

種子付きマットを用いた水稻の箱なし育苗法

白 土 宏 之*¹⁾

抄 録：水稻育苗の省力化と軽作業化を図る目的で、水稻の箱なし育苗法を開発した。まず、もみから成型マットに、ハードニングした水稻種子と覆土を接着した、種子付きマットを開発した。種子付きマットは95%以上の出芽率を208日間維持した。種子付きマットを利用した箱なし育苗には、苗床被覆資材としてはポリマルチ、覆土量は300g~400g、育苗開始時の灌水量は1.5Lが適当であった。育苗期間が慣行苗より4日~8日長く、苗丈3cm~6cmの時に保温資材の被覆を除去すると慣行苗と同等の苗形質の箱なし苗が得られた。箱なし苗は、欠株率がやや高いことを除けば、苗生育、本田生育、収量、品質の点で、慣行苗と同等であった。最後に、現地試験において、箱なし育苗の作業性や移植精度などを慣行苗と比較した。箱なし苗は、育苗準備の作業時間が慣行の約1/3になり、苗箱の回収・洗浄・保管が不要となった。箱なし苗の重量は慣行の半分以下で軽作業化に効果があった。箱なし苗は慣行苗より欠株率が高かったが、苗運搬の欠株率に対する影響は小さいと考えられた。

キーワード：水稻、種子付きマット、ハードニング、箱なし育苗

"No-Box Nursing" Using Rice "Seed-Mats" : Hiroyuki SHIRATSUCHI*¹⁾

Abstract : The "no-box nursing" method was developed to save labor when raising rice seedlings and to reduce the burden of carrying heavy seedling mats. "Seed-mats" that consisted of molded rice-hull mats with hardened rice seeds, with covering soil glued onto them were developed. Polyethylene mulch was suitable as a substrate on which to place the seed-mats. The appropriate amount of covering soil ranged from 300 g to 400 g. At the beginning of raising no-box seedlings, 1.5 L of water per mat was recommended. The growth of the no-box seedlings was equal to or better than that of the conventional seedlings when the nursery period for the former was longer by four days to eight days compared to that of the conventional seedlings and covering sheets were removed when the seedlings ranged from 3 cm to 6 cm long. The no-box seedlings were equal to the conventional seedlings in growth in a paddy field, yield, and grain quality, but not in the missing percentage of transplanted seedlings. In farmers' field, the no-box seedlings decreased labor time needed to prepare for raising seedlings to about one third of that needed for the conventional seedlings. The weight of a seedling mat of the no-box seedlings was less than half of the conventional seedlings.

Key Words : Hardening, No-box nursing, Rice, Seed-mat

目 次

I 緒言	78	IV 箱なし苗の無加温平置育苗における被覆期間と育苗期間が苗形質、生育、および収量に与える影響.....	91
II ハードニング種子と覆土を接着した水稻種子付きマットの開発	79	1. 材料および方法	
1. 材料および方法		2. 結果	
2. 結果		3. 考察	
3. 考察		V 種子付きマットを用いた箱なし苗の作業性.....	103
III 箱なし育苗に適した苗床被覆資材、覆土量、および灌水量の検討	85	1. 材料および方法	
1. 材料および方法		2. 結果	
2. 結果		3. 考察	
3. 考察		VI 総合考察.....	106
		1. 慣行育苗の問題点の解決	
		2. 今後の応用と課題	
		引用文献.....	107

* 1) 農研機構 東北農業研究センター (NARO Tohoku Agricultural Research Center, Daisen, Akita 014-0102, Japan) 2012年11月5日受付、2013年1月15日受理

I 緒 言

わが国における農業生産の現場では、農家の高齢化と大規模農家の増加が進行している。農業就業人口（販売農家における農業従事者のうち、主に自営農業に従事した世帯員数）に占める65歳以上の割合は2005年の58.2%から2010年の61.6%に5年で3.4ポイントも増加している（2000世界農林業センサス、2010世界農林業センサス）。経営面積規模別の経営面積集積割合をみると、30 ha以上の割合が2005年の20.7%から2010年には26.2%に増加する一方、2 ha以下の割合は36.1%から30.2%に減少している。

水稻の移植栽培ではこのような担い手の高齢化や大規模化により、播種から移植の間の複数回にわたる重い苗箱の運搬が労働負荷の側面から問題となっている。梅本（1992）は稲作における労働負荷が大きい作業工程として、育苗・移植時の土や苗の運搬と収穫時の穀の運搬を挙げている。現在、穀運搬はグレンタンク付コンバインで機械化されたが、苗の運搬が手作業中心の重労働である状況は大きくは変わっていない。稚苗移植の場合10 aあたり20枚の育苗箱が必要で、育苗箱のハンドリング全てを累計した育苗箱運搬総重量は10 aあたり1 tを越える（大野ら 2001）。苗の運搬等の補助作業は高齢者や女性が担当することも多く、その軽作業化は依然として重要な課題のまま残されている。また、苗の枚数は作付面積に比例するため、大規模経営において効率的になるという性質のものではない。むしろ、取り扱う苗の枚数に比例して労働負荷が増えるため、大規模経営において軽作業化は一層重要な課題である。さらに、従来の育苗方法は育苗箱を用いるため育苗箱の回収・洗浄の手間や保管場所が必要であり、農作業が競合する春季に播種をしなくてはならないなどの問題もある。育苗箱の回収や洗浄が苦痛だという農家の声は多く、実際、育苗箱の洗浄が削減されることをロングマット水耕苗の導入理由に挙げる農家もいる（松本 2005）。佐々木ら（2004）によると、慣行移植体系では空の育苗箱回収に0.35時間/10 aから0.5時間/10 aも要している。梅本（1992）によると移植日の作業時間は苗補充、均平、空育苗箱片づけ、水管理の合計で10 aあたり0.98時間も要している。このように、使い終わった育苗箱の取り扱いには、かなりの労力的、心理的、時間的負担が生じているといえる。このような問題の根本

的解決は移植を行わず水田に直接播種する、すなわち、直播することである。しかし、収量が移植より1割低下する（鈴木 2006, 吉永ら 2008）、播種機を買う必要があるといった問題があり、2010年の直播栽培面積は21,690 ha（農林水産省速報値）で水稻作付面積の1.3%にすぎない。また、直播は移植より成熟期が遅れるため、収穫時期の分散も直播導入の重要な効果の一つであるが（鈴木 2006）、収穫時期の分散効果は移植栽培との組み合わせが前提である。したがって、直播栽培面積が伸びている現状においても、移植栽培の省力化・軽作業化は引き続き重要な課題であるといえる。

これまで、移植栽培の省力化技術としてロングマット水耕苗が開発され（Tasaka 1999, 北川ら 2004）、普及し始めている（松本 2005）。しかし、ロングマット水耕苗は種子予措から移植終了までの作業時間が慣行の約40%と省力化効果は大きいものの（佐々木ら 2004）、育苗施設への初期投資が10aあたり55,850円と大きく（松本 2005）、手軽には取り組めない。育苗方法と移植方法は基本的に従来のままとし、1枚の苗の重量を減らす方法としてはもみがら成型マット（成田・高城 2000、小笠原・鎌田 2002、星・高橋 2002、矢野・菊池 2002）や床土代替資材（平岡ら 1981、金・金田 1997、村上ら 2000、村上ら 2001、沼田ら 2001）の利用、および培土を減量する方法（藤井・佐々木 1993、大谷ら 2000、高橋 2003、高橋ら 2004b）がある。育苗箱の枚数を減らす方法としては疎植栽培（真鍋ら 1989、大野ら 2001）がある。乳苗栽培では軽いロックウールマットと、播種量の増加による苗の枚数減少を組み合わせることで苗の重量を減少させている（伊藤 1995）。これらの技術は、軽作業化という点では効果的であるが、育苗箱は必要であり、播種も育苗直前にする必要がある。

本論文では、これらの問題の解決のため、もみがら成型マットに種子を貼り付けた種子付きマットの開発と、種子付きマットを利用して育苗箱を用いずに育苗する箱なし育苗法の開発研究に取り組んだ。箱なし育苗としては、これまで育苗プール内に枠を設置し、床土を詰めて専用播種機で播種する方法が試みられている（横田ら 1997）。しかし、この方法は育苗箱を枠に代えただけであり、春季の作業競合や苗の重量といった課題は解決されていない。すなわち、育苗開始時に播種しなくてはならず、土

を培地としているため慣行の苗箱育苗と同程度の苗を育苗しようとする苗マットも慣行と同程度の重量になる。また、枠と専用播種機が必要であり、実用化には至っていない。一方、保存可能な種子付きマットを開発できれば、農閑期の播種や工場での製造が可能となる。もみがら成型マットを材料とすることにより軽量化も可能となる。さらに、育苗をする場合にも枠は必要なく、苗箱の回収・洗浄、保管場所も不要となる。

本研究は4つの研究から構成されている。第Ⅱ章では、種子付きマットの開発に取り組んだ。第Ⅲ章では、種子付きマットを利用して育苗箱を使わずに田植機用の苗を育成する箱なし育苗に適した育苗条件を明らかにした。第Ⅳ章では、箱なし苗と慣行苗の苗形質、移植精度、生育、収量を比較し、箱なし苗の評価を行った。なお、慣行苗とは、床土および覆土に育苗用の土を用い、催芽した種子を播種して苗箱で育成した苗を指すこととする。第Ⅴ章では、現地試験における箱なし育苗の作業性や移植精度を慣行苗と比較した。

本研究は、中央農業総合研究センター関東東海総合研究部総合研究第2チームならびに東北農業研究センター東北水田輪作研究チームにおいて行ったものである。本論文は既に公表した論文 (Shiratsuchi *et al.* 2008、白土ら 2008、白土ら 2009) をもとに取りまとめたものである。本論文の作成においては、東京大学大学院農学生命科学研究科大杉立教授から懇切なご指導を賜った。中央農業総合研究センター関東東海総合研究部総合研究第2チーム小倉昭男チーム長 (現(社)農林水産・食品産業技術振興協会) には、種子付きマット関連の研究テーマを与えて頂き、水稻苗の機械移植についてご指導を賜った。後任の岡田謙介チーム長 (現東京大学大学院農学生命科学研究科教授) には、研究遂行に際して懇切なご指導を賜った。同チームの北川寿主任研究員 (現九州沖縄農業研究センター水田作・園芸研究領域主任研究員) には、水稻苗の形質や移植精度の調査方法をご指導いただいた。東北農業研究センター東北水田輪作研究チーム吉永悟志上席研究員 (現中央農業総合研究センター水田利用研究領域上席研究員) には、研究遂行に際して懇切なご指導を賜った。近畿中国四国農業研究センター稲収量性研究近中四サブチーム長田健二主任研究員 (現水田作研究領域上席研究員) には学位論文作成についてご助言を頂いた。

