

アフリカの不良環境における作物生産性の改善に関する研究

辻本泰弘 (国際農林水産業研究センター)

アフリカの穀物生産は、化学肥料や灌漑水などの投入量が少ないことに加えて、養分供給力の乏しい土壌環境が広域に存在するため著しく低い生産性で推移している。本業績は、アフリカで需要が高まるコムおおよびダイズを対象として、地域的・地形的な栽培環境の変異を定量評価し、圃場の土壌養分特性や水利条件に応じた肥培管理技術と作付体系を導入することにより、資源投入力の乏しい地域においても作物収量を向上できることを明示したものである。得られた成果は以下のように要約される。

1. マダガスカルでの SRI 圃場における多収要因の解析

マダガスカルでイネの多収技術として注目されていた SRI の実態と多収要因を解析するために、SRI を実践する農家圃場での調査と SRI 構成技術の個別効果および技術間の相互作用に関する栽培試験を実施した。その結果、SRI の実践圃場において、化学肥料なしに最大 10 t ha^{-1} 、同国の平均収量 2.2 t ha^{-1} に対して極めて高い収量を確認するとともに、多収の最も重要な因子が、厚い作土層に蓄えられた有機物に起因する土壌の窒素 (N) 供給力にあることを明らかにした (業績 1)。さらに、これらの多収農家が、水利条件の有利な圃場に集約して、作物残渣などの有機物投入と手作業による深耕を繰り返すこと、かつ、蓄積された有機物の無機化を促進するため、栽培期間中の間断灌漑など排水に注視した水管理を実施していることを指摘した (業績 2)。すなわち、収量性が低く化学肥料の購買力が乏しい地域でも、圃場条件に応じて集約的な土づくりと水管理を施すことで、多収が実現されることが示された。

2. アフリカ稲作のケイ素欠乏とその要因に関する広域解析

上述の多収水田にみられた土壌有機物と排水に注視した水管理の関係に着目し、アフリカ広域にみられる化学的に劣悪な Oxisols 土壌を用いて、乾土処理による蓄積有機物の分解がイネ生育に及ぼす影響を検討した。マダガスカルでの湿田土壌を移植前に風乾させることで、土壌の有機物量に応じて、イネの N 吸収量および乾物重が大きく増加することが示された (業績 3)。一方、乾物増加はイネのケイ素 (Si) 濃度低下といもち病の発生を助長し、イネの Si 濃度と不稔率に負の相関がみられた。すなわち、蓄積有機物の無機化を促進する乾土処理は、Oxisols 土壌においても N 供給量を増加させるが、その効果を増収に繋げるには、イネの病虫害抵抗性と密接に関連する土壌の Si 供給が問題となる可能性が示唆された。

そこで、ナイジェリア、マダガスカル、ギニア、ガーナ、ベナン、モザンビークおよびケニアの 7 カ国にわたる 99 地点の農家圃場を対象に、アフリカ稲作においてこれまで着目されていない Si 欠乏に関する広域調査を実施した。その結果、土壌からの供給不足に起因するイネの Si 欠乏が広範囲に存在し、特に、風化土壌である Oxisols や Ultisols の卓越した熱帯高地および熱帯湿潤気候帯でその傾向が顕著であることを見出した (業績 4)。さらに、稲わら Si 濃度の変動要因を解析した結果、水供給が不安定な天水稲作や化学肥料による N 施用量の増加により、Si 欠乏のリスクが高まることを明らかにした。これらの成果は、アフリカ広域における Si 欠乏の実態とその関連因子を指摘した最初の知見であり、アフリカでの安定的なイネ生産性改善には、土壌の蓄積有機物や化学肥料から供給される N のみでなく、Si の供給源となる稲わらの利用など、Si の肥培管理が重要であることを示した。

3. 土壌の地形変異と欠乏養分に応じた西アフリカ氾濫原での効率的施肥技術の開発

西アフリカに未利用地として広く存在する河川の氾濫原は、季節的な湛水が生じるため、トウモロコシなどの畑作物との土地競合が回避でき、稲作への利用拡大が期待できる。そこで、ガーナ北部白ボルタ川流域の氾濫原を対象に、約 10 km^2 の範囲内に広がる 89 地点の表層土壌を分析したところ、土壌炭素量に $2.0 \sim 40.2 \text{ g kg}^{-1}$ の大きな地点間差異がみられ、その値は、乾季の衛星画像から水域として分類された河川および後背湿地 (以下、水源) に近づくほど対数関数的に増加することを明らかにした (業績 5)。また、これらの土壌を用いたポット試験において、土壌炭素量がイネの N 吸収量の地点間差異をよく説明すること、一方で、土壌からの硫黄 (S) 供給不足がイネの N 利用効率を著しく阻害していることが分かった。マイクロ波衛星画像と地上観測から推定した雨季の湛水期間についても、水源に近いほど対数関数的に長くなることから、「水源からの距離」を説明変数とすることで、土壌の N 供給力および湛水期間の両面で、イネの高い潜在生産力をもつ未利用地の選定が可能となった (業績 5, 6)。

