

イネにおける窒素と水の吸収能・利用効率の遺伝的変異とその生理的要因に関する研究
松波麻耶 (農研機構東北農業研究センター, 日本学術振興会特別研究員)

20世紀における世界のイネ生産性の飛躍的な増加には、品種の遺伝的改良や栽培技術の進歩に加え、化学肥料の施与量や灌漑面積の増加が大きく寄与してきた。しかし、世界人口の継続的な増加に伴うコメの需要増大が予測されるなかで、これまでイネの生産性向上を支えてきた窒素肥料の多投入は環境への悪影響が指摘されている。また、水資源は他産業や生活用との競合激化により、今後はイネ生産への確保が困難になる事態が予想される。これらのことから、今後のイネ生産技術には、窒素肥料と灌漑水を可能な限り節減した条件下でその生産性を維持・向上させようものが求められている。このような背景から松波氏は、窒素肥料や灌漑水の節減条件下でのイネ生産性の維持・向上技術の開発を目指し、窒素・水の吸収能と利用効率に着目し、遺伝的変異とその生理的要因の解明を目指して研究を進めてきた。その業績は以下のように要約される。

1. 超多収品種の窒素吸収能・利用効率の解明

近年育成された「秋田63号」は極めて高い玄米生産効率とシンクキャパシティを持ち、籾収量が 10 t ha^{-1} を超す記録を持つ超多収品種である。松波氏はこのような超多収品種の特性解析が今後の収量性改善の道筋の理解に繋がることの認識から、秋田63号の多収性を最大限に発揮させる窒素施肥法(前期重点施肥, 後期重点施肥, 均等施肥)に関する解析を行った。その結果、秋田63号の収量ポテンシャルを効率良く発揮させるためには、有効分げつの発生程度や登熟期の光合成能の維持の点から、生育期間を通じた窒素供給が行われる均等施肥が有効であるとした(業績1)。さらに秋田63号の減化学肥料投入試験を行った結果、低投入下で窒素利用効率が向上し、基肥量を半減した場合でも初期生育が標準施肥量並に確保されることを実証した(業績2)。以上の解析から、秋田63号は低窒素条件下でも収量水準を高く維持する能力を持つこと、その能力には窒素の利用効率の高さが大きく寄与していることを解明した。

2. NERICA (New Rice for Africa) 品種の窒素と水の吸収・利用特性の解明

次いで松波氏は、アフリカイネとアジアイネの種間交雑品種である陸稲 NERICA 品種に着目し、これら品種はアジアイネとは異なる窒素・水の吸収・利用特性を持つものと推測し、研究を進めた。その結果、陸稲 NERICA 品種 (NERICA 1, NERICA 5) はわが国の品種に比べ、天水畑条件下、特に少肥区において高い窒素吸収能と乾物生産能を発揮し、収量性が優れることを明らかにした(業績3, 4)。このような NERICA 品種の高い窒素吸収能には、登熟期の優れた吸水能や根の生理活性が関与していることを見出した(業績5)。さらに NERICA 品種は登熟期の優れた窒素吸収により葉色が維持され、高い光合成速度を維持したことも多収の要因であることを推察した(業績6)。以上のことから、灌漑水や窒素肥料の低投入条件下で高い物質生産能を発揮するためには、NERICA のような高い吸水能に伴う優れた窒素吸収能を遺伝的に備えることが重要であることを指摘した。

3. 窒素・水の吸収・利用効率の遺伝的変異と生理的要因の解明

世界中の栽培イネ品種の持つ遺伝的変異の大部分を包含した農業生物資源研究所のイネコアコレクションを用い、異なる土壤水分環境(湛水・湿潤畑・乾燥畑)に対するイネの生育反応の遺伝的変異を調査・解析した。その結果、乾物重、吸水量について大きな遺伝的変異を認めるとともに、湿潤畑条件で湛水条件よりも乾物生産が上回る品種が全体の半数程度存在することを見出した(業績7)。また、土壤水分制限下では吸水能が地上部乾物生産と密接な関係があることを認めたと、乾燥畑区では一部の品種では水利用効率も乾物生産に寄与した可能性を示した。さらに、いずれの土壤水分条件でも根乾物重は吸水量と有意な相関関係が認められたが、根乾物重あたりの吸水量には大きな品種間差異があり、耐干性極強品種である Azucena は根乾物重あたりの吸水量がコアコレクションの品種に比べ多いことを明らかにした。同じく窒素吸収についても調査し、窒素吸収と吸水の密接な関係を見出し、吸水量あたりの窒素吸収量の品種間変異は土壤水分が低下するほど拡大し、乾燥畑区ではインディカ品種群が吸水量あたりの窒素吸収量においてジャポニカ品種群よりも多くなる傾向を認めた(業績8)。以上のことから、養水分吸収には根や地上部の形態的発達が重要であることに加え、単位根あたりの吸水能、吸水量あたりの窒素吸収量など、生理的メカニズムがイネの養水分吸収能の遺伝的変異に関与していることを明らかにした。