J A 全農営農技術センター中西一泰氏には、種子付きマットの材料であるもみがら成型マットとポリビニルアルコールを供給して頂くとともに、プール育苗についてご指導を頂いた。(株)山本製作所鈴木光則氏には、種子付きマット製造についてご助言と装置の提供をして頂いた。茨城県谷和原村 (現つくばみらい市) 農家中川ふみ子氏とつくば市農家一石司夫氏には現地試験に協力して頂いた。中央農業総合研究センター業務第1科、業務第2科、東北農業研究センター業務第3科の職員と契約職員の方々には育苗や移植、栽培管理、調査でご協力頂いた。中央農業総合研究センター関東東海総合研究部総合研究第2チームと東北農業研究センター東北水田輪作研究チームの契約職員の方々には調査にご協力頂いた。東京大学大学院農学生命科学研究科故石井龍一教授からは、折に触れて励ましの言葉を掛けて頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

Ⅱ ハードニング種子と覆土を接着した水稻種子付きマットの開発

水稻の箱なし育苗技術を開発するに当たり、水稻の種子と覆土をマットに接着した種子付きマットを開発することを目的とした (図1 A、B)。苗箱がなくても苗マットの形を維持できる種子付きマットを開発すれば、田植機用の苗を育苗箱なしで育成できると考えたからである (図1 C、図2)。種子付きマットを実用化する場合、冬季に工場ですべて生産し、春に農家が育苗に使うという方式が想定される。そのためには常温で数ヶ月保存可能でなくてはならない。これまで種子を固定した田植機用のマットはいくつか考案されているが (中谷 1981、桑原ら 2002、中橋ら 2003)、全て催芽種子を用いたマットで、育苗しないマットを田植機でそのままかき取って植え付ける直播を目的としたものであり、常温で保存できる移植用の種子付きマットはなかった。

常温での保存性以外に求められる種子付きマットの特性としては、出芽が早く苗の生育が良いことと、重量が軽いことが挙げられる。イネ種子の発芽を早めるために行う吸水による活性化処理として、浸透溶液に浸漬して乾燥するプライミング (Singh・Chatterjee 1980、落合ら 1995、Lee *et al.* 1998a、b、c、Lee and Kim 2000)、水に浸漬して乾燥するハードニング、(Singh and Chatterjee 1980、Lee *et al.* 1998a、b、Harris *et al.* 1999、Andoh・Kobata

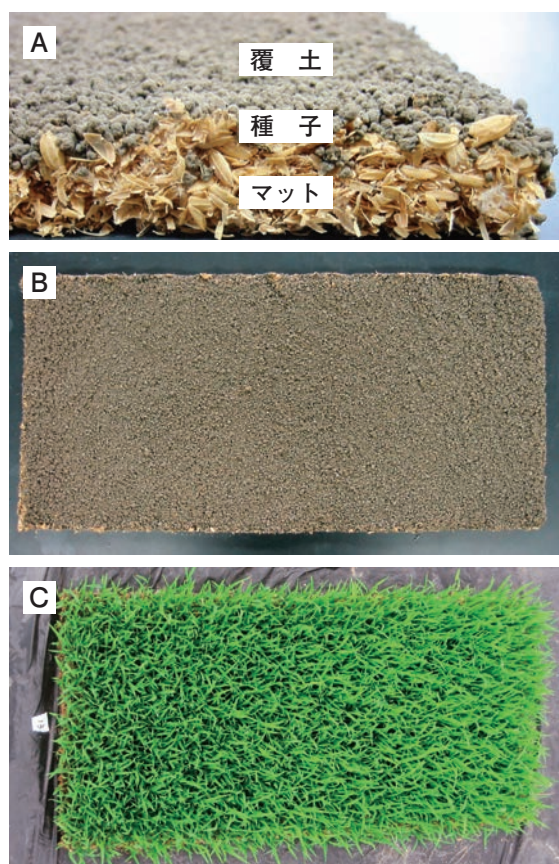


図1 覆土付の水稻の種子付きマット

横からの写真(A)、上からの写真(B)、育苗箱を使わずに種子付きマットで育苗した苗マットの上からの写真(C)。



図2 水稻の種子付きマットから育成した苗マットを田植機へセットする状況

2000、Lee・Kim 2000、安藤・小葉田 2002、山内 2002)、高湿度中で吸水させ乾燥するヒューミディフィケーション (Lee *et al.* 1998b) が報告されている。ここでは、数百キロの種子を処理することを想定して、均一な処理が容易なハードニングを採用した。その理由としては、プライミングでは大量の浸透溶液の作成と浸漬後の種子の洗浄が必要で労力がかかり、また、ヒューミディフィケーションは相対湿度を維持する装置が必要で、大量の種子を均一に処理するのが困難と予想されたためである。ハードニング種子は、自然状態で保存可能で (山内 2002)、50 % 発芽時間 (T_{50}) が無処理種子の約60 %~80 %と短く (Lee *et al.* 1998a、b、Harris *et al.* 1999、Basra *et al.* 2005)、出芽率は無処理種子の約100 %~約1700 % (Andoh・Kobata 2000、安藤・小葉田 2002、Basra *et al.* 2004)、苗の乾物重 (山内 2002、Basra *et al.* 2004) が無処理種子の約150 %~約240 %と無処理種子より優れていると報告されている。また、イネでは種子が休眠している場合、ハードニングの前に乾熱処理による休眠打破が推奨されている (山内 2002)。しかし、乾熱処理が必要となる休眠程度や乾熱処理とハードニングの相互作用は明らかになっていない。

軽量化については、マットの素材として軽いもみから成型マットを使用すれば、慣行の苗よりも苗マットを軽くすることができる。このため、本章ではもみから成型マットを使用した。また、覆土が不要であればより一層の軽量化が可能である。種子がマットにしっかり接着されていれば、覆土がなくても根がマットに入るので、育苗は可能である。覆土が不要であれば製造コストも下がる。

本章では、①休眠程度の異なる種子の発芽に対する乾熱処理とハードニングの効果、②ハードニング処理が種子付きマットの苗の生育に与える影響、③ハードニング種子を用いた種子付きマットの常温での保存可能期間、④種子付きマットの覆土の有無が苗の生育に与える影響を検討した。

1. 材料および方法

1) 種子

日本型水稻品種コシヒカリを用いた。コシヒカリの種子の休眠程度は日本品種の中では強い (丸山・佐本 1977のデータ)。種子は茨城県において2002年 (試験4、5)、2003年 (試験1-3)、2004年 (試験6、7) の秋に収穫されたものを用いた。

2) ハードニングと乾熱が発芽に与える影響
(試験1-3)

休眠程度が異なる種子を用いて、活性化処理であるハードニング処理と休眠打破処理である乾熱処理が発芽に与える影響を調べるために3回の発芽試験を行った。ハードニング処理として種子を15℃の水に5日間浸した後、35℃で2日間(試験1、2)または45℃で1日(試験3)乾燥した(表1)。50℃7日間(試験1、2)または5日間(試験3)の乾熱処理を単独(乾熱処理)、またはハードニング処理前に行った(乾熱-ハードニング処理)。ハードニング処理後の乾熱処理も試験1で実施した(ハードニング-乾熱処理)。対照区として無処理種子を用いた。

1区あたり100粒の種子を、濾紙を敷いた9cmシャーレに入れて、水を加えて30℃暗黒条件で発芽させた。幼芽または幼根が2mm以上の種子を9日間毎日数えて、取り除いた。全発芽種子数を基準としたT₅₀をFarooq *et al.* (2005)に従って計算した。試験区配置は5ブロック(試験1)または4ブロック(試験2、3)の乱塊法とした。

3) ハードニングが苗の生育に与える影響
(試験4)

ハードニングが種子付きマットの苗の生育に与え

る影響を調べるために、茨城県つくば市にある中央農業総合研究センター(北緯36度1分、東経140度6分)のビニールハウスで育苗を行った。種子付きマットは、N、P₂O₅、K₂O各1gを含むもみから成型マット(28cm×58cm×1.5cm、450g)に、15℃の水に5日間浸して35℃で2日間乾燥させたハードニング種子または無処理種子150gと覆土380g(N:0.18g、P₂O₅:0.36g、K₂O:0.32gを含む)をポリビニルアルコールで接着して作成した。2004年3月28日に種子付きマットを苗箱に入れずにポリエチレンフィルムの上に置き、灌水した後、出芽を促進させるために不織布付のシルバーポリエチレンフィルム(シルバーラブ#90、東罐興産、東京)で被覆した。苗丈が約4cmになったときに除覆した。4月5日に種子付きマット1枚につき100個体をサンプリングし、出芽数を数えた。4月18日に種子付きマット1枚当たりN、P₂O₅、K₂O各1gを追肥した後、4月24日に種子付きマット1枚当たり20個体をサンプリングし、苗丈と葉齢を測定した。本研究では葉齢は全て不完全葉を1葉とした。苗から根と種子を除去し、80℃で3日間乾燥した後、重量を測定し、個体の茎葉乾物重を求めた。試験区配置は4ブロックの乱塊法とした。育苗期間中のハードニング種子の種子付きマットの温度は平均21.5℃、標準

表1 種子処理

試験	種子処理	ハードニング前	ハードニング		乾熱処理前
		乾熱処理	浸漬	乾燥	ハードニング
1	乾熱	50℃、7日	- ^{a)}	-	-
	乾熱-ハードニング	50℃、7日	15℃、5日	35℃、2日	-
	ハードニング	-	15℃、5日	35℃、2日	-
	ハードニング-乾熱	-	15℃、5日	35℃、2日	50℃、7日
	対照	-	-	-	-
2	乾熱	50℃、7日	-	-	-
	乾熱-ハードニング	50℃、7日	15℃、5日	35℃、2日	-
	ハードニング	-	15℃、5日	35℃、2日	-
	対照	-	-	-	-
3	乾熱	50℃、5日	-	-	-
	乾熱-ハードニング	50℃、5日	15℃、5日	45℃、1日	-
	ハードニング	-	15℃、5日	45℃、1日	-
	対照	-	-	-	-
4	ハードニング	-	15℃、5日	35℃、2日	-
	対照	-	-	-	-
5	ハードニング	-	15℃、5日	35℃、2日	-
6.7	ハードニング	-	15℃、5日	40℃、2日	-
	対照	-	-	-	-

a. -は処理していないことを示す。

偏差5.1℃であった。

4) 覆土の効果 (試験5)

