、濃度、および浸漬時間を工夫した。様々な条件で実験を繰り返した結果、重過リン酸石灰を用いて、1.8~2.6%のリン濃度をもつ泥状のスラリーを作成すること、苗の浸漬時間は2時間以内とすることで、イネの初期生育を大幅に改善できることを明らかにした⁴⁾。一方で、窒素成分を含む肥料資材 (NPK 化成肥料など) を用いた場合や、リ

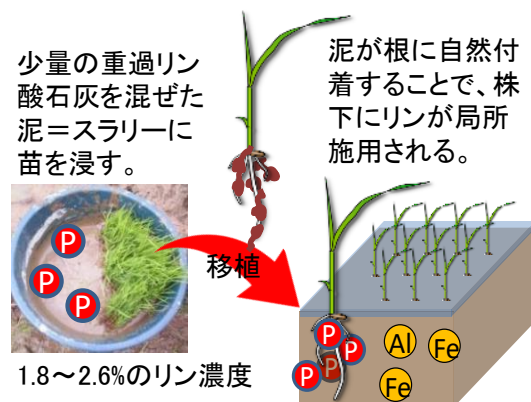


図1. P-dippingの手法
根の近傍にリンが局所施用されることで、施肥効率が大幅に改善する。

ン濃度が高い場合、また、浸漬時間が長い場合には、高塩濃度で生じる肥料焼けのリスクがあり、イネの初期生育に対する効果が小さくなることが確認された。

さらに、土壌のリン吸着能を変化させたポット実験を実施したところ、P-dipping を施すことによって、株下の水溶性リン濃度（植物に吸収されやすいリン）が局所的に高ま

り、従来の施肥法では肥料の効果が得られないリン吸着能の高い土壌でも、イネのリン吸収を大幅に改善できることが明らかになった⁵⁾ (図2)。また、土壌の表層に多くの根を発達させる地表根遺伝子 *qSOR1* を導入した浅根性のイネと組み合わせれば、株下に形成された可溶性リン濃度の高いスポットからのリン吸収が促され、P-dipping の効果が促進されることも示唆されている⁶⁾。

P-dipping の効果の実証と社会的インパクトに向けた取り組み

土壌のリン欠乏が広範にみられるマダガスカルの農家圃場を対象に、P-dipping がイネの生育収量に及ぼす効果を検証した。2年間の栽培実験の結果、P-dipping を行った場合のイネ収量は、無施肥に比べて59～171%、表層に施肥をする従来の方法と比べると、同量または半分の施肥量でも9～35%増加し、リン吸着能の高い現地の貧栄養土壌でこの技術による増収効果が示された⁷⁾。さらに、P-dipping は、無施肥に比べて2週間程度、表層施肥に比べて1週間程度、イネの到穂日数を短縮することが分かった。その結果、生育後半の気温低下を回避し、低温ストレスにともなう登熟不良が改善された^{7,8)} (図3)。リン欠乏がイネをはじめとする作物の発育を遅延させることはよく知られているものの、リンの施肥法を変えることで、発育の促進効果が高まること、さらに、この効果が生育後半の低温ストレス回避に繋がることが初めて明らかになった。また、農家圃場で栽培実験を繰り返す中で、P-dipping による初期生育の改善が、突発的に生じる冠水ストレスの回避にも繋がる可能性が示されている (図4)。このように、実際の生産環境で実験を行うことにより、局所

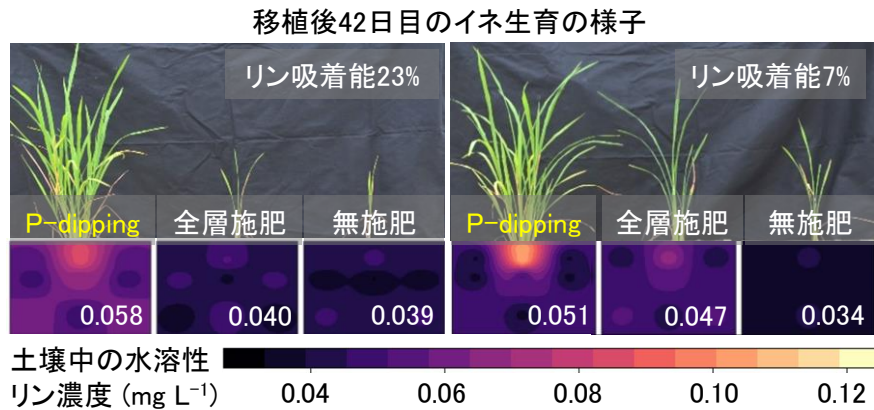


図2. リン吸着能が異なる土壌でのP-dippingの効果と土壌中の水溶性リン濃度の空間分布
P-dippingと全層施肥ともに40 mg pot⁻¹のリンを施用。生育期間中の土壌溶液を採取し、土壌中の水溶性リン濃度の空間分布を推定。空間分布図内の数値は、ポット内の平均リン濃度。

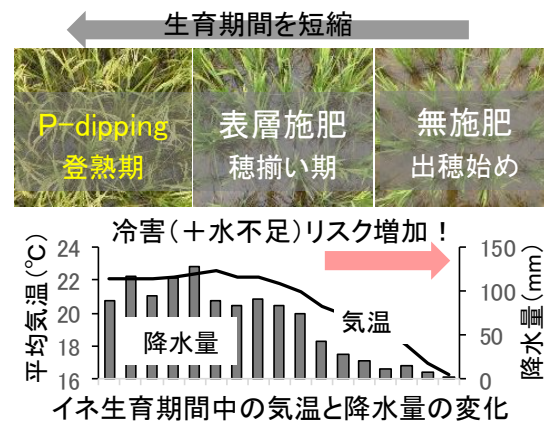


図3. P-dippingによる生育短縮と生育後半の低温ストレス回避効果
P-dippingにより、移植から成熟までの生育日数が短縮され、結果、低温ストレス回避による登熟不良の改善がみられた。