上述の成果をもとに、「水源からの距離」が異なる圃場を多点に設けて 3 年間の施肥試験を実施した結果、収量および施肥効率 (N 施肥量当りの初増収量) に、それぞれ $0 \sim 5.6 \text{ t ha}^{-1}$ (平均値 1.7 t ha^{-1}) および $-5.4 \sim 67.9 \text{ g g}^{-1}$ (平均値 19.8 g g^{-1}) の変異がみられ、水源に近く土壌炭素量が大きい地点への優先的施肥、および、S 成分を含む硫酸アンモニウムの施用により、氾濫原でのイネの収量と施肥効率が大きく改善されることを実証した。

4. モザンビーク天水畑作地域でのダイズ-トウモロコシ間作技術の開発

モザンビーク北部の天水畑作地域において、トウモロコシとダイズの帯状間作を導入することで、各作物を単作とするよりも生産性が $15 \sim 49\%$ 向上し、その導入効果は乾燥ストレス条件下、もしくは N 施肥量の少ない条件下で、より顕著となることを明らかにした (業績 7)。その要因として、間作されたダイズはトウモロコシ群落の遮蔽により蒸発散が抑制され、渇水期の土壌水分維持と水ストレスの軽減に繋がること、一方で、N 施肥によるトウモロコシ収量の過度の増大は、間作ダイズの収量を著しく制限することを指摘した。すなわち、降水が不安定かつ施肥量の乏しい地域の天水畑作栽培において、ダイズとトウモロコシの間作は、換金作物と主食作物の効率的な生産という利点のみではなく、ダイズの水利用量を抑え、干ばつ時のリスク管理技術として有効であると考えられた。

以上のように、本業績は、アフリカの生産現場における観測と実験を繰り返すことで地域・地形的な栽培環境の変異を明らかにし、土壌の蓄積有機物および欠乏養分に応じた肥培管理技術や不安定な水利条件での間作体系など、資源投入力の乏しい地域における作物生産性の改善策を提示したものであり、今後さらなる発展が期待されることから、作物学会研究奨励賞に値するものである。

研究業績

1. Tsujimoto, Y., Horie, T., Randriamihary, H., Shiraiwa, T., and Homma, K. 2009. Soil management: The key factors for higher productivity in the fields utilizing the system of rice intensification (SRI) in the central highland of Madagascar. *Agric. Syst.* 100: 61-71.
2. 辻本泰弘・堀江武 2009. マダガスカルでの稲作—集約的水稲栽培法 SRI. 最新農業技術「作物 vol.1」農文協, 14-23.
3. Tsujimoto, Y., Homma, K., and Shiraiwa, T. 2010. The effects of soil drying and rewetting on rice growth in lowland aquatic Ferralsols

in the southeastern forest region of Madagascar. *Plant Soil* 333: 219-232.

4. Tsujimoto, Y., Muranaka, S., Saito, K., and Asai, H. 2014. Limited Si-nutrient status of rice plants in relation to plant-available Si of soils, nitrogen fertilizer application, and rice-growing environments across Sub-Saharan Africa. *Field Crops Res.* 155: 1-9.
5. Tsujimoto, Y., Yamamoto, Y., Hayashi, K., Zakaria, A. I., Inusah, Y., Hatta, T., Fosu, M., and Sakagami, J. 2013. Topographic distribution of the soil total carbon content and sulfur deficiency for rice cultivation in a floodplain ecosystem of the Northern region of Ghana. *Field Crops Res.* 152: 74-82.
6. Yamamoto, Y., Tsujimoto, Y., Fujihara, Y., Sakagami, J., Ochi, S. and Fosu, M. 2012. Assessing the probability of land submergence for lowland rice cultivation in Africa using satellite imagery and geospatial data. *Environ. Dev. Sustain.* 14: 955-971.
7. Tsujimoto, Y., Pedro, J. A., Boina, G., Murracama, M. V, Ito, O., Tobita, S., Oya, T., Cuambe, E. C., and Martinho, C. 2015. Performance of maize-soybean intercropping under various N application rates and soil moisture conditions in Northern Mozambique. *Plant Prod. Sci.* 18: 365-376.