覆土が苗の生育に与える影響を調べるために、試験4と同様のハードニング種子を使った種子付きマットと覆土なしの種子付きマットを用いて、試験4と同様にビニールハウス内で育苗を行った(表1)。種子付きマットを苗箱に入れずにポリエチレンフィルムの上に置き、低温で吸水させるために2004年3月27日に被覆せずに灌水し、4月1日に試験4と同じもので被覆した。苗丈が約4 cmになったときに除覆した。4月8日から半分の種子付きマットをプールに入れ、残りはそのまま上面から灌水した。育苗期間中の種子付きマットの温度は、上面灌水・覆土あり区が平均21.7℃、標準偏差4.1℃、プール・覆土あり区が平均21.6℃、標準偏差4.5℃であった。

試験4と同様の方法で、出芽数は4月13日に数え、苗形質は4月27日に調査した。試験区配置は水管理を主区、覆土の有無を副区とする4ブロックの分割区法とした。

5) 保存性 (試験6、7)

試験6では、ハードニング種子の保存性を明らかにするために、ハードニング種子と無処理種子の貯蔵期間中の発芽率と T_{50} を調べた。ハードニング処理として、2005年3月3日から15℃の水に5日間浸漬し40℃で2日間乾燥した(表1)。ハードニング種子と無処理種子は3月23日まで約7℃で保管し、2006年2月16日まで300日間、網袋に入れた後段ボール箱に入れて空調のない部屋で貯蔵する区と、プラスチック容器に入れて約7℃の冷蔵庫で貯蔵する区を設けた。貯蔵室内の日平均気温は 22.9 ± 5.9 ℃(平均±標準偏差)で、日平均相対湿度は 58 ± 5 %であり、冷蔵庫の日平均気温は 7.2 ± 0.5 ℃であった(図3)。発芽率と T_{50} は30℃24時間明条件で約30日おきに10日間ずつ貯蔵開始300日後まで調査した。

試験7では、ハードニング種子と覆土500 gを接着した種子付きマットを2005年3月14日に作成し、試験6と同じ部屋と冷蔵庫で貯蔵した。覆土にはNが0.24 g、 P_2O_5 が0.48 g、 K_2O が0.42 g含まれており、もみがら成型マットにはN、 P_2O_5 、 K_2O が各1.2 g含まれていた。約30日間隔で各処理4片(約6 cm×7 cm)の種子付きマットを採取した。種子付きマット片をプラスチック容器(12.5 cm×7 cm×5 cm)に1つずつ入れて、冠水しないように灌水した。試

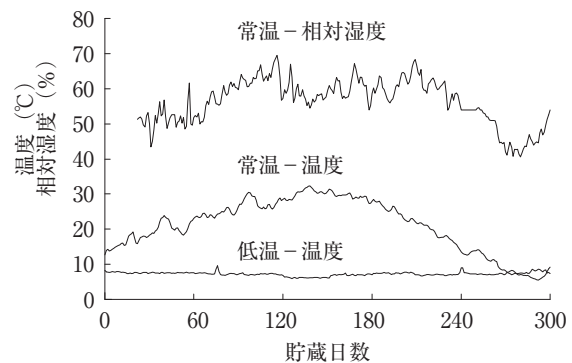


図3 水稻種子と種子付きマットを貯蔵している常温条件の部屋の日平均温度と日平均相対湿度および低温条件の冷蔵庫の日平均温度(試験6、7)。

験6と同じ条件で7日間育苗を行い、100個体をサンプリングし、出芽数を数えた。試験区配置は4ブロックの乱塊法とした。

6) 統計解析

試験1-3では、SAS(ver. 9.1, SAS Institute Inc, Cary, NC)のGLMプロシジャーを使って、平方根変換した発芽率について処理間の比較をTukey法($P < 0.05$)でおこなった。試験4では、平方根変換した出芽率、苗丈、葉齢、および茎葉乾物重について分散分析(ANOVA)をSASのGLMプロシジャーでおこなった。試験5では、平方根変換した出芽率、苗丈、葉齢、および茎葉乾物重について分割区法の分散分析を行った。

2. 結果

1) 乾熱処理とハードニングが発芽に与える影響

試験1-3の種子を対照区の T_{50} に基づいて、休眠強、休眠中、休眠弱に分類した(表2)。 T_{50} が長い種子は深く休眠していると見なした。休眠強種子と休眠中種子は全ての処理(乾熱、乾熱-ハードニング、ハードニング、ハードニング-乾熱)で発芽率が増加したが、休眠弱種子では乾熱-ハードニング処理で発芽率が低下した(表2)。一方、 T_{50} は休眠程度にかかわらず、全ての種子について全ての処理で短くなった。休眠弱種子では、ハードニング処理は乾熱処理より T_{50} 短縮効果が大きかったが、休眠強種子と休眠中種子ではハードニング処理の効果は乾熱処理と同程度であった。しかし、休眠強種子と休眠中種子では、ハードニング処理の T_{50} 短縮効果は、乾熱処理を事前に行うことで有意に増加した

(乾熱-ハードニング区)。休眠弱種子ではこの効果は認められなかった。さらに、休眠強種子ではハードニング-乾熱処理は乾熱-ハードニング処理よりT₅₀短縮効果が小さかった。

表2 種子処理が水稻種子の発芽率と50%発芽時間(T₅₀)に与える影響

試験	休眠程度	種子処理	発芽率 (%)	T ₅₀ (日)
1	強	乾熱	99±0a	2.7±0.1b
		乾熱-ハードニング	96±1a	1.7±0.0d
		ハードニング	96±1a	2.7±0.1b
		ハードニング-乾熱	98±1a	2.3±0.0c
		対照	86±2b	4.3±0.1a
2	中	乾熱	99±0a	1.9±0.0b
		乾熱-ハードニング	99±1a	1±0.1c
		ハードニング	99±0a	1.7±0.0b
		対照	96±0b	3.6±0.2a
3	弱	乾熱	98±0a	2.2±0.0b
		乾熱-ハードニング	95±0b	1.5±0.0c
		ハードニング	99±0a	1.5±0.0c
		対照	99±0a	2.7±0.0a

データは平均 ± 標準誤差。
 同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey 法)。
 発芽率は平方根変換後に検定した。

2) ハードニング処理が苗の生育に与える影響
 試験4の結果、ハードニング種子は無処理種子より除覆が1日早かった (表3)。出芽率は両処理で差がなかった。ハードニング種子の種子付きマットの苗の茎葉乾物重は無処理種子より重かったが、苗丈と葉齢に両処理で差はなかった。

3) 覆土の有無が苗の生育に与える影響

覆土付の種子付きマットは覆土なしのものより1日早く除覆できた (表4、試験5)。覆土は、上面灌水の種子付きマットだけでなく、乾燥しないプール育苗の種子付きマットにおいても、苗丈、葉齢、茎葉乾物重を増加させた。

4) ハードニング種子の保存性

常温で貯蔵したハードニング種子の発芽率は186日間は94.8%以上であったが、その後低下した (図4、試験6)。一方、無処理種子は少なくとも240日間は95%以上の発芽率を維持した。

常温で貯蔵したハードニング種子のT₅₀は120日間は小さい値を維持したがその後わずかに増加した (図5)。ハードニング種子のT₅₀は120日間は無処理種子より小さかった。貯蔵期間208日以降はハードニング種子のT₅₀は無処理種子より大きくなった。低温条件ではハードニング種子のT₅₀は300日間上昇

表3 ハードニング処理が水稻の種子付きマットの苗生育に与える影響 (試験4)

処理	被覆日数	出芽率 (%)	苗丈 (cm)	葉齢 ^{a)}	茎葉乾物重 (mg)
ハードニング	7	96±2ns	12.1±2.3ns	4.1±0.0ns	13.6±0.1*
対照	8	94±3	12.5±1.0	4.0±0.0	12.8±0.3

a) 葉齢は不完全葉を1とした。
 データは平均 ± 標準誤差。
 *は5%水準で有意差があることを示し、nsは有意差がないことを示す。
 出芽率は平方根変換後に検定した。

表4 水管理と覆土の有無が水稻の種子付きマットの出芽率と苗の生育に与える影響 (試験5)

水管理	覆土量 (g)	被覆日数	出芽率 (%)	苗丈 (cm)	葉齢 ^{a)}	茎葉乾物重 (mg)
上面灌水	380	6	100±0	10.5±0.1	4.1±0.1	12.5±0.2
	0	7	92±3	7.8±0.2	3.9±0.0	8.9±0.2
プール	380	6	99±1	13.0±0.7	4.1±0.0	14.0±0.5
	0	7	97±1	11.0±0.4	3.9±0.0	11.5±0.2
分散分析						
水管理			ns	**	ns	**
覆土			*	***	***	***
水管理×覆土			ns	ns	ns	ns

a) 葉齢は不完全葉を1とした。
 データは平均 ± 標準誤差。
 *、**、***はそれぞれ5%、1%、0.1%水準で有意差があることを示す。
 nsは5%水準で有意差がないことを示す。
 出芽率は平方根変換後に検定した。

