

高密度播種した水稻苗「密苗」を用いた移植栽培技術
の確立と普及に関する研究

澤 本 和 徳

高密度播種した水稻苗「密苗」を用いた移植栽培技術
の確立と普及に関する研究

目 次

第1章 緒言	1
第2章 石川県における密苗の形質および本田での生育・収量・玄米品質	3
第1節 材料と方法	4
第2節 結果	7
第3節 考察	16
第4節 摘要	21
第3章 密苗仕様田植機の植え付け精度の検討	22
第1節 試験区および供試苗	23
第2節 試験1．密苗の苗形質と移植苗の初期生長	24
第3節 試験2．密苗仕様田植機による植え付け精度	31
第4節 摘要	37
第4章 日本における密苗移植栽培技術の地域適応性と農業者評価の検討	38
第1節 材料および方法	38
第2節 結果および考察	39
第3節 摘要	49
第5章 密苗移植栽培技術の生産費	50
第1節 材料および方法	51
第2節 結果	52
第3節 考察	54
第4節 摘要	56
第6章 総合考察	57
第1節 密苗移植栽培技術の性質	57
第2節 密苗移植栽培技術の普及実用化にむけて	59
引用文献	64
英文要旨	68

第1章 緒言

現在の日本では稲作経営体の規模拡大が急速に進展しているが、米販売価格の上昇が期待できない状況のなか、利益向上のため生産資材費の低減、作業の省力化・効率化が強く求められている。これまでに、水稻の播種や育苗の低コスト化について、直播栽培や乳苗移植栽培等が研究・開発されてきた。

直播栽培は水田に直接種子を播くことから、育苗のための資機材や育苗管理労力が不要となる。直播栽培は日本でも古くから実施されており、現在は過酸化カルシウム粉粒剤や鉄粉をコーティングした種子を播種する湛水直播や、乾田状態の水田に作溝して乾籾を播種するV溝直播などの乾田直播が普及している。直播栽培は水稻栽培の省力・低コスト化技術として期待されているが、湛水直播栽培は苗立ちの不安定性がすなわち収量の不安定性に繋がっていること、乾田直播栽培は播種時に圃場田面が乾燥状態である必要があり、気象や土壌条件から適用地域が限られ、かつ播種時期に降雨が継続すると播種作業が実施できないこと、などの不安定要因が存在することもあり、直播栽培技術の経営的評価は生産現場から賛同を得られていない（小野ら 2014）。現在、直播栽培は日本の水稻栽培技術の主流とはなっておらず、普及面積は32034 ha、水稻作付面積の2.2%にすぎない（農林水産省 2016）。

一方、移植栽培における省力・低コスト化を志向した技術としては、乳苗栽培がある。育苗期間の短縮による育苗管理労力の削減と育苗箱1箱当たり播種量の増加による移植に使用する育苗箱数の削減が期待される。乳苗栽培は育苗箱1箱当たり乾籾200g程度を播種し、育苗期間10日程度で葉齢2.0～3.0未満の苗を移植する栽培方法である。乳苗栽培は根マット形成不足を補うための培地として専用のロックウールマットを必要とする。また、移植時の草丈が8cm程度で小さく苗が土中に埋没しやすいことやロックウールマットの軽さにより浮き苗になりやすい。これらのことから、導入期の1989年に3862haあった実施面積は1994年には1839haに減少しており（水稻湛水土壤中直播技術研究会 1990、水稻直播研究会 1995）、現在の普及面積は限られている。

ところで、北陸地域における移植栽培においては主に稚苗が用いられているが、育苗箱当たりの播種量は乾籾120～140g（金高ら 2004、小島 2006、山本 2012、石川県 2017）であり、他地域の140～180g（注：各県の指針やJAの指導資料から、岩手県、宮城県大崎農業改良普及センター、JA名取岩沼、JA夢みなみ、埼玉県東松山農林振興センター、長野県、JAおうみ富士、JA岡山西、福岡県南筑後普及指導センター、鹿児島県の各ホームページ参照）と比較して播種量が少ない。これは良食味・高品質米生産を目標として北陸各県の農業指導機関が健全性の高い苗づくりを推進してきた結果である。また、北陸地域は従来から借地を通じた大規模な稲作経営体が多い。そして、近年

は米価低迷・農業構造政策の要因から中小規模層の離農が進み（大仲 2013）、これらの農地集積による規模拡大がますます加速している状況にある。このことは移植栽培においては育苗箱を多く使用することを示しており、播種作業や育苗期間中の管理そして移植作業時の運搬・補給などに多大な労力を要している。コシヒカリを m^2 当たり 18.2 株、1 株 4 本で移植するとして、箱当たり乾籾播種量を北陸地域 120 g、他地域 150 g と仮定した場合、10 a 当たりに必要とする育苗箱数は、それぞれ 18 箱および 15 箱と計算され、播種量の少ない北陸地域は単位面積当たりの必要育苗箱数が多く、扱う箱数および投下労働力は他地域に比べ増加することになる。加えて、こだわり米づくりを志向する経営体では、乾籾 80 g や 100 g の播種量で箱育苗する作型の導入も多く見られ、この場合、扱う育苗箱数はさらに増加することになる。

移植栽培において栽植密度および 1 株当たり植付本数を一定とすれば、育苗箱当たり播種量を増加させ、高密度に苗を育成することで使用する育苗箱数を削減できる。このような問題意識のもと、本研究は、育苗箱に高密度に播種した稚苗を小さく掻き取って機械移植する技術を開発することで、農業者からの移植栽培における生産費削減の要請に応えようとしたものである。同時に、当該技術について栽培的視点および機械的視点からその性質を明らかにするとともに、各地での農業経営体における実証栽培を通じて日本各地における地域適応性の検討を目的とした。

第 2 章では、育苗箱に高密度に播種した水稻苗（密苗という）の生長ならびに、その苗を移植栽培した本田の生育、収量、玄米品質に及ぼす影響について検討した。

第 3 章では、密苗と慣行の稚苗および乳苗と比較しつつ、苗形質や移植した苗の初期生長ならびに密苗仕様田植機の植え付け精度の評価について検討した。

第 4 章では、主にコシヒカリを用いて石川県での栽培試験を実施して開発された密苗移植栽培技術について、日本各地における地域適応性を検証することを目的に、農業者による実証栽培の調査を通じて検討した。

第 5 章では、密苗移植栽培技術の慣行稚苗移植栽培に対する水稻生産費低減効果について、既存の低コスト栽培技術である疎植栽培、直播栽培と併せ、試算をもとに検討した。

第 6 章の総合考察では、前章までの検討結果を総括し、密苗移植栽培技術の残された課題と今後の普及への展望を示した。

なお本研究の成果をもとに、従来の稚苗や乳苗より高い播種密度である育苗箱当たり乾籾 250～300 g で播種し、2～3 週間育成した葉齢 3.0～3.3 の時期に移植する苗を「密苗」と呼称することとした（「密苗」はヤンマー株式会社が商標を登録、登録商標第 5864399 号）。本論文においても、水稻育苗箱に高密度に播種した苗を「密苗」、また密苗を移植する技術を「密苗移植栽培技術」と記している場合がある。

第2章 石川県における密苗の形質および本田での生育・収量・玄米品質

水稲育苗箱に種子粃を高密度に播種する技術は、乳苗をはじめとして多くの研究が行われてきている（中谷 1987, 2003, 大隈ら 1988, 今野・高屋 1991, 種田 1992, 金高ら 2004）。近年では、乳苗の常時被覆による簡易育苗技術（星ら 2010）、短期育苗法（森ら 2012）が提案されている。また、金高ら（2004）、市川ら（2007, 2008a, b, c）は北陸地域を代表する品種であるコシヒカリを用いて密播苗の露地プール育苗と疎植栽培を組み合わせた密播疎植栽培技術体系を報告している。

しかしながら、近年のこれまでの報告で用いられた播種密度は育苗箱当たり乾粃 200～250 g であり、このときの 10 a 当りに使用する育苗箱数は 10～12 箱である。また、現行の育苗箱への播種機や田植機の仕様の制約から、これを上回る 300 g の高密度で播種した苗を機械移植する技術の研究はほとんどなされていない。

筆者らは本研究に先立つ予備実験において、コシヒカリを箱当たり乾粃 250 g 播種した稚苗を、既存の田植機を用いて最小掻き取り設定である苗マット横送り 26 回、苗取量 8 mm より小さく苗を掻き取りできるよう、苗取量レバーを下限目盛を超えた位置に設定して移植を行った。この結果、移植に使用した育苗箱数の削減と本田での生育を確認した。そして、育苗箱から苗を小さく掻き取ることができる田植機があれば、箱当たり播種量をさらに増加した苗により一層の育苗箱数削減、すなわち乾粃 300 g 播種で 10 a 当たり 5 箱程度、が可能となると考えた。

なお、水稲移植栽培においては、1 株当たりの植付本数が多いと過繁茂になること、有効茎歩合や収量・品質が低下すること（星川 1975, 山本 1987, 中野・水島 1994, 福島ら 1997）が報告されており、本研究においても 1 株当たり植付本数を慣行移植栽培と同様に 3～4 本とすることとした。

石川県においては、標準的な移植時期は 5 月上旬であるが、大規模経営体では作期延長にともない 5 月下旬まで移植作業が実施されている。異なる時期の育苗に対する指導として、播種量は箱あたり 120 g と同じでも晩期移植に向かう温暖期は育苗期間を短く設定することで健苗育成を促している（石川県 2017）。本研究は、大規模稲作経営体における生産コスト削減の期待に応えるべく、移植に用いる育苗箱数の大幅な削減を目的とし、慣行の稚苗移植栽培と同様の育苗や移植作業で適用可能な技術開発を目指すことを起点としている。前述のとおり低密度の播種量を用いている北陸地域の経営体を念頭に育苗箱当たり乾粃 100 g を慣行区として設定し、高密度区として 250 g および 300 g で播種した水稲苗の生長ならびに、その苗を移植栽培した本田の生育、収量、玄米品質に及ぼす影響について、石川県で標準的な移植時期である 5 月上旬移植と晩期移植時期である 5 月下旬移植の 2 時期で検討した。

第1節 材料と方法

1. 種子予措および播種

本研究は石川県金沢市の石川県農林総合研究センター農業試験場内の圃場で2013年および2014年に実施した。品種はコシヒカリを用いた。種子予措は慣行法に準じ、種子消毒として銅・フルジオキシニル・ペフラゾエート水和剤（商品名モミガードC水和剤）200倍液に24時間処理した後に水道水で浸種し、32°Cの水槽でハトムネ状態に催芽した。育苗箱は樹脂製の内寸長辺58 cm × 短辺28 cm × 高さ3 cm、（正和化学工業株式会社ダイヤカット式育苗箱AR-4）を使用した。床土に市販の粒状培土（商品名イセキラブリー培土）を底部から高さ2 cm（重量3400 g）に充填し、床土に灌水した後に催芽籾を播種し、同じ粒状培土を用いて慣行法と同じ量（重量1100 g）で種子籾が隠れるよう育苗箱全面に覆土した。その際に育苗箱1箱の培土中に含まれる窒素成分は1.6 gであった。

試験区は、高密度播種区として、育苗箱1箱当たり乾籾250 g播種区および300 g播種区、慣行播種区として100 g播種区を設けた（第1図）。播種作業は、2013年は手播きと機械播種の併用、2014年は機械播種とした。機械播種に用いた播種機はスズテック製THK2008を高密度に播種できるように改造して使用した。



第1図 播種密度の比較。
育苗箱当たり乾籾300 g（左）、250 g播種（中）、100 g播種（右）。

2. 育苗管理および本田移植

播種期と移植期を第1表に示した。移植時期を石川県での標準期5月上旬（以下「標準期移植」）、同晩期5月下旬（以下「晩期移植」）の2時期とした。播種期はそれぞれの移植時期に合わせた2時期（以下「標準期播種」「晩期播種」）とした。2013年は標準期移植は100 g播種区、250 g播種区および300 g播種区ともに播種後25日の苗を、晩期移植は3試験区ともに24日の苗を育成した。

2014年は標準期移植、晩期移植ともに100 g播種区は播種後22日の、250 g播種区および300 g

第1表 播種期および移植期.

年次	移植時期	播種量	播種期	移植期
2013年	標準期	100g	4月10日	5月5日
		250g, 300g	4月10日	5月5日
	晩期	100g	5月5日	5月29日
		250g, 300g	5月5日	5月29日
2014年	標準期	100g	4月10日	5月2日
		250g, 300g	4月17日	5月2日
	晩期	100g	5月1日	5月23日
		250g, 300g	5月8日	5月23日

播種区は播種後15日の苗を育成した。播種後は育苗箱積み重ね式出芽台車に載せて保温カバーで被覆し、その下に蒸気出芽器（啓文社 HA-120AL）を配置して、32℃、65～69時間の加温出芽した。その後、ビニルハウスに並べ、寒冷紗被覆で1～2日緑化後に被覆を除去、硬化し育成管理した。育苗期間中のビニルハウスの温度管理は2時期共通で、日中は15～25℃、夜間は10℃以上を目標に日差しや風に応じてサイド開閉の調整を行い、霜注意報が発表された場合の夜間早朝は不織布で被覆し保温を行った。また、育苗期間中の灌水方法は2013年は手灌水にて、8時および乾燥程度に応じて13時、15時に床土に浸潤するように灌水した。2014年はビニルハウス内の長辺両サイド高さ40cmに設置した灌水チューブ（住化ミストエース S54）により、手灌水と同時刻に15分間散水して行った。ビニルハウス内の温度の計測は、ハウス内中央部の地上5cmに設置したデータロガー（2013年はKNラボラトリー製サーモクロンGタイプ、2014年はティアンドディ製 TR71nw）により行った。計測時間は毎日1時から24時の毎正時で、日平均気温はそれら24回の計測値の平均、日最高気温および日最低気温はそれらのうち最も高い、最も低い計測値とした。週別の各気温は日別の値を平均した。

本田への移植は、100g播種区、250g播種区および300g播種区ともに同日とし、移植7日前に代かきした水田に栽植密度 m^2 当たり15.2株設定、1株あたり3～4本となるよう機械移植した。植え付け深さは3cm程度に調整した。移植に使用した機械は、250g播種区および300g播種区は育苗箱から小面積で掻き取りするよう改造したヤンマー田植機（特願 2013-177200）、2013年は6条植え（機種名 RG6）、2014年は8条植え（機種名 RG8）、100g播種区は2か年ともに農業試験場所所有のイセキ田植機6条植え（機種名 PZ60）を使用した。移植後の試験区において、補植および植え付け本数の調整は行わなかった。本田施肥量（成分量）は、標準期移植で $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=5.0:4.3:2.5 \text{ g}/\text{m}^2$ 、晩期移植で $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=4.0:3.4:2.0 \text{ g}/\text{m}^2$ として全量を代かき直前に施用した。窒素は、基

肥となる速効性窒素と主に穂肥となる肥効調節型窒素（シグモイド100日タイプで溶出抑制期間45日－溶出期間55日）の割合は1:2であった。

3. 調査方法

(1) 発芽率調査

苗の平均葉齢が3.0となった時点、すなわち乾籾100g播種区で播種後15日、250g播種区および300g播種区で播種後18日に、各播種量区の育苗箱から採取した8cm×10cmの切片の全ての個体の発芽率および生長の揃いを確認するために3.0未満個体割合を調査した（3反復）。芽の伸長が認められるものを発芽とした。

(2) 苗質調査

苗質について、育苗期間中の播種後1週毎にそれぞれの試験区の苗を育苗箱から採取して土を洗い流し、30個体の葉齢、草丈、第1葉鞘長、茎径、最長根長および100個体まとめたの乾物重の調査を行った。葉齢は不完全葉を第1葉とし、主茎の展開葉の数に抽出中の葉の全葉身長に対する出現割合を小数点第1位で計測した数を加えた。茎径は第1葉鞘の高さ中央部の長径をデジタルノギスで測定した。最長根長は各個体で最も長い根を伸ばして測定した。乾物重は切断分離した茎葉、籾および根部の別に60℃通風乾燥機で7日間乾燥した後に重量を測定し1個体あたりに算出した。移植時の胚乳残存割合は、(移植時苗の籾乾物重－胚乳消尽後の籾乾物重) / (浸種前の種子籾乾物重－胚乳消尽後の籾乾物重)とした。苗マット強度は、育苗箱から取り出した苗マットを金属板の上に載せ、苗マットの中央部に刺した支点をフォースゲージにより長辺水平方向に牽引し、苗マットが破断した目盛を測定した。

(3) 移植精度調査

本田への機械移植直後に、各試験区において1株当たりの植付本数および欠株を調査した。調査株数は田植機の各条について10株を2か所、すなわち2013年は6条×10株を2014年は8条×10株をそれぞれ2か所とした。植付けた苗のうち、垂直方向に姿勢良く立っている苗を正立苗、姿勢が傾斜してほぼ田面に倒れている苗を倒れ苗とした。植付け位置に苗の無い場合および苗があっても籾が土中に入っておらず田面に横たわっている場合を欠株とした。

(4) 本田生育調査

本田の各試験区は2013年80m²、2014年100m²とし各3反復とした。各試験区において機械移

植を実施した中に1株4本手植えによる10株の生育調査区を2反復設け、移植後1か月の分けつ期、最高分けつ期、幼穂形成期および穂揃期に草丈、茎数、葉齢、葉色、地上部乾物重および窒素保有量を調査した。葉色はコニカミノルタ SPAD502 を用いて最上位展開葉の直下葉の中肋を除いた葉身中央部を測定した。地上部乾物重および窒素保有量については、試験区内の生育中庸で平均茎数に近い3株を採取し、60℃の送風乾燥器で7日間乾燥した後に重量（乾物重）を測定し、その後、部位毎に粉碎し、ケルダール法により窒素濃度を測定して乾物重を基に窒素保有量を求めた。

これとは別に、同株内の他個体の影響を排除し1個体当たりの茎数の推移を明確に調査するために、2014年に乾籾300g播種の葉齢3.0、3.3および3.6の苗を、5月28日に本田に栽植密度 m^2 当たり15.2株で各葉齢区10株を1株1本手植えした。

(5) 収量、収量構成要素および玄米品質調査

成熟期に各試験区3反復から、それぞれ円形坪刈器により $3 m^2$ （刈り取り部分に欠株を含んでいる場合あり）を刈り取るとともに、1穂粒数と登熟歩合を測定するため生育中庸で平均穂数を有する3株を採取し、それぞれ天日乾燥を行った。乾燥後に、 $3 m^2$ 刈の全穂数を測定し m^2 当たり穂数を算出した。また、平均穂数株から1穂粒数を測定するとともに、脱粒した全籾を1.06塩水比重選別して沈下した籾数の割合で登熟歩合を算出した。精玄米重および千粒重は、 $3 m^2$ 刈りした株を脱穀・籾摺した粒厚1.85mm以上の精玄米を用い、水分含有率15.0%に換算して算出した。玄米品質は1.85mm以上の精玄米を、外観品質についてケット社製の米粒判別機RN310で、玄米タンパク含有率についてケット社製の食味計AN820で測定した。

第2節 結果

1. 高密度播種した苗の生長

育苗期間の気温を第2表および第3表に示した。2013年の育苗期間の気象は、標準期播種で曇りや雨の日が多く、気温は平年より低めに経過した。晩期播種では晴れて気温は平年より高めに経過した。週別のビニルハウス内の平均気温は、標準期播種が14.3～18.6℃、晩期播種が20.0～22.6℃、最高気温は、標準期播種が24.5～31.4℃、晩期播種が29.1～31.9℃、最低気温は、標準期播種が5.6～9.0℃、晩期播種が12.9～15.4℃で、いずれも晩期播種で常に高く経過し、最低気温は6～8℃

高かった。2014年の育苗期間は、標準期播種、晩期播種ともに概ね天候が良く気温は平年並み～平年より高めに経過した。週別のビニルハウス内の平均気温は、標準期播種が17.3～19.5℃、晩期播種が16.6～20.1℃で、2013年に比べて両時期の差が小さかった。最高気温は、標準期播種が27.8～35.5℃、晩期播種が26.3～34.2℃で、晩期播種が3～9℃低い週があった。最低気温は、標準期播種が8.1～10.8℃、晩期播種が10.3～13.7℃で、晩期播種が2～4℃高かった。

播種後の苗の生長の推移について、2013, 2014年2か年平均の葉齢を第2図に、草丈を第3図に、

第2表 育苗期間の週別の日平均気温 (2013年).

観測場所	観測項目	移植時期	第1週	第2週	第3週	第4週
ビニル ハウス内	最高気温 (°C)	標準期	31.4	27.8	25.4	24.5
		晩期	31.9	29.1	30.4	31.6
	平均気温 (°C)	標準期	18.6	14.3	16.1	14.9
		晩期	21.8	20.0	22.1	22.6
	最低気温 (°C)	標準期	5.8	5.6	9.0	7.2
		晩期	12.9	13.6	15.1	15.4
金沢市	最高気温 (°C)	標準期	15.8	14.7	18.2	16.0
		晩期	25.1	21.9	25.5	25.6
	平均気温 (°C)	標準期	10.5	10.1	13.8	11.8
		晩期	18.5	17.7	21.0	20.9
	最低気温 (°C)	標準期	4.9	5.7	9.1	7.8
		晩期	12.5	14.0	17.0	16.6

週別のデータは播種日から起算。金沢市は金沢気象台の観測値。

第3表 育苗期間の週別の日平均気温 (2014年).

