

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	Taufiq Yuliawan
審査委員	主査 大上 博基
	副査 藤内 直道
	副査 森 牧人
	副査 佐藤 嘉展
	副査 荒木 卓哉

### 論文名

Effects of double-row transplanting systems in a rice field on micrometeorological properties and rice production (水田の微気象学的特性とコメの生産に及ぼす複列移植の効果)

### 審査結果の要旨

本研究の背景は、過去 10 年間インドネシアのコメ生産量が消費量より低く、今後の人口増加によってコメ消費量が上昇する一方で、地球温暖化や異常気象によってコメ生産量が減少するという食料安全保障上きわめて危機的な予測に基づいている。コメ収量を上昇させるという緊急性の高い課題に対し、微気象学的な根拠に基づいて農家の立場にも立ったイネ栽培管理のための技術と情報を提供することは、社会的に有益であり学術的に意義深い。

本研究の目的は、イネの移植形態の違いによって収量構成要素がどのように異なるかを圃場実験で明らかにすることと、移植形態別に群落内部の放射環境を解析して群落光合成を推定し、移植形態別に収量構成要素が異なる微気象学的な原因を明らかにすることである。標準的な移植形態 Tile (TL) は列間×株間が 25.0cm×25.0cm で栽植密度 16.00 株/m<sup>2</sup>、インドネシア政府推奨の Jajar Legowo (JL) は 25cm×12.5cm の 2 列移植でその間隔を 50.0cm とした 21.33 株/m<sup>2</sup>、Jejer Manten (JM) は 30.0cm×30.0cm だが 5.0cm の間隔を開けた 2 列移植で 19.0 株/m<sup>2</sup>である。インドネシア政府は約 10 年前から農家に対して JL を推奨しているが科学的なデータは不十分であり、JM に関する調査はこれまでにない。これらの未解明な点を緻密な水田実験によって微気象学的に明らかにしたのが、本研究の主な成果である。

以下、論文を構成するテーマごとにその内容と評価できる点を整理し、審査結果を記述する。

#### (1) 複列移植を含む 3 種類の移植形態によるイネの生育と収量構成要素の比較

2022 年と 2023 年に、愛媛大学農学部の実験水田で 3 種類の移植形態 TL, JL, JM における収量などの収量構成要素を収穫時に測定し、移植形態間における収量構成要素の違いを次のように明らかにした。単位面積当たり地上バイオマスは JL と JM が TL より大きく、収量は大きい順に JM, JL, TL であった。一方、1 株当たりの粒重と粒数は大きい順に TL, JM, JL であった。この原因について、複列移植 (JM, JL) によって 1 株当たりの生産は減少したが、栽植密度が高い効果によって単位面積当たりでは地上バイオマスや収量が 1 列移植 (TL) より高くなったと説明した。そのため、単位面積当たりのシンク容量 (単位面積当り粒数×1000 粒重/1000) は収量と同様で大きい順に JM, JL, TL であり、1 株当たりのシ

シク容量は 1 株当たりの粒重および粒数と同様で大きい順に TL, JM, JL であった。しかしシク充填率（充填粒の割合）は収量等と同様で大きい順に JM, JL, TL であり、1 株当たりのシク容量が大きくなるとシク充填率が低くなる可能性を実証し、あえて栽植密度を高め管理する複列移植の利点を説明した。同時に、栽植密度最大の JL よりも JM の方がわずかではあるが収量と単位面積当たりのシク容量が大きかったことから、インドネシア政府推奨の JL と比較した JM の優位性を示唆した。

## (2) 3 種類の移植形態がイネ群落の微気象特性に及ぼす影響

本研究では、研究(1)で明らかにした移植形態間における収量構成要素の差異を微気象学的に解明することを目的とした。まず、正規化差植生指数（NDVI）による収量構成要素の説明を試みた。NDVI データは、無人航空機（DJI Mavic Pro 2）に装着したマルチスペクトルカメラ（Yubaflex, Bizworks）で撮影した画像を分光反射率センサー（METER）で測定した NDVI で校正することによって得た。イネの生育期間中 8 回取得した各移植形態の NDVI を比較すると、生育期を通して JM が最高で TL が最低であり、乳熟期後は JL が JM に近づいた。地上バイオマスは全期間平均の NDVI と相関が極めて高く、収量およびシク充填率は止葉伸長期から乳熟期の平均 NDVI と相関が高かった。以上の検討結果から、複列移植の JM と JL が TL と比較して植物体の分布形態や生育活性度に優れていることが、TL よりも大きい収量やシク充填率を導いた大きな要因であると評価した。

