

寒冷地における乾田直播水稻の収量制限要因と持続的生産に向けた課題の解析
浪川茉莉 (農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター)

イネの乾田直播栽培は、育苗・移植にかかるコストの削減可能な水稻生産体系であり、省力化技術として普及が進んでいる。特に東北地方では乾田直播栽培の普及が進んでおり、2009年から2019年の間の乾田直播の栽培面積の増加率は、全国平均で2.1倍に対し、5.9倍と顕著な拡大が認められる。一方で、東北地方での乾田直播栽培の単位面積当たりの収量は、移植栽培に比べ約1割低い傾向にあるため、安定的な多収の実現が課題となっている。また、持続可能な食料生産のためには、生産性向上だけでなく、環境負荷も同時に考慮する必要がある。浪川茉莉氏は、寒冷地における乾田直播栽培の収量制限要因を明らかにするために、収量形成過程に密接に関与する窒素吸収動態や気象要因に着目した研究を行った。さらに、収量に大きく影響を与える窒素肥料の施用方法について、乾田直播栽培における農家の収益性と環境負荷を統合的に評価する枠組みを構築した。得られた成果は以下のように要約される。

1. 窒素吸収動態と気象要因に基づく収量制限要因の解析

乾田直播栽培における収量制限要因について窒素吸収動態および気象要因の観点から検討した。まず、栄養生長期の窒素吸収動態とその収量への寄与を、移植栽培と比較して調査した。解析には2018年から2020年の盛岡市でのあきたこまち、ゆみあずさの2品種の栽培試験データを用いた。その結果、乾田直播栽培では移植栽培に比べ、精玄米重が平均で11%少なかった。この要因としては、窒素肥料回収率、窒素吸収量あたりの精玄米重、登熟歩合が移植栽培よりも低いことが挙げられた。また成熟期の地上部窒素吸収量は移植栽培と同等あるいはやや多かったものの、籾数に大きく影響する幼穂形成期までの窒素吸収量が少なかったために、最終的な窒素吸収量あたりの籾数が移植栽培より少ないことが低収に繋がったと考えられた(業績3)。

次に、登熟歩合の低さも収量制限要因であることが示唆されたため、登熟期間のシンク・ソースの関係に着目して解析を行った。精玄米重を目的変数とし、総籾数と登熟期間の群落受光量を説明変数に用いて重回帰分析および構造方程式モデリングを実施した。その結果、総籾数と登熟期間の群落受光量は精玄米重の変動の82%を説明することができた。精玄米重に対するシンク・ソースの寄与率を解析すると、シンクに関連する総籾数よりも、ソースに関連する出穂期の植被率の影響が大きかったことが示された。これらのことから、寒冷地での乾田直播の収量制限要因は、シンクサイズよりもソース能が重要であり、出穂期までの植被率を高めることがソース能の向上につながることを示唆された。また、過去10年間の東北農業研究センター(岩手県盛岡市)の気象データを用いて出穂晩限日(気象障害を受けず、イネの栽培に適した時期に作期を完了できる最も遅い出穂日)を推定したところ、日射量から推定される乾田直播の出穂晩限日は、気温から推定されるものより平均2.5日早かった。これらの結果は、乾田直播栽培の普及において、従来の気温を指標とした作付け時期や品種選定に加え、登熟期間の日射量も考慮した設計が必要であることを示した(業績2)。

以上の結果から、安定多収のための栽培上の改善点として初期生育を促進すること、また普及指導上の注意点として十分な生育期間を確保できる適地を選定することが重要と結論付けた。さらに、東北地方での乾田直播栽培の学術的・技術的な特徴や今後の課題を整理し、今後の課題として移植栽培と比較した場合の温室効果ガスの総排出量や気候変動への適応策、化学肥料の削減に着目した研究が必要であることを提案した(業績5)。