観測場所	観測項目	移植時期	第1週	第2週	第3週	第4週
ビニル ハウス内	最高気温 (°C)	標準期	35.5	32.6	32.9	27.8
		晩期	26.3	34.2	29.2	29.5
	平均気温 (°C)	標準期	19.5	18.0	19.5	17.3
		晩期	16.6	20.1	18.9	19.8
	最低気温 (°C)	標準期	8.1	8.8	10.8	9.9
		晩期	10.3	12.2	12.9	13.7
金沢市	最高気温 (°C)	標準期	16.4	15.5	21.4	19.6
		晩期	19.6	23.6	21.4	23.4
	平均気温 (°C)	標準期	11.0	12.2	16.4	15.2
		晩期	15.2	18.0	16.9	19.4
	最低気温 (°C)	標準期	5.3	8.8	11.7	10.9
		晩期	10.9	13.2	13.0	15.3

週別のデータは100g播種区の播種日から起算(250g播種区および300g播種区の播種日は2週目の初日である)。金沢市は金沢気象台の観測値。

茎葉乾物重を第4図に示した。標準期播種、晩期播種ともに250g播種区および300g播種区は播種後2週の葉齢3.0前後で葉の展開が緩慢になり、播種後3週以後に100g播種区との葉齢の差が拡大する傾向にあり、標準期播種でその程度が大きかった。

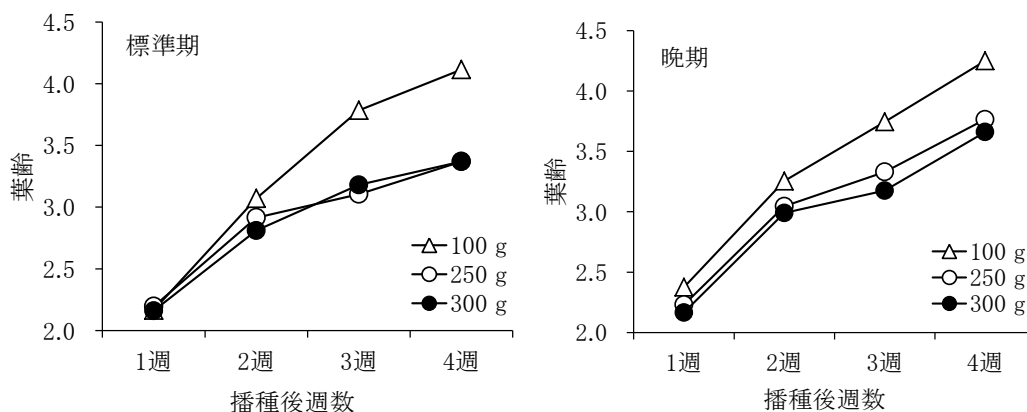
草丈の伸長は標準期播種、晩期播種ともに全ての播種区において播種後1週から2週にかけて伸長程度が大きく、標準期播種では1週の5cm前後から2週には7～9cmになり、その後の伸長は緩

やかであった。晩期播種では1週の5~6 cmが2週には10 cm以上となったが、250 g 播種区および300 g 播種区の伸長が3週にかけて緩慢となり、4週にかけて再び伸長した。

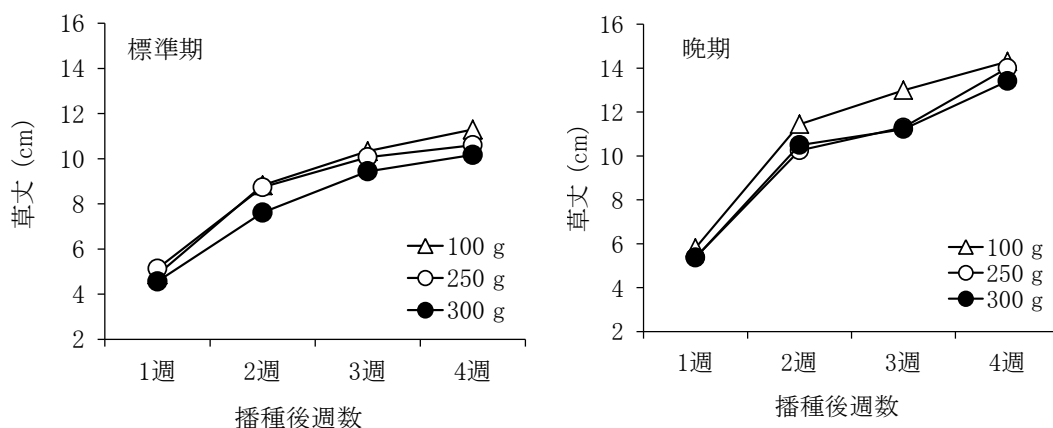
茎葉乾物重は、標準期播種、晩期播種ともに250 g 播種区および300 g 播種区が100 g 播種区より増加程度が小さく推移した。

2014年の発芽率を第4表に示した。発芽率は100 g 播種区と250 g 播種区、300 g 播種区に有意差はなく、いずれも96%台の発芽率であった。平均葉齢3.0時点で各播種量区の育苗箱において、発芽生長している個体のうち第3葉が展開しきっていない個体、すなわち葉齢3.0未満の個体数の割合にも有意差はないが、250 g 播種区および300 g 播種区では100 g 播種区より多かった。

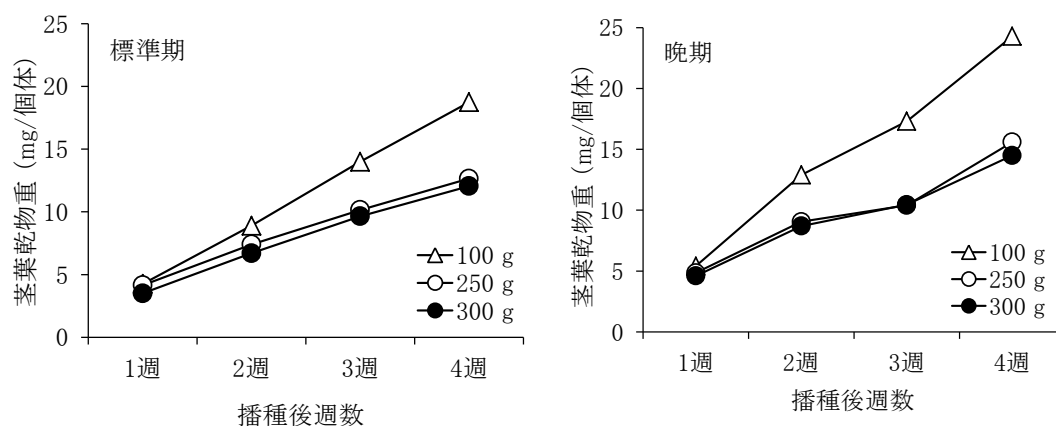
なお、育苗期間の障害について、250 g 播種区および300 g 播種区は100 g 播種区と同様に、出芽時の覆土の持ち上がりや育苗後期の細菌性病害、ムレ苗の発生は認められなかった。



第2図 播種量別の苗の葉齢の推移。
各数値は2013年および2014年の平均値。



第3図 播種量別の苗の草丈の推移。
各数値は2013年および2014年の平均値。



第4図 播種量別の苗の茎葉乾物重の推移.
各数値は2013年および2014年の平均値.

第4表 苗の播種量と発芽率(2014年).

播種量 (乾糶 g/箱)	調査個体数	発芽率 (%)	葉齢3.0未満個体割合 (%)
100	183	96.9 (0.9)	1.3 (0.4)
250	409	96.7 (1.3)	3.4 (1.0)
300	507	96.2 (1.4)	3.1 (1.2)

()は標準偏差. 発芽率および葉齢3.0未満個体割合において, 100 g播種区と250 g播種区, 300 g播種区の間には有意差はない(Dunnett法による).

2. 移植時の苗質

移植時の苗質を第5表に示した. 2013年の標準期移植の播種後25日および晩期移植の播種後24日の苗質について, 250 g播種区および300 g播種区の葉齢ならびに茎径は標準期播種, 晩期播種ともに100 g播種区に対して小さかった. 草丈, 茎葉乾物重, 根部乾物重も小さい傾向であった. 250 g播種区および300 g播種区の草丈は育苗期間の温度(第2表)の低い標準期播種で100 g播種区比94%および99%であったが, 晩期播種のそれは87%および80%で100 g播種区との差が大きかった. 苗の充実程度の指標とされる茎葉乾物重/草丈比は, 250 g播種区および300 g播種区は100 g播種区に対し, 標準期播種で79%および72%, 晩期播種で79%および86%と小さかった. また, 晩期播種は100 g播種区を含め標準期播種に比べて葉齢が進展し, 草丈は長かった.

2014年の250 g播種区および300 g播種区の移植時期の苗質(播種後15日)について, 葉齢は標準期播種, 晩期播種ともに3.0, 草丈は標準期播種で10.9 cm および9.5 cm, 晩期播種で11.2 cm および11.6 cm, 茎径は標準期播種で1.3 mm および1.0 mm, 晩期播種で0.8 mm および1.3 mm

であり, 100 g 播種区に対して小さかった. 個体当たり茎葉乾物重は標準期播種で 8.5 mg および 7.7 mg, 晩期播種で 9.1 mg および 8.4 mg と 100 g 播種区より小さい傾向であり, 晩期播種が標準期播種より 0.6~0.7 mg 大きかった. 茎葉乾物重/草丈比は標準期播種, 晩期播種ともに 0.7~0.8 mg/cm であった. 胚乳残存割合は, 250 g 播種区および 300 g 播種区が 100 g 播種区より高かった. 苗マット強度は 66~98 N 超で苗取板を用いずに苗を手で持つことができる十分な強度であった. 標準期播種と晩期播種を比較すると, 葉齢は同じ 3.0 であったが, 草丈, 第 1 葉鞘長, 茎葉乾物重は晩期播種で大きかった. 100 g 播種区の移植時である播種後 22 日の苗と比較すると, 250 g 播種区および 300 g 播種区では葉齢は小さく, 草丈は短く, しかし第 1 葉鞘長は長く, 茎葉乾物重および根部乾物重が小さく, 茎葉乾物重/草丈比は小さかった.

第 5 表 苗の播種量と移植時の苗質.

年次	移植時期	播種量 (乾粒 g/箱)	葉齢	草丈 (cm)	第1 葉鞘長 (cm)	茎径 (mm)	最長 根長 (cm)	個体乾物重		茎葉乾物重 /草丈比 (mg/cm)	胚乳残存 割合 (%)	苗マット 強度 (N)
								茎葉 (mg)	根部 (mg)			
2013年	標準期	100	3.5	8.6	2.9	1.4	5.0	12.5	5.7	1.45	7.9	-
		250	3.0 **	8.1 **	3.1	1.1 **	4.4 **	9.2	3.7	1.14	9.0	-
		300	3.0 **	8.5	3.1 **	1.1 **	4.6	9.0	3.9	1.05	9.6	-
	晩期	100	3.8	11.7	3.1	1.5	4.7	15.6	3.5	1.33	3.4	98超
		250	3.6 **	10.2 **	2.9	1.1 **	4.4	10.7	2.6	1.05	7.3	98超
		300	3.3 **	9.4 **	2.8 *	1.2 **	5.6 *	10.7	3.0	1.14	9.6	98超
分散分析	移植時期	**	**	*	*	ns						
播種量	**	**	ns	**	**	**						
2014年	標準期	100	4.1	12.1	2.8	1.6	4.5	15.5	4.7	1.28	7.9	98超
		250	3.0 **	10.9 **	3.5 *	1.3 **	4.3	8.5	3.0	0.78	9.6	98超
		300	3.0 **	9.5 **	3.0	1.0 **	4.7	7.7	3.0	0.81	9.0	80~98超
	晩期	100	3.7	14.3	3.6	1.5	4.4	19.0	3.7	1.33	2.3	98超
		250	3.0 **	11.2 **	3.8 *	0.8 **	3.8	9.1	2.8	0.81	9.6	78~98超
		300	3.0 **	11.6 **	3.9 **	1.3 **	4.7	8.4	2.1	0.72	9.0	66~98超
分散分析	移植時期	**	**	**	**	ns						
播種量	**	**	**	**	**	**						

苗質調査日は, 2013年は標準期播種の全ての試験区が播種後25日, 晩期播種の全ての試験区が同24日, 2014年は標準期, 晩期播種ともに100 gが播種後22日, 250 gおよび300 gが同15日. 茎径は第1葉鞘の高さ中央部の長径を測定した. 根部乾物重は, 採取した個体の根全量を示す. ただし採取時に一部断根あり. 苗マット強度の-は測定なし. 分散分析の*は5%水準で, **は1%水準で有意差があることを示す. ns:有意差なし. 各移植時期において, *は5%水準で, **は1%水準で各時期の100 g播種区との間に有意差があることを示す (Dunnett法による).

第 6 表 苗の播種量と移植精度, 使用育苗箱数.

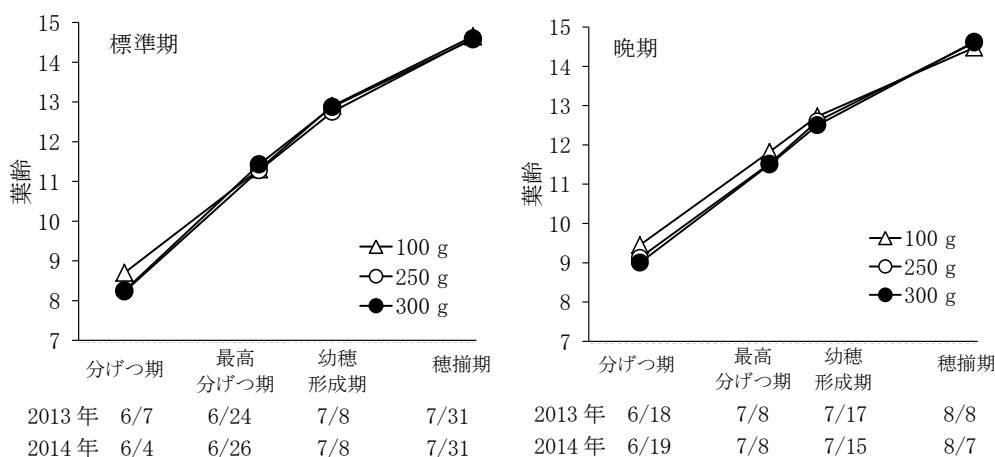
年次	移植時期	播種量 (乾粒 g/箱)	苗ブロック サイズ (mm ²)	同左 100 g区比 (%)	1株当たり植付本数			植付た苗のうち 正立苗の割合 (%)	欠株率 (%)	連続 欠株 か所数	10 a当たり使用育苗箱数	
					正立苗 (本)	倒れ苗 (本)	計 (本)				箱数 (箱)	同左100 g区比 (%)
2013年	標準期	100	140	100	-	-	3.6	-	6.7	0	16.5	100
		250	62	44	-	-	3.3	-	5.0	0	7.2	44
		300	54	38	-	-	3.7	-	5.0	0	5.9	36
	晩期	100	140	100	-	-	3.9	-	5.0	0	14.8	100
		250	62	44	-	-	3.6	-	0.0	0	7.2	49
		300	54	38	-	-	3.5	-	3.3	0	5.6	38
2014年	標準期	100	117	100	3.4	0.0	3.4	100	0.7	0	14.2	100
		250	56	48	3.7	0.1	3.8	98	6.3	0	6.0	42
		300	47	40	3.4	0.1	3.5	97	5.7	0	4.7	33
	晩期	100	140	100	3.4	0.1	3.5	99	1.7	0	12.2	100
		250	74	53	3.4	0.0	3.4	100	0.9	0	6.5	53
		300	65	46	3.5	0.0	3.5	100	3.4	0	6.0	49

- は測定なし.

3. 移植精度

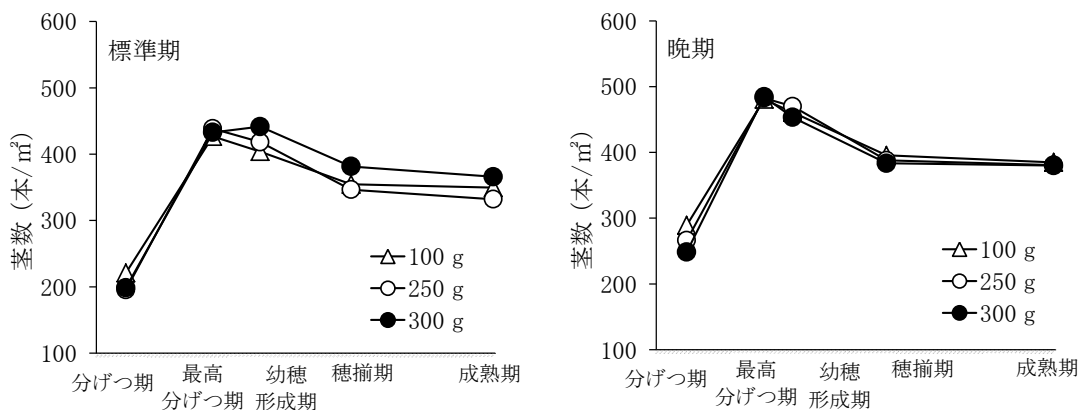
本田移植時の1株当たりの植付本数、欠株状況および10aあたりに使用した育苗箱数を第6表に示した。両年次ともに全ての250g播種区および300g播種区においても、1株当たり3~4本で植付けることができ、また、本来あるべき位置に苗のない欠株を除いた植付けた株のうち正立苗の割合は97~100%であった。田植機に積載した苗マットの残量から算出した、10aの移植に使用した育苗箱数は、2013年が100g播種区の標準期移植16.5箱、晩期移植14.8箱に対し、250g播種区が両移植時期ともに7.2箱、300g播種区が5.9箱および5.6箱であった。また、2014年は100g播種区の標準期移植14.2箱、晩期移植12.2箱に対し、250g播種区が6.0箱および6.5箱、300g播種区が4.7箱および6.0箱であった。

欠株率は250g播種区および300g播種区で0.0~6.3%であり、100g播種区と同等程度であった。なお、同一の植付条で2株以上連続して欠株となる連続欠株は認められなかった。



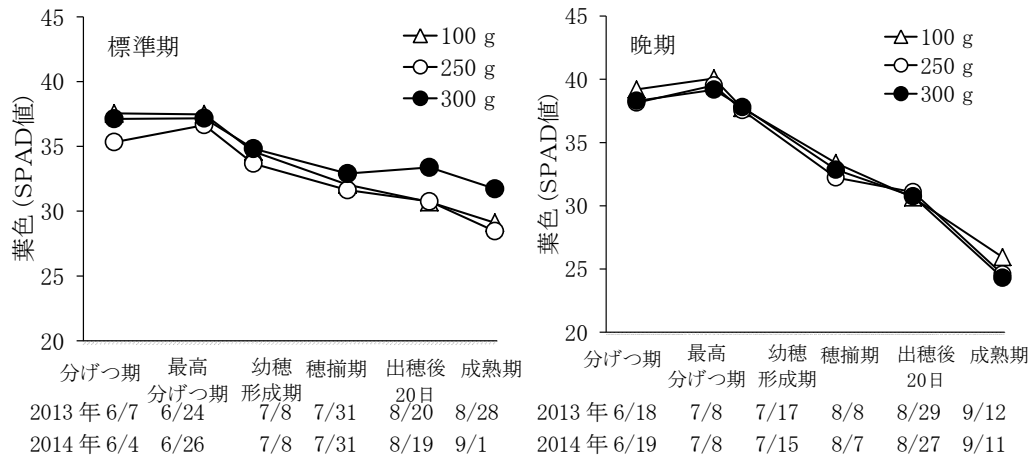
第5図 播種量別苗の移植後の葉齢の推移。

各数値は2013年および2014年の平均値。生育ステージの下は調査日を記した。



第6図 播種量別苗の移植後の茎数の推移。

各数値は2013年および2014年の平均値。生育ステージの下は調査日を記した。



第7図 播種量別苗の移植後の葉色の推移。
各数値は2013年および2014年の平均値。生育ステージの下は調査日を記した。

第7表 苗の播種量と生育時期ごとの茎数（生育調査区）。

年次	移植時期	播種量 (乾粒 g/箱)	分げつ 期 茎数 (本/m ²)	最高 分げつ期 茎数 (本/m ²)	成熟期	
					穂数 (本/m ²)	有効茎 歩合 (%)
2013年	標準期	100	253	435	357	82.1
		250	233	459	351	76.6
		300	215	439	360	81.8
	晩期	100	290	464	388	83.6
		250	274	454	378	83.1
		300	254	444	380	85.6
2014年	標準期	100	188	418	342	81.9
		250	158	420	313	74.6
		300	182	462	372	80.9
	晩期	100	288	499	382	76.6
		250	259	511	383	74.9
		300	243	525	380	73.1
分散分析	移植時期		**	ns	**	ns
	播種量		ns	ns	ns	ns
	年次		ns	ns	ns	*

分散分析の*は5%水準で、**は1%水準で有意差があることを示す。ns:有意差なし。

第8表 苗の播種量と出穂期，成熟期および成熟期形質。

移植時期	播種量 (乾粒 g/箱)	出穂期	成熟期	稈長 (cm)	穂長 (cm)	乾物重 (g/m ²)			窒素保有量 (g/m ²)			倒伏程度
						茎葉	穂	合計	茎葉	穂	合計	
標準期	100	7月28日	9月5日	91.4	18.5	658	656	1314	3.7	5.6	9.3	1.5
	250	7月30日	9月5日	91.7	18.2	730	709	1439	4.5	6.1	10.6	1.8
	300	7月30日	9月6日	93.2	18.8	700	726	1425	4.5	6.8	11.3	2.0
晩期	100	8月5日	9月15日	92.7	18.7	707	656	1363	4.3	6.2	10.4	2.5
	250	8月7日	9月17日	94.4	17.8	698	624	1321	4.2	5.9	10.1	1.9
	300	8月7日	9月17日	92.1	18.1	721	603	1324	4.2	5.8	9.9	1.9
分散分析	移植時期		**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	播種量		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	年次		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

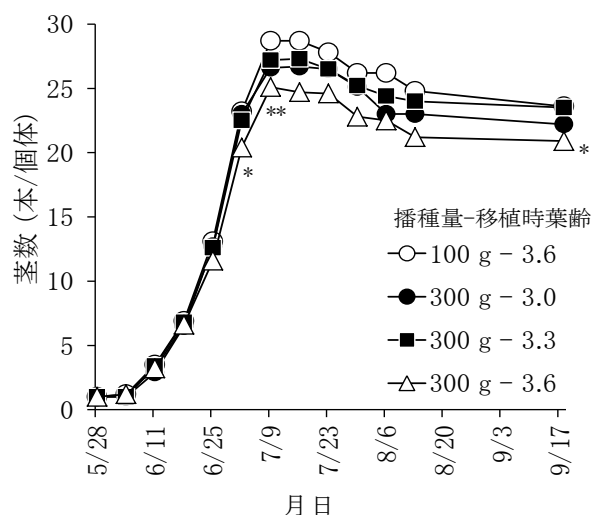
各数値は2013年および2014年の平均値。倒伏程度は、0:無～5:茎の6段階評価。分散分析の**は1%水準で有意差があることを示す。ns:有意差なし。各移植時期において、各時期の100g播種区と250g播種区、300g播種区との間に有意差はない(Dunnett法による)。

4. 本田の生育

本田における2か年の生育の推移について、葉齢を第5図に、 m^2 当たり茎数を第6図および第7表に、葉色を第7図に示した。また、出穂期、成熟期および成熟期の形質を第8表に示した。本田における250 g 播種区および300 g 播種区の葉齢の推移は、移植時葉齢が100 g 播種区に比べて若いことから、分けつ期において100 g 播種区より葉齢が小さいが、生育の進行に伴い葉齢差は縮小した。最終葉齢は100 g 播種区の標準期移植14.7または晩期移植14.5に対し、両移植時期で250 g 播種区、300 g 播種区ともに14.6であった。250 g 播種区および300 g 播種区の m^2 当たり茎数は100 g 播種区に比べて、分けつ期で少ない傾向であったが、その後、最高分けつ期、成熟期では差がなかった。葉色は、標準期移植、晩期移植ともにいずれの生育時期も有意差は認められなかった。茎葉乾物重、穂乾物重およびそれぞれの窒素保有量について、100 g 播種区と250 g 播種区、300 g 播種区で差はなかった。

250 g 播種区および300 g 播種区の出穂期は、100 g 播種区に比べて標準期移植、晩期移植ともに2日遅かった。成熟期は、標準期移植で同日～1日遅く、晩期移植で2日遅かった。倒伏程度は、標準期移植、晩期移植ともに250 g 播種区および300 g 播種区は1.8～2.0と小さかった。

また、2014年に300 g 播種した葉齢3.0、3.3、3.6の苗を同時に移植した場合の、分けつ期(7月2日)の茎数、最高分けつ数、穂数は3.6葉苗で有意に少なかった(第8図)。



第8図 高密度播種苗の移植後の茎数の推移(2014年)。

最後のプロットは穂数。図中の*は5%水準で、**は1%水準で100 g - 3.6との間に有意差がある(Dunnnett法による)。

5. 収量および品質

収量構成要素および収量を第9表に、玄米品質を第10表に示した。計算収量および刈取収量は、標準期移植、晩期移植ともに250 g播種区および300 g播種区と100 g播種区との間に有意差は認められなかった。穂数、1穂粒数およびその積である総粒数において、250 g播種区および300 g播種区の標準期移植、晩期移植ともに100 g播種区との間に有意差は認められなかった。登熟歩合は2013年の標準期移植250 g播種区および2014年の標準期移植300 g播種区で有意に低く、千粒重は2013年の標準期移植250 g播種区および300 g播種区で有意に小さく、2014年の晩期移植300 g播種区で有意に大きかった。

標準期移植と晩期移植を比較すると、計算収量、刈取収量ともに有意差は認められなかった。穂数は晩期移植が多く、1穂粒数は晩期移植が少なく、総粒数は晩期移植が多かった。登熟歩合および千粒重は標準期移植が大きかった。

玄米品質について、2013年の標準期において100 g播種区に対して250 g播種区および300 g播種区の整粒歩合が低下した。これは乳白粒、基部未熟粒が多かったためである。2014年は250 g播種区および300 g播種区の整粒歩合が高い傾向であった。これは乳白粒が少なかったためである。タンパク質含有率は有意差がなかった。

第9表 苗の播種量と収量構成要素および収量.

年次	移植時期	播種量 (乾粒g/箱)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒)	総粒数 (百粒/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	計算収量 (g/m ²)	刈取収量 (g/m ²)
2013年	標準期	100	333	89.1	297	83.0	22.1	544	534
		250	353	87.5	309	74.8 *	21.8 *	504	518
		300	355	91.8	328	76.0	21.8 *	540	498
	晩期	100	375	85.5	321	75.7	21.3	517	480
		250	402	78.5	316	73.2	21.2	490	490
		300	377	88.3	333	73.7	21.4	525	486
2014年	標準期	100	316	81.1	256	84.2	22.7	490	502
		250	319	86.5	276	80.7	22.3	497	500
		300	310	81.2	251	78.7 *	21.9	434	466
	晩期	100	411	74.7	307	80.0	21.7	533	548
		250	396	81.5	322	77.4	22.2	555	543
		300	378	78.6	297	81.1	22.3 *	537	526
分散分析	移植時期	**	*	*	*	**	ns	ns	
	播種量	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	
	年次	ns	**	**	**	**	**	ns	

計算収量は収量構成要素から算出した。刈取収量は3m²刈りから測定した精玄米重。分散分析の*は5%水準で、**は1%水準で有意差があることを示す。ns:有意差なし。各年次の各移植時期において、*は5%水準で各移植時期の100 g播種区との間に有意差があることを示す(Dunnett法による)。

第10表 苗の播種量と玄米品質.