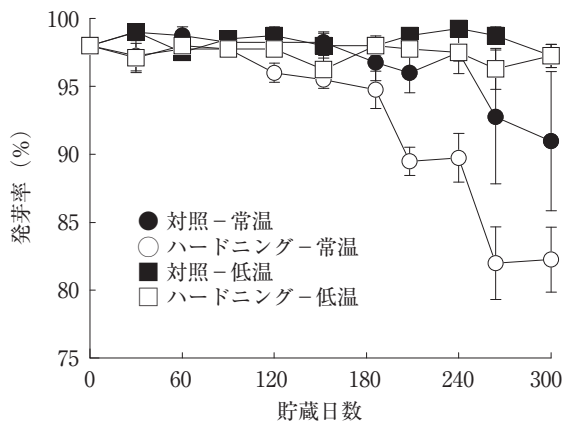


図4 水稻のハードニング種子と対照種子の常温条件と低温条件における貯蔵期間と発芽率 (試験6)
バーは標準誤差を示す。

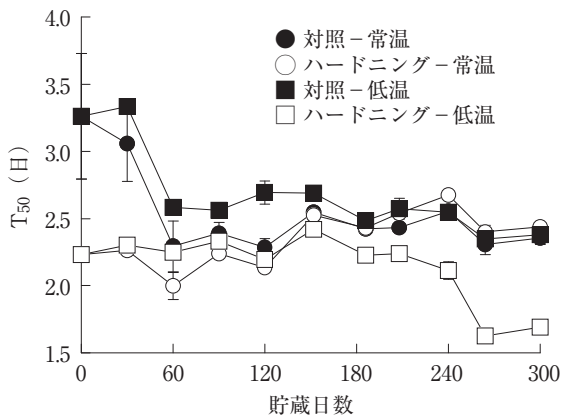


図5 水稻のハードニング種子と対照種子の常温条件と低温条件における貯蔵期間と 50% 発芽時間 (T₅₀) (試験6)
バーは標準誤差を示す。

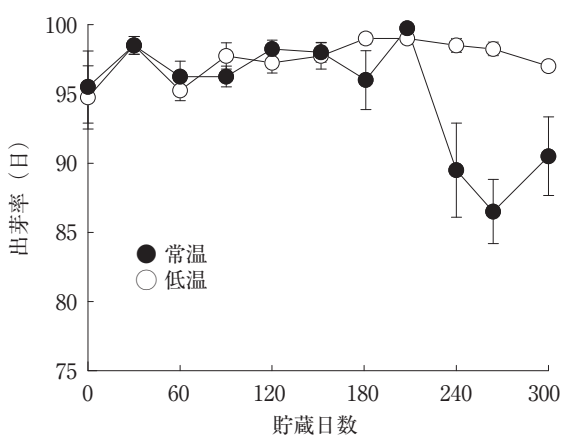


図6 水稻のハードニング種子を使った種子付きマットの常温条件と低温条件における貯蔵日数と出芽率 (試験7)
バーは標準誤差を示す。

しなかった (図5)。

5) 種子付きマットの保存性

ハードニング種子を用いた種子付きマットの出芽率は常温保存で208日間は95%以上であり、貯蔵240日後に90%に低下した (図6、試験7)。出芽率の低下はハードニング種子の発芽率の低下より遅かった (図4)。低温条件では、ハードニング種子を用いた種子付きマットの出芽率は、少なくとも300日は95%以上を維持した。

3. 考察

ハードニング処理のT₅₀短縮効果は、乾熱処理を事前に行うことで有意に増加した (表2)。また、ハードニング-乾熱処理は乾熱-ハードニング処理よりT₅₀短縮効果が小さかった。これらの結果は、ハードニングによる活性化と乾熱処理による休眠打破の効果は独立ではなく、事前の休眠打破は効果的なハードニングに必要であることを示唆している。イネではこのような報告はないが、他の植物では同様な結果が報告されている。テダマツでは、休眠打破処理である湿潤低温処理 (stratification) または活性化処理であるプライミング処理単独よりもプライミング処理前の湿潤低温処理により発芽時間が短縮された (Hallgren 1989)。ジャガイモ真正種子の効果的プライミング処理には休眠打破が必要であった (Pallais 1989)。しかし、これらの研究では、休眠打破処理はプライミング処理後には行われていなかった。したがって、休眠打破とハードニング処理やプライミング処理といった活性化処理の効果が独立かどうかははっきりしていなかった。

休眠強種子において事前の乾熱処理による休眠打破がハードニングによる活性化処理の効果を高めるという結果は、休眠の強い種子に比べて弱い種子において活発である発芽代謝が活性化処理の効果に関与していることを示唆している。プライミング処理の効果はプライミング処理中の呼吸、ATP合成、酵素活性の増加 (Khan 1992)、RNA含量の増加 (Khan 1992、Bray 1995)、DNAの修復や合成 (Welbaum *et al.* 1998)、タンパク質合成 (Khan 1992、Bray 1995、Welbaum *et al.* 1998)、細胞伸長 (Khan 1992、Bray 1995)、細胞分裂の制御 (Bray 1995)、胚の成長 (Bray 1995、Welbaum *et al.* 1998)、種皮の軟化 (Welbaum *et al.* 1998)、種子からの溶質漏出の減少 (Welbaum *et al.* 1998) などに関係していると考えられている。ハードニン

グによる活性化処理をした種子でもプライミング処理と同様の生理的变化が生じていると予想されている (Khan 1992) が、本章の結果から休眠打破による種子内の発芽関連代謝の向上がハードニングによる活性化の向上に結びつくことが示唆された。しかし、活性化処理のメカニズム解明に繋がる非休眠種子でのみ生じている発芽代謝はまだ報告されていない (Bewley 1997)。

ハードニング種子の種子付きマットは苗の茎葉乾物重が無処理種子よりも重く、除覆が1日早かった (表3)。このことはハードニング処理が発芽だけでなく、出芽も早めていることを示唆している。すなわち、ハードニング種子は苗の生育の点でも種子付きマットに適しているといえる。

覆土付の種子付きマットが覆土なしのものよりも1日早く除覆できたことは (表4)、覆土によって出芽が促進されたことを示唆している。またプール育苗においても覆土が苗の生育を促進させたことは、覆土が水分を保持するだけでなく、他の効果も有していることを示唆している。覆土に含まれる窒素成分は0.18 gでマットに含まれる1.00 gよりかなり少ないため、覆土は肥料と水分保持以外の機能、例えば、pH緩衝能、農薬等化学物質の吸着機能、保温機能などを持っている可能性がある。

ハードニング種子は少なくとも常温で120日間は T_{50} が無処理種子より短く (図5)、発芽率は95%以上であった (図4、図5)。水稻のハードニング種子が、95%以上の発芽率と T_{50} における優位性を常温で維持できる期間はこれまで報告されていなかった。本章の結果は、プライミング種子は無処理種子より貯蔵中に早く劣化し (Khan 1992, Bray 1995)、プライミング効果は老化過程で速やかに消失する可能性がある (Bray 1995) という従来の報告と定性的には符号している。一方、Basu・Pal (1980) は収穫1ヶ月後にハードニングしたインド型水稻品種の種子は無処理種子と比べて発芽率が大きく低下するが、収穫12ヶ月後にハードニングした種子は収穫12ヶ月後の無処理種子より発芽率の低下が小さいと報告した。これらの結果は互いに矛盾しているように見えるが、水稻種子の保存性に与えるハードニング処理の影響は、インド型品種と日本型品種で異なるとともに、種子の老化程度によって異なっていることを示唆している。同様に、プライミング処理が種子の保存性に与える影響についても互いに矛盾す

る結果が報告されているが、種 (Bray 1995) や種子の品質 (Hilhorst・Toorop 1997) の影響があると考えられている。

ハードニング種子を用いた種子付きマットの常温保存中の出芽率の低下は、ハードニング種子の発芽率の低下より遅かった (図4、図6)。このことは、種子付きマットの製造過程や種子付きマットとしての貯蔵がハードニング種子の品質に悪影響を与えないことを示している。ハードニング種子が低温条件で300日間、常温で120日間高い発芽能力を維持することから、種子付きマットは12月から3月の冬期に製造し、4月から5月の育苗期まで高い発芽能力を維持したまま貯蔵できることが明らかとなった。

このように、苗の生育の点から、種子付きマットにはハードニング種子と覆土の使用が適していた。 T_{50} が3.6日以上 of 休眠種子 (休眠程度中以上) では、事前の乾熱処理によりハードニング処理の発芽率と T_{50} に対する効果が向上した。種子付きマットは常温で少なくとも120日間は高い種子活性を維持できた。つまり、冬期に製造した種子付きマットを春期に使うことが可能で、春期の労働ピークにおける播種をなくすことが可能である。以上の結果から、種子付きマットを用いることにより、育苗箱を使わずに田植機用の苗マットを育苗することが可能となり、育苗箱の保管場所や育苗箱の回収、洗浄が不要となることが明らかとなった。

Ⅲ 箱なし育苗に適した苗床被覆資材、覆土量、および灌水量の検討

前章では、もみがら成型マットにハードニング水稻種子と覆土を接着した種子付きマットを開発し、ハードニング前の乾熱処理と覆土の重要性および本種子付きマットが十分な貯蔵可能期間を持つことを明らかにした。本章では、その種子付きマットを用いて箱なし育苗する場合の育苗方法について検討した。

通常、機械移植用の水稻苗は育苗箱を用いて育苗される。育苗箱は側面が表面水の流去を防いで灌水を効率よく培土に導き、底面にある穴で過剰な水分を排水することにより、培土の水分を適切に保つ働きがある。ところが、箱なし育苗では育苗箱を使わないため、種子付きマットの水分を適切に保つために育苗箱とは別の方法が必要となる。本章では、種子付きマットの水分吸収と乾燥に影響を与える要因

として、苗床被覆資材、覆土量および育苗開始時の灌水量に着目し、種子付きマットを用いた箱なし育苗に適した条件を明らかにすることを目的とした。

まず、5種類の苗床被覆資材を用いて箱なし育苗を行い、出芽と苗の生育を比較した。次に、ポリエチレンマルチ（以下ポリマルチ）を苗床被覆資材に用いて低密度の小孔の有無、灌水量、覆土量を組み合わせる箱なし育苗を行い、苗の生育を比較した。これらの結果をもとに、箱なし育苗に適した苗床被覆資材、覆土量および育苗開始時の灌水量を明らかにした。

1. 材料および方法

1) 種子付きマット

実験には第1章で開発した種子付きマットに準じた種子付きマットを使用した（図1）。水稻品種コシヒカリの種子を15℃で5日間浸種した後、35℃～40℃の通風乾燥機に1日～2日間入れて十分に乾燥させた。この種子150 gと覆土400 g（くみあい粒状培土K、(株)クレハ）をもみがら成型マット（28 cm × 58 cm × 1.5 cm、約400 g）にポリビニルアルコールで接着して種子付きマットを製造した。試験10では覆土量300 gと500 gの種子付きマットも作成した。肥料はもみがら成型マット1枚当たりN、P₂O₅、K₂O各1.0 g、1.0 g、0.9 g（試験8、9）または1.2 g、1.2 g、1.1 g（試験10）相当の化学肥料水溶液を材料の粉碎穀殻に噴霧・攪拌混合して製造時に加えた。覆土400 gにはN、P₂O₅、K₂Oがそれぞれ0.19 g、0.38 g、0.34 g含まれていた。

2) 苗床被覆資材がもみがら成型マットの吸水に与える影響（試験8）

箱なし育苗に適した苗床被覆資材を明らかにするために、透水性が異なる5種類の苗床被覆資材がもみがら成型マットの吸水・保水に与える影響を調べた。種子付きマットは灌水直後に移動させると損傷してしまい吸水測定が困難なため、代わりに種子と覆土が接着されていないもみがら成型マットを用いた。苗床被覆資材として、平織りの防草シート（ダイオグラウンドシート、ダイオ化成（株））、不織布の根切りシート（パオパオ根切りシート100、三井化学ファブロ（株））、有孔ポリ（孔の直径1.5 mm、孔の密度約2500 m⁻²、有孔農ポリ、大倉工業（株））、有孔ポリ2重、透明ポリマルチを使用した。ポリマルチ以外は透水性である。被覆資材は長辺1.5 m、短辺90 cmに切断して1区分として用いた。