また、上記の研究で抽出した畑条件に適応した品種 (Puluik Arang, Badari Dhan) の特性を解析した結果、これら品種は、畑条件下でも水分吸水能が高く、葉の水ポテンシャルを維持し、葉面積展開と根の発達を維持する能力が高いことを示した(業績9)。さらに、根におけるアクアポリン遺伝子の発現解析を行った結果、単位根長あたりの吸水量とアクアポリン遺伝子発現量には密接な関係があること、Puluik Arang は一部のアクアポリン分子種において高い発現量を示すことを明らかにした。

以上のように松波氏は、窒素と水の制限された条件下でのイネの形態形成および物質生産について、多様なイネ遺伝資源を用いて作物生理学的に研究を進めてきた。その結果、施肥窒素や土壤水分の低投入条件下で、従来品種よりも優れた物質生産を示す品種を見出し、その養水分吸収に関与する生理形態的特性を明らかにした。投入資源を節減しながら優れた生産性を維持し、かつ環境と調和した水田農業を目指していくことは、途上国における生産性改善に寄与するとともに、水稻栽培の低コスト化、多用途利用化が推進されているわが国においても重要な方向といえる。現在、これまでに解明した形態的・生態的な特性に関して、分子生物学的側面からの解析にも取り組んでいる。圃場での生育反応を分子レベルの生理機構にまで視野を広げて把握しようとする松波氏の研究手法は、今後の作物研究者の1つの望ましいモデルであり、今後さらに研究の発展が期待される。

研究業績

1. 松波麻耶・張文会・国分牧衛. 2009. イネ (*Oryza sativa* L.) 大粒品種「秋田63号」の窒素施肥反応. 日作紀 78: 497-502.
2. 松波麻耶・松波寿典・小玉郁子・佐野広信・加藤和直・佐藤健介・川本朋彦・小川敦史. 2012. 異なる基肥量に対する大粒多収品種「秋田63号」の初期生育反応. 日作東北支部報 55: 1-4.
3. Matsunami, M., Matsunami, T. and Kokubun, M. 2009. Growth and yield of new rice for Africa (NERICAs) under different ecosystems and nitrogen levels. *Plant Prod. Sci.* 12: 381-389.
4. Matsunami, M. and Kokubun, M. 2011. Yield response of upland NERICAs under rainfed upland conditions with different levels of nitrogen application. *JARQ* 45: 243-249.

5. Matsunami, M., Matsunami, T. and Kokubun, M. 2010. Comparison of nitrogen uptake, transpiration rate and exudation rate between upland NERICAs and Japanese cultivars. *Plant Prod. Sci.* 13: 347-350.
6. 松波麻耶・松波寿典・国分牧衛. 2012. 低投入条件下における登熟期の NERICA の個葉光合成速度. *日作東北支部報* 54: 17-20.
7. Matsunami, M., Matsunami, T., Ogawa, A., Toyofuku, K., Kodama, I. and Kokubun, M. 2012. Genotypic variation in biomass production at the early vegetative stage among rice cultivars subjected to deficient soil moisture regimes and its association with water uptake capacity. *Plant Prod. Sci.* 15: 82-91.
8. Matsunami, M., Matsunami, T., Kon, K., Ogawa, A., Kodama, I. and Kokubun, M. 2013. Genotypic variation in nitrogen uptake during early growth among rice cultivars under different soil moisture regimes. *Plant Prod. Sci.* 16: 238-246.
9. Matsunami, M., Matsunami, T., Kodama, I., Ogawa, A., Toyofuku, K., Ishikawa-Sakurai, J. and Kokubun, M. 2016. Characterization of the morphological and physiological traits of rice cultivars with adaptation to unflooded condition during early vegetative growth. *Plant Prod. Sci.* 19 (印刷中)