年次	移植時期	播種量 (乾籾 g/箱)	整粒 (%)	未熟粒(%)			胴割粒 (%)	タンパク (%)
				乳白粒	基部未熟	その他未熟		
2013年	標準期	100	71.8	2.4	1.5	13.0	1.6	6.2
		250	59.7 **	7.1 **	4.1 *	13.5	2.2	6.1
		300	63.2 **	7.6 **	2.9	13.5	1.4	6.3
	晩期	100	61.8	14.8	1.2	12.6	1.2	6.6
		250	60.4	16.4	1.9	10.1	1.5	6.4
		300	61.4	16.4	1.8	9.7	1.7	6.6
2014年	標準期	100	63.1	14.5	3.3	9.2	0.3	6.5
		250	67.3	8.0 *	1.8	13.6	0.3	6.3
		300	68.0	7.8 *	1.5	13.9	0.2	6.4
	晩期	100	71.2	6.6	1.6	12.2	0.5	6.1
		250	77.5 *	2.7	1.4	10.5	0.5	6.0
		300	74.4	2.7	1.4	12.7	0.9	6.0
分散分析	移植時期		ns	ns	**	**	ns	ns
	播種量		ns	ns	ns	ns	ns	ns
	年次		**	*	ns	ns	**	ns

分散分析の*は5%水準で、**は1%水準で有意差があることを示す。ns:有意差なし。各年次の各移植時期において、*は5%水準で、**は1%水準で各移植時期の100 g播種区との間に有意差があることを示す (Dunnnett法による)。

第3節 考察

1. 高密度播種した苗の移植適期の苗姿

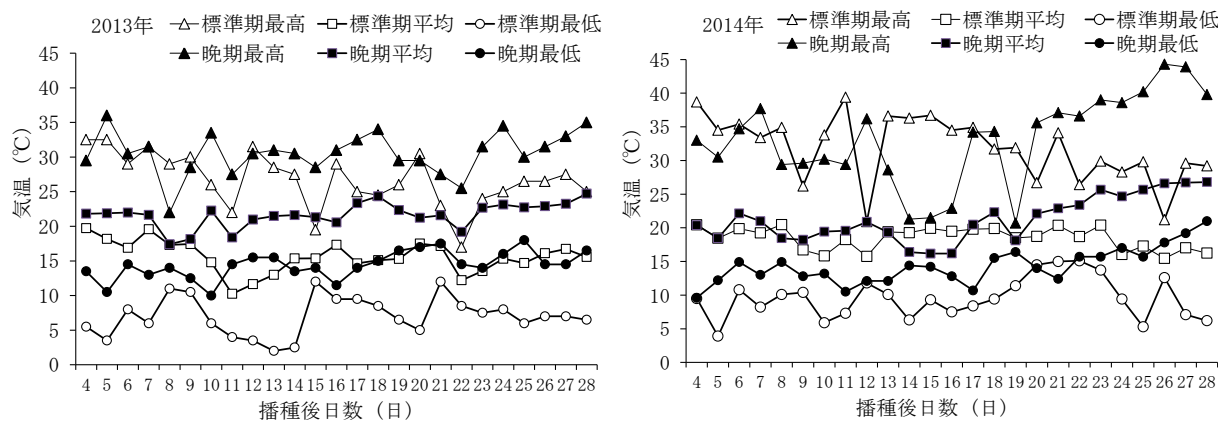
出芽時の状況について、250 g 播種区および300 g 播種区は100g 播種区と同様に正常であった。播種量の多い2つの高密度播種区においても100 g 播種区と同等の発芽率を示したが(第4表)、播種時の覆土量は100 g 播種区と同量であり、育苗箱内の高密度な出芽による覆土の持ち上がりの発生が懸念されたが、今回は育苗箱を積み重ねる出芽方式のため、その発生は見られなかった。育苗箱を平置きする出芽方式について覆土の持ち上がり発生の確認が必要と考える。

育苗期の苗の生長について、2か年の研究の結果から、育苗箱当たり乾籾250 gおよび300 gの高密度で播種した苗は、播種後2週を経過すると葉齢の進展が緩慢となり、草丈の伸長が鈍化することが認められ、木根淵(1974)の報告と一致する結果であった。本研究において、この時期の苗は葉齢3.0前後、草丈8~10 cm程度であった。なお、第3図の晩期播種において、250 g 播種区および300 g 播種区で2週から3週にかけて草丈の伸長が特に緩慢なことを示しているが、これは2か年のうち2013年で見られた伸張鈍化が影響している。この時期の気象が特別に低温で経過していないことから(第9図)、原因として、当年の灌水方法である手灌水が、密生している苗の水分要求

に与えられるだけの育苗箱水分保持量になっていなかったためと考えられた。

移植時の苗の葉齢について、個体当たりの茎数推移の調査結果（第8図）において300 g 播種の3.6 葉苗の茎数推移が有意に少なかったことから、穂数確保の観点からは葉齢3.6 より若い苗で植えることが適切と考えられた。斎藤・伊藤（1986）によると、育苗期に生育停滞の見られないうちは播種量の違いによる発根力の差は小さいが、生育停滞が見られる場合は同じ葉齢であっても播種量の多い苗で発根力が劣るとされている。このことから、250 g または 300 g で播種した場合、葉齢3.6 より若い苗で植えることが適切と考えられた。

機械田植えに適する苗の草丈は10～15 cm とされている（注：乗用田植機諸元表，ヤンマー株式会社）が、本研究では第5表のとおり250 g 播種区および300 g 播種区において、播種後15日から25日で草丈8～12 cm が得られ、移植精度も良好であった（第6表）ことから機械移植適性に問題はないと考えられた。なお、本研究におけるビニルハウスでの育苗管理について、緑化期は寒冷紗被覆であり保温効果が得られなかったことや日中の灌水間隔が比較的長く1日当たり灌水量が少なかったことを考慮すると、草丈伸長に効果が期待できる保温能力の高い被覆資材の使用や十分な灌水によって移植時の苗丈10 cm を確保することは容易であると考えられる。また、晩期移植に向けた育苗期間は気温が高く経過する場合があります、このとき草丈の伸長が促進されやすいが、移植時苗



第9図 育苗期間の日別のビニルハウス内気温。

の草丈が長すぎる場合には植付姿勢の悪化や苗の茎折れを招くので、特にビニルハウス育苗では換気に努め草丈の過度な伸長を抑えることが必要である。

これらのことから、乾籾250～300 g の高密度で播種した苗の移植時の苗姿の目標として、葉齢3.0～3.3、草丈10～12 cm、育苗に要する期間は、加温出芽しビニルハウス育苗を用いた場合で播種後15～20日が適すると考えられた。

2. 高密度播種した苗の移植に関する諸形質

高密度播種した苗は慣行播種量の稚苗に比較して、移植時の葉齢が若く、草丈は小さい。

観察によると根は種子根とわずかに伸長した冠根はあるが細根が未発達で、慣行播種量の稚苗に比較すると根量は少ない。根マット形成の程度は、田植機に苗を積載する際の苗の扱いやすさに影響する。森ら（2012）と同じく、本研究においても高密度播種した苗は1個体当たりの根量は少ないが、育苗箱内の個体数が多いことから全体の根量が多くなり苗の根マット形成は慣行稚苗育苗と遜色のない強度が得られた（第5表）。高橋ら（2006）は、育苗期間が低温で推移すると苗の根張りの程度を示す引張強度の増加が停滞することを報告しており、苗の葉齢展開、草丈伸長と併せ、根マット形成促進の視点からも、移植時苗質の確保し易さを考慮すると、育苗期間が温暖な気象となる晩期播種が推奨されると考えられる。

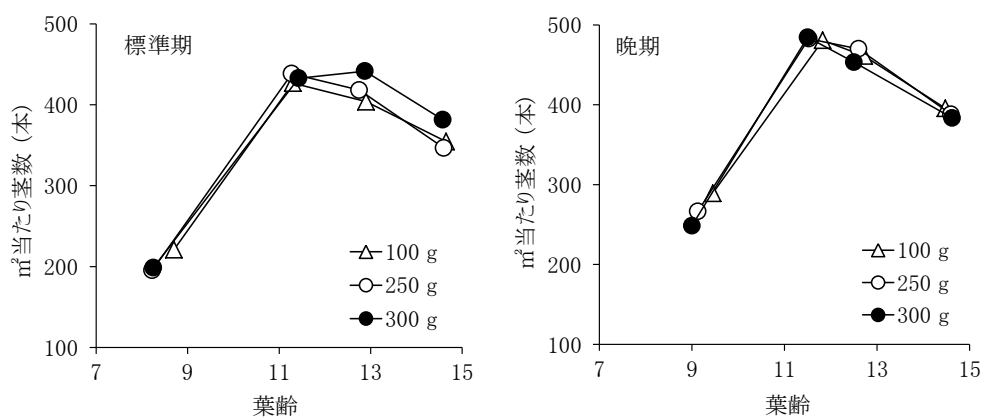
また、田植機による苗掻き取りサイズが小さいことから、田面への植付時にアンカーの役割を担う植付苗の根土ブロックが少なく植付姿勢の不安定による欠株が懸念された。しかし、標準的な植付深さである3 cmでの移植における欠株率は、250 g播種区および300 g播種区において100 g播種区と同等であった（第6表）。これは、本研究に用いた田植機が狭小爪で小さな掻き取り苗を強固に保持し、田面に正立させて植え付けるという、精密な少量掻き取りと高精度の植付けを実現していると考えられる。しかしながら掻き取り苗の根土ブロックが小さいことは、移植環境の不良条件、すなわち植付後の田面土の埋め戻りが悪い、移植時の水深が深い、強風、などの下での作業では転び苗や浮き苗による欠株が多くなる（尾崎ら1992、澤本・宇野2016）ことは否めないと考えられる。そのため、高密度播種では従来からの指導（石川県2017）のとおり適切な移植条件、すなわち植付け後に株元が直ぐに埋め戻る適切な土壌硬度と、田面水を少なくした落水～ひたひた水での移植作業に努める必要がある。

なお、減収に関与する欠株は、同一植付条において複数の株が連続して欠株となる場合（杉本・佐本1979、富久ら1991）であり、澤本・宇野（2016）による高密度播種した稚苗による栽培事例においても、連続欠株のない7.5%や11.7%の欠株率でも慣行と同等の収量が得られることを確認している。本研究においても連続欠株がなく1欠株が散在するケースであることから近隣株の補償作用により減収に至らなかったと考えられた。

3. 高密度播種した苗の本田生育、収量および玄米品質

本技術は播種・育苗・移植工程での稲作生産コストの削減を目指すものであるが、収量や品質の低下を来たしては収益性を損なうこととなる。ここでは、高密度播種した苗の本田での生育、収量および玄米品質について検討を行った。

高密度播種した苗の本田における生育は、本田移植時の葉齢が若いことから、分けつ期では、同時期に移植する葉齢の進んだ慣行稚苗に比較して草丈は小さく茎数は少なく推移した。しかし、同葉齢時点での茎数は250 g播種区および300 g播種区と100 g播種区で同程度であり（第10図）、最高分けつ数や穂数も同等（第7表）であった。



第10図 高密度播種苗の移植後の葉齢と茎数。

各数値は2013年と2014年の平均値。最後のプロットは穂揃期。

本田移植時では、250 g播種区および300 g播種区の苗が小さいことから100 g播種区の水田に比べて生育量が小さく見えたが、活着後の生育が始まり暫くすると100 g播種区と区別がつかないようになった。250 g播種区および300 g播種区の出穂期および成熟期は同日移植の100 g播種区と比較して、山本ら（1995）の報告と同様に数日遅れた（第8表）。これは、250 g播種区および300 g播種区の最終葉齢が100 g播種区と同等（第5図）であったことから、移植時苗の葉齢が100 g播種区より0.2～1.1小さい250 g播種区および300 g播種区において、出穂までに時間を要したことと起因していると考えられた。

収量（第9表）について、計算収量と刈取収量で乖離のある区があるが、いずれの収量においても播種量の違いによって一定の傾向は見られず、標準期移植、晩期移植ともに250 g播種区および300 g播種区は100 g播種区と同等と考えられた。

収量構成要素（第9表）でみると、標準期移植、晩期移植ともに穂数、1穂粒数および総粒数において250 g播種区および300 g播種区と100 g播種区の間には差がなくシンクサイズは同等である。これら着粒構成を石川県水稲栽培技術指導指針（石川県2017）に掲げるコシヒカリ収量構成要素の目標値である穂数390本/m²、1穂粒数72粒、総粒数280百粒/m²と比較すると、穂数は標準期移植で少なく晩期移植で目標値並み、1穂粒数は標準期移植、晩期移植ともに多く、総粒数は標準期

移植で目標値並み、晩期移植が多かった。登熟歩合について、2013年の標準期250g播種区および2014年の標準期300g播種区で有意に低かったが、1穂粒数や総粒数が過剰でない状況であり、原因が判然としない。

2013年の標準期移植の250g播種区および300g播種区において、千粒重の低下および乳白粒の増加による整粒歩合の低下が有意に認められた。この要因として、出穂後20日程度の期間（8月第1～第4半旬）が高温で経過したこと、登熟後期に日照の少ない日があったこと（第11表）が、100g播種区より多い総粒数と相まって影響したと考えられた。なお、2013年の出穂期は100g播種区が7月26日、250gおよび300g播種区がともに7月29日で3日しか差がないが、乳白粒の発生程度の違いとなった可能性がある。

第11表 登熟期間の気象。

	月 半旬	7月		8月						9月			
		5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
2013	最高気温 (°C)	31.9	30.0	30.8	32.7	32.8	33.7	30.5	31.7	26.6	26.1	29.8	27.3
	平均気温 (°C)	27.7	26.8	27.3	29.5	28.9	29.9	27.0	26.8	22.6	22.6	26.2	21.9
	最低気温 (°C)	24.3	24.1	24.4	26.7	25.4	26.1	24.5	22.5	20.5	19.6	23.0	16.7
	日照時間 (時間)	28.6	37.4	35.5	49.2	56.0	46.5	23.9	35.7	7.9	21.5	26.7	48.8
	降水量 (mm)	47.0	166.0	67.0	0.0	0.0	7.0	153.5	72.5	188.5	82.0	34.0	104.5
2014	最高気温 (°C)	30.9	32.0	35.1	28.5	30.3	30.7	31.4	27.2	29.7	28.5	26.1	25.0
	平均気温 (°C)	27.6	27.9	30.7	25.2	26.0	27.1	26.6	23.7	25.5	24.2	22.3	20.8
	最低気温 (°C)	24.5	23.6	27.1	22.9	23.3	24.3	23.6	21.1	22.2	20.6	18.8	17.5
	日照時間 (時間)	34.9	66.9	24.3	4.8	20.5	30.6	22.1	24.5	20.0	35.5	38.4	29.8
	降水量 (mm)	5.5	6.5	0.0	175.0	17.0	169.0	80.0	56.5	33.0	0.0	2.0	0.0

金沢気象台の観測値。

玄米品質（第10表）について、250g播種区および300g播種区と100g播種区の間で整粒歩合や乳白粒などの外観品質、タンパク質含有率から見た食味品質に一定の傾向は見られず、同等であると考えられた。

以上から、高密度播種した稚苗を用いた移植栽培においても、慣行稚苗栽培と同等の収量および品質を得ることが可能であると考えられた。なお、250g播種区および300g播種区について標準期移植と晩期移植を比較した場合、分けつ期（移植後1か月）の茎数および穂数は晩期移植が多かった（第7表、第9表）が、成熟期の乾物重や窒素保有量に差がなかった（第8表）。また、収量（第9表）および玄米品質（第10表）における標準期移植と晩期移植の比較についても、差は見られなかった。しかしながら、北陸地域では育苗管理および田植作業の時期である4月から5月半ばにかけては寒暖を繰り返しながら日平均気温が少しずつ上昇するため、苗の速やかな活着と分けつ発生の早期化のためには、温暖な気象となる5月下旬の晩期移植の作型が推奨されると考える。

第4節 摘要

石川県において、育苗箱に品種コシヒカリで乾籾 250 g または 300 g の高密度播種し、15 日または 24～25 日育苗した稚苗「密苗」を用いて、小面積を掻き取ることができるように改良した田植機により 1 株当たり 3～4 本で移植し、苗質および本田での生育・収量・玄米品質に及ぼす影響を検討した。

- 1) 移植時の苗の葉齢は 3.0～3.6，草丈は 8～12 cm で，欠株率は 0.0～6.3 % で連続欠株は無かった。10 a 当たりの移植に使用した育苗箱数は 250 g 播種区で 6.0～7.2 箱，300 g 播種区で 4.7～6.0 箱であった。2 つの高密度播種区の出穂期および成熟期は移植時の葉齢差を反映して，慣行区の箱当たり 100 g で播種した稚苗より 1～2 日遅かったが，最高茎数，穂数，精玄米重，整粒歩合および玄米タンパク含有率は 100 g 播種区と同等であった。
- 2) 高密度播種は，その育苗期の苗丈伸長や移植後の茎数の動態特性から，育苗期間および移植期が温暖な晩期移植作型に適していると考えられた。高密度に播種した水稻苗を用いる本法は，その苗に対応した田植機の導入が必要となるが，新たな育苗資材や特別な栽培管理を必要とせず慣行稚苗栽培と同等の収量・品質を得ることが可能であることが示唆された。

第3章 密苗仕様田植機の植え付け精度の検討 —密苗，稚苗および乳苗の比較—

水稻の移植栽培の機械化は，苗播機に始まった．その後，「ばら播き・マット苗」として規格化された稚苗を用いる田植機が1970年に開発され，今日の田植機稲作の画期となった（川島，2011）．その後，田植機は，機体の軽量化や走行姿勢の安定化，多条化，ブロック爪の開発，ロータリー植付機構による高速化などにより，移植作業能率および移植精度の向上が進められてきた．

一方，育苗から移植までの作業は，育苗ハウスの苗箱の搬入搬出や移植時の圃場への運搬，田植機への苗補給など，機械化が進んでおらず依然として人力によるものが多い．事実，稲作の作業別直接労働時間の27%が種子予措・育苗・移植で占められている．そして，これらの作業は経営規模の拡大によっても低減効果が現れにくく，作業時間の比率は規模の大きい経営体ほど大きくなっている（農林水産省，2017）．このことは，近年の稲作経営の大規模化の進展に際し，大きな課題となっている．

こうした経営課題に対し，移植栽培技術を見直し，繁忙な春作業時期における投下労働時間の削減，育苗資材費の低減，慣行法と変わらない栽培管理方法と同等水準の収量・品質をねらいとして，高密度播種苗による移植栽培技術を開発した（石川県，2015）．本技術は，水稻育苗箱1箱当たりに乾粃150g程度を播種する慣行法に対して，250～300gの種子粃を播種した高密度播種苗「密苗」を用いた移植技術である．移植時の苗葉齢は3.0～3.3（不完全葉を1葉とする）で稚苗に相当する．この密苗を，小さく掻き取り移植できる専用の田植機（密苗仕様田植機という）を用いて移植することにより，同じ栽植密度においても使用する育苗箱数を慣行法の1/2～1/3に削減可能である．そして，収量および玄米品質は，慣行稚苗移植栽培と同等であり，稲作のコスト低減および省力化に貢献するものである（澤本ら，2019）．

現在商品化されている密苗仕様田植機の特徴は第一に，高密度に播種した苗を1株当たり4本程度で移植できることである．第二に，慣行の稚苗から密苗まで播種量の異なる苗種を田植機の部品交換することなく移植できることが挙げられる．そして密苗仕様田植機による密苗の移植は，従来型田植機による慣行稚苗の移植と比較して欠株程度は同等で移植精度は良好であるとの報告が多い（新稲作研究会，2018）．

しかしながら，密苗の苗質や播種された種子粃の育苗箱内での分布均一性と掻き取り本数のばらつきが，密苗仕様田植機の欠株など移植精度に及ぼす影響についての検討はほとんどなされていない．ところで，密苗は育苗期間の短い稚苗を用いるが，密苗より若い葉齢2.0～2.5で苗を移植する乳苗との比較を問われることが多い．乳苗は育苗箱当たり乾粃200gと慣行の稚苗より多く播種すること，育苗期間が短く，床土の代わりに軽いロックウールマットを用いることを特徴としてい

る（富民協会，1990）．乳苗は密苗と同様に移植に使用する育苗箱数や育苗管理労力の削減，軽労化をねらいとして，1990年前後に3000 haを超える面積で導入が図られたが，その後減少し現在の普及面積は限られている．

本研究は，密苗とその比較として慣行の稚苗および乳苗を用い，試験1としてこれらの苗種の苗形質や移植苗の初期生長を調査した．試験2としてこれらの苗種を密苗仕様田植機で移植した際の，1株掻き取り本数や移植苗の植え付け状態を調査した．そしてこれらの試験結果をもとに密苗仕様田植機の植え付け精度についての検討を行った．

第1節 試験区および供試苗

本研究は2017年および2018年に，播種育苗を滋賀県栗東市のヤンマーグリーンファームの育苗施設で，移植に伴う試験を石川県かほく市の農家圃場で実施した．

1. 試験区

密苗では育苗箱1箱当たり乾粃250 g，300 gおよび350 gの3つの播種区を，稚苗では150 gの1つの播種区を，乳苗では200 gの1つの播種区を設け，合計5つの試験区で実験を行った（第1表）．以後，それぞれの苗種と播種量を組み合わせて試験区の呼称とする．

2. 供試苗

(1) 種子予措および播種

供試品種はコシヒカリで，用いた種子の千粒重は2017年，2018年ともに29.4 gであった．種子予措は慣行法に準じ，種子消毒実施後に水道水で浸種し，32℃の水槽でハトムネ状態に催芽した．密苗の250 g区，300 g区，350 g区および稚苗150 g区は市販の粒状培土（ヤンマー，水稻培土寒地用）を詰めた育苗箱（田中産業，円錐カット育苗箱）内寸長辺58 cm × 短辺28 cm × 深さ3 cm）に播種した．乳苗200 g区は，市販のロックウールマット（日本ロックウール，エースマット，肥料配合なし，マット厚さ1.6 cm）を装填した育苗箱に播種した．播種後は床土と同じ粒状培土を用いて種子粒が隠れるよう育苗箱全面に覆土した．

播種作業は，2017年，2018年ともに全ての試験区について播種機（スズテック，THK2009B）で機械播種した．播種箱数は両年ともに各試験区について20箱とした．

(2) 育苗管理

播種日と移植日を第12表に示した。移植時期は石川県で標準的な4月末から5月全半の2017年は5月12日、2018年は4月28日とし、播種時期をそれに合わせた時期とした。2017年は密苗の250g区、300g区、350g区および稚苗150g区は播種後20日の苗を、乳苗200g区は播種後11日の苗を育成した。2018年は密苗の250g区、300g区、350g区は播種後20日の、乳苗200g区は播種後15日の、稚苗150g区は播種後25日の苗を育成した。

播種後は育苗箱積み重ね式の蒸気出芽器（タイショー、AC240・ヒーターC110T）にて、32℃、66～69時間で加温出芽した。その後、2017年はガラス室内に、2018年は屋外に設置した育苗用プールに並べ、両年ともに被覆資材（日本ピアレス工業、ピアレスフィルムTSタイプ）で2日間緑化後に除覆、硬化し育成管理した。

第12表 播種日、移植期および育苗日数。

年次	苗種	播種量	播種日	移植日	育苗日数
2017年		350 g	4月22日	5月12日	20日
	密苗	300 g	4月22日	5月12日	20日
		250 g	4月22日	5月12日	20日
	乳苗	200 g	5月1日	5月12日	11日
	稚苗	150 g	4月22日	5月12日	20日
2018年		350 g	4月8日	4月28日	20日
	密苗	300 g	4月8日	4月28日	20日
		250 g	4月8日	4月28日	20日
	乳苗	200 g	4月13日	4月28日	15日
	稚苗	150 g	4月3日	4月28日	25日

第2節 試験1. 密苗の苗形質と移植苗の初期生長

1. 試験調査方法

(1) 苗立ち調査

2018年に、移植時の各試験区の育苗箱3箱について、それぞれの箱から箱縁を含まない1か所から採取した5cm×5cmの苗マット切片の全ての個体の発芽および生長状態を調査した。芽の伸長が認められないものを不発芽個体、発芽生長しているが第3葉の抽出が認められないものを生長

遅延個体とし、それら以外のものを正常生長個体とした。

(2) 苗質調査

2017 年および 2018 年に、移植時の苗質について、それぞれの試験区の苗を育苗箱から採取して土を洗い流し、30 個体の葉齢、草丈、茎径、最長根長および 100 個体の乾物重の調査を行った。葉齢は主茎の展開葉の数に抽出中の葉の全葉身長に対する出現割合を小数点第 1 位で計測した数を加えた。茎径は第 1 葉鞘の高さ中央部の長径をデジタルノギス（新潟精機，BLD-150）で測定した。最長根長は各個体で最も長い根を伸ばして測定した。乾物重は茎葉、籾および根部の別に 60 °C 通風乾燥機で 7 日間乾燥した後に重量を測定し 1 個体当たりにも算出した。1 苗マット重量は、10 箱の苗をそれぞれ育苗箱ごと台秤で重量を測定し、育苗箱重量を差し引いて算出した。苗の根張り強度は、田植機の型式検査の実施方法（農林水産省，2015）に基づき、育苗箱から取り出した苗マットを長辺方向の中央部で切断してそれを台上に固定し、切断面の苗 5 本を束ね、第 1 葉鞘の中央部付近を挟んだクリップをデジタルフォースゲージ（IMADA，DS2-200N）で水平方向に牽引し、苗がマットから分離したときの目盛を測定した（試験区毎に、2 つの苗マットについて各 5 回の計 10 回測定）。

(3) 移植した苗の生長調査

2017 年および 2018 年に、移植した苗の初期生長を確認するため、苗の屈起力、新根発生および初発期の分けつ発生について調査した。これら全ての試験は 30 cm × 50 cm × 深さ 25 cm のプラスチック製コンテナで実施した。コンテナは水田を模して、深さ 10 cm の水田土を充填し、シャベルで代かき攪拌した後に落水して移植準備した。コンテナへの手作業による苗の定置や移植は、2017 年は 5 月 13 日、2018 年は 4 月 27 日に行った。その後、コンテナはサイドを開放したビニルハウス内で管理した。

屈起力調査はイネの苗の活力を測る方法のひとつとして、地面に水平に寝かした苗が、一定時間経過後に株元から立ち上がっている角度（屈起角度）を計測するものである。屈起角度が大きいと苗の活力が高いとされている（星川，1971）。屈起力調査は、断根のないように根部の土を洗い流した苗を準備した。コンテナの土壌表面に 1 個体ずつ籾が土中に入るように埋め、かつ茎葉部が表面土壌を被らないよう水平に近く空中に浮くように定置した。各試験区の調査個体数は、1 コンテナ当たり 2017 年は 15 個体を 2 反復の 30 個体、2018 年は 10 個体を 2 反復の 20 個体とした。定置後に茎部の土壌面からの屈起角度を分度器で測定した。

新根発生調査は、発生している根を切除した苗を 1 個体ずつ、植え付け深さ 2.5 cm でコンテナの土壌に移植した。各試験区の調査個体数は、2017 年、2018 年ともに 1 コンテナ当たり 10 個体を

2 反復の 20 個体とした。移植後 7 日を目途に、各個体から新たに発生したすべての根の長さを測定した。

初発期分けつ調査は、断根のないように根部の土を洗い流した苗を 1 個体ずつ植え付け深さ 2.5 cm でコンテナの土壌に移植した。各試験区の調査個体数は 2017 年、2018 年ともに 1 コンテナ当たり 5 個体を 2 反復の 10 個体とした。移植後 3 週をめぐりに各個体の 1 次分けつ発生節位、茎数および主幹葉齢を調べた。

2. 結果および考察

(1) 移植時の苗質

苗立ち調査の結果を第 13 表に示した。発芽率は 97.1~98.8 % で試験区間に差がなかった。正常生長個体数の割合についても、密苗 250 g 区 95.9 %、密苗 300 g 区 96.5 %、密苗 350 g 区 95.7 % であり、乳苗 200 g 区 94.9 %、稚苗 150 g 区 98.4 % と試験区間に有意差がなかった。

第 13 表 移植時の苗生長程度別個体数 (2018 年)。

試験区	調査 個体数	正常生長 個体数	生長遅延 個体数	不発芽 個体数	発芽率 (%)	正常生長個体数 の割合 (%)
密苗350g	194.3	186.0	2.7	5.7	97.1	95.7
密苗300g	144.3	139.3	2.7	2.3	98.4	96.5
密苗250g	130.7	125.3	2.0	3.3	97.5	95.9
乳苗200g	98.3	93.3	2.3	2.7	97.3	94.9
稚苗150g	84.0	82.7	0.3	1.0	98.8	98.4
分散分析	-	-	-	-	n.s.	n.s.