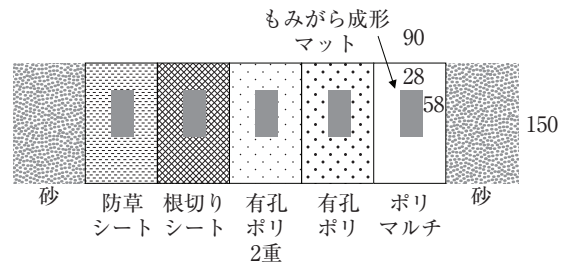


図7 苗床被覆資材ともみがら成型マットの配置（試験8）

図中の数値は長さ（cm）を示す。
4ブロックの内、1ブロックについて示した。

2004年5月16日に茨城県つくば市の中央農業総合研究センターにあるビニールハウス内で、各苗床被覆資材片の長辺が幅約1.5 mの砂でできたベッド状苗床の長辺と直交するように敷設した（図7）。重量（W₀）を測定したもみがら成型マット1枚を、その長辺が被覆資材片の長辺と平行する向きに置いた。マットは短辺方向の中央部に置いたので、マットの長辺と被覆資材の長辺の間隔は約30 cmとなった。このようにマットを配置した理由は、マットの底面だけではなく周囲の苗床被覆資材も吸水や保水に影響する可能性があるためと、マット間の間隔を空けて隣接区からの水の流入を防ぐためである。苗床の表面はトンボで均平にしておき、苗床被覆資材上の滞水がベッドの上から流去しない位置で試験を行った。じょうろで1回に0.5 Lずつ灌水し、マット底面が全面濡れたときの合計灌水量を必要灌水量とした。灌水直後にもみがら成型マットの重量（W₁）を測定し、水中で十分吸水させた後、裏返して水平に置いた中育苗育苗箱に一分間静置して余剰水を排除し、重量（W₂）を測定した。このもみがら成型マットを元の被覆資材上へ戻し、翌日およそ19時間後に再度マットの重量（W₃）を測定した。もみがら成型マットの灌水ロスと水分飽和率を次のようにして求めた。

灌水ロス =

$$(\text{必要灌水量} - W_1 + W_0) / \text{必要灌水量} \times 100$$

灌水直後の水分飽和率 =

$$(W_1 - W_0) / (W_2 - W_0) \times 100$$

翌日の水分飽和率 =

$$(W_3 - W_0) / (W_2 - W_0) \times 100$$

各資材につき4反復設けた。

3) 苗床被覆資材が苗の生育に与える影響 (試験9)

2004年5月24日に28 cm × 28 cmに切った種子付きマットを、前述のビニールハウス内の苗床に敷設した5種類の苗床被覆資材の上に試験8と同様に設置し、マット底面が濡れるまで灌水した。その後、無加温平置きで出芽させるためにアルミ蒸着シート（本州太陽シート、王子通商（株））で被覆し、成長の早い苗の苗丈がおおよそ3～4 cmに達するのを目安として被覆を除去した。ポリマルチ区以外は被覆中にも種子付きマットが乾燥したため、育苗開始後3日目以降、被覆期間中は被覆を一時的に除去して、育苗終了時まで毎日全区に灌水した。育苗期間中のポリマルチ区の種子付きマットの温度は平均24.5℃、標準偏差3.8℃であった。試験区配置は5資材×4ブロックの乱塊法とした。

出芽勢は、育苗開始後5日目に種子付きマットの一部を採取し、各反復100個体調査した。育苗開始後11日目と22日目に種子付きマットの一部を採取し、各反復20個体について、苗丈と葉齢を測定し、20個体まとめて茎葉乾物重を測定した。葉齢は不完全葉を1葉とした。育苗開始後22日目にはさらに各反復20個体サンプリングし、反復ごとに合計40個体の苗丈を測定した。また、種子付きマット内の苗丈のばらつきの指標として各反復内の苗丈の標準偏差を求めた。育苗開始後22日目にはポリマルチ区以外で種子付きマットの外周部に乾燥による苗の枯死が帯状に観察されたので、その幅を枯死幅として各反復3辺測定した。

ポリマルチ以外、特に有孔ポリと有孔ポリ2重では、平均的な個体に比べて苗丈が目立って高く葉の幅も広い個体がマット内で分散して発生した。これらの資材では根が貫通しているのが観察されたため、一部の苗が生育のよい理由は根が苗床に入っているためだと予想された。その確認のために有孔ポリにおいて育苗開始後22日目から灌水を中止し、根が苗床に入っていない個体を枯死させた。育苗開始後29日目に反復ごとに20個体ずつ枯死個体をサンプリングして苗丈を測定し、育苗開始後22日目と苗丈の頻度分布を比較した。

4) 苗床被覆資材の孔の有無、覆土量、灌水量が苗の生育に与える影響（試験10）

苗床被覆資材として用いたポリマルチの孔の有無、覆土量、育苗開始時の灌水量を組み合わせで箱

なし苗の育苗を行い、苗の生育を比較した。2005年5月24日に前述のビニールハウス内で苗床のポリマルチ上に、種子付きマットをその短辺が苗床の長辺と平行になるように30 cmの間隔をあけて1列に置き、灌水後アルミ蒸着フィルムで被覆して育苗を開始した。試験10では苗床の雑草抑制のため黒色のポリマルチを使用した。

処理としてポリマルチの孔の有無、覆土量300 g、400 g、500 g、育苗開始時の灌水量1.5 Lと3 Lを組み合わせ、さらに慣行苗を加えて、2ブロックの乱塊法として実験を行った。ポリマルチの孔は12 cm × 12 cmの間隔に細い釘であけた。慣行苗は、浸種、催芽したコシヒカリの種子を乾粒換算で150 g、育苗培土（くみあい育苗培土D、（株）クレハ）を約2.6 kg詰めた育苗箱に播種し、約0.8 kg覆土した。慣行苗の施肥量は苗箱当たりN、P₂O₅、K₂Oがそれぞれ0.8 g、1.6 g、1.4 gであった。慣行苗は育苗開始後4日目、その他の区は7日目に被覆を除去した。育苗期間の灌水1.5L・孔なし・覆土400g区の種子付きマットの平均温度は24.2℃、標準偏差は3.2℃であった。

育苗開始後7日目に発芽不良部分の面積割合を基準として、発芽不良程度を遠観で調査した。発芽不良箇所なしを0、発芽不良面積が20%増えるごとにスコアを1ずつ増加させ、全面発芽不良を5として6段階で評価した。同時に、種子付きマットの乾燥程度を遠観で調査した。乾燥部分なしを0、乾燥面積割合が20%増えるごとにスコアを1ずつ増加させ、全面乾燥の5まで6段階で評価した。育苗開始後20日目に各反復から20個体サンプリングし、苗丈と葉齢を測定したのち20個体まとめて茎葉乾物重を測定した。

5) 統計処理

統計処理には統計解析ソフトウェアのSAS (ver. 9.1, SAS Institute Inc) を用いた。試験8と試験9ではGLM (General Linear Model) プロシージャーを用いて苗床資材間の平均値の多重比較をTukey法にて行った。出芽勢については逆正弦変換を行ったのちTukey法で多重比較を行った。試験10では慣行苗を除いて、箱なし苗の処理間についてGLMプロシージャーを用いて分散分析を行った。

2. 結果

1) 苗床被覆資材がもみから成型マットの吸水に与える影響（試験8）

苗床被覆資材上に置いたもみから成型マットの底面が全面濡れるまでに必要な灌水量は、灌水後表面に滞水する資材、すなわち防草シート、有孔ポリ2重、ポリマルチでは2.5 L程度と少なく、滞水しない根切りシートでは4.5 Lと多かった(表5)。短時間滞水する有孔ポリは両者の中間であった。滞水する資材では灌水直後の吸水量がおおよそ1.6 L程度で、水分飽和率が95%以上あり、マットは十分吸水できていた。一方、十分に滞水しない根切りシートや有孔ポリは水分飽和率も低かった。同様に灌水ロスは、滞水する資材は約40%であった一方、十分に滞水しない根切りシートや有孔ポリではそれぞれ75%、58%と高かった。灌水翌日の水分飽和率は水分を全く通さないポリマルチでは91%と高く維持された。細かい間隔で空隙のある防草シートと根切りシートは、空隙の間隔が大きい有孔ポリに比べて翌日の水分飽和率が低かった。有孔ポリ2重は1重より翌日の水分飽和率が高かった。

2) 苗床被覆資材が苗の生育に与える影響 (試験9)

出芽勢は灌水翌日の水分飽和率が高かった資材、すなわちポリマルチ、有孔ポリ2重、有孔ポリで高く、水分飽和率が低かった防草シートと根切りシートで低かった(表6)。被覆期間は灌水翌日の水分飽和率が高い資材ほど短かった。

育苗開始後11日目の苗の生育も灌水翌日の水分飽和率が高い資材ほどよい傾向が見られた(表6)。すなわち、苗丈、葉齢、茎葉乾物重ともにポリマルチで最もよい傾向が見られ、防草シートや根切りシートはいずれも劣った。

育苗開始後22日目の苗の生育も基本的には育苗開始後11日目と同様の傾向だったが、処理間の差は小さくなった(表6)。苗丈と葉齢は有意差はなかったもののポリマルチ、有孔ポリ、有孔ポリ2重でよい傾向が見られた。茎葉乾物重はポリマルチが最も大きく、防草シートと根切りシートは有意に劣った。

表5 苗床被覆資材がもみから成型マットを飽和状態にするのに必要な灌水量と水分飽和率に与える影響(試験8)

資材	表面滞水	必要灌水量 ^{a)} (L)	吸水量 (L)	灌水ロス (%)	水分飽和率 ^{b)}	
					灌水直後 (%)	灌水翌日 (%)
防草シート(平織り)	あり	2.6c	1.66a	37c	101a	13c
根切りシート(不織布)	なし	4.5a	1.11c	75a	69c	14c
有孔ポリ	少し	3.3b	1.36b	58b	84b	34bc
有孔ポリ2重	あり	2.5c	1.51ab	40c	96ab	56b
ポリマルチ	あり	2.6c	1.56ab	40c	95ab	91a

a) もみから成型マットの底面が全面濡れるまでの灌水量。

b) 完全飽和状態の水分に対する保持水分の率。

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す(Tukey法)。

表6 苗床被覆資材が水稻箱なし苗の被覆期間、出芽勢および苗の生育に与える影響(試験9)