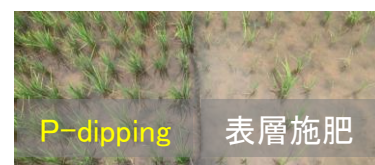


図4. P-dippingによる初期生育の改善と冠水ストレスの回避効果

施肥技術 P-dipping が、少ない肥料でイネのリン吸収および生産性を改善するのみならず、気象要因にともなう様々な環境ストレスにも効果をもつという新規性と実用性を兼ね備えた研究成果を得ることができた。

次に、農家の任意の栽培管理条件での技術効果を検証するため、広域でのパイロット実験を行った。マダガスカル中央高地に分布する気象、水管理、土壌特性、品種、移植日、栽植法、除草管理などが大きく異なる 316 点の農家圃場で P-dipping の効果を検証したところ、標高が高く低温ストレスが生じやすい圃場、もしくは、収量性が低い圃場 (< 5 t ha⁻¹) に P-dipping を実施することで、平均して、イネの収量が、無施肥に比べて 41% (0.8 t ha⁻¹)、表層施肥に比べて 12% (0.4 t ha⁻¹) 増加することが分かった。このパイロット実験の結果により、地域の農家による任意の栽培管理条件でも、同技術が十分に高い効果をもつことが実証された。

加えて、P-dipping は、高度な資器材や技能を要せず、少ない肥料でも増収効果が期待できるため、小規模農家にも実践し易く、マダガスカルのイネ増収に貢献できる技術として期待が高まっている (図 5)。そこで、地域の農家や普及員の意見を取り入れながら、技術の簡易化やマダガスカル語による技術マニュアルの作成、さらには、民間の肥料会社と連携した P-dipping 用の少量肥料パック (3 kg の重過リン酸石灰を梱包したもので、安価なため、貧困農家でも肥料の購入と技術の実践が可能になる) の作成を進めた。現在、マダガスカル農業畜産省や稲作技術普及を実施する国際協力機構 JICA 技術協力プロジェクト Papriz など、技術を農家に受け渡す役割を担う人々と連携し、作成した技術マニュアルや少量肥料パックを活用して、P-dipping の広域普及を開始した。今後、これらの活動と連携を継続しながら、成果の普及によるマダガスカルの安定的なコメ生産、さらには、そのほかのアフリカ地域への成果の波及を実現していきたいと考えている。

謝辞

本業績は、大学院生時代から続けてきたアフリカでの調査・実験をもとに達成した総合的な成果です。現地でのフィールド研究を推進するにあたり、ご支援ご指導いただいた国際農研の上司・同僚・研究支援部門の皆様、ともに汗を流して取り組んだ共同研究者の皆様、そして、思いを共有し、力強いサポートを続けてくれる相手国の研究機関、行政、地域住民の皆様に深く感謝いたします。中学生の時に、黒柳徹子さんの著書を読み、世界で貧困に苦しむ人々の役に立ちたい、食こそが貧困対策の第一歩だと考えて農学部に進学したことが、現在の研究のきっかけです。世界の持続的な食料生産、飢餓撲滅を目指し、引き続き研究に取り組んでいきたいと思ひます。



図5. P-dippingに関する現地メディア報道

引用文献(*責任著者)

1. Nishigaki, T., Tsujimoto, Y.*, Rinasoa, S., Rakotoson, T., Andriamanajara, A., Razafimbelo, T. 2019. Phosphorus uptake of rice plants is affected by phosphorus forms and physicochemical properties of tropical weathered soils. *Plant and Soil* 435, 27-38.
2. Tsujimoto, Y.*, Rakotoson, T., Tanaka, A., Saito, K. 2019. Challenges and opportunities for improving N use efficiency for rice production in sub-Saharan Africa, *Plant Production Science* 22(4), 413-427.
3. Rakotoson, T., Tsujimoto, Y.*, Nishigaki, T. Phosphorus management strategies to increase lowland rice yields in sub-Saharan Africa: A review. *Field Crops Research* (in press)
4. Oo, A. Z., Tsujimoto, Y.*, Rakotoarisoa, N. M. 2020. Optimizing the Phosphorus Concentration and Duration of Seedling Dipping in Soil Slurry for Accelerating the Initial Growth of Transplanted Rice. *Agronomy* 10 (2), 240.
5. Oo, A. Z., Tsujimoto, Y.*, Rakotoarisoa, N. M., Kawamura, K., Nishigaki, T. 2020. P-dipping of rice seedlings increases applied P use efficiency in high P-fixing soils. *Scientific Reports* 10, 11919.
6. Oo, A. Z., Tsujimoto, Y.*, Mukai, M., Nishigaki, T., Takai, T., Uga, Y. 2021. Synergy between a shallow root system with a DRO1 homologue and localized P application improves P uptake of lowland rice. *Scientific Reports* 11, 9414.
7. Rakotoarisoa, N. M., Tsujimoto, Y.*, Oo, A. Z. 2020. Dipping rice seedlings in P-enriched slurry increases grain yield and shortens days to heading on P-deficient lowlands in the central highlands of Madagascar. *Field Crops Research* 254, 107806.
8. Tsujimoto, Y.*, Tanaka, A., Rakotoson, T. 2021. Sequential micro-dose fertilization strategies for rice production: improved fertilizer use efficiencies and yields on P-deficient in lowlands in the tropical highlands. *European Journal of Agronomy* 131, 126381.