5 cm x 5 cm の苗マット切片を調査 (n=3)。分散分析の n.s. は有意差なし。供試コシヒカリのシャーレでの発芽率は 98.7 % (n=3)

第 14 表 移植時苗の形質。

年次	試験区	播種後 日数 (日)	草丈 (cm)	第1 葉鞘長 (cm)	葉齢	最長 根長 (cm)	茎径 (mm)	個体乾物重		茎葉乾物重 /草丈比 (mg/cm)	草丈/茎径比 (cm/mm)	胚乳残存 割合 (%)
								茎葉 (mg)	根部 (mg)			
2017	密苗350g	20	17.4 b	6.2 a	2.9 b	6.5 b	0.96 b	9.6	1.8	0.55	18.1	5.3
	密苗300g	20	17.3 b	5.8 bc	3.0 ab	6.9 b	1.03 b	10.1	2.1	0.58	16.7	5.3
	密苗250g	20	20.2 a	6.1 ab	3.0 ab	5.6 b	1.03 b	11.3	2.4	0.56	19.6	5.3
	乳苗200g	11	7.7 c	3.9 d	2.6 c	8.6 a	0.85 c	5.8	2.5	0.76	9.0	39.4
	稚苗150g	20	19.3 a	5.6 c	3.0 a	6.9 b	1.24 a	12.9	2.7	0.67	15.6	2.9
	分散分析	**	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-
2018	密苗350g	20	13.2 a	4.5 a	3.0 b	8.7 a	1.21 a	10.1	3.1	0.76	10.9	6.7
	密苗300g	20	12.2 b	3.9 b	3.0 b	8.6 a	1.23 a	10.1	3.1	0.83	9.9	6.7
	密苗250g	20	12.7 ab	4.1 b	3.0 b	8.3 ab	1.26 a	10.5	3.6	0.83	10.1	9.3
	乳苗200g	15	7.4 d	3.3 c	2.7 c	5.5 c	0.98 b	6.6	2.6	0.89	7.5	26.3
	稚苗150g	25	11.2 c	3.8 b	3.3 a	6.5 bc	1.31 a	12.9	3.8	1.15	8.6	4.1
	分散分析	**	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-

分散分析の**は1 %水準で有意差があることを示す。各年次において、異なる英文字間は5 %水準で有意差があることを示す(Tukey法)。

ところで播種した種子粗の発芽率が低下したり正常生長個体が減少すると、育苗箱1箱で植え付けることのできる苗本数が少なくなる。密苗栽培技術において、これでは箱数削減効果が低下するとともに、単価の高い種子粗を多く使用することになりコスト増加に繋がってしまう。本研究の結果からは、密苗においても発芽率および正常生長個体割合の低下のないことが明らかとなった。

移植時の苗質を第14表に示した。2017年は乳苗200g区を除いた他の試験区は草丈17.3~20.2cm, 第1葉鞘長5.6~6.2cmと長く徒長傾向であった。2018年は乳苗200g区を除いた他の試験区は草丈11.2~13.2cm, 第1葉鞘長3.3~4.5cmで、移植に供される標準的な稚苗の長さであった。葉齢は育苗日数に応じた齢となっており、密苗区は2017年の密苗350g区で2.9であったが、それ以外の区は3.0であり、稚苗150g区は2017年が3.0, 2018年が3.3, 育苗日数の短い乳苗200g区は2017年が2.6, 2018年が2.7であった。茎径および茎葉乾物重は両年ともに、稚苗150g区>密苗区>乳苗200g区の傾向であった。苗の充実程度を示す茎葉乾物重/草丈比は、2017年が密苗区0.55~0.58mg/cm, 稚苗150g区0.67mg/cm, 乳苗200g区0.76mg/cmであり、2018年が密苗区0.76~0.83mg/cm, 稚苗150g区1.15mg/cm, 乳苗200g区0.89mg/cmで、両年ともに密苗区が稚苗150g区および乳苗200g区に比較して小さい傾向であった。一般に移植時の稚苗の苗姿は茎が太く草丈が徒長していない、いわゆる“ずんぐり”した苗が良いとされる。草丈/茎径比は苗姿の“ずんぐり”程度を示し、値が小さいほど“ずんぐり”程度が高いと考えられるが、その値は両年ともに密苗区>稚苗150g区>乳苗200g区であった。

第15表 移植時苗の根張り強度 (2018年).

試験区	苗マット重量 (kg)	根張り強度 (kg)
密苗350g	6.71	0.28 bc
密苗300g	6.43	0.27 abc
密苗250g	6.31	0.29 c
乳苗200g	3.81	0.19 ab
稚苗150g	5.91	0.18 a
分散分析	-	**

分散分析の**は1%水準で有意差があることを示す。異なる英文字間は5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

移植時の苗形質について、草丈や葉齢、茎葉乾物重は育苗日数の長短に対応している。草丈が短く葉齢の若い乳苗 200 g 区に対して、密苗は生長期間や葉齢を基準とした分類では稚苗の範疇であり、密苗区と稚苗 150 g 区とは草丈や葉齢に大差がない。しかし苗の充実程度を示す茎葉乾物重/草丈比は、密苗区は小さい傾向にある。一方で密苗区の草丈/茎径比は大きい傾向である。これらは、密苗が“ずんぐり”程度の低い“細長い”苗姿であることを示していると考えられる。

苗マット重量と苗の根張り強度を第 15 表に示した。苗マット重量は、床土に育苗培土を使用する密苗区が 6.31~6.71 kg と重く、次いで稚苗 150 g 区の 5.91 kg であった。土ではなく 1 マット重量 150 g と軽量なロックウールマットを使用する乳苗 200 g 区が 3.81 kg で最も軽かった。なお、培土を使用する稚苗 150 g 区および密苗区では、播種量が多くなるほど重い傾向であった。苗の根張り強度は、密苗区が 0.27~0.29 kg で稚苗 150 g 区の 0.18 kg および乳苗 200 g 区の 0.19 kg より強い傾向であった。

密苗区の根張り強度が強いことについて、個体当たりの根部乾物重（第 3 表）が試験区間で大差なく、むしろ密苗区は低い傾向であるが、育苗箱内の個体密度が高くルートマットが強固に形成されるためと考えられる。

(2) 移植した苗の生長

新根発生調査の結果を第 16 表に示した。2017 年は密苗区の根数が 3.9~4.6 本、合計根長が 11.0~11.8 cm で乳苗 200 g 区の 4.1 本、14.9 cm と同等で稚苗 150 g 区の 6.3 本、18.7 cm より根数は少なく、合計根長は短かった。2018 年の密苗区の根数 4.7~5.8 本で稚苗 150 g 区 4.8 本と同等で乳苗 200 g 区 7.0 本より少なく、密苗区の合計根長は 6.1~9.3 cm で乳苗 200 g 区 9.6 cm と同等で稚苗 150 g 区 14.5 cm より短かった。

移植苗の新根発生について、山本ら（1995）は、葉齢の進んだ苗ほど移植後の新根発生節位が上位節となり冠根原基数が多く新根数が多くなると報告している。本研究においては、2017 年は密苗区と稚苗 150 g 区との葉齢は同じ 3.0 で根数および合計根長は密苗区が少なく、一方 2018 年は移植時の葉齢は密苗区 3.0、稚苗 150 g 区 3.3 で根数に差がなく、合計根長は密苗区が少なくなっている。このことは、根の発生および伸長に関して密苗区は稚苗 150 g 区より劣ることが示唆され、育苗箱内の過密な生育条件下での生長停滞があった可能性がある。

屈起力調査の結果を第 17 表に示した。2017 年は屈起に時間を要し、7 日後で最も起き上がった稚苗 150 g 区においても屈起角度 20.3° であった。このとき密苗の 350 g 区は 11.7° であるが 250 g 区 4.3°、300 g 区 3.0° と屈起角度は小さかった。2018 年は 2017 年に比べて全ての試験区で供試時の草丈が短く、屈起が早かった。5 日後の密苗区の屈起角度は 37.4~40.9° で稚苗 150

第 16 表 苗移植後の新根発生.

年次	試験区	合計根長 (cm)	平均根長 (cm)	最長根長 (cm)	根数 (本)
2017	密苗350g	11.8 b	2.7 a	3.9 b	4.6 b
	密苗300g	11.0 b	2.9 a	4.1 b	3.9 b
	密苗250g	11.5 b	2.6 a	3.7 b	4.2 b
	乳苗200g	14.9 ab	3.6 a	5.6 a	4.1 b
	稚苗150g	18.7 a	3.1 a	4.5 ab	6.3 a
	分散分析	**	*	**	**
2018	密苗350g	8.3 b	1.5 b	2.4 b	5.3 a
	密苗300g	6.1 b	1.3 b	2.0 b	4.7 a
	密苗250g	9.3 b	1.6 b	2.4 b	5.8 ab
	乳苗200g	9.6 b	1.3 b	2.1 b	7.0 b
	稚苗150g	14.5 a	3.0 a	5.1 a	4.8 a
	分散分析	**	**	**	**

2017年は移植後7日, 2018年は移植後8日に調査。分散分析の*は5%水準で, **は1%水準で有意差があることを示す。各年次において, 異なる英文字間は5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

第 17 表 倒れ苗の屈起力.

年次	試験区	草丈 (cm)	屈起角度	
			7日後	13日後
2017	密苗350g	17.4	11.7 ab	85.4
	密苗300g	17.3	3.0 b	83.3
	密苗250g	20.2	4.3 b	78.3
	乳苗200g	10.6	7.2 b	77.1
	稚苗150g	19.3	20.3 a	76.0
	分散分析	-	**	n.s.
	試験区	草丈 (cm)	屈起角度	
			5日後	8日後
2018	密苗350g	13.2	40.9 b	52.4 bc
	密苗300g	12.2	37.4 b	47.0 c
	密苗250g	12.7	39.5 b	50.7 c
	乳苗200g	7.4	66.0 a	70.4 a
	稚苗150g	11.2	54.6 ab	68.0 ab
	分散分析	-	**	**

分散分析の**は1%水準で有意差があることを示す。n.s.: 有意差なし。各年次において, 異なる英文字間は5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

g区 54.6°，乳苗 200 g区 66.0° に比べて屈起角度が小さい傾向であった。2か年をまとめて見ると移植時の草丈が長いほど屈起角度が小さい傾向であった。苗の屈起角度は乾物重/草丈比と正の相関を示す(中村ら, 1969)とされており, 本研究の結果も同様の傾向を示している(第14表, 第17表)。なお, 次節で示すとおり, 欠株調査では密苗試験区においても, 移植直後に田面上に倒れた苗が活着・生育し, その後に欠株とならなかった事例も認められた。このことから屈起角度が小さくても, 苗が水没して枯死しない, 落水や浅水の水管理によって苗は生育を継続すると考えられた。

初期分げつ発生調査の結果を第18表に示した。一般に乳苗は第2節位, 稚苗は第3~4節位から出現するとされている(星川1975, 富民協会1990)。本研究では乳苗200g区においても第2節位からの分げつ発生はなく, 両年ともに全ての試験区において第1節位および第2節位からの分げつ発生はなかった。調査時点の葉齢は2017年は全ての試験区が第7葉抽出時期にあり, 主稈N葉抽出と同じくしてN-3節位から葉身が抽出するとする同伸葉同伸分げつ理論からすると第4節位分げつまで発生が見られる時期である。結果は, 第3節位分げつの発生が全ての試験区において10~30%の個体で発生が認められた。そして第4節位分げつも全ての試験区で発生が認められ, 葉齢の進んだ稚苗150g区は全ての個体で, それより葉齢の若い密苗区では60%の個体で, 乳苗200g区では50%の個体で発生が確認された。2018年の調査時期は稚苗150g区で8葉が, その他の試験区では7葉が抽出する時期であった。第3節位分げつは密苗300g区および乳苗200g区でのみ認められた。第4節位分げつは密苗区が50%および60%の個体で, 稚苗150g区が30%の個体で認められたが, 乳苗200g区では発生が認められなかった。しかし, 分げつに主稈を加えた個体当たりの茎数は試験区間で差がなかった。

第18表 初期分げつ発生。

年次	試験区	茎数 (本)	分げつ発生割合 (%)		葉齢
			3節位	4節位	
2017	密苗350g	1.7	10	60	6.3 ab
	密苗300g	1.8	20	60	6.4 ab
	密苗250g	1.7	10	60	6.2 ab
	乳苗200g	1.6	10	50	6.1 b
	稚苗150g	2.3	30	100	6.6 a
	分散分析	n.s.	—	—	*
2018	密苗350g	1.5	0	50	6.7 bc
	密苗300g	1.7	20	50	6.7 bc
	密苗250g	1.6	0	60	6.8 b
	乳苗200g	1.4	30	0	6.4 c
	稚苗150g	1.3	0	30	7.3 a
	分散分析	n.s.	—	—	**

2017年は移植後21日, 2018年は移植後24日に調査。分散分析の*は5%水準で, **は1%水準で有意差があることを示す。n.s.: 有意差なし。異なる英文字間は5%水準で有意差があることを示す(Tukey法)。

第3節 試験2. 密苗仕様田植機による植え付け精度

1. 試験調査方法

(1) 密苗仕様田植機

通常、田植機が掻き取る苗のブロックサイズは、横長は植え付け爪の幅と苗載せ台横送り量に、縦長は縦方向の苗取り量によって規定されている。密苗仕様田植機は高密度に播種され、苗が密生する苗マットからでも1株当たり4本程度の小さなサイズで掻き取りができるようにされている。すなわち植え付け爪の幅について従来機の13 mmを10 mmに狭くし、併せて苗載せ台の横送り回数について従来機の最多26回を30回として1回当たりの横送り量を小さくしている。また縦取り量の範囲についても従来機の8～17 mmに替えて、5～10 mmとして小さく掻き取れるようにしている。

また、密苗仕様田植機は上記の横送り回数と縦取り量の組合せにより、移植爪やその他部品の交換をせずとも、密苗だけでなく育苗箱当たり乾籾150 g程度以上で播種された稚苗の移植が可能である。本研究では各年次について全ての試験区の苗を、移植爪を交換することなく同じ田植機を用いて植え付け試験を実施した。使用した密苗仕様田植機（ヤンマー株式会社，2018 a）は2017年は6条植え（RG6-UZF）、2018年は8条植え（YR8D-XUZF）である。

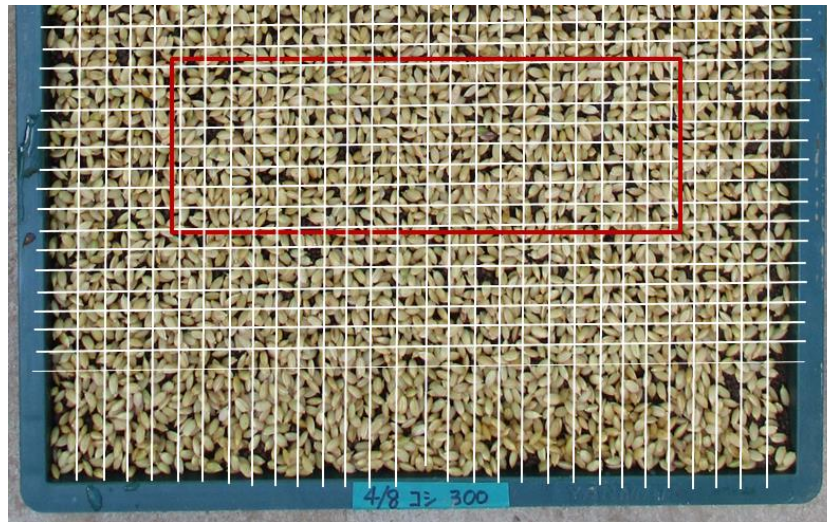
(2) 植え付け精度調査

2018年に密苗仕様田植機による1株当たりの苗掻き取り本数および本田への植え付け状態を調査した。また、2017年と2018年に本田への密苗仕様田植機による移植の欠株を調査した。

苗掻き取り本数の調査は、植え付け部を地上20 cm程度に固定した田植機を地上で植え付け走行し、地上面に苗を落下させ、それぞれの本数を計測した。掻き取り株数は、8条植え田植機の各20株、すなわち160株とした。計測にあたっては、育苗箱短辺付近の播種ムラを排除するため、育苗箱から取り出した苗マットを苗台に積載し、事前に短辺方向に4行程分の苗を掻き取り排除した。

掻き取り本数の調査と併せ、育苗箱に播種された籾の分布の均一性を調べた。各試験区について、播種後の覆土前に育苗箱内に播種された籾の分布状況を撮影した（播種籾画像）。得られた画像上にそれぞれの掻き取りサイズの格子のマス目を描画し、実測と同じ160掻き取り分について1掻き取りの籾数を計測した（第11図に例示）。複数のマス目に跨って存在する籾は、籾の中心部が位置するマス目とした。

2018年に、移植7日前に代かきした水田へ機械移植し、その直後に各試験区において1株当たりの植え付け本数を調査した。調査株数は8条植え田植機の第3条～第6条の4つの植え付け条につ



第 11 図 播種籽画像から理論上の掻き取り本数を計測（画像は密苗 300 g）.

第 19 表 苗掻き取りサイズ.

試験区	横送り回数 (回)	横長 (mm)	縦長 (mm)	苗ブロックサイズ (mm ²)
密苗350g	30	9.3	5.0	47
密苗300g	30	9.3	7.0	65
密苗250g	30	9.3	9.0	83
乳苗200g	26	10.8	10.0	108
稚苗150g	20	14.0	10.0	140

いて各 30 株の計 120 株とした。植え付けた苗のうち、垂直方向に姿勢良く立っている苗を正立苗、
 籽が土中に入っておらず田面に倒れている苗を浮苗とした。

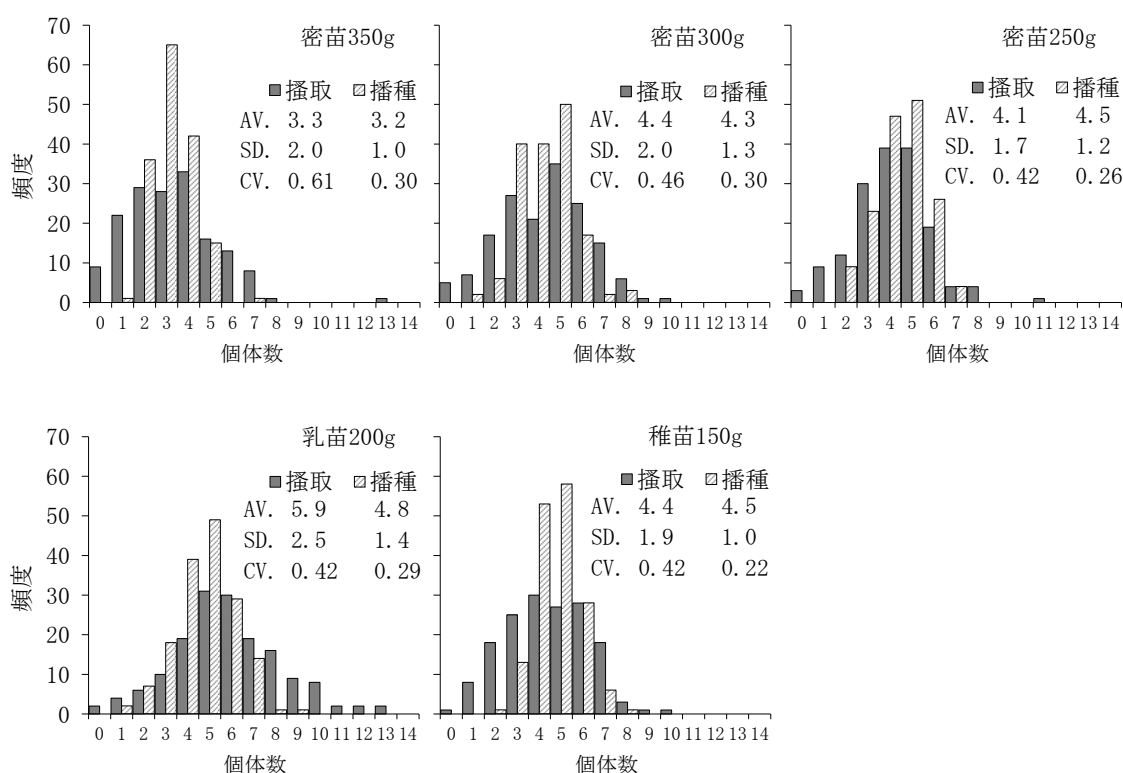
なお、掻き取り本数調査および本田植え付け本数調査における各試験区の苗掻き取りサイズ（横
 長、縦長）は第 19 表に示すとおりとした。また、本田植え付け本数調査では植え付け深さについて
 2～4 cm の「浅植え」、4～6 cm の「深植え」の 2 水準を設けた。

欠株調査は、2017 年は 6 条植えの各条の 55 株、計 330 株について移植後 40 日に、2018 年は前
 述の 120 株について、移植直後および移植後 43 日に調査した。田植機の型式検査基準（農林水産省、
 2015）に準じて、植え付け位置に苗の無い場合（機械欠株）および浮苗を欠株とした。

2. 結果および考察

実際の苗掻き取り本数と播種籽画像から得られた理論上の掻き取り本数との比較を第 12 図に示した。播種籽画像から得た掻き取り平均本数は、密苗の 250 g 区 4.5 本, 300 g 区 4.3 本, 350g 区 3.2 本, 稚苗 150 g 区が 4.5 本, 乳苗 200 g 区が 4.8 本であった。また、全ての試験区において掻き取り本数 0 は存在しなかった。