資材	出芽勢 ^{a)} (%)	被覆期間 (日)	育苗開始後11日目			育苗開始後22日目				
			苗丈 (cm)	葉齢 ^{b)}	茎葉乾物重 (mg 本 ⁻¹)	苗丈		葉齢	茎葉乾物重 (mg 本 ⁻¹)	枯死幅 ^{d)} (cm)
						SD ^{c)} (cm)	(cm)			
防草シート	16b	8	4.0bc	2.0ab	3.1bc	8.1a	2.0bc	3.4a	7.1c	2.1ab
根切りシート	0b	9	2.4c	1.5b	1.9c	8.1a	2.0bc	3.4a	7.6bc	2.6a
有孔ポリ	93a	6	5.6ab	2.3a	4.6ab	9.9a	3.4a	3.6a	9.4ab	1.2b
有孔ポリ2重	98a	6	6.0a	2.3a	5.0ab	9.3a	2.9ab	3.5a	9.7ab	1.2b
ポリマルチ	95a	5	6.7a	2.5a	6.3a	9.8a	1.3c	3.7a	11.4a	0.0c

a) 育苗開始後5日目に測定し、逆正弦変換後に検定した。

b) 葉齢は不完全葉を1とした。

c) 苗マット内の苗丈の標準偏差の平均値。

d) 苗マット端の苗が枯死した部分の幅。

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す(Tukey法)。

種子付きマットの外周部の枯死はポリマルチでは見られなかったのに対して、その他の資材は灌水翌日の水分飽和率が小さいほど枯死幅が広い傾向が見られた。同一マット内の苗丈の標準偏差は根が貫通しないポリマルチや、僅かしか貫通しない防草シートと根切りシートで小さく、苗丈が揃っていた。逆に根が貫通する有孔ポリと有孔ポリ2重は苗丈の標準

偏差が大きく、苗丈のばらつきが大きかった。有孔ポリでは、灌水停止前の苗丈分布は12 cm未満が80%であったが、12 cm以上24 cm未満の苗も20%あった（図8）。灌水停止後の枯死個体は全て苗丈が12 cm未満であり、灌水停止前に苗丈12 cm以上であった苗は枯死しなかった。

3) 苗床被覆資材の孔の有無、覆土量、灌水量が苗の生育に与える影響（試験10）

苗床被覆資材にポリマルチを用いて、低密度で小さい孔の有無、灌水量、覆土量を組み合わせて育苗試験を行った。除覆時の出芽不良は灌水量1.5 Lでは全く見られなかったが、灌水量3 Lの場合、覆土500 g孔なし区で著しい出芽不良が見られ、覆土400 gでも部分的に出芽不良が見られた（表7）。逆に、覆土300 g孔あり区では種子付きマットの乾燥が観察された。

育苗開始後20日目の苗の生育は分散分析の結果によると孔の有無と覆土量の影響を受けなかったことになる（表7）。しかし、著しい出芽不良が見られた灌水3 L覆土500 g孔なし区を除くと、ほとんどの場合苗丈と茎葉乾物重は孔なしの方が孔ありより優れている傾向があった。葉齢も同様の傾向が見られ

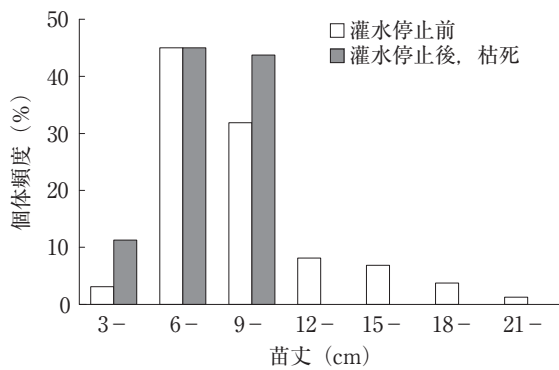


図8 有孔ポリを用いた場合の灌水停止前の苗丈と灌水停止後の枯死個体の苗丈の頻度分布（試験9）

育苗開始後 22 日目に苗丈を調査してから灌水を停止し、育苗開始後 29 日目に枯死個体の苗丈を調査した。

表7 灌水量、覆土量および苗床被覆用ポリマルチの孔の有無が箱なし苗の生育に与える影響（試験10）

苗	灌水量 (L)	覆土量 (g)	孔	除覆時		育苗開始後20日目		
				出芽不良 (0無-5甚)	乾燥程度 (0無-5甚)	苗丈 (cm)	葉齢 ^{a)}	茎葉乾物重 (mg 本 ⁻¹)
箱なし	1.5	300	あり	0.0	1.0	13.3	3.1	11.6
			なし	0.0	0.0	16.2	3.2	12.1
		400	あり	0.0	0.0	16.0	3.2	12.1
			なし	0.0	0.0	16.9	3.2	12.5
		500	あり	0.0	0.0	16.2	3.1	11.1
			なし	0.0	0.0	16.3	3.3	13.6
	3.0	300	あり	0.0	1.0	14.4	3.1	11.5
			なし	0.0	0.0	14.9	3.1	11.4
		400	あり	1.5	0.0	14.4	3.2	11.0
			なし	1.0	0.0	15.2	3.1	11.4
		500	あり	0.0	0.0	15.7	3.1	11.3
			なし	4.5	0.0	12.4	3.3	10.2
慣行				0.0	0.0	14.9	3.5	13.2
分散分析		孔	ns	ns	ns	ns	ns	
		覆土量	*	*	ns	ns	ns	
		灌水	**	ns	**	ns	ns	
		孔×覆土	*	ns	*	ns	ns	
		孔×灌水	*	ns	ns	ns	ns	
		覆土×灌水	*	ns	ns	ns	ns	

a) 葉齢は不完全葉を1とした。
 *, **はそれぞれ5%と1%水準で有意差があることを示す。
 nsは5%水準で有意差がないことを示す。

た。孔がある場合は覆土量が多いほど苗丈が長い傾向があったが、孔がない場合は苗丈への覆土量の影響は見られなかった。灌水量毎の苗丈の平均値は、灌水量が1.5 Lの場合は15.8 cmで、灌水量が3 Lの場合の14.5 cmより長かった。箱なし苗は慣行苗よりも茎葉乾物重と葉齢がやや劣る傾向がみられたものの、稚苗として移植可能な苗の形質であった。

3. 考察

本章の結果より、箱なし苗の育苗には苗床被覆資材は孔のないポリマルチ、覆土量は300 g~400 g、育苗開始時の灌水量は1.5 Lが適当と判断された。以下にその根拠について考察する。

育苗開始時の必要灌水量は十分滞水しなかった根切りシートや有孔ポリが多く、十分滞水した防草シート、有孔ポリ2重、ポリマルチで少なかった(表5)。これは、滞水する資材の場合、もみがら成型マット表面を流去した水が苗床被覆資材上面に滞水することによりマット底面から吸収されるためである。根切りシートではもみがら成型マット表面を流去した水が直ちに苗床へ排水されたため、十分に吸水させることが困難であった。また、透水性のないポリマルチ区でさえ灌水ロスは40%もあった。育苗箱にもみがら成型マットを入れた場合の灌水ロスは手灌水で30%程度であり(星・高橋 2002)、育苗箱が灌水の効率を上げていることが分かる。ポリマルチでは、灌水翌日の水分飽和率が91%でありマット下面からは水分が失われないので、9%の水分損失(100% - 翌日の水分飽和率)がマット上面および側面から生じていると推定できる。他の資材でもマット上面および側面からの水分損失は同程度と思われるので、ポリマルチ以外の資材ではマット上面や側面からの水分損失よりも、マット底面からの水分損失の方が多いと考えられる。翌日の水分飽和率の違いは、苗床被覆資材を通しての水分損失の差なので、資材の透水性の違いが原因である。すなわち、翌日の水分飽和率が低い資材は透水性が高いといえる。防草シートは表面に滞水したものの翌日の水分飽和率は低かった。防草シートは撥水性なので滞水はするが、平織りのシートなので透水性は高いと考えられる。防草シートの灌水翌日までの水分損失からマット上面および側面からの水分損失を引いた78%の大部分はマットの粗孔隙に保持された重力水と考えられる。将来的には、毛細管に保持される水分割合を増加させるような粘土等の物質をもみ

がら成型マットに添加できれば、より安定的に水分を保持できる育苗に適した資材になり、箱なし育苗においてある程度透水性のある資材も苗床被覆資材として使えるようになる可能性がある。なお、実験8では種子なしのもみがら成型マットを使用しているためマット上面の吸水特性や乾燥特性が定量的には種子付きマットと異なる可能性がある。しかし、マットの底面はどちらも同じため、得られた結論は定性的には種子付きマットにも当てはまると考えられる。

5種類の苗床被覆資材で育苗した結果、出芽勢や被覆期間、苗の生育、枯死幅はポリマルチが優れていた(表6)。有孔ポリと有孔ポリ2重はポリマルチと苗丈や茎葉乾物重において有意差がなかったが、図8のように根が被覆資材を貫通した一部の生育のよい個体が平均値を上げており、これらの個体を除くとポリマルチより生育は劣ると思われる。ポリマルチ以外の透水性資材は被覆期間中にも種子付きマットが乾燥し灌水が必要となり、外周部の苗が乾燥により枯死した。このことはポリマルチの次に透水性の低い有孔ポリ2重でもなお透水性が過剰であることを示している。

有孔ポリと有孔ポリ2重では一部個体の根が苗床に入った。有孔ポリで灌水停止後枯死したのは苗丈12 cm未満の個体のみであったので(図8)、育苗開始後22日目に苗丈が12 cm以上あった一部の生育の良い個体は根が貫通していたが、苗丈が12 cm未満であった通常の個体は根が貫通していなかったと考えられる。つまり、一部個体の根が貫通したことが苗丈のばらつきが大きくなった原因である(表6)。試験8と試験9の結果をまとめると、箱なし育苗に用いる苗床被覆資材は透水性がないポリマルチか、あるいは透水性が有孔ポリ2重より低く、根が貫通しないものが適しているといえる。

苗床被覆資材にポリマルチを使う場合、灌水量が多いと過湿による出芽不良が生じる可能性がある。例えば高橋ら(2004a)はプール育苗において播種直後の湛水により出芽むらが生じたことを報告している。そこで、試験10では苗床被覆資材として孔のないポリマルチと、低密度に小さい孔をあけたポリマルチを比較した。苗の生育は全体的には孔がない方がある場合よりよい傾向が見られたため(表7)、苗床被覆資材は孔のないポリマルチが適しているといえる。孔がない場合、灌水3 L、覆土500 gでは過