次にライントイプ光合成有効放射計（ACCUPAR LP-80 + SQ100X, Apogee）を用いて、2023 年の止葉伸長期前から収穫期まで 4 回、群落内部の透過日射量の鉛直分布を移植形態別に測定し、群落全体が遮蔽した日射量（ $SR_{int}$ ）、日射遮蔽に貢献する個葉の面積率（ $F_l$ ）、群落全体の放射利用効率（RUE）を解析した。概して、 $F_l$  は JM と JL が TL よりも低かったが、 $SR_{int}$  と RUE は JM と JL が TL よりも高かった。群落上部層と中部層で各移植形態の  $SR_{int}$  を比較すると、上部層では JM が最大で中部層では TL が最大であった。群落内部で減衰する日射環境を考慮すると、群落上部における日射の捕捉に優れる JM が、群落全体の RUE を高めるのに効果的であると考えられた。すなわち、群落密度の高い複列移植の JM と JL では、1 列移植の TL と比較して個葉による日射の捕捉に対する貢献度は低いが、群落全体による日射の捕捉が多いことから、JM と JL における単位面積当たりのシク容量と収量が大きかった原因と複列移植の利点を微気象学的に説明した。また JM と TL のシンメトリックな分布形態は全方位の放射を捕捉するのに有利であるが、JM は列間と株間ともに TL より広いので個葉同士の放射競合に対応でき、複列による密植効果を兼ね備えることが、収量構成要素総じて TL と JL よりも優れた原因である。

さらに群落を鉛直方向 3 層に分け、 $F_l$  を用いて計算した各層における遮蔽 PAR（ $PAR_{int}$ ）を光合成モデル（Oue, 2003）に入力し、いくつかの現実気象条件下における群落光合成速度（ $P_{canopy}$ ）を計算した。一方、3 移植形態別に open-bottom チェンバーを用いた光合成蒸散リアルタイム計測システム（PLANT DATA）で  $P_{canopy}$  の連続測定を行い、モデルによる計算値を用いてチェンバーの影響を補正して  $P_{canopy}$  の経時変化を得た。群落上部層の  $P_{canopy}$  は分げつ期以外では大きい順に JM, JL, TL であり、群落中部層の  $P_{canopy}$  は概して TL が最大であった。ただし出穂開花期以降は群落上部層の  $P_{canopy}$  が中部層の  $P_{canopy}$  を大きく上回ったことから、複列移植とくに JM が単位面積当たりのシク容量と収量の増大に効果的であったことを光合成特性の面から実証した。

本論文が博士論文として評価できる点は、異なるイネの移植形態による収量構成要素の差異を水田実験で明らかにし、複列移植のなかでも JM の優位性を実験的に示唆したことと、移植形態別に群落内部の放射環境を解析して群落光合成を推定し、群落による放射エネルギーの捕捉特性、光利用効率、群落光合成の観点から、収量構成要素に対する JM の微気象学的な利点を明らかにしたことである。また複列移植には広い列間で農家が作業を行いやすいという利点もあり、JM は JL よりも苗数を節約できる利点もある。本研究で明らかにした微気象学的な根拠をもって、農家に JM などの複列移植を推奨し普及させることは、コメ収量を上昇させるという緊急性の高い課題の解決に寄与すると期待できる。

本論文に関する公開審査会は、令和 6 年 8 月 3 日に高知大学農林海洋科学部で開催され、学位論文発

表と質疑応答が行われた。引き続き開催された学位審査委員会で本論文を慎重に審査し、審査委員全員一致して、本論文が博士（農学）の学位を授与するに値すると判定した。