一方、実際の掻き取りによる本数について、平均本数は密苗の 250 g 区 4.1 本, 300 g 区 4.4 本, 350g 区 3.3 本, 稚苗 150 g 区が 4.4 本, 乳苗 200 g 区が 5.9 本であった。また、全ての試験区において掻き取り本数 0 が発生している。これはすなわち移植における欠株を意味しているが、発生比率は密苗の 250 g 区 1.9 %, 300 g 区 3.1%, 350 g 区 5.6 % で, 稚苗 150 g 区 0.6 %, 乳苗 200 g 区 1.3 % であった。掻き取り本数のばらつきは、標準偏差では乳苗 200 g 区が 2.5 で他の試験区の 1.7~2.0 より大きく、変動係数では密苗 350 g 区が 0.61 で他の試験区の 0.42 および 0.46 より大きかった。



凡例の「掻取」は実際の苗掻き取り本数, 「播種」は播種籽画像から得られた理論上の掻き取り本数。それぞれ n=160。

第 12 図 実際の苗掻き取り本数と理論上の掻き取り本数との比較 (2018 年)。

これらのことから、田植機による実際の掻き取りは、播種初画像計測の理論値よりも本数のばらつきが大きく、また全ての試験区において0本となる掻き取りが発生している。とくに密苗 350 g 区では掻き取り本数 0 本が多く発生しており、苗の縦取り量設定が過小であったことが原因のひとつと考えられる。縦取り量を 5 mm でなく 6 mm とすることで、掻き取り 0 本が減り、平均掻き取り本数は 4 本に近づいたと推察される。また乳苗 200 g 区では他の試験区に比べて、播種初画像計測に対する実際の掻き取り本数の増加程度が大きい。これは苗の若い乳苗は根張りが弱いこととロックウールマットの軟らかさから、苗載せ台への積載時の苗マット圧縮程度が大きくなるためと考えられた。なおかつロックウールマットのせん断性が土マットに比べて劣り、植付け爪による苗の引き連れが発生しやすい (JA 全農, 1994) ことも一因と考えられた。

このことは、同じ苗取り量設定においても 1 株当たりの掻き取り本数は苗マットの硬軟やルートマット形成程度などの性状に影響を受けることを示唆している。すなわち、ルートマット形成の弱い苗やロックウールを使用した苗など、いわゆる苗マットの軟らかい苗・もろい苗は田植機の苗載せ台への積載時に苗マットが圧縮され、もともとの播種密度よりも苗の密度が高まると考えられる。また、高密度に播種された苗の強固なルートマットやロックウールの素材は、本来なら次の掻き取りブロックに入るべき苗の引き連れを招きやすいと考えられる。

次に、一般的な水稻栽培のとおり、移植時の掻き取り本数の目標を 1 株当たり 4 本程度とし、2~6 本を許容した場合、実際の掻き取りでは密苗の 250 g 区 86.9 %, 300 g 区 78.1 %, 350 g 区 74.4 %, 稚苗 150 g 区 80.0 %, 乳苗 200 g 区 60.0 % が該当した。つまり、この結果から箱当たり播種量 150 g, 250 g, 300 g および 350 g の、育苗培土を用いた苗では 80 % 前後が 1 株当たり 2~6 本で掻き取りがなされている。一方、乳苗 200 g 区は掻き取り 2~6 本が 60 % と低く 7 本以上が 36.3 % と、植え付け本数の多くなりがちであることが示された。1 株当たり 4 本程度の植え付け比率を高めるためには、掻き取り本数 0 本の発生を減らすよう、かつ 2~6 本が最大化するよう、苗掻き取り量を調整することが重要と考える。

本田の植え付け本数調査の結果を第 20 表に示した。1 株当たり植え付け本数は試験区全体で 3.4 本~5.7 本の範囲であった。浮苗は密苗 250 g 区の浅植え区 0.7 本、乳苗 200 g 区の浅植え 0.2 本、同区深植え 0.3 本が他の試験区の 0.0 本あるいは 0.1 本に比較して多く、正立苗の割合が低下した。

欠株調査の結果を第 21 表および第 22 表に示した。欠株について、連続欠株の発生確率を詳細に検討した西山 (1986) によると、欠株率 5% では減収しないとしている。本研究の欠株調査では、2017 年の移植後 40 日では密苗 350 g 区 14.5 %, 乳苗 200 g 区 9.5 % で他の試験区よりも欠株率が高く、連続欠株か所数も多い傾向であった。2018 年は移植直後調査で密苗 350 g 浅植え区 7.5 %, 乳苗 200 g 深植え区 5.0 % が他の試験区に比べて欠株率が高く、乳苗 200 g 深植え区では連続欠株

第20表 植え付け本数 (2018年).

試験区	植付け 深さ	植付深 (cm)	1株当たり植付本数			植付た苗のうち 正立苗の割合 (%)
			正立苗 (本)	浮苗 (本)	計 (本)	
密苗350g	浅	4.1	3.4	0.1	3.5	97
	深	6.2	3.3	0.1	3.4	97
密苗300g	浅	3.5	3.7	0.0	3.7	100
	深	5.7	3.4	0.1	3.5	97
密苗250g	浅	2.1	4.2	0.7	4.9	86
	深	4.0	4.5	0.1	4.6	98
乳苗200g	浅	3.3	4.0	0.2	4.2	95
	深	3.7	4.5	0.3	4.8	94
稚苗150g	浅	3.5	5.6	0.1	5.7	98
	深	5.1	4.7	0.1	4.8	98

第21表 欠株率 (2017年).

試験区	欠株率 (%)
密苗350g	14.5 (9)
密苗300g	4.6 (2)
密苗250g	4.0 (3)
乳苗200g	9.5 (7)
稚苗150g	2.4 (1)

移植後40日調査

()は連続欠株か所数

第22表 欠株率 (2018年).

試験区	植付け 深さ	欠株率 (%)			
		移植直後			移植後43日
		浮苗株	機械欠株	計	
密苗350g	浅	1.7	5.8	7.5 (0)	6.7 (0)
	深	0.0	1.7	1.7 (0)	4.2 (0)
密苗300g	浅	1.7	2.5	4.2 (0)	2.5 (0)
	深	0.0	1.7	1.7 (0)	3.3 (0)
密苗250g	浅	1.7	1.7	3.4 (0)	1.7 (0)
	深	0.8	1.7	2.5 (0)	1.7 (0)
乳苗200g	浅	0.0	0.0	0.0 (0)	0.8 (2)
	深	0.8	4.2	5.0 (2)	5.8 (2)
稚苗150g	浅	0.0	0.8	0.8 (0)	0.8 (0)
	深	0.0	0.8	0.8 (0)	3.3 (0)

()は連続欠株か所数

があった。同一地点の移植後 43 日調査では、移植時から欠株が増加した試験区と、反対に減少した試験区、すなわち移植時に浮苗の欠株であったものでも、後に植え付いて生育し株の存在が認められる試験区があったが、移植直後調査と同じく密苗 350 g 浅植え区および乳苗 200 g 深植え区で欠株率 5 %を超えていた。

植え付け深さの水準別の欠株率は、移植直後では密苗区はいずれの区も浅植えで高く、稚苗 150 g 区で植え付け深さによる差がなく、乳苗 200 g 区は深植えで高かった。移植後 43 日の欠株率は、密苗 300 g 区、稚苗 150 g 区、乳苗 200 g 区で深植えが高く、密苗 350 g 区は浅植えで高かった。

欠株は 2 か年を通じて、密苗 350 g 区と乳苗 200 g 区で高い傾向が認められたが、他の試験区では 5 %以下であった。苗マット重量（第 15 表）および育苗箱に播種された推定粒数から、掻き取り苗 1 本当たりの重量は、密苗 250 g 区 0.74 g、300 g 区 0.63 g、350 g 区 0.56 g、稚苗 150 g 区 1.16 g、乳苗 200 g 区 0.56 g、と算出される。欠株率の高い 2 つの試験区の苗は 0.56 g と軽く、植え付け時の田面水や土壌の抵抗により植付け爪から苗が離脱しやすいことが考えられる。また欠株は、移植後の流れ苗や、活着せずに枯死するなどして増加する可能性がある。2017 年の移植時苗は茎径が細く草丈が著しく長く（第 14 表）、データは無いが移植後の苗の茎折れが、特に密苗 350 g 区では多く観察された。これが移植後の活着や生長阻害に影響し 14.5 %の高い欠株率となった可能性がある。

植え付けた苗のうち正立苗の割合（第 20 表）は高く、1 株当たりの正立苗の植え付け本数として 3.3 本から 5.6 本が得られた。ただし、密苗 250 g 区の浅植えで浮苗が多く認められており、植え付け深さが他試験区に比べて浅いことが影響した可能性がある。なお、浅植えとなった原因は判然としない。

窪田ら（2003）は、苗マットからの少量掻き取りにおける植え付け精度向上を検討し、標準爪に対して爪幅の狭い細爪を使用することで欠株が減少することを報告している。本研究においても同様に、密苗仕様の狭小爪が植え付け時の苗保持および植え付け姿勢を安定させていると考えられる。以上の結果から、密苗仕様田植機は育苗箱当たり乾粒 150 g～350 g の播種量の苗を、1 株当た 4 本程度で姿勢良く植え付けられることが示唆された。ただし、掻き取り苗が軽量な、播種密度の高い 350 g 播種苗やロックウールマット使用の乳苗は、浮苗による欠株が多くなる場合がある。また、目指す植え付け本数を得るには、移植に使用する苗マットの苗密度や根張り状態・マット硬さに合わせ、田植機の横送り回数および縦取り量の調整を適切に行う必要があると考える。

第4節 摘要

水稻育苗箱に高密度に播種して育成した密苗について、苗質、移植後初期生長および密苗仕様田植機による掻き取り移植の調査を行った。慣行の稚苗および乳苗との比較を通じ、田植機の移植精度について検討した。

- 1) 密苗の移植時の苗質について、次のことが示唆された。充実程度を示す茎葉乾物重/草丈比は小さく、草丈/茎径比は大きい傾向で、“ずんぐり”程度の低い“細長い”苗姿である。育苗箱内の個体密度が高くルートマットが強固に形成され根張り強度が強い。
- 2) 密苗の移植後の初期生長について次ことが示唆された。
乾物重/草丈比が小さく屈起力が小さい傾向である。移植後3週頃の分けつ初期の茎数は稚苗および乳苗と差がない。
- 3) 密苗仕様田植機で苗載せ台の横送り回数と苗の縦取り量の組み合わせにより、育苗箱当たり乾籾150 g～350 gの播種量の土マット苗を、1株当たり2～6本植えの割合80%前後、すなわち4本程度で移植が可能であった。欠株率は1株重量の軽い密苗350 g区と乳苗200 g区で高かったが、稚苗150 g区、密苗の250 g区、300 g区では5%を下回った。

第4章 日本における密苗移植栽培技術の地域適応性と農業者評価の検討

水稲生産の低コスト化・省力化を図る技術として開発した密苗移植栽培技術は、育苗箱当たり乾籾 250 ～ 300 g の高密度で種籾を播種して育成した苗を用いて、新たに開発された密苗仕様田植機で、その苗マットから小さく苗ブロックを掻き取って移植するものである。このことにより、本技術は慣行移植栽培と同じ栽植密度のまま使用する育苗箱数を1/2 ～ 1/3に少なくすることが可能である。なおかつ収量および玄米品質は慣行法と同等である（澤本ら，2019）。

ところで、本技術の研究開発は試験地は石川県で、品種は主にコシヒカリを用いて行ったものである。しかし、日本の稲作生産は北海道や東北の寒冷地から九州の温暖地まで広く行われており、また栽培される品種も多様である。そこで本研究は、実証栽培による調査を通じて密苗移植栽培技術の日本国内における地域適応性と農業者の評価について検討した。

第1節 材料および方法

1. 実証栽培

本研究は2016年にヤンマーアグリジャパン株式会社（YAJ という）の協力を得て北海道を除く日

第23表 実証府県と経営体数

地域*	府県数	府県名	経営体数
東日本	6	青森, 岩手, 宮城, 秋田, 山形, 福島	36
関東甲信越	6	茨城, 栃木, 埼玉, 千葉, 新潟, 長野	123
中部近畿	8	富山, 石川, 福井, 愛知, 三重, 滋賀, 京都, 兵庫	72
中四国	9	鳥取, 島根, 岡山, 広島, 山口, 徳島, 香川, 愛媛, 高知	100
九州	7	福岡, 佐賀, 長崎, 熊本, 大分, 宮崎, 鹿児島	11
全国計	36		342

*YAJ支社の管轄区分による地域区分

本の各地域において実施した。地域区分はYAJ支社の管轄区域である東日本(東北6県), 関東甲信越(関東1都5県と甲信越3県), 中部近畿(東海3県, 北陸3県と近畿2府4県), 中四国(中国5県と四国4県), 九州(沖縄県を除く7県)であり, 1府35県であった(第23表)。実施農業経営体数は342で, その殆どは水稲栽培面積が数十～百haの大規模経営体であるが, 水稲10ha以下の経営体が中四国で29, 九州で4あった。実証栽培は, 原則として実証農業経営体によって, 箱当たり乾籾播種量250～300gの密苗を育苗し, その苗をYAJが準備した密苗仕様田植機で移植を行った。密苗仕様田植機は従来

型田植機（型式 RG シリーズの 6～8 条植え）を、苗台の横送り最大回数を従来の 26 回から 30 回に増加させ移植爪の幅を 13mm から 10mm に狭小化することで密生する苗マットから小さく掻き取りできるように部品交換したものである。栽培管理は農業経営体が慣行移植栽培に準じて行った。

2. 調査方法

調査は実証栽培の結果に関する調査票の内容について、実証農業者が自ら調査票に記入または YAJ 社員が聞き取り記入する方式とした。実証栽培の開始前の 2016 年 2 月から 3 月に各実証農業者に栽培方法および調査内容説明し調査票を提示した。調査票の回収は同年 11 月から 2017 年 1 月にかけて行った。

3. 調査内容

調査内容は、実証栽培におけるイネの耕種概要、移植に関して使用した育苗箱数および欠株程度、生育に関して苗質および収量等を尋ねた。また、農業者のコメントとして、生育状況および収量品質、作業性、そして経営的な評価の 3 項目について自由に感想や意見を述べてもらった（第 24 表）。

第 24 表 農業者のコメント項目。

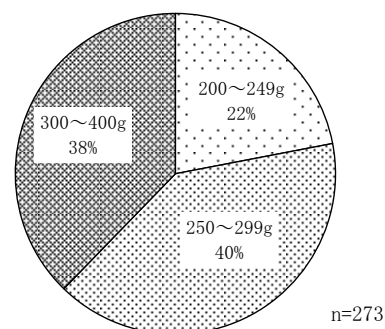
項目	視点
生育状況、 収量および品質	苗の生育、本田生育、収量性、 品質面など
作業性	育苗管理、移植作業、苗掻き取 り精度、欠株程度など
経営的な評価	育苗日数、苗運搬労力、育苗費 低減、償却費など

第 2 節 結果および考察

実証地で供試された品種は各地域の主要な作付け品種である主食用品種、醸造用品種、飼料用品種の 53 品種であった（第 25 表）。回収した調査票から、実証栽培において育苗箱当たり 200 g 以上で播種を実施した 273 の農業経営体のうち、200 ～ 249 g が 22 %、250 ～ 299 g が 40 %、300 ～ 400 g が 38 %であった（第 13 図）。

第 25 表 供試品種.

区分	品種名
主食用 (43品種)	あいちのかおり, あきさかり, あきたこまち, あきだ わら, 秋の詩, あきほなみ, アケボノ, 朝日, あさ ひのゆめ, おいでまい, おてんとそだち, キヌヒカ リ, きぬむすめ, 恋の予感, こいもみじ, コシヒカ リ, 彩のかがやき, 大地の風, つや姫, てんこも り, 天のつぶ, とちぎの星, どんとこい, どんぴ しゃり, 中生新千本, なすひかり, にこまる, 日本 晴, はえぬき, ひとめぼれ, ヒノヒカリ, ヒヨクモ チ, まっしぐら, まなむすめ, マンゲツモチ, みえ のゆめ, みずかがみ, みほひかり, めんこいな, 萌えみのり, 夢しづく, 夢の華, わたぼうし
醸造用 (3品種)	雄町, 強力, 山田錦
飼料用 (7品種)	たちすずか, つぶみのり, ホシアオバ, ミナミュタ カ, みなゆたか, モグモグあおば, モミロマン



第 13 図 箱当たり播種量.

そのうち, 解析に用いた調査票は以下のとおりである.

密苗移植栽培技術の栽培面からの地域適応性の検討には, 密苗として定義する箱当たり 250 g 以上の播種量の苗を供試しており, かつ玄米収量を主要な指標として解析対象 (第 26 表) とするデータ項目のデータセットの得られた調査票を用いた. この要件により, 茎葉収穫するホールクローブサイレージ栽培を実施した九州の調査票を除外した. その結果, 解析対象として地域は東日本, 関東甲信越, 中部近畿, 中四国の 4 地域の範囲でデータセット項目により 114, 109, 95 の調査票となった. そして, 品種は主食用 29 品種, 醸造用品種 2 品種, 飼料用品種 0 の計 31 品種であった.

また, 密苗移植栽培技術の農業者評価を検討には, コメント回答の得られた全地域の 146 調査票を解析対象とした. 地域別内訳は, 東日本 33, 関東甲信越 33, 中部近畿 36, 中四国 37, 九州 7 であった.

第 26 表 解析に用いた調査項目.

データ項目	回答方法	データセット 調査票数
品 種	供試品種名を記入	
播種量	箱当たり乾籾重量を記入	
栽植密度	田植機の株数の設定値を記入	114
箱 数	10a当たりの移植に使用した箱数を記入	
玄米収量	10a当たりの密苗収量, 慣行収量を記入	
移植時苗丈	移植時苗の草丈の測定値を記入	うち109
苗マット強度	移植時苗マット強度の感触を以下から選択 弱い順に「地上部を持つとマットが崩れる (苗取 板を使用する必要)」「地上部を持って持ち上げ られる」「丸めることができる」	うち95
欠株程度	移植直後の状態を達観により以下から選択 無, 少 (達観5%以下), 多 (達観5%超)	

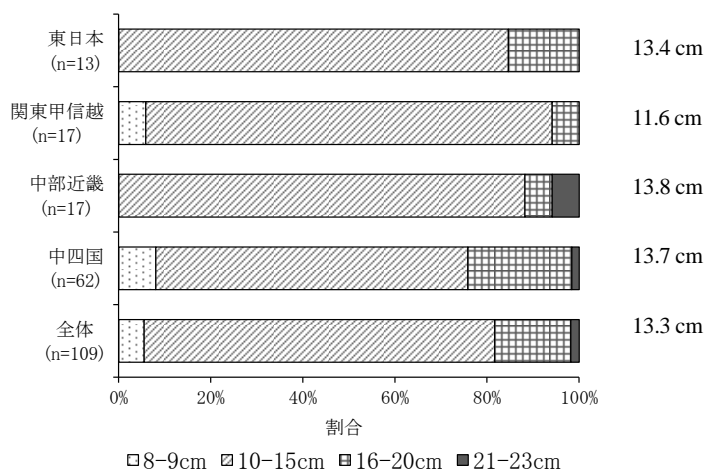
1. 栽培面からの地域適応性の検討

密苗栽培技術の地域適応性について、苗形質として「移植時の苗丈」「マット強度」を、移植工程として「育苗箱数」「欠株程度」を、栽培成績として「収量」を解析の視点とした。

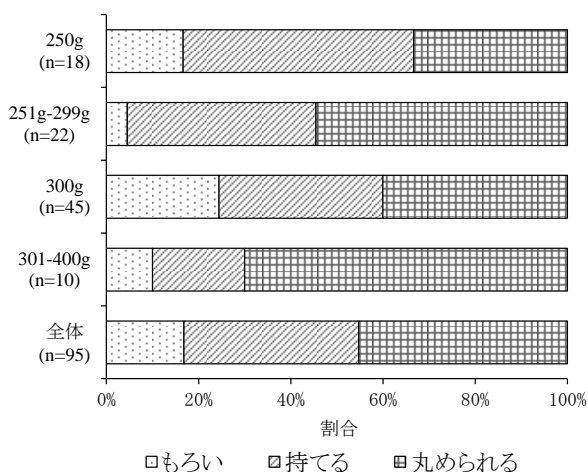
(1) 移植時の苗形質

移植時の苗丈を第14図に示した。地域別の平均値は11.6～13.8 cm、全体の平均値は13.3 cmであった。全体を苗丈別で見ると8～9 cm (8 cm以上10 cm未満、以下同様の表記) が5.5 %、10～15 cmが76.1 %、16～20 cmが16.5 %、21～23 cmが1.8 %であった。密苗の移植時苗丈の目標を10～15 cmとする(ヤンマー株式会社, 2018 b)と、全体の76.1 %その範囲にあり、地域別では東日本86.4 %、関東甲信越88.2 %、中部近畿88.2 %、中四国66.7 %であった。中部近畿で21～23cm、中四国では16～20 cmの苗がそれぞれ他地域より多かった。これは、中部近畿および中四国が東日本や関東甲信越地域に比較して育苗期間が温暖な時期にあたり、草丈伸長に影響した可能性があると考えられた。また、後述する播種量において、中四国では他地域に比較して播種量が多く、このことも草丈伸長に影響した可能性がある。

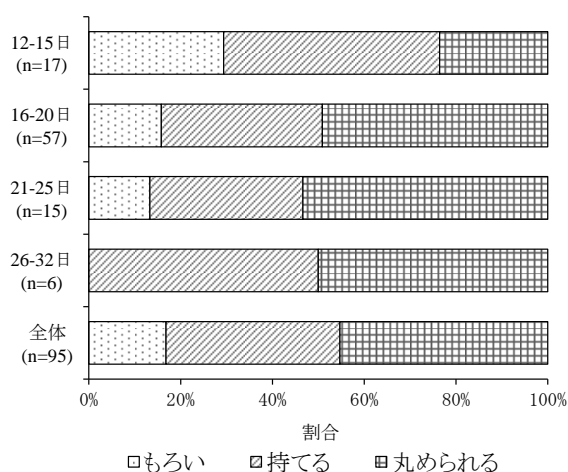
苗マット強度について、播種量水準別を第15図に、育苗日数別を第16図に示した。凡例では「地上部を持つとマットが崩れる」を「もろい」、「地上部を持って持ち上げられる」を「持てる」、「丸めることができる」を「丸められる」と表記している。全体の83.2 %が苗取板を使用しなくても田植機に苗マットを積載できる「持てる」「丸められる」強度であった。播種量の多少によって一定



第14図 地域別の移植時苗丈。
図右の数値は各地域の平均値。



第15図 箱当たり播種量別の苗マット強度。



第16図 育苗日数別の苗マット強度。

の傾向は認められず、「持てる」「丸められる」の計は最も少ない300g播種区で75.6%であった。育苗日数別では日数が長くなるに従って苗マット強度が増加する傾向であり、26日以上区で「もろい」の回答が無かった。なお、「もろい」とした全体の16.8%の回答において、苗マットが崩れて田植機に積載できないとの事例は無かった。

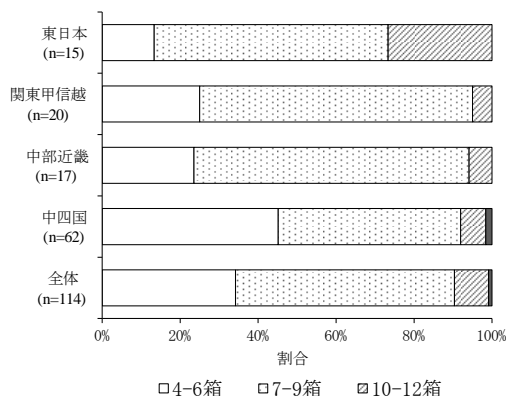
(2) 10 a 当たりの移植に使用した育苗箱数および欠株程度

10 a 当たりの移植に使用した育苗箱数を第17図に示した。全体の平均は7.6箱で、内訳の比率は4~6箱台が34.2%、7~9箱台が56.1%、10箱以上が9.7%であった。地域別では中四国で平均7.2箱、うち4~6箱台が45.2%と他地域の平均7.7~8.6箱に比較して使用箱数が少なかった。

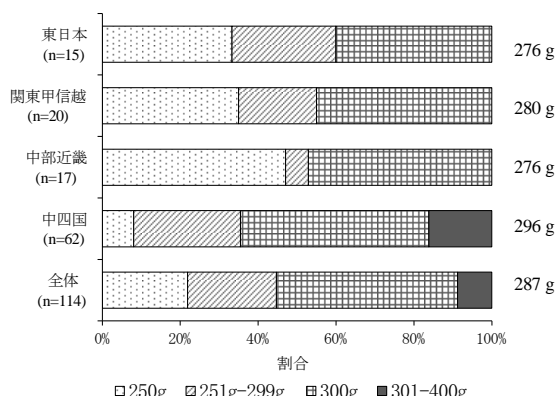
移植に使用する箱数は、1株当たりの植え付け苗本数を一定とすると、箱当たりの播種量と栽植密度に影響されると考えられる。箱当たり播種量を第18図に、栽植密度設定を第19図に示した。箱当たりの播種量は中四国の平均が296gで他の3地域の276g、280gに比較して多かった。また、田植機設定の栽植密度設定(坪当たり、すなわち3.3m²当たり)は東日本56.7株、関東甲信越54.0株、中部近畿50.9株、中四国49.4株で寒冷地域から温暖地域になるに従って栽植密度が低下する傾向であった。中四国は箱当たり播種量が多く、栽植密度が低いことが使用箱数の少なさに繋がっていると考えられた。

第20図に欠株程度を示した。全体の欠株程度別の比率は、欠株なし3.2%、欠株少63.2%、欠株多33.7%であった。10 a 当たり使用箱数別の欠株なしと欠株少を合算した比率は、4~6箱が55.6%、7~9箱が72.0%、10~12箱が77.8%で箱数が多くなると欠株は少なくなる傾向であっ

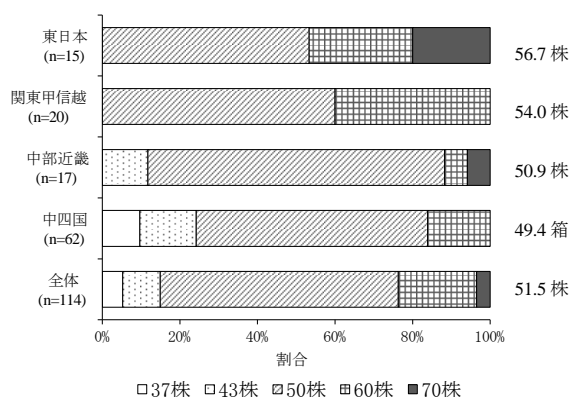
た.