湿が原因と思われる著しい出芽不良を生じたが、灌水量と覆土量を減らすことで回避が可能である。慣行の稚苗育苗では苗床被覆資材には有孔ポリ等透水性のものが用いられることが多い。これは育苗箱が培土の水分を適切に保つ機能を持っているため、苗床被覆資材上に水を貯めるよりも、排水して湿害を防ぐ方が重要だからである。

育苗開始時の灌水量は1.5 Lが適切である。苗床資材に孔がない場合、灌水量3 Lでは出芽不良を生じる場合があったからである（表7）。表5の結果に基づくと、1.5 Lではマットが飽和まで吸水していないと思われるが、出芽には特に問題なかった。既往の報告によれば、もみがら成型マットを床土代わりに使う場合、実吸水量で1 L、播種機に付属する灌水装置の場合は灌水量で1.25 L、手灌水の場合は1.5 L必要とされている（星・高橋 2002）。箱なし育苗では灌水ロスが多いことを考えると、灌水量を1.5 Lより少し増やした方がよい可能性もあり、今後さらなる検討が必要である。

覆土量は300 g~400 gが適切と判断した。覆土量の違いは苗の生育に大きな影響を与えなかったものの、覆土量500 gで苗床被覆資材に孔がない場合、灌水量が多いと出芽不良の恐れがあるためである（表7）。農家の育苗ハウス内で1枚当たり1.5 L灌水する場合、灌水むらや苗床の凹凸、傾斜によって灌水量が1.5 Lより多くなるマットが生じる可能性を考慮すると覆土量500 gよりも覆土量300 g~400 gがより望ましいと判断した。既報によればもみがら成型マットを育苗箱に入れて床土の代わりに使う場合、覆土量1.2 kgでは根の伸長に伴って靱が覆土の上に持ち上がる「根上り」が生じ（小笠原・鎌田 2002）、覆土量1 L（成田・高城 2000）、1.3 L（矢野・菊池 2002）、1.4 kg（星・高橋 2002）で根上りが抑えられるとされており、製造元の農協では1.3 kgを推奨している。農家調査によると、慣行育苗では覆土量は1 kgから1.2 kgが多い（高橋・吉田 2006b）。これらと比較すると覆土量300 g~400 gはかなり少ないが、種子付きマットでは覆土と種子がもみがら成型マットに接着されているので、覆土が少なくとも根上りはほとんど生じない。逆に接着剤が水を吸うとゲル状になるため500 gという少量の覆土でも通気性が悪くなり、過湿による出芽不良が生じやすいと考えられる。

本章の結果より苗床被覆資材はポリマルチ、覆土

量は300 g~400 g、灌水量は1.5 Lが箱なし育苗に適していることが明らかになった。しかし、箱なし苗の葉齢や茎葉乾物重は慣行苗より劣る傾向が見られた（表7）。

IV 箱なし苗の無加温平置育苗における被覆期間と育苗期間が苗形質、生育、および収量に与える影響

前章では箱なし育苗に適する苗床被覆資材は孔のないポリマルチで、覆土量は300 g~400 g、育苗開始時の灌水量は1.5 Lが適することを明らかにした。一方で、箱なし苗の乾物重は慣行苗より劣ることが明らかとなった。その一因として、慣行苗は催芽種子を播種するのに対して、箱なし苗は乾燥したハードニング種子を用いていることが考えられる。そこで、発芽の遅れによる生育不足を補償し、慣行苗に近い苗が得られる育苗期間と被覆期間を検討した。さらに、そのような箱なし苗を田植機で移植し、欠株率、初期生育、収量等を慣行苗と比較し、実用性を検討した。

1. 材料および方法

1) 耕種概要

育苗期間を5水準設けた試験11、被覆期間を6水準設けた試験12、育苗期間2水準と被覆期間2水準を組み合わせた試験13-14、箱なし苗と慣行苗の苗形質や移植精度、生育、収量の比較を行った試験15-16、同様の比較試験を現地で行った現地試験1-3の計10試験を行った（表8）。試験12を除き、除覆時の苗丈は箱なし苗では3 cm~6 cmを目標とし、慣行苗では2 cmを目標とした。育苗はビニールハウス内にポリマルチまたはハウス用ビニールを敷いた上で行き、育苗箱または種子付きマットの上から被覆資材を掛けて出芽させる無加温出芽法で行った。ただし、現地試験1では有孔ポリを敷いた。育苗は中央農業総合研究センター観音台地区（茨城県つくば市）、同谷和原水田圃場（茨城県つくばみらい市）、東北農業研究センター大仙拠点（秋田県大仙市）で行った。現地試験は茨城県つくばみらい市およびつくば市の農家の育苗用ビニールハウスで実施した。品種は茨城県での試験はコシヒカリを、秋田県での試験ははえぬきを用いた。播種量は箱なし苗、慣行苗ともに育苗箱または種子付きマット1枚当たり150 gとした。現地試験の慣行苗は農家の慣行播種量とした。水管理は主に上面からの灌水に

よったが、試験14では両苗とも、試験16では箱なし苗のみプール育苗とした。被覆資材は主に低発泡ポリエチレンシートを用いたが、試験15ではシルバーポリと不織布の複合資材を用いた。箱なし苗は生育が劣ることから、多くの試験では育苗の基肥は慣行苗と同量から2倍とし、必要があれば追肥をN、P₂O₅、K₂Oの各成分量で0.5 g~1.0 g行った。第8表の追肥日は移植後日数で表示し、追肥量は合計量を

示した。一部試験区については、種子付きマットや慣行苗の床土の温度をサーミスタ温度センサーで測定し、育苗期間の平均温度と標準偏差を表8に示した。

移植・栽培試験は中央農業総合研究センター谷和原水田圃場（試験11-12、試験15）と東北農業研究センター大仙拠点場内水田（試験13-14、試験16）、茨城県つくばみらい市農家水田（現地試験1-2）

表8 育苗条件

試験年	育苗場所	品種	苗	育苗日数	被覆日数	水管理	被覆資材	移植日	基肥(g箱 ⁻¹)			追肥(g箱 ⁻¹) ^{b)}			マット・床土温度											
									N	P ₂ O ₅	K ₂ O	追肥日 ^{a)}	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	平均	SD									
11	2005	観音台	コシヒカリ	箱なし	20	9	上面	低発泡ポリ	4/25	1.4	1.7	1.5	-8	1.0	1.0	1.0	21.6	5.2								
					24	10											21.6	5.4								
					28	11											20.8	5.7								
					32	12											20.5	5.4								
					36	15											19.7	4.6								
					慣行	20											4	0.8	1.6	1.4	-	-	-	-	20.9	5.2
12	2005	観音台	コシヒカリ	箱なし	25	7	上面	低発泡ポリ	5/6	1.4	1.7	1.5	-2	0.5	0.5	0.5	22.2	6.0								
					8	9											-	-								
					10	12											-	-								
					14	14											-	-								
					慣行	25											6	0.8	1.6	1.4	-	-	-	-	20.6	6.4
					13	2006											大仙	はえぬき	箱なし	24	10	上面	低発泡ポリ	6/5	1.7	1.9
12	14	21.0	5.0																							
33	10	-	-																							
14	14	-	-																							
慣行	24	5	1.7	2.1			1.5	-	-	-	-	21.1	4.8													
14	2007	大仙	はえぬき	箱なし			28	15	上面	低発泡ポリ	5/21	1.7	1.9	1.8	-12	1.0				1.0	1.0					
					16	17	19.2	4.2																		
					32	14	-	-																		
					17	17	18.2	5.0																		
					慣行	24	5	1.7									2.1	1.5	-			-	-	-	-	-
					箱なし	28	15	プール									低発泡ポリ	1.7	1.9			1.8	-12	1.0	1.0	1.0
32	14	-	-																							
17	17	18.9	5.2																							
慣行	24	5	1.7	2.1	1.5	-	-	-	-	-	-															
15	2004	観音台	コシヒカリ	箱なし	21	9	上面	シルバー	4/22	1.1	1.2	1.1	-4	1.0	1.0	1.0	22.9	6.1								
				慣行	21	6		+不織布	1.2	1.2	1.2	-	-	-	-	22.3	6.6									
16	2008	大仙	はえぬき	箱なし	28	8	プール	低発泡	5/26	1.7	1.9	1.8	-12	1.0	1.0	1.0	22.0	5.8								
				慣行	24	4		ポリ	1.7	2.1	1.5	-	-	-	-	20.3	4.3									
現地1	2004	つくばみらい	コシヒカリ	箱なし	22	9	上面	低発泡	5/2	1.1	1.2	1.1	-7	1.0	1.0	1.0	-	-								
				慣行	21	6		ポリ	1.2	2.4	2.0	-	-	-	-	-	-									
現地2	2005	つくばみらい	コシヒカリ	箱なし	29	13	上面	低発泡	5/3	1.4	1.7	1.5	-	-	-	-	19.8	3.7								
				慣行	23	7		ポリ	1.2	2.4	2.0	-	-	-	-	-	-									
現地3	2005	つくばみらい	コシヒカリ	箱なし	28	10	上面	低発泡	5/9	1.4	1.7	1.5	-	-	-	-	21.2	3.8								
				慣行	23	6		ポリ	1.5	1.5	1.5	-	-	-	-	-	-									

a) 追肥日は移植日からの日数で表示。

b) 追肥量は合計値。

「低発泡ポリ」は低発泡ポリエチレンシート、「シルバー+不織布」はシルバーポリと不織布の複合資材を表す。

表9 耕種概要

試験	移植圃場	移植株数 (株 m^{-2})	苗	基肥(g m^{-2})			追肥(g m^{-2})			
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	追肥日	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
試験11	谷和原	21.2	共通	5.5	5.5	5.5	-	-	-	-
試験12	谷和原	21.2	共通	5.5	5.5	5.5	-	-	-	-
試験13	大仙	21.2	箱なし	5.0	5.0	5.0	7月27日	2.0	0.0	2.0
			慣行	5.0	5.0	5.0	7月25日	2.0	0.0	2.0
試験14	大仙	21.2	共通	5.0	5.0	5.0	7月17日	2.0	0.0	2.0
試験15	谷和原	18.2	共通	6.0	6.0	6.0	-	-	-	-
試験16	大仙	21.2	共通	6.0	6.0	6.0	7月17日	3.0	0.0	3.4
現地試験1	つくばみらい現地	18.2	共通	4.5	4.5	4.5	-	-	-	-
現地試験2	つくばみらい現地	18.2	共通	4.5	4.5	4.5	-	-	-	-
現地試験3	つくば現地	15.2	共通	4.8	18.0	6.4	7月13日	2.2	0.0	2.2