2. 窒素施肥による生産性向上と環境負荷の同時評価に向けた枠組みの構築—プラスチック被覆肥料と速効性肥料の比較分析—

持続可能な食料生産のためには、生産性向上だけでなく、環境負荷の低減も考慮する必要がある。なかでも窒素肥料の施用は水稻の収量増加に大きく影響する一方で、水稻に吸収されなかった窒素は系外に流出し、環境汚染の原因となる可能性が指摘されている。また、近年では施肥利用効率の向上や追肥作業の省力を目的として、プラスチック被覆による緩効性肥料が広く利用されているが、被覆材の環境への流出やマイクロプラスチック化といった新たな環境リスクも懸念されており、代替技術の開発や普及が急務となっている。特に乾田直播栽培では窒素施肥量が移植栽培よりも多い傾向にあり、被覆肥料の使用も一般的であることから、持続可能な栽培体系の構築のためにはこれらの問題について検討が不可欠である。そこで乾田直播における窒素肥料(速効性肥料、プラスチック被覆肥料)の農学的、経済的、環境的效果を統合的に評価する枠組みを構築した。またこの枠組みを活用して、プラスチック被覆肥料の代替技術の開発に向けた定量的目標の設定を試みた。

2020年から2022年にかけて岩手県花巻市内の農家圃場での栽培試験結果から、速効性尿素肥料とプラスチック被覆尿素肥料の見かけの窒素回収率(施肥量に対するイネの吸収割合)を比較した結果、被覆尿素肥料(平均42%)は、速効性尿素(平均37%)より有意に高かった。窒素吸収量や精玄米重などのデータを基に、各肥料での施肥量あたりの収量、玄米タンパク質含有量の推定モデルを構築した。また、肥料費、追肥に掛かる労働費、その他の生産費を指標として施肥量ごとの農家の利益を算出した。加えて、文献値を参照して硝酸イオンや一酸化二窒素などの反応性窒素の環境流出量とプラスチック被覆穀排出量を推定し、それぞれの環境損害額を評価した。

乾田直播栽培においてプラスチック被覆尿素を施用すると、プラスチック汚染の可能性がある一方、窒素汚染は減少すると推定された。その結果、用いた条件では、環境損害額の総額は速効性肥料よりも被覆肥料の方が小さいと推定された。しかし被覆肥料の使用削減は国際的な方針として進められており、今後はプラスチックと窒素の両方の環境負荷を低減できる代替技術の開発が求められる。解析結果から、例えば、見かけの窒素回収率を50%に改善できる技術であれば、その施肥にかかるコストが現状の2倍になった場合でも、環境損害を考慮した農家利益を現状と同等に維持することができると推定された。このような推定結果は、今後窒素利用効率向上のための研究開発において、定量的な目標設定として活用可能である(業績4)。

以上のように、浪川氏は寒冷地での乾田直播イネの栽培技術の改善を目標に、窒素吸収動態・気象要因・施肥体系の評価・環境負荷分析にわたる多角的な研究を遂行した。これらの研究を通して明らかとなった乾田直播栽培の収量性向上に寄与する肥培管理や品種特性、ならびに栽培適地選定に関する基準は、寒冷地における水稻の省力栽培技術の高度化において重要な知見をもたらした。このほか、群落環境におけるイネ窒素吸収量の簡易推定法の検討を通じて、現場での実用性を重視した技術開発にも貢献して

いる（業績1）。以上の成果は、科学的独創性・実用的貢献性の両面で優れた業績であり、今後のさらなる発展が強く期待されることから、日本作物学会研究奨励賞に十分値する業績と評価される。

研究業績

1. 浪川茉莉・西田瑞彦・高橋智紀・金田吉弘 2016. 携帯型 NDVI 測定機による NDVI 値と水稲窒素吸収量の関係. 日本土壤肥料学雑誌 87 : 450-454.
2. Namikawa, M., Matsunami, T., Yabiku, T., Takahashi, T., Matsunami, M., & Hasegawa, T. 2023a. Analysis of yield constraints and seasonal solar radiation and temperature limits for stable cultivation of dry direct-seeded rice in north- eastern Japan. *Field Crops Research*, 295: 108896.
3. Namikawa, M., Yabiku, T., Matsunami, M., Matsunami, T., & Hasegawa, T. 2023b. Nitrogen uptake pattern of dry direct-seeded rice and its contribution to yields in north- eastern Japan. *Plant Production Science* 26: 101-115.
4. Namikawa, M., Nakajima, M., Matsunami, M., & Hasegawa, T. 2024. A comparative assessment of polymer-coated and non-coated urea in direct-seeded rice: Agronomic, economic, and environmental performance and sensitivity analysis. *Crop and Environment*, 3: 223-232.
5. Namikawa, M., Matsunami, M. 2025. Dry direct-seeded rice in north-eastern Japan: management and future prospect. *Plant Production Science* 28: 107-121.