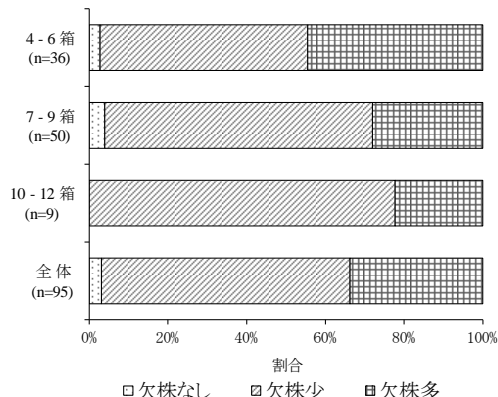
第17図 地域別の10a当たり使用箱数.
図右の数値は各地域の平均値.



第18図 地域別の箱当たり播種量.
図右の数値は各地域の平均値.



第19図 地域別の栽植密度設定 (3.3 m² 当たり).
図右の数値は各地域の平均値.



第20図 10a 当たり使用箱数別の欠株程度.

(3) 収量

第27表に玄米収量を示した。密苗の収量が慣行と同等またはそれ以上の実証地は全体の57.0%であった。同様に各地域においても50.0~60.0%の実証地で密苗収量が慣行同等以上であった。しかし10a 当たり収量の平均は、全体で密苗515.1kg、慣行525.5kgで密苗が有意に低かった。地域別の密苗収量の平均および慣行収量の平均に対する比率は、東日本552.6kg・95.3%、関東甲信越553.3kg・100.1%、中部近畿501.8kg・98.7%、中四国497.4kg・97.9%であり、中四国で有意に低かった。第21図は同一実証経営体における玄米収量について、y軸を密苗収量、x軸を慣行収量として個々の調査結果をプロットしたものである。図中に $y = x$ の直線を引き、プロットしたシンボルがその直線より上方にある場合は密苗の、下方にある場合は慣行の収量が高いことを示す。シンボルの位置からは密苗の収量が高い、逆に密苗の収量が低い場合があることを示し

ているが、10 a 当たり 400 kg を下回る実証地では慣行の収量が多い。

密苗の収量が慣行比マイナス 15%以上と大幅に低下した図中の 1 から 4 の番号を付した実証地について調査票に基づき要因を調査した。その結果、密苗実証圃場において、施肥量の不足により生育量が著しく低下した (△1)、除草剤の散布遅れや水持ち不良により雑草が繁茂したこと (●2, △3)、雑草の繁茂に加えて成熟期に対して 7 日程度の早過ぎる収穫になったこと (●4)、が確認された。これらの実証地はいずれも地域の一般的な品種で作期も標準的であったことから、適切な管理

第 27 表 地域別の密苗と慣行苗の玄米収量の比較.

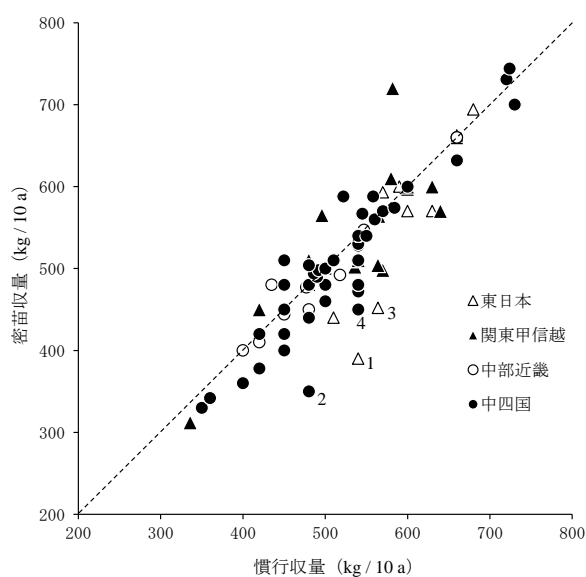
地域 (n)	密苗収量 (kg/10a)	慣行収量 (kg/10a)	密苗/慣行比 (%)	密苗が慣行以上の比率 (%)
東日本 (15)	552.6	579.6	95.3	60.0
関東甲信越 (20)	553.3	553.0	100.1	50.0
中部近畿 (17)	501.8	508.6	98.7	52.9
中四国 (62)	497.4 **	508.2	97.9	59.7
全体 (114)	515.1 **	525.5	98.0	57.0

全品種込み。表中の**は1%水準で慣行収量と有意差があることを示す(対応のある t 検定)。

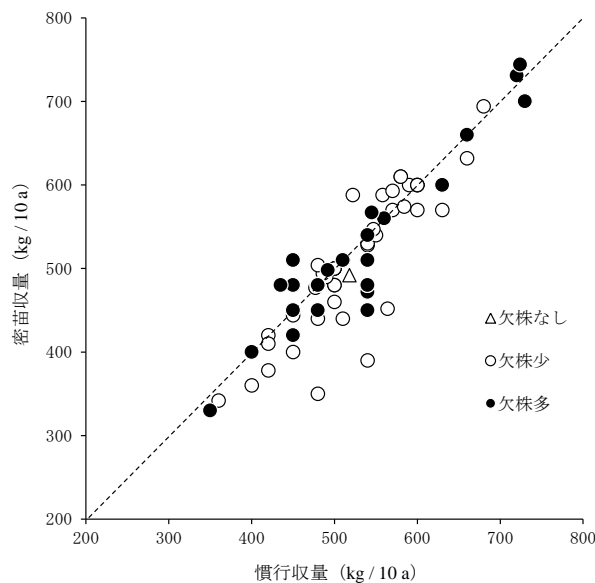
第 28 表 欠株程度別の密苗と慣行苗の玄米収量の比較.

欠株程度 (n)	密苗収量 (kg/10a)	慣行収量 (kg/10a)	密苗/慣行比 (%)
なし (3)	524.0	532.7	98.4
少 (60)	504.1 **	517.3	97.4
多 (32)	516.3	526.1	98.1
全体 (95)	508.8 **	520.8	97.7

全品種込み。表中の**は1%水準で慣行収量と有意差があることを示す(対応のある t 検定)。



第 21 図 地域別の密苗と慣行苗の収量の比較 (n=114).



第 22 図 欠株程度別の密苗と慣行苗の収量の比較 (n=95).

作業が実施されていれば、大きな減収に至らなかったと推察された。

次に、欠株程度別に密苗と慣行を比較した玄米収量を第 28 表および第 22 図に示した。欠株程度が分かっている 95 データセット全体では、平均収量が密苗 508.8 kg、慣行 520.8 kg であり密苗が有意に低かった。欠株程度別の密苗の平均収量は、欠株少および欠株多ともに慣行を下回った。欠株少で密苗と慣行の平均収量に有意差が認められたが、欠株多で有意差はなく、また減収程度は欠株少が欠株多より大きかった。これは、調査結果からは今回の実証地の欠株程度の多少は減収程度に影響しないことを示していると考えられた。

(4) まとめ

以上から、育苗箱当たり 250 g 以上で播種した密苗の日本における地域適応性を、苗質について移植時苗丈および苗マット強度、移植性能として使用育苗箱数および欠株程度、そして栽培結果としての収量の項目で考察した。

移植時の苗質は、実証地全体の 76.1%、地域別でもそれぞれ 66.7~88.2% が目標とする苗丈である 10~15cm が得られていた。そして、田植機に積載するときの苗の取り扱い易さに影響する苗マット強度は、全体の 83.2% が苗取り板を使用しなくても苗を持ち運びできる強度であった。これらからいずれの地域においても苗質の確保が可能であることが示唆された。

10 a 当たりの移植に使用した育苗箱数は全体の平均で 7.6 箱であった。使用箱数は箱当たり播種量と本田の栽植密度に影響されるが、地域別では密植傾向である東日本の平均が 8.6 箱と多く、一方で、疎植傾向で箱当たり播種量の多かった中四国の平均が 7.2 箱と少なかった。欠株については、使用する箱数が多くなると欠株程度が軽減されることが示唆されており、地域性よりも移植に使用する育苗箱数の影響を受けると考えられた。また、本調査の欠株は収量低下に大きく影響していないと推察されたことから、収量補償作用の働く散発的な欠株であったと推察される。

玄米収量について、密苗が慣行同等以上の実証地は全体の 57.0%、地域別でもそれぞれ 50.0~60.0% であった。密苗は播種量が多いことを除き従来の稚苗移植と同様の栽培技術を適用しており、もとより収量増加を志向している技術ではないことから、日本の各地域の半数以上の実証地で慣行と同等以上の収量が得られたことは十分な結果であると考えられた。

2. 実証農業者の評価

評価の回答コメントが得られた 146 の調査票をもとに、第 29 表に密苗移植栽培技術に対する農

業者の具体的なコメントを、第30表に技術の評価と懸念する事象として記載された主なものを示した。

第29表 実証農業者のコメント。

項目	コメント
生育・収量・品質	① 徒長苗になる懸念/ムレ苗が出ないよう気をつけた
	② 根張りが良かった/根張りが弱かった
	③ 欠株が少なく満足/許容範囲/欠株が見られた
	④ 深水部分で欠株が発生/枕地で欠株が発生/植付け後の強風で欠株が発生した
	⑤ 植付け精度は良い/深水でも植付け精度は良かった
	⑥ 苗が小さく、移植した初期の水田は寂しく見える
	⑦ 収穫時期が数日遅くなった
	⑧ 欠株や1本植えが多いと収量少ない/1本植えで苗が消える
	⑨ 細植え部分で収量少ないが、苗取り量を増やした部分で収量良好
	⑩ 収量は慣行より良かった/慣行と同じ/慣行より少ない
	⑪ 生育・収量・品質すべて良し
	⑫ 収量は慣行より30kg/10a少なくともコスト的に許容できる
	⑬ 品質は慣行より良い/慣行と同じ
	⑭ 慣行と同じ日に刈ると青未熟が目立つ
作業性	① 移植に使用した苗が半分の数で済んだ/苗が1/4に減った
	② 苗の運搬回数が半分で済んだ/苗の補給回数が少なくなり楽である
	③ 経営面積が大きく苗運搬数が多いので、箱数が減ることは非常に助かる
	④ 田植機への苗補給が少なく、田植え作業が早い/田植え作業の能率が上がった
	⑤ 補助作業者が少なく済む/補助作業者の労力負荷が少なくなる
	⑥ 育苗から田植えまで1人で作業しているため、労力的に非常に助かる
	⑦ 田植機初心者が植えたが問題なくできた
	⑧ 慣行移植栽培と同じ管理作業で出来るのがよい
経営的評価	① 使用する箱数が少なく省力・低コストになった/コストダウンにつながる
	② 育苗管理、苗運搬の労力削減および育苗コストの低減が可能
	③ 密苗仕様田植機で慣行苗を植えることができ、機械の汎用性が高い
	④ 育苗ハウス面積が少なく済む/育苗ハウスを増設せずに作付面積を拡大できる
	⑤ 従来からある移植栽培技術を適用できるので安心して取り組める
	⑥ 新入社員や女性社員にとって苗づくりや苗補給する数が少ないことはよい
課題	① 根張りが良く苗マットが堅牢で苗台でのすべりが悪かった
	② 苗台上の苗が少なくなると苗マットの降下が悪く掻き取り不良となった
	③ 慣行苗に比べ移植適期が短い/育苗期間が短いため、経営面積が大きく田植え期間が長い場合、播種作業を数回に分けて実施する必要
	④ 移植苗数(単位面積)に対する箱施用薬剤が少なくなり、病害虫防除効果の低下はないか
	⑤ スクミリンゴガイの被害があった

第30表 密苗技術の評価と懸念する事象。

項目	回答件数	比率(%)
密苗技術の評価良否	良好な評価 (育苗コスト低減、労力低減、作業効率向上等)	96 65.8
	うち密苗技術を導入する意向	30 20.5
	不良な評価 (欠株発生、移植精度不良、収量減)	4 2.7
懸念事象	育苗に気を使う	10 6.8
	欠株が気になる	28 19.2
	(欠株は気にならない)	15 10.3
	初期生育の遅れ	17 11.6
	スクミリンゴガイの食害	7 4.8

n = 146

(1) 生育・収量・品質

農業者の回答では、苗づくりが難しいというコメントはなかったが、苗が密生していることから徒長しないように、あるいはムレ苗にならないように注意した、など育苗管理に気をを使うとの意見が6.8%あった。苗マットの根張りについて良好/弱い、移植時の欠株について問題ない/許容範囲/気になる、と反対の意見があり、これらの項目については、農業者の許容水準にも差があると考えられる。特に欠株については回答の19.2%で欠株の発生が気になるとのコメントを寄せている。一方で、欠株が少ない/あっても気にならないと答えた回答が10.3%あった。

また、別の低コスト稲作技術である直播栽培と比較して、直播は出芽苗立ちの不安があるが、密苗は苗を植えるので確実であるとの意見があった。

(2) 作業性

使用する育苗箱数が従来に比べて少なくなり、育苗ハウスから圃場への運搬回数や田植機への苗補給回数が減ることが良いとする多数の回答があった。労働負荷が大幅に軽減されること、必要とする補助作業員の作業量が少なくて済むことも高く評価されていた。また、圃場に苗を運搬しておけば田植え作業を一人で実施できるとの意見もあった。

(3) 経営的評価

播種・育苗管理から田植え作業にかけての省力・低コスト化の効果と育苗資材費の低減が図られるとのコメントが多数であった。また、育苗箱数を減らすことができるので、限られた育苗ハウス面積のまま作付規模の拡大が可能なことや突然の委託水田増加にも対応が可能との意見があった。

このように密苗移植栽培技術は育苗資材費や労力の低減等に効果があるとして良好な評価を回答している農業者は96人あり、そのうち30人が次年度以降に技術導入を考えているとした。密苗技術の評価しながらも、その69%の農業者はこのときに技術導入を即答していないことになるが、逡巡の原因は何であろうか。推察になるが、ひとつは密苗仕様田植機および育苗箱への密播に対応した播種機の導入が必要になるため、これら機械の購入費用や田植機更新時期を検討するものと考えられる。特に密苗仕様田植機はこの時点では商品化されておらず、新たに販売される田植機の全体的な性能を見定めたいと機械導入を判断したいと考えたのであろう。また、単年の小規模な実証栽培規模では技術の安定性が測れないと考えることや異なる品種の適用性を知りたいなど、経営内の大面積で導入する際の影響を見積もるのに時間を要することも想定される。

一方で、移植精度不良・欠株発生や収量低下により、密苗移植栽培技術に対して明確に否定的な回答は2.7%と少なかった。

また、当該技術はもともと大規模経営体への適用を想定して開発されているが、小規模経営体においても「運搬労力および育苗培土等の資材費の低減効果が大きい（水稻作付 10 ha 経営）」、「育苗期間が短縮できた（同 5 ha 経営）」、「来年から密苗に取り組む（同 5 ha 経営）」、「省力化に繋がる（同 1 ha 経営）」、「労力軽減・効率性・規模拡大に効果がある（同 4 ha 経営）」というように大規模経営体と同様な評価となっている。

(4) 密苗移植栽培技術の課題

水稻の大面積経営において密苗移植栽培技術を導入した場合、播種作業を複数回行う必要があり、作業スケジュールの組み立てが複雑になるとの意見が 7 件（回答者の 5 %）あった。これは、密苗の育苗期間の目安は 15 ～ 20 日としており、一般に用いられている稚苗より育苗期間が若干短い。また育苗箱内で苗が密生環境にあるため移植適期の期間が短く、移植作業が長く続く大規模経営では、適期で移植するためには数回に分けて苗を育成する必要があり煩雑との指摘となっている。現在のところ密苗の移植適期を延長する技術は未開発である。しかし、一度の播種作業で得た苗を出芽育苗方式で区分し、加温出芽器を使用する苗と被覆資材べたがけによる無加温育する苗を育苗し、移植適期となる時期を分散する方法が試みられている（斎藤，2018）。

移植に使用する育苗箱数が少なくなることで、箱当たりの施用量が規定されている箱施用薬剤では、単位面積当たりの薬剤投下量が減少し病虫害防除効果の低下が懸念されるとしている。この点に関しては、慣行法と同様に発生時の随時防除での対応を行うことが必要であると考えている。また、箱数に影響されずに移植同時に圃場への定量散布を可能とする田植機装着の側条施薬機を使用することもできる。

また、その他に複数の農業者がコメントしている事象として、密苗は慣行苗に比較して、分げつ発生が遅い／生育が遅れる（11.6 %）、発生地域は限られるが、スクミリンゴガイの食害を受けた（4.8 %）があった。

(5) まとめ

農業者のコメントとして、栽培の視点では密苗の育成が難しいとの意見はないが、密生していることからムレ苗にならないように気をつかうことや移植時の欠株が気になる回答があった。作業性および経営的な視点からは、使用する育苗箱数が少なく済み、播種、育苗管理から移植作業にかけての省力化、労力負荷軽減および育苗資材費の削減に繋がるとの意見が多く挙げられていた。

また課題として、育苗期間および移植適期間が短く、大規模経営では播種作業が複数回必要となり煩雑であること、使用育苗箱数が少なくなることで箱施用薬剤の防除効果低下の懸念、があった。

密苗移植栽培技術は、育苗から田植え作業の省力化、軽労化および生産費削減に効果があり、大規模経営体だけでなく小規模経営体にもメリットがあることが示された。

第3節 摘要

日本国内の342農業経営体、52品種において密苗移植栽培技術の実証栽培を行い、東北地方から中国四国地方の範囲を解析対象とした。

- 1) 10 a 当たりの移植に使用した育苗箱数は平均7.6箱であった。草丈など移植時苗質は慣行苗と同等水準であった。また、玄米収量は慣行移植栽培と同等以上の実証地が半数以上であった。密苗移植栽培技術が日本における広域適応性を有する可能性が示唆された。
- 2) 農業者からは、密苗移植栽培技術は使用する育苗箱数が少なくて済み、播種、育苗管理から移植作業にかけての省力化、労力負荷軽減および育苗資材費の削減に繋がるとの評価を得た。また、このことは、稲作の大規模経営体だけでなく10 ha以下の小規模稲作経営体にとっても同様に効果が得られると考えられた。

第5章 密苗移植栽培技術の生産費

水稲生産の省力化や効率化に向け、トラクタ、田植機そしてコンバインの開発など、主要な作業の機械化が進められてきた。しかしながら移植栽培における育苗から田植えまでの作業、すなわち育苗ハウスの苗箱の搬入搬出や田植機への苗補給などは、機械化が進んでおらず依然として人力によるものが多い。事実、全国平均の稲作農家の作業別直接労働時間 26.61 時間のうち、実に 26.7% (6.03 時間)、が種子予措・育苗・移植で占められている。また、この数値を経営規模別に見ると、3~5 ha 層が 28.3% (5.50 時間)、5~10 ha 層が 31.3% (5.26 時間)、10 ha 以上層が 35.4% (5.05 時間) となっている(農林水産省, 2018)。規模拡大によって、単位面積あたりの全体の労働時間が少なくなっているが、種子予措・育苗・移植は規模拡大による効率化の効果の発現しにくい作業であり、これらに要する時間の減少程度が小さく割合的には大きくなっている。このことは近年の稲作経営の大規模化が進むなかで大きな課題と考えられる。

このような中、現在、日本の稲作現場においては種子予措・育苗・本田への移植あるいは直播の工程での作業工数・労働力削減や資材費低減を目指した低コスト化技術として主に 3 つの技術の取り組みが見られる。移植栽培では、今回開発した密苗栽培技術および疎植栽培技術、そして直播栽培技術である。

ここでは、これらの技術について生産費用の試算をもとに収益性を考察する。対象とする技術の概要は以下のとおりである。密苗栽培技術は、慣行の稚苗移植栽培技術を基本としており、育苗箱 1 箱当たりの種子粗播種量を増やしながらも、移植時の苗掻き取り量を慣行どおり 4 本程度とすることで、栽植密度を疎にすることなく使用する育苗箱数を削減することをねらいとしている。一方、疎植栽培技術は、慣行の稚苗移植栽培技術そのまま栽植密度を疎にする、すなわち移植時の株間を大きくすることで、使用する育苗箱数を削減することをねらいとしている。また、直播栽培は種子粗を直接水田に播種することで、移植栽培における箱育苗の工程を省くことができる。なお、直播栽培は播種時土壌の水の有無により湛水直播栽培と乾田直播栽培があるが、今回は移植栽培技術と本田栽培管理が類似し、普及面積の大きい湛水直播栽培とりあげた。さらにそのなかでも、現在主流となっている種子を鉄粉でコーティングし、本田に機械播種する方式(山内, 2012)を取り上げた。

第1節 材料および方法

慣行稚苗移植栽培，密苗移植栽培，稚苗疎植栽培および鉄粉コーティング直播栽培で水稻作を実施した場合の生産費（農林水産省生産費調査の資本利子・地代全額算入生産費に相当）を試算した。その際の前提条件は次のとおりとした。

1) 経営概況：水稻作付面積 30 ha，圃場区画 30 a，水稻専作経営，主たる従事者 2 人，補助作業者 2 人，機械施設は償却中。

2) 栽培方法

- ①慣行稚苗移植栽培：育苗箱当たり播種量乾籾 150 g，栽植密度 m^2 当たり 15.2 株
- ②密苗移植栽培：育苗箱当たり播種量乾籾 300 g，栽植密度 m^2 当たり 15.2 株
- ③稚苗疎植栽培：育苗箱当たり播種量乾籾 150 g，栽植密度 m^2 当たり 11.1 株
- ④鉄粉コーティング直播栽培：10 a 当たり播種量乾籾 4 kg，栽植密度 m^2 当たり 15.2 株

第 31 表 慣行稚苗移植栽培との作業工程や資機材等の違い。

項目	慣行稚苗移植	密苗移植	慣行稚苗疎植	鉄粉コーティング直播
栽培体系	<ul style="list-style-type: none"> ・移植 ・10a当たり使用育苗箱数14箱 ・種子予措-播種-出芽-育苗管理-田植え ・本田耕起-整地-除草-本田管理-防除-刈取脱穀-乾燥 	<ul style="list-style-type: none"> ・移植 ・10a当たり使用育苗箱数7箱 以下，同左 	<ul style="list-style-type: none"> ・移植 ・10a当たり使用育苗箱数10箱 以下，同左 	<ul style="list-style-type: none"> ・直播 ・種子予措-コーティング-直播 ・本田耕起-整地-除草-本田管理-防除-刈取脱穀-乾燥
育苗/種子コーティング作業と資材	<ul style="list-style-type: none"> ・播種回数4回 ・被覆資材ハウス7棟分 	<ul style="list-style-type: none"> ・育苗培土の減 ・播種回数2回 ・被覆資材4棟分 	<ul style="list-style-type: none"> ・種子籾の減 ・育苗培土の減 ・播種回数3回 ・種子消毒剤の減 ・被覆資材5棟分 	<ul style="list-style-type: none"> ・種子籾の増 ・コーティング資材の使用 ・種子消毒剤の不使用 ・被覆資材不要
育苗/種子コーティング/田植え・直播関係の機械施設	<ul style="list-style-type: none"> ・播種育苗機材の使用 ・育苗ハウス7棟 ・田植機（側条施肥機，除草剤散布装置，側条施薬機装備） 	<ul style="list-style-type: none"> ・育苗箱の減 ・播種育苗機材の使用 ・育苗ハウス4棟 ・田植機（側条施肥機，除草剤散布装置，側条施薬機装備） 	<ul style="list-style-type: none"> ・育苗箱の減 ・播種育苗機材の使用 ・育苗ハウス5棟 ・田植機（側条施肥機，除草剤散布装置，側条施薬機装備） 	<ul style="list-style-type: none"> ・育苗箱不要 ・播種育苗機材不要 ・育苗ハウス不要 ・コーティングマシン使用 ・直播機（側条施肥機，除草剤散布装置，土中施薬機装備）
作業時間		<ul style="list-style-type: none"> ・育苗箱数に依拠する作業時間の減 	<ul style="list-style-type: none"> ・育苗箱数に依拠する作業時間の減 	<ul style="list-style-type: none"> ・育苗管理，苗運搬作業不要 ・コーティング作業の実施 ・圃場整地精度を高める代かき作業時間の増 ・除草回数の増 ・播種前-播種後の水管理時間の増

3) 栽培体系：各栽培方法ともに、移植同時の除草剤処理、移植同時の殺虫殺菌剤側条施用（直播栽培は同時土中施用）、施肥は側条施肥による全量一括施肥で追肥なし、病虫害防除の本田防除は各栽培方法同様に実施、除草剤施用は直播栽培が1回多い。

そのうえで種子予措から移植作業にかけての資材費、減価償却費および作業時間（各作業工程に必要な人員と時間）ならびに移植より後の本田管理における資材費について試算した。試算にあたっての慣行稚苗移植栽培と3つの低コスト栽培技術の作業工程や資機材等の違いを第31表に示した。

また資機材の価額や作業時間は次のデータを用いた。

1) 機械施設調達価額は各メーカーのウェブサイトや2015/2016 農業機械・施設便覧を、資材価格は平成28年JA金沢市肥料農薬価格を参照した。また、それぞれの栽培技術について、青森県（青森県西北地域県民局，2016）、岩手県（岩手農研，2015）、茨城県（茨城農研，2015）および石川県（南石ら，2016）の作業体系や労働時間を参考とした。

2) 移植より後の本田期におけるその他物財費（光熱動力費、土地改良水利費、公課諸負担、支払利子、支払地代、自己資本利子、自作地地代）および作業時間（管理、防除、刈取脱穀、乾燥、生産管理）について平成26年産米生産費調査（農林水産省，2016）の15ha規模以上層のデータを用いた。

3) 労働時間単価は1時間当たり1500円とした。

4) 米の販売価格は玄米60kg当たり13200円とした。

第2節 結果

第32表に各栽培方法の10a当たりの生産コストの試算、第33表に10a当たりの収益性の試算を示した。10a当たりの生産費計[41]（[]は各表中の左列の項目番号，以下同様に表記）は、慣行稚苗移植102912円、密苗移植99218円、慣行稚苗疎植100526円、鉄粉コーティング直播100795円であった。3つの低コスト栽培技術すべての生産費が慣行稚苗移植のそれを下回った。それぞれの栽培方法の生産費構成項目について費用増減を以下に示す。

1. 密苗移植

密苗移植の10a当たり生産費計[41]は、慣行稚苗移植より3694円[42]減少した。移植に使用する育苗箱数が少なくなることで必要となる諸材料である育苗培土[5]および被覆資材[7]や

機械施設償却費 [28] として育苗箱 [12] およびビニルハウス関連 [16] [17] の費用が減少している。また育苗箱運搬等を伴う作業や育苗管理 [29] [30] [31] の作業時間が減少することに伴い、労働費 [32] が低下している。

第32表 水稻の低コスト・省力栽培方法による生産コスト (10アール当たり)。

項目	慣行稚苗移植		密苗移植		慣行稚苗疎植		鉄粉コーティング ¹⁾ 直播	
1 育苗箱あたり播種量	150 g		300 g		150 g		-	
2 使用箱数	14 箱		7 箱		10 箱		-	
	所要量・時間	円	所要量・時間	円	所要量・時間	円	所要量・時間	円
3 種子粃	2.1 kg	1,012	2.1 kg	1,012	1.5 kg	723	4 kg	1,928
4 鉄粉及び焼石膏		-		-		-		1,330
5 床土及び覆土	64 kg	1,649	32 kg	825	46 kg	1,178		-
6 種子消毒剤	33 ml	209	33 ml	209	25 ml	156		-
7 緑化被覆資材	7 棟	304	4 棟	174	5 棟	217		-
8 育苗/コーティング資材費計		3,174		2,220		2,274		3,258
9 本田肥料・農薬資材費		19,143		19,143		19,143		21,846
10 その他物財費		29,157		29,157		29,157		29,157
11 物財費計		51,474		50,520		50,574		54,261
12 育苗箱		846		423		604		-
13 催芽器		140		140		140		-
14 播種機		342		342		342		-
15 育苗器		600		600		600		-
16 ビニルハウス骨材	7 棟	3,000	4 棟	1,714	5 棟	2,143		-
17 ハウスビニール	7 棟	390	4 棟	223	5 棟	278		-
18 田植機 8条 側条施肥機		1,965		1,965		1,965		-
19 田植機用除草剤散布装置		93		93		93		-
20 田植機用側条施薬機		168		168		168		-
21 コーティングマシン		-		-		-		164
22 鉄コーティング種子酸化調製機		-		-		-		404
23 直播機 8条 側条施肥機、除草剤散布機		-		-		-		1,756
24 直播機用土中施薬機		-		-		-		95
25 播種育機器・田植機・直播機計		7,543		5,668		6,333		2,418
26 トラクタ、ロータリ、ドライブハロー		7,665		7,665		7,665		7,665
27 ほか機械施設		21,118		21,118		21,118		21,118
28 機械施設償却費計		36,326		34,451		35,116		31,201
29 種子予措・播種・出芽/コーティング	0.23 hr	339	0.13 hr	200	0.16 hr	247	0.24 hr	357
30 ハウス置床・育苗管理	0.23 hr	340	0.11 hr	165	0.18 hr	267	0.00 hr	-
31 苗運搬・田植え/本田播種	0.72 hr	1,083	0.36 hr	533	0.65 hr	972	0.28 hr	427
32 種子予措-育苗管理-田植・直播	1.17 hr	1,762	0.59 hr	898	0.99 hr	1,486	0.52 hr	784
33 耕起・整地	1.97 hr	2,955	1.97 hr	2,955	1.97 hr	2,955	2.16 hr	3,240
34 除草	0.91 hr	1,365	0.91 hr	1,365	0.91 hr	1,365	1.07 hr	1,605
35 管理	2.66 hr	3,990	2.66 hr	3,990	2.66 hr	3,990	3.11 hr	4,665
36 防除	0.27 hr	405	0.27 hr	405	0.27 hr	405	0.27 hr	405
37 刈取脱穀	1.93 hr	2,895	1.93 hr	2,895	1.93 hr	2,895	1.93 hr	2,895
38 乾燥	0.96 hr	1,440	0.96 hr	1,440	0.96 hr	1,440	0.96 hr	1,440
39 生産管理	0.20 hr	300	0.20 hr	300	0.20 hr	300	0.20 hr	300
40 作業時間計, 労働費計	10.07 hr	15,112	9.49 hr	14,248	9.89 hr	14,836	10.22 hr	15,334
41 生産費計		102,912		99,218		100,526		100,795
42 慣行稚苗移植との差 (hr, 円)		-	-0.58 hr	-3,694	-0.18 hr	-2,386	0.15 hr	-2,117
43 慣行稚苗移植との比 (%)		-	94.2 %	96.4 %	98.2 %	97.7 %	101.5 %	97.9 %

第33表 水稻の低コスト・省力栽培方法による収益性。
(各栽培方式で収量同等の場合、10アール当たり)

項目	慣行稚苗移植		密苗移植		慣行稚苗疎植		鉄粉コーティング ¹⁾ 直播	
44 収量と粗収入 (円)	540 kg	118,800	540 kg	118,800	540 kg	118,800	540 kg	118,800
45 利益 (円)		15,888		19,582		18,274		18,005
46 慣行移植と同等利益となる単収	- kg		523 kg		529 kg		530 kg	
47 1kgあたり生産費 (円)		190.6		183.7		186.2		186.7
48 慣行稚苗移植との差 (円)		-		-6.8		-4.4		-3.9

2. 慣行稚苗疎植

慣行稚苗疎植の10 a 当たり生産費計 [41] は、慣行稚苗移植より 2386 円 [42] 減少した。慣行稚苗移植と同じ播種量の苗を用いるが、栽植密度が低いことで移植に使用する育苗箱数が少なく、すなわち種子粃 [3] の使用数量が減少している。併せて種子消毒剤 [6] が減少している。そして、密苗移植と同様に、移植に使用する育苗箱数が少なくなることで必要となる諸材料（育苗培土 [5]、被覆資材 [7]）や機械施設償却費 [28]（育苗箱 [12]、ビニルハウス関連 [16] [17]）および労働費が [32] 低下している。

3. 鉄粉コーティング直播

鉄粉コーティング直播の10 a 当たり生産費計 [41] は、慣行稚苗移植より 2117 円 [42] 減少した。苗育成のための諸材料である育苗培土 [5]、種子消毒剤 [6]、被覆資材 [7] が不要となる。一方で、種子粃 [3] の量が多いこと、コーティングのための諸材料である鉄粉及び焼石膏 [4] が必要になることから資材費 [8] が増加している。また、直播後の生育期除草剤が必要で本田資材費 [9] が増加している。機械施設償却費 [28] では、コーティング関連機械 [21] [22] が必要となるが、播種・育苗関連 [12] ~ [17] が不要で費用は減少している。なお、田植機に替わり直播機 [23] [24] となるが費用は減少している。また作業労働では、コーティング作業の時間 [29] は増加するが、育苗や苗運搬の作業 [30] が不要となり、また直播関連作業の時間も少なく [31] なる。一方で、本田の耕起・整地、除草、本田管理の作業時間が増加している。結果として労働費 [40] は増加している。

第3表にそれぞれの栽培方法の収益性を示した。10 a 当たり収量を 540 kg とした場合の粗収入 [44] 118800 円から生産費を差し引いた利益 [45] および玄米 1 kg 当たりの生産費 [47] は、慣行稚苗移植 15888 円・190.6 円に対し、密苗移植 19582 円・183.7 円、慣行稚苗疎植 18274 円・186.2 円、鉄粉コーティング直播 18005 円・186.7 円である。

第3節 考察

生産費は、3つの栽培方法すべてが慣行稚苗移植より減少し、コスト低減効果が認められた。10 a 当たり生産費の減少額は大きい順に、密苗移植、慣行稚苗疎植、鉄粉コーティング直播であった。

密苗移植は、慣行稚苗移植に比べて使用する育苗箱数が大幅に削減されることで、苗育成のため

の諸材料や育苗施設の必要量・規模が小さくてよいことと育苗箱数に依拠する作業労働が少なく済むことの効果が大きいと考えられる。慣行稚苗疎植は密苗移植と同様に移植に使用する育苗箱数が削減されるが、その減少程度は密苗ほどではなく、生産費計の減少額は密苗移植に及ばない。

鉄粉コーティング直播は、コーティング関連の機械が必要となるが、育苗成に係る播種・育苗関連の機械施設が不要となり、その減価償却費の減少額が大きい。しかし使用する種子粒量が多く、コーティング種子作成のための鉄粉等の諸材料費も増加すること、また播種後の生長に時間を要するため生育前半の抑草が必要となり除草剤使用回数が増加することにより移植栽培よりも物財費が増加する。さらに直播栽培は出芽苗立ちを斉一にするために移植栽培よりも圃場均平・整地を丁寧にする必要がある。また出芽期から除草剤処理期間までは移植栽培よりもきめ細かな水管理が求められる。このように直播栽培は、移植栽培以上に稠密周到な管理（梅本，1999）が求められることから作業時間・労働費は移植栽培より増加している。

次に、移植栽培における育苗箱のハンドリングに係る作業労働について検討する。今回の試算結果から、播種・育苗・田植え関連の作業時間は、慣行稚苗移植に比べて使用する育苗箱数が減少する密苗移植で50.4%、慣行稚苗疎植で84.6%となっている（育苗箱を使用しない鉄粉コーティング直播は44.4%である）。現在の機械移植作業は、育苗培土を詰めた育苗箱に種粒を播種して育成した苗を田植機に積載して移植作業を行う方法が主流となっている。育苗箱の取り扱い、作業の順に、播種、出芽器を使用する場合はそのための搬入と搬出、ビニルハウスや露地の育苗場所への運搬・配置、育苗場所から移植を行う圃場までの運搬、田植機への積載、そして移植作業後の育苗箱の洗浄、農舎への片付けまで非常に多くの回数の関わりがある。そして育苗箱自体の重量は0.5～0.6 kg であるが、播種直後の重量は5 kg 程度、苗が生長した移植時の重量は6～8 kg と増加している。播種された育苗箱はこのように重い。試算の30 ha 経営の場合、慣行稚苗移植栽培で4200箱もの育苗箱を何回も運搬する労力はまさに重労働と言うほかない。密苗移植を採用することで育苗箱数を大幅に削減し作業時間が半減できるとともに、作業者にとっての直接的な効果として身体への労働負担を軽減することが期待できる。

収益性向上のためには生産費低減と併せ、収量の安定確保が重要である。作における収量の確保については、3つの栽培技術ともに想定した栽植位置に整列して稲体を配置すること、すなわち移植栽培の場合は欠株のないこと、直播栽培の場合は斉一出芽苗立ちさせることが重要である。しかしながら、疎植栽培は移植後から分けつ期が低温となった場合等に穂数不足により減収する恐れがあること（木村・下野，2017、千葉県，2012）、直播栽培は出芽苗立ちの不安定性から移植栽培に比べて収量が約1割低下するとも言われており（農林水産省，2016）、収量の不安定性が指摘されている。こうした懸念に対し、密苗移植は指導機関が推奨する一般的な栽植密度である m^2 当たり15.2

～22.2 株を基本としており、疎植栽培に比べて穂数減少リスクが小さく、また収量は慣行稚苗移植と同等（澤本ら，2019）で直播栽培に比べても収量の減少リスクは小さいと考えられる。

なお、水稲移植栽培においては経営規模の大小に関わらず水田面積当たりには一定の育苗箱数が必要となる。ここでは 30 ha 規模の稲作経営体で試算を行ったが、それより小さな経営規模、兼業農家であっても使用する育苗箱数の減少に伴う資材費および管理・作業労力の削減が見込まれることに変わりはないと考える。

以上、密苗移植栽培技術は生産コスト低減と収量安定の双方の観点から、規模の大小を問わずに稲作経営体の収益性向上への貢献が期待できる。

第4節 摘要

水稲 30 ha 経営において、慣行稚苗移植栽培技術と 3 つの低コスト栽培技術、すなわち密苗移植、慣行稚苗疎植および鉄粉コーティング直播の生産費を試算し比較した。

- 1) 生産費は 3 つの技術ともに慣行稚苗移植栽培よりも減少すると試算された。慣行稚苗移植栽培の生産費に比較して、密苗移植が 96.4 %，慣行稚苗疎植が 97.7%，鉄粉コーティング直播が 97.7 %であった。密苗移植および慣行稚苗疎植で育苗に関する資材・施設の費用が減少すること、鉄粉コーティング直播では播種・育苗施設費が不要となることで、3 つの技術ともに種子予措から田植・直播作業までの労働費が減少することによる。
- 2) 移植栽培で課題となっている播種・育苗・移植の育苗箱のハンドリングに関わる作業時間について、慣行稚苗移植に比較して密苗移植が 50.4 %，慣行稚苗疎植が 84.6 %，鉄粉コーティング直播が 44.4 %に削減されると試算された。

第6章 総合考察 —総括と展望—

第1節 密苗移植栽培技術の性質

1. 苗形質および本田での生育・収量・玄米品質

まず第2章では栽培的側面から、育苗箱当たり乾籾250gおよび300gで高密度播種した稚苗「密苗」の苗質および本田での生育・収量・玄米品質に及ぼす影響を検討した。2水準の高密度で播種し15日または24～25日育苗した稚苗を、小面積を掻き取ることができるように改良した田植機を用いて1株当たり3～4本で移植した。移植時の苗の葉齢は3.0～3.6、草丈は8～12cmで、欠株率は0.0～6.3%で連続欠株は無かった。10a当たりの移植に使用した育苗箱数は250g播種区で6.0～7.2箱、300g播種区で4.7～6.0箱であった。2つの高密度播種区の出穂期および成熟期は移植時の葉齢差を反映して、慣行区の箱当たり100gで播種した稚苗より1～2日遅かったが、最高茎数、穂数、精玄米重、整粒歩合および玄米タンパク含有率は100g播種区と同等であった。

高密度播種は、その育苗期の苗丈伸長や移植後の茎数の動態特性から、育苗期間および移植期が温暖な晩期移植作型に適していると考えられた。

2. 密苗仕様田植機の植え付け精度

続いて第3章では機械的側面から、水稻育苗箱に高密度播種した苗から小さく掻き取りができる田植機「密苗仕様田植機」の植え付け精度について、密苗と慣行の稚苗および乳苗を比較して検討した。移植時の密苗は細長い苗姿であること、苗マット強度が高いことが確認された。密苗仕様田植機は、移植爪やその他の部品の交換をすることなく、横送り回数と苗縦取り量を調整することで、密苗、稚苗および乳苗を1株当たり4本程度で植え付けることができ、育苗培土を使用する密苗および稚苗では掻き取り苗の80%前後が1株当たり2～6本であった。なお、掻き取り苗ブロックの小さくなる、播種密度のより高い密苗やロックウールマットを使用する乳苗では、苗が軽いことから欠株の発生が5%を超える場合があった。

3. 日本における密苗移植栽培技術の地域適応性と農業者評価

第4章では日本各地における密苗移植栽培技術の普及にむけて、日本国内の342農業経営体、53品種において密苗移植栽培技術の実証栽培を行い、実施農業者へのアンケート調査に基づき地域適応性を検討した。解析対象は箱当たり乾籾250g以上で播種され、苗質や収量等のデータセットの整った実証地とした。対象地域は東北、関東甲信越、中部近畿、および中国四国地方の4地域区分

およびその全体とした。

その結果、10 a 当たりの移植に使用した育苗箱数は全体の平均で7.6箱であった。移植時の苗丈は各地域別の平均で11.6～13.8 cmであり、いずれの地域においても稚苗の標準的な長さが確保されていた。また、密苗の玄米収量は全体の57.0%の実証地で、地域別にでもそれぞれ50.0～60.0%の実証地で慣行苗移植栽培と同等以上であった。解析対象とした各地域において移植時の苗質や収量が確保されており密苗移植栽培技術が日本における広域適応性を有する可能性が示唆された。

農業者からは、密苗移植栽培技術は使用する育苗箱数が少なく済み、播種、育苗管理から移植作業にかけての省力化、労力負荷軽減および育苗資材費の削減に繋がるとの評価を得た。

そして、アンケート調査の結果から、密苗移植栽培技術の省力化、労力負荷軽減および育苗資材費削減効果は、稲作の大規模経営体だけでなく10 ha以下の小規模稲作経営体からも同様に評価されており、経営規模によらずに導入効果が得られる技術であると考えられた。

4. 密苗移植栽培技術のコスト低減効果

第5章では密苗移植栽培技術の生産コスト低減効果を試算により検証した。本技術実施のためには新たな田植機が必要となる。しかしながら密苗は現行の稚苗育苗に比較して育苗期間が短く、使用する育苗箱数は少ない。このことにより、苗箱や育苗培土、ビニルハウス等の育苗資材費の低減や、播種、育苗管理、苗運搬そして田植作業時の苗の補給作業の削減と作業強度の軽減が図られるなど、機械導入コストを上回る生産費削減と省力化の効果が期待できる。密苗移植栽培技術により水稲作を行った場合の生産費試算では10 a 当たり99218円で慣行稚苗移植栽培の10912円に対し3694円の削減となっている。これは水稲作30 ha 経営で年額役110万円の経費節減に相当する。また、播種・育苗・田植え関連の作業時間は、慣行稚苗移植栽培に比較して50.4%となり労働時間が大幅に少なくなる。これはすなわち、重い育苗箱を運搬するという身体への負担を少なくすることに繋がっている。

また、第3章の結果から、密苗仕様田植機による密苗、慣行稚苗および乳苗の植え付け精度ならびに移植後の苗の生長について実用上の問題はないと考えられた。このことは、密苗仕様田植機1台で播種密度の異なるこれらの苗種を移植することが可能であることを示している。水稲作経営にとっては苗種の組合せによる田植機の稼働期間の延長や移植作業委託農家の準備する多様な苗種への対応が可能となり、機械コスト低減への貢献が期待される。

以上から、高密度に播種した水稲苗「密苗」を用いる本技術は、その苗に対応した田植機の導入が必要となるが、新たな育苗資材や特別な栽培管理を必要とせず、日本各地において慣行稚苗栽

培と同等の収量・品質を得ることが可能であることが示唆された。また、移植での使用育苗箱数の減少に伴い育苗資材費および管理作業労力が削減され、大規模経営はもとより小規模経営まで水稻生産コストの低減に繋がる技術であると考えられた。

第2節 密苗移植栽培技術の普及実用化にむけて

密苗移植栽培技術の経営や作業労働への効果について、実施農業者は育苗箱数が少なくて済み、省力化および低コスト化につながると高く評価している。また、補助作業に携わる女性や法人従業員の方々には、運搬する箱数が少なくなることで作業時の身体への負荷が軽減されることが評価されている。

しかし、実証栽培農業者の調査票データやアンケートのコメント、あるいは実証に関わった研究機関の意見等から示された密苗移植栽培の実施にあたっての課題や留意事項、そして今後の展望について以下に考察する。

1. 技術的課題と対応策

実証農業者から、播種作業をより多くの回数で実施しなくてはならないとの意見が挙げられた。これは密苗の育苗期間および苗の移植適期の期間が短いため、大規模経営の場合、播種回数を多くして移植時期に合わせて播種作業を設定する必要があるとの理由である。育苗期の密苗は葉齢 3.3 を超える頃から葉数の展開や草丈の伸長が鈍くなる生育停滞の傾向が現れる（澤本ら，2019）。このため移植適期の期間を長くするため、苗の健全性を保ちながら苗保管期間を延長する技術が求められている。この課題に対し、薬剤施用による苗健全性延長（宇野ら，2018）や同日に播種した苗を時間差をおいて出芽させて移植適期をずらす方法（斎藤，2018）が試みられている。

もうひとつは、箱施用薬剤使用における病虫害防除効果が低下するのではないかとの懸念である。現在の水稻栽培の病虫害防除は、移植する苗への殺虫殺菌剤の粒剤施用が主流となっている。これは移植する苗とともに薬剤を本田に持ち込み、イネの根から薬剤成分を吸収して病虫害防除効果を発揮するものである。これら箱施用薬剤は農薬登録において育苗箱当たりの薬剤重量が決められている。例えば箱当たり 50 g の施用薬剤の場合、10 a 当たりでは、使用育苗箱数が 15 箱の場合 750 g が、20 箱の場合 1000 g が施用されることになる。密苗で 10 a 当たり 7 箱の場合、薬剤は 350 g と少ない施用量となり、防除効果が心配されるわけである。これまでの実証栽培では、密苗への箱施用薬剤の使用でも深刻な病虫害被害の報告はないが、農業者および指導機関からは対策が要望され

第33表 都道府県別の水稻の作期.

都道府県名 (気象官署)	日平均気温											
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
北海道 (札幌)			□	●	●		△		◎			
* 青森 (青森)			□	●	●		△		◎			
* 岩手 (盛岡)			□	●	●		△		◎			
* 宮城 (仙台)			□	●	●		△		◎			
* 秋田 (秋田)			□	●	●		△		◎			
* 山形 (山形)			□	●	●		△		◎			
* 福島 (福島)			□	●	●		△		◎			
* 茨城 (水戸)			□	●	●		△		◎			
* 栃木 (宇都宮)			□	●	●		△		◎			
群馬 (前橋)				□	●		△		◎			
* 埼玉 (熊谷)				□	●		△		◎			
* 千葉 (千葉)		□	●	●		△		◎				
東京 (東京)				□	●		△		◎			
神奈川 (横浜)				□	●		△		◎			
* 新潟 (新潟)			□	●	●		△		◎			
山梨 (甲府)				□	●		△		◎			
* 長野 (長野)			□	●	●		△		◎			
* 富山 (富山)				●	●		△		◎			
* 石川 (金沢)			□	●	●		△		◎			
* 福井 (福井)				□	●		△		◎			
岐阜 (岐阜)				□	●		△		◎			
静岡 (静岡)				□	●		△		◎			
* 愛知 (名古屋)				□	●		△		◎			
* 三重 (津)			□	●	●		△		◎			
* 滋賀 (彦根)			□	●	●		△		◎			
* 京都 (京都)				□	●		△		◎			
大阪 (大阪)				□	●		△		◎			
* 兵庫 (神戸)				□	●		△		◎			
奈良 (奈良)				□	●		△		◎			
和歌山 (和歌山)				□	●		△		◎			
* 鳥取 (鳥取)				□	●		△		◎			
* 島根 (松江)				□	●		△		◎			
* 岡山 (岡山)				□	●		△		◎			
* 広島 (広島)				□	●		△		◎			
* 山口 (山口)				□	●		△		◎			
* 徳島 早期 (徳島)		□	●	●		△		◎				
* 徳島 普通 (徳島)				□	●		△		◎			
* 香川 (高松)				□	●		△		◎			
* 愛媛 (松山)				□	●		△		◎			
* 高知 早期 (高知)		□	●	●		△		◎				
高知 普通 (高知)				□	●		△		◎			
* 福岡 (福岡)				□	●		△		◎			
* 佐賀 (佐賀)				□	●		△		◎			
* 長崎 (長崎)				□	●		△		◎			
* 熊本 (熊本)				□	●		△		◎			
* 大分 (大分)				□	●		△		◎			
宮崎 早期 (宮崎)		□	●	●		△		◎				
* 宮崎 普通 (宮崎)				□	●		△		◎			
鹿児島 早期 (鹿児島)		□	●	●		△		◎				
* 鹿児島 普通 (鹿児島)				□	●		△		◎			
沖縄 一期 (那覇)		□	●	●		△		◎				
沖縄 二期 (那覇)							□	●	△			◎

*は実証試験が実施された府県
 表中の記号は以下の各作業の盛期 □:播種, ●:田植, △:刈穂, ◎:刈取 (平成28年産水稻の耕種作業盛期, 農林水産省)
 日平均気温の月日は各気象官署の平年値(1981~2010)

ている。この課題を解決すべく、農業機械メーカーにより一定量の薬剤を本田施用するための田植機装着による側条施薬機が開発され販売が始まっている。これにより病虫害防除対策にも対応し、安心して密苗に取り組めるようになっている。

2. 密苗移植栽培技術の導入に当たっての留意点

(1) 地域と作期

本実証栽培は、圃場所在地として北は青森県から南は鹿児島県までの広い範囲で設置された。そしてそれぞれの地域の主要品種が供試された。

第 33 表に水稻栽培の主要作業の盛期、すなわち播種、田植え、出穂および収穫について都道府県別に示している。また表中には、稚苗の活着の最低温度とされる日平均気温平年値 12.5 °C（星川，1975）以上となる初出日および安全成熟期晩限日の日平均気温平年値 15 °C（伊達，1963）以下となる初出日を示した。

実証栽培の結果から、特定の地域や品種において密苗が育成できない、または本田生育および収量・品質が顕著に低下することはなかった。各地域において、供試されたいずれの品種についても密苗として移植に供することのできる草丈が得られ、かつ慣行栽培と同等水準の収量および品質を得ることが可能と考えられた。

ただし、地域別に留意すべきと考える点を以下に記す。寒冷な東北地方においては、他地域に比較して、移植した稚苗が障害なく生育できる安全作期は短い。慣行稚苗や東北地方で多く用いられる中苗に比べて若い苗である密苗は、同時期に移植したこれらの苗よりも本田生育に時間を要するため成熟期が遅くなる。第 33 表で、東北各県の刈取作業盛期は安全成熟期晩限日に迫っている。これは、生育が遅延すると成熟未達になる可能性があることを示しており、晩性品種や晩期移植はその危険性が高まるので注意が必要と考える。

一方、四国や九州の早期作のある各県では、3 月下旬には移植作業が実施される。それよりも早い時期の移植を行う経営体もあるが、その際に、活着や生育の限界温度を下回るおそれがあるので、極端に早い移植にも注意が必要である。

また、関東以南の温暖地や北陸・山陰の晩期作型では育苗期間の気温が高く、ムレ苗の発生しやすい育苗環境となるので、適切な温度や水管理に留意する必要がある。

(2) 品種選択

密苗移植栽培技術の目的である育苗箱数削減を実現するためには、高い密度での苗の育成とその苗マットから小さく掻き取り移植することが肝要である。高い密度での播種を確実にを行うためには、

使用する品種の籾サイズに注意する必要がある。コシヒカリについて、種子の千粒重を 27.0 g として育苗箱当たりの播種粒数を計算すると、乾籾播種量 250 g で 9259 粒である。籾サイズの大きい品種、たとえば雄町をコシヒカリと同じ密度の密苗を育成しようとする、雄町の千粒重を 35.0 g として 324 g を播種する必要がある。

移植時苗の草丈が極端に短い場合、移植時に埋没苗になるなど移植精度の低下に影響する。短稈の特性をもち育苗期の草丈伸長が鈍い品種、例えばハナエチゼンやゆめみづほなどは、出芽から育苗期間の温度管理、水管理により草丈確保に努めたい。

密苗は慣行稚苗と比較して移植時の葉齢が若い。このことにより密苗は同時期に移植した慣行稚苗に比べて生育進捗が数日遅くなる。このことは、イネの登熟を完了できる晩限までに出穂期を迎えるように品種選択と移植時期に注意することが求められる、特に秋冷の早い東北地方や高標高地では注意が必要である。

(3) 収量および品質の確保のために

密苗においても、それぞれの管理作業を適切に実施すれば収量の低下はないと考えられる。収量低下要因のひとつは連続欠株など収量補償範囲を超える欠株の発生と考えられる。調査票アンケートでも、「植え付け本数の少ないところで欠株が発生し収量が減収した」「移植後の急激な入水で浮き苗となった」などの回答が挙げられている。欠株の発生を防ぐには、代かきを丁寧にして圃場の均平を図ることはもとより、植え付け本数の調整、移植時の深い水深や移植後の急激な入水を避けること等に留意したい。

また、前述したように慣行稚苗に比べて生育ステージが遅いことから、生育進捗に応じて管理作業を実施する必要がある。例えば中干しや出穂期前後の病虫害防除、収穫などの作業時期の設定に注意する。特に収穫時期は慣行稚苗に合わせて刈り取りすると、密苗にとっては成熟期に至っておらずに早刈りとなり、未熟粒が増加する原因になる。籾の黄化程度などで刈取適期を判断する必要がある。

3. 今後の展望

密苗移植栽培技術は、密苗仕様田植機が上市された 2017 年から稲作生産現場への導入がはじまり、2018 年には北海道から九州の日本全国で 20000 ha を超える面積で実施された。移植に使用する育苗箱数が少なくて済むことによる資材費および労力の削減効果が評価されている証であろう。そして導入経営体をみると、水稻作付面積 100 ha を超える大規模経営体はもとより、数 ha の兼業農家まで規模の大小を問わない。また、JA 等の育苗施設での密苗供給やグループでの密苗仕様田植

機の共同利用も実施されている。これからも多くの経営体への導入や多様な取り組みにより、低コスト水稻生産技術として本技術が普及拡大することを期待したい。

また現在の本技術は、10 a 水田の移植に際し 1 m² 当たり 15.2 株の栽植密度で、育苗箱当たり 100 g 播きの慣行苗の場合に 15 箱必要なところを 300 g 播きの密苗で 5 箱での実施を可能としている。これは、8 条植え田植機の苗載せ台に 2 段積みの 16 箱積載により、30 a 区画圃場を途中の苗補給無しでの移植作業が可能となる。今後の品種や機械の改良により、更に高い密度で播種した苗の使用や疎植の栽植密度での安定栽培が実現すれば、10 a 当たり 3 箱での移植も可能となり、苗無補給田植えの面積拡大が見込まれる。イネ移植作業の自動化・ロボット化のためには作業途中の苗や肥料などの補給が課題となるが、密苗による苗補給無しでの移植作業はこの課題解決の一助となろう。

さらに今後は、各都道府県の地域や品種について作期、栽植密度など詳細な適応性の確認を行い、それぞれの地域に応じた密苗の栽培技術体系を構築することで、より農業者が導入しやすい技術に改良進化されるものと考えている。

引用文献

- 青森県西北地域県民局, 2016. 経営規模拡大に向けた省力・低コスト稲作技術の手引き.
- 千葉県, 2012. フィールドノート, 疎植に注意.
<https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/network/field-h24/sui1202.html> 2018/11/24 閲覧
- 伊達了, 1963. 東北地方の水稻栽培期間の決定方法に関する農業気象学的研究. 東北農業試験場研究報告, 28, 1-41.
- 福島敏和・山口正篤・薄井雅夫・松永純子 1997. 水稻の栽植密度, 植付本数と収量構成要素, 玄米品質との関係. 日本作物学会関東支部会報 12: 38-39.
- 富民協会編, 1990. 乳苗稲作の誕生. 富民協会, 東京, iii-iv, 67-93.
- 星川清親, 1971. 稚苗の生理と育苗技術. 農山漁村文化協会. 東京, 58-59.
- 星川清親, 1975. イネの生長. 農山漁村文化協会, 東京. 66-69, 156-177.
- 星信幸・遠藤弘樹・高橋智恵子・辻本淳一 2010. 水稻乳苗の常時被覆による簡易育苗技術. 日本作物学会東北支部会報 53: 3-4.
- 茨城県, 2014. 新規需要米の低コスト栽培技術と経営評価. 茨城県研究センター農業研究所平成 25 年度主要成果.
- 市川岳史・東聡志・奈良悦子・坂口いづみ・金高正典 2007. コシヒカリの密播疎植栽培技術 第 5 報 生育指標. 北陸作物学会報 42: 33-35.
- 市川岳史・東聡志・奈良悦子・坂口いづみ・金高正典 2008a. コシヒカリの密播疎植栽培技術 第 2 報 播種期と育苗日数が露地プール育苗苗に及ぼす影響. 北陸作物学会報 43: 23-25.
- 市川岳史・東聡志・奈良悦子・坂口いづみ・金高正典 2008b. コシヒカリの密播疎植栽培技術 第 3 報 育苗条件が露地プール育苗苗に及ぼす影響. 北陸作物学会報 43: 27-29.
- 市川岳史・東聡志・奈良悦子・坂口いづみ・金高正典 2008c. コシヒカリの密播疎植栽培技術 第 4 報 収量構成要素. 北陸作物学会報 43: 31-32.
- 石川県, 2015. 水稻の高密度播種・短期育苗による少苗箱移植栽培技術の開発. 石川県農林水産研究 成果集報第 17 号.
- 石川県 2017. 平成 29 年度農業技術対策指導指針: 24-30. 石川県農林総合研究センター.
- 岩手県, 2015. 安価調製機 (50 kg タイプ) を活用した水稻鉄コーティング種子作製の効率的作業 体系. 岩手県試験研究成果書.
- JA 全農施設・資材部, 1994. 乳苗のてびき. JA 全農施設・資材部, 東京, 63-74.
- 金高正典・高橋敦子・東聡志 2004. コシヒカリの密播疎植栽培技術 第 1 報 慣行の稚苗移植栽培との

- 比較. 北陸作物学会報 40: 11-14.
- 川島長治, 2011. 稲作の機械化, 特に田植機の開発とそれともなう栽培技術, 生理・生態等の変化 [1]. 農業および園芸, 86, 1230-1238.
- 木村利行・下野裕之, 2017. 青森県における水稲疎植栽培の子実収量と玄米品質の変動要因. 日本作物学会紀事, 86, 329-338.
- 木根淵旨光 1974. 機械化稚苗稲作技術と営農. 農業図書: 56-59.
- 今野一男・高屋武彦 1991. 寒地における水稲の乳苗移植栽培. 農業技術 46: 407-411.
- 小島守夫 2006. 大規模水稲育苗施設における育苗管理方法の改善による福井良食味米の普及. 北陸作物学会報 41: 16-17.
- 窪田潤・小西達也, 2003. 田植機の植付苗量制御技術の研究 (第 1 報). 農業機械学会誌, 65, 130-135.
- 森敬亮・市丸喜久・牧山繁生・秀島好知・橋口朋代 2012. 水稲移植栽培における「短期苗」育苗法の開発. 日本作物学会九州支部会報 78: 10-12.
- 中村公則・和田学, 1969. 箱育苗における水稲苗の生育と素質について. 日本作物学会紀事, 38 別号 2, 149-150.
- 中野尚夫・水島嗣雄 1994. 水稲の一株植付本数の違いが収量構成要素および収量に及ぼす影響. 日本作物学会紀事 63: 452-459.
- 中谷治夫 1987. 水稲の“乳苗”移植栽培の実際と問題点. 農業および園芸 62: 403-407.
- 中谷治夫 2003. イネ乳苗の移植栽培に関する研究. 北陸作物学会報 38: 1-3.
- 西山岩男, 1986. 補植をしない稲作のすすめ. 農業および園芸, 61, 1189-1191.
- 農林水産省, 2015. 田植機 (乗用型) の型式検査の主要な実施方法及び基準.
- 農林水産省生産局 2016. 水稲の直播栽培について.
http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/attach/pdf/index-5.pdf
(2018/5/2 閲覧)
- 農林水産省, 2016. 水稲直播栽培の現状について. 最新の直播の状況 (28 年産)
http://www.maff.go.jp/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/attach/pdf/index-5.pdf
(2018/11/24 閲覧)
- 農林水産省, 2017. 農業経営統計調査平成 28 年産米生産費.
- 小野洋・大谷隆二・白土宏之 2014. 費用合計による水稲直播の技術評価の課題. 2014 年度日本農業経済学会論文集: 31-36.
- 大隈光善・柴田義弘・原田皓二 1988. 水稲短期苗の育苗法と本田植付け法. 日本作物学会九州支部会報 55: 35-37.

- 大仲克俊 2013. 農業構造変動の先進地域における大規模水田農業経営体の展開. 地域政策研究 15: 137-158.
- 尾崎厚一・狩谷寿志・中野尚夫・川中弘二 1992. 大区画水田における圃場の均平度が田植の精度並びに水稻の生育・収量に及ぼす影響について. 日本作物学会中国支部研究集録 33: 28-29.
- 斎藤祐幸, 2018. 密播育苗における播種後苗箱の貯蔵技術. 北陸作物・育種学会第 55 回講演会・シンポジウム講演要旨, 1.
- 斎藤満保・伊藤富士子 1986. 水稻箱育苗における播種量と苗質の関係. 日本作物学会東北支部会報 29: 1-2.
- 澤本和徳, 2016. 高密度育苗による水稻低コスト栽培技術. 南石晃明・長命洋佑・松江勇次編著, TPP 時代の稲作経営革新とスマート農業, 養賢堂, 148-154.
- 澤本和徳・宇野史夫 2016. 「高密度播種した稚苗による水稻移植栽培技術」の現地栽培における生育, 収量, 玄米品質および経営者評価. 北陸作物学会報 51: 44-49.
- 澤本和徳・伊勢村浩司・佛田利弘・濱田栄治・八木亜沙美・宇野史生, 2019. 石川県における育苗箱に高密度に播種した水稻稚苗の形質および本田での生育・収量・玄米品質. 日本作物学会紀事, 88, 27-40.
- 新稲作研究会, 2018. 平成 29 年度新稲作研究会委託試験・現地実証展示圃成績. 新稲作研究会・公益社団法人農林水産・食品産業技術振興協会, 東京, 5-72.
- 杉本勝男・佐本啓智 1979. 稲稚苗移植栽培における欠株の補償について. 日本作物学会紀事 48: 214-219.
- 水稻湛水土壤中直播技術研究会 1990. 稲作に関する資料 8 章育苗・田植 4 節水稻植付様式別作付面積: 138-141.
- 水稻直播研究会 1995. 稲作に関する資料 6 章育苗・田植 2 節水稻植付様式別作付面積: 116-119.
- 高橋渉・金田宏・吉田稔・荒井清完・守田和弘 2006. 育苗日数と気温が水稻箱育苗の根張りに及ぼす影響. 北陸作物学会報 41: 42-44.
- 種田貞義 1992. 新潟県における乳苗移植栽培の現状と問題点. 北陸作物学会報 27: 113-115.
- 富久保男・河原祐志・杉本真一 1991. 水稻の機械移植栽培における欠株が収量に及ぼす影響. 日本作物学会中国支部研究集録 32 : 26-27.
- 梅本雅, 1999. 直播栽培が広く普及していかない要因は何か. 農業技術 54, 170-174.
- 宇野史生・中村弘和・島田雅博・吉田翔伍・山田陽子・石川芳弘・澤本和徳, 2018. 高密度播種苗の育苗期間が苗質および移植後初期生育に及ぼす影響とタチガレエース M 液剤の有効性. 北陸作物学会報, 53, 27-30.

山本由徳 1987. 機械移植栽培水稻における1株植付苗数と移植後の生育並びに収量関連形質との関係. 日本作物学会四国支部会報 24: 15-20.

山本由徳・池尻明彦・新田洋司 1995. 葉齢を異にする水稻苗の活着, 初期生育および出穂特性. 日本作物学会紀事 64: 556-564.

山本良孝 2012. 「コシヒカリ」の生育診断並びに高品質安定栽培技術の開発・普及. 北陸作物学会報 47: 7-10.

山内稔, 2012. 鉄コーティング種子を用いた水稻湛水直播技術. 日本作物学会紀事, 81, 148-159.

ヤンマー株式会社, 2018 a. YR-D 密苗仕様.

https://www.yanmar.com/jp/agri/products/riceplanter/riceplanter/yr5d_yr6d_yr7d_yr8d/mitsunae.html (2018/12/6 閲覧)

ヤンマー株式会社, 2018 b. 密苗クイックマニュアル Ver. 2.

Study of the Establishment and Dissemination of Transplant Cultivation Method "High-Density Seedling Mats" Seeded Seedlings

Kazunori Sawamoto

Summary

Currently, in rice cultivation management in Japan, it is important to further raise the added value of rice and reduce the production cost. Here, I have focused on seeding/nursing seedling that constitute 13% of the total working time in rice cultivation by increasing the seeding amount per nursery tray. I believe that, through this approach, it will be possible to drastically reduce the number of nursery trays used, which will reduce the seedling material cost and ultimately reduce the cost of labor involved in nursery management and transplantation. To meet this challenge, I developed a new transplant cultivation method. Seedlings seeded at a high density in nursery trays were defined as “high-density seedling mats” (registered trademark No. 5864399). In this study, I first clarified the characteristics of the seedling traits, yield, and grain quality with regard to this transplant cultivation method of high-density seedling mats, and then evaluated the planting accuracy dedicated to high-density seedlings transplanter. Through field demonstration cultivation, I confirmed the applicability of this technology in various regions of Japan.

1. Growth, Yield, Grain Quality, and Seedling Characteristics of Rice Seedlings Sown in High-density Condition for Nursery Trays in the Ishikawa Prefecture, Japan

I conducted the following analysis for 2 years at the experimental field of the Ishikawa Prefectural Agricultural Experiment Station, Japan. The variety used for the test was “Koshihikari”. Rice seedlings sown at high densities of 250 and 300 g dry seeds per nursery box were grown for 15 or 24–25 days before being transplanted into the paddy field. From each high-density seedling mat, 3–4 seedlings per hill were planted using a rice transplanting machine, which was modified to pick a small area of the seedling mat. The plant age in the leaf number of each seedling was 3.0–3.6 and the plant height was 8–12 cm at the time of transplantation. The planting accuracy was high as the frequency of vacant hills was 0.0–6.3 % and as there were no continuous blank hills. The number of high-density seedling mats required for transplanting was 4.7–7.2 per 0.1 ha. The heading and maturity dates of high-density seedling were 1–2 days later than the

conventional dates. No significant difference was noted between the crops grown from the conventional and high-density seedlings in terms of traits, such as maximum tiller number, panicle number, grain yield, perfect grain ratio, and grain protein content.

2. Evaluation of the Planting Accuracy of a Rice Transplanter Designed for High-Density Seedlings

—Comparison of High-Density, Young, and Nursling Seedlings—

A rice transplanter designed for high-density seedlings can pick up small blocks from seedling mats. I compared the planting accuracy of high-density, young, and nursling seedlings using a rice transplanter designed especially for high-density seedlings. This rice transplanter could successfully plant approximately 4 plants per hill for all 3 types of seedlings by adjusting the slide times of the seedling mats and the length of the seedling blocks. High-density and young seedlings were transplanted from soil in a nursery tray, and approximately 80 % of the picked seedlings were planted at frequency 2–6 plants per hill. Due to the light weight of seedling block and the higher density or nursling seedlings with rock wool mat, the missing hills exceeded 5 % in some cases.

3. Local Adaptability and Farmers' Evaluation of Rice Cultivation by Transplanting Using High-Density Seedling Mats in Japan.

This study aimed to determine the local adaptability and the farmers' opinion on the transplanting method that uses high-density seedling mats in Japan by empirical cultivation. This study involved the evaluation of 53 rice varieties by 342 farmers across 36 prefectures. An average of 7.6 trays were used in a 0.1 ha area of paddy field. At 57 % of the demonstration sites, the yield was equal to or better than that from the conventional cultivation methods. With the total mean of the demonstration sites, the seedling height was 13.3 cm and the yield per 0.1 ha was 515 kg, thereby the seedlings at the time of transplantation and yield were secured. The high-density seedling mat method was found to be highly adaptable to different regions and rice varieties. Moreover, because fewer trays were required, the farmers noted a reduction in both labor and seedling production costs. This approach showed merits not only for large-scale farmers but also for small-scale farmers.

4. Production Cost of Rice Cultivation by Transplanting Using High-Density Seedling Mats

To evaluate the production costs of rice cultivation by transplanting using high-density seedling mats in comparison to that by the conventional transplanting cultivation method, sparse planting cultivation

and direct seeding using iron-coated seeds in a 30-ha rice farm were performed. As compared to the production cost in conventional transplanting, the production cost of high-density seedling mats was 96.4%, sparse planting cultivation was 97.7%, and direct seeding using iron-coated seeds was 97.7%. The main reasons for the decline in the production costs were the reduction in the cost of materials and facilities related to nursery in high-density seedling mats and sparse planting method and that in direct seeding using iron-coated seeds, seeding trays and nursery facility expenses were unnecessary. All 3 three cultivation methods involved decreased labor costs from seed prevention to rice planting or direct seeding. For working time related to the handling of nursery trays, which is a problem in transplanting cultivation, for seeding trays/nursery/transplanting, it was estimated that the cost when using high-density seedling mats was reduced to 50.4%, when using sparse planting cultivation to 84.6%, and when using direct seeding using iron-coated seeds to 44.4% in comparison to those in the conventional transplantation cultivation.

In the use of high-density rice seedling mats cultivation, there is no necessity of changing the conventional manner of nursery management or acquiring new nursery materials, except for the need for a new rice transplanting machine. It was suggested that high-density seedling mats transplanting cultivation method could achieve the same yield and quality as those achieved through conventional transplanting cultivation. Reducing the number of nursery trays required for transplantation allowed for reduction in the production cost through a reduction in the cost of material and labor required for seeding/nursing/transplanting work. This cultivation method reduces transplanting work and the number of nursery trays used for transplantation, material cost, and labor that are involved in seeding, nursery, and transplanting work, therefore, the production costs are reduced.

謝 辞

本研究のとりまとめに際して、京都大学大学院の稲村達也教授には終始懇切なるご指導とご鞭撻を賜った。ここに記して謹んで感謝の意を表する。

それぞれの研究結果を整理する際に、農研機構東北農業研究センターの古畑昌巳上級研究員、九州大学大学院の松江勇次特任教授、京都大学大学院の白岩立彦教授、飯田訓久教授に有益なご助言を賜った。密苗移植栽培技術を開発するきっかけを与えてくださった石川県野々市市の株式会社ぶった農産の佛田利弘社長をはじめ、ともに研究に取り組んだ石川県羽咋市の農事組合法人アグリスターオナガの濱田栄治代表、ヤンマーアグリ株式会社の伊勢村浩司部長とは多くの議論を通して実験方法や結果の解析に関する示唆を頂いた。実験の中核部分は石川県農林総合研究センターにて実施した。島田義明所長をはじめ、育種栽培部の研究員および水田班職員の方々に多大なご協力を頂いた。実証試験は、石川県の各農林総合事務所、ヤンマーアグリジャパン株式会社の本支社、日本各地のJAや研究・普及指導機関等にご協力を頂いた。実証栽培を引き受けてくださった各地の農業者の方々からは、技術改善のための多くの意見や提案を頂いた。そしてヤンマー株式会社は本研究をとりまとめる機会を与えてくれた。これらの方々に、衷心より御礼申し上げる。