とつくば市農家水田(現地試験3)で行った(表9)。現地試験1-2では37aの水田を供試して、2004年と2005年に箱なし苗を25a、慣行苗を11a移植した。現地試験3では2005年に14aの水田に箱なし苗、13aの水田に慣行苗を移植した。移植は試験11-15は4条の、試験16は6条の、現地試験1-3は5条の乗用田植機で行った。場内試験は4ブロックの乱塊法とし、現地試験は反復を設けなかった。移植株数は15.2株 m^{-2} ~21.2株 m^{-2} であった。谷和原水田圃場とつくばみらい市農家圃場では基肥に緩効性肥料を含む肥料を用い、穂肥を施用しなかったが、その他の試験では基肥に化成肥料を用い、穂肥を施用した。

2) 苗形質

除覆時に苗丈と葉齢を各処理20個体(試験11、試験14)または各処理苗マット4枚、各20個体(試験12-13)調査した。葉齢は不完全葉を1葉として数えた。

移植時に苗丈、葉齢、茎葉乾物重を各処理20個体(試験15、現地試験1)または各処理苗マット4枚、各20個体(試験11-14、試験16、現地試験1-2)調査した。試験12-14では、第2葉鞘長の長さも測定した。

試験11では移植時の苗マット質量と箱なし苗を丸めた場合の直径を4反復測定した。慣行苗の質量には苗箱も含めた。試験11-12では、7cm×28cmに切った苗マット片をデジタルフォースゲージで長辺方向に引張り、破断したときの値を28cm幅に換算して苗マットの引張強度とし、6反復測定した。

3) 移植精度

1株本数は1区につき20株、移植後35日(試験11)または移植後34日(試験12)に測定した。欠株率は

1区につき200株(試験11-13、試験15)、320株(試験14)、480株(試験16)調査した。調査は試験11-12では移植後21日、試験13では移植後18日、試験14では移植後36日、試験15では移植後35日、試験16では移植後32日に行った。

4) 生育

移植後約1ヶ月に1区あたり20株抜き取り、草丈(試験11-12、試験14-16)と個体当たりの茎葉乾物重(試験11-16)を測定した。測定は試験11と試験15は移植後35日、試験12-13は移植後24日、試験14と試験16は移植後32日に行った。

出穂期は1区ごとに判定した(試験11-16、現地試験1-3)。稈長は1区8株(試験11-14、試験16)または10株(試験15)の最長稈を測定した。現地試験1では1処理につき10株3箇所、現地試験2-3では8株5箇所測定した。倒伏程度は成熟期に達観で倒伏なしの0から全面完全倒伏の5まで6段階で、場内試験は1区ごとに、現地試験は処理毎に評価した。

5) 収量

坪刈は60株(試験16以外)または70株(試験16)刈り取った。刈り取り面積はおよそ3 m^2 ~4 m^2 であった。現地試験では処理毎に5箇所坪刈を行った。さらに現地試験2-3の箱なし苗区については苗の継ぎ目で生じた連続欠株の箇所を選んで1箇所ずつ坪刈した。精玄米選別のふるい目はコシヒカリは1.80mm(試験11-12、試験15、現地試験1-2、現地試験3の坪刈)、または1.85mm(現地試験3の全刈収量)、はえぬきは1.90mm(試験13-14、試験16)とした。精玄米重と千粒重は水分15%に換算した。登熟歩合は全粒数に対する精玄米の粒数の割合とした。コシヒカリの品質は水戸食糧事務所

土浦支所（現茨城農政事務所地域第2課）による一等上の1から3等下の9までの9段階評価とした。はえぬきの整粒歩合は1区につき2000粒を穀粒判別機（サタケ、RGQI10A）で測定した。

2. 結果

1) 苗形質

育苗期間が長くなるにつれて、箱なし苗の草丈、葉齢、茎葉乾物重は大きな値となり、育苗期間24日で慣行苗の20日育苗と同程度の苗が得られた(表10、試験11)。

次に被覆期間の影響について検討した。まず除覆時の形質についてみてみると、被覆期間14日までは、被覆期間が長いほど箱なし苗の除覆時の苗丈は長くなった(表11、試験12)。被覆期間12日、除覆時苗丈8.2 cmまでは、被覆期間が長いほど箱なし苗の除

覆時の葉齢は大きくなった。一方、移植時の形質については、苗丈と第2葉鞘長は被覆期間が長いほど長く、被覆期間9日、除覆時苗丈4.2 cmで苗丈が10 cmを越えた。葉齢は被覆期間が長いほど小さかった。茎葉乾物重は被覆期間8日以上、除覆時の苗丈3 cm以上でほぼ一定の値となったが、慣行苗より小さい傾向であった。

育苗期間と被覆期間、およびその交互作用を検討するために、箱なし苗の育苗期間を慣行苗と同じ24日と33日の2水準、被覆期間は除覆時の苗丈3 cmと6 cmを目標に2水準組み合わせで試験を行った(試験13)。育苗期間が慣行苗と同じ24日の場合、除覆時の苗丈3.3 cmの被覆期間10日では移植時の苗丈と茎葉乾物重が慣行苗より劣る傾向が見られた。しかし、除覆時の苗丈が5.5 cmだった被覆期間12日では慣行苗と苗丈、葉齢、茎葉乾物重がほぼ同じであった(表12)。育苗期間33日では、除覆時苗丈3.4 cmだった被覆期間10日で慣行苗と苗丈が同程度、第2葉鞘長がやや短く、葉齢は大きく、茎葉乾物重はやや優る傾向が見られた。まとめると、育苗日数24日では除覆時苗丈5.5 cmで、育苗日数33日では両被覆期間で慣行苗と同等以上の苗形質が得られた。

育苗期間を慣行苗の育苗期間24日より長い28日と32日、被覆期間は除覆時の苗丈3 cmと6 cmを目標に2水準組み合わせ、水管理として上面灌水とプール育苗の2水準を設けて試験を行った(試験14)。上面灌水では、育苗期間28日の箱なし苗はいずれの被覆期間でも苗丈、第2葉鞘長、葉齢、茎葉乾物重に慣行苗と有意差が見られなかった(表13)。育苗期間32日では、除覆時の苗丈3.5 cmだった被覆期間14日で葉齢が慣行苗より多かったことを除くと、苗丈、第2葉鞘長、葉齢、茎葉乾物重に慣行苗との有意差はなかった。プール育苗の場合、育苗期間28日の箱なし苗は、特に除覆時苗丈が4.3 cmだった被覆期間15日では、有意差はなかったものの苗丈、葉齢、茎葉乾物重が慣行苗より劣る傾向が見られた。育苗期間32日では除覆時苗丈3.5 cmだった被覆期間14日の茎葉乾物重が慣行苗より大きい傾向が見られた他は、苗丈、第2葉鞘長、葉齢、茎葉乾物重は慣行苗と同程度であった。プール育苗は上面灌水より苗の生育がよかった。プール育苗で最も生育の劣った育苗期間28日、被覆期間15日の箱なし苗でも上面灌水の慣行苗と苗丈、第2葉鞘長、葉齢は同程度であり、茎葉乾物重は優る傾向であった。まとめると、水管

表10 育苗日数が水稲箱なし苗の形質に与える影響 (試験11)

苗	育苗 日数	被覆 日数	除覆時		移植時		
			苗丈 (cm)	葉齢 ^{a)}	苗丈 (cm)	葉齢	茎葉乾物重 (mg)
箱なし	20	9	3.8	1.9	9.2c	3.4bc	10.2c
	24	10	6.0	2.1	13.9a	3.5b	12.1b
	28	11	4.8	2.0	14.3a	3.8a	13.3ab
	32	12	4.0	1.9	14.2a	4.0a	13.6ab
	36	15	4.4	2.1	15.4a	4.0a	15.1a
慣行	20	4	-	-	11.4b	3.3c	12.4b

a) 葉齢は不完全葉を1とした。
同ジアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す(Tukey法)。

表11 被覆日数が除覆時および移植時の箱なし苗の生育に与える影響 (試験12)

苗	被覆 日数	除覆時		移植時			
		苗丈 (cm)	葉齢 ^{a)}	苗丈 (cm)	第2葉 鞘長 (cm)	葉齢	茎葉 乾物重 (mg)
箱なし	7	1.5f	0.6d	9.2c	2.4d	3.9a	12.2b
	8	3.0e	1.6c	9.5c	2.6cd	3.8a	13.0ab
	9	4.2d	2.0bc	10.9c	3.3bc	3.7ab	12.8ab
	10	5.9c	2.2b	13.2b	4.4a	3.5b	12.4b
	12	8.2b	2.9a	13.1b	4.3a	3.5b	13.1ab
	14	11.9a	2.9a	15.2a	4.9a	3.3c	12.8ab
慣行	6	1.8f	0.8d	13.2b	3.4b	3.8a	15.1a

a) 葉齢は不完全葉を1とした。
同ジアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す(Tukey法)。

表12 被覆日数、育苗日数と箱なし苗の形質（試験13）

苗	育苗日数	被覆日数	除覆時		移植時			茎葉乾物重 (mg)
			苗丈 (cm)	葉齢 ^{a)}	苗丈 (cm)	第2葉鞘長 (cm)	葉齢	
箱なし	24	10	3.3c	1.9c	10.6c	2.9c	3.7cd	14.9b
		12	5.5b	2.2b	12.1ab	3.7a	3.6c	16.7ab
	33	10	3.4c	2.0c	11.5bc	2.4d	4.3a	19.0ab
		14	7.9a	2.6a	13.2a	3.3ab	4.0b	19.4a
慣行	24	5	2.1d	1.2d	12.1ab	2.9bc	3.9bc	17.1ab

a) 葉齢は不完全葉を1とした。
 同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey 法)。

表13 被覆日数、育苗日数と箱なし苗の形質（試験14）

水管理	苗	育苗日数	被覆日数	除覆時		移植時			茎葉乾物重 (mg)
				苗丈 (cm)	葉齢 ^{a)}	苗丈 (cm)	第2葉鞘長 (cm)	葉齢	
上面	箱なし	28	15	4.3	2.2	12.5a	3.3a	3.5c	12.4a
			16	6.2	2.5	12.8a	3.5a	3.4c	13.1a
			32	14	3.5	2.1	12.7a	2.8a	3.8a
	慣行	24	17	5.2	2.3	12.8a	3.0a	3.8ab	12.7a
			5	2.2	1.2	12.3a	3.0a	3.6bc	12.7a
			24	5	2.2	1.2	12.3a	3.0a	3.6bc
プール	箱なし	28	15	4.3	2.2	12.7A	3.1A	3.7BC	13.9B
			16	6.2	2.5	13.7A	3.5A	3.6C	14.8B
			32	14	3.5	2.1	14.3A	2.9A	4.0A
	慣行	24	17	5.2	2.3	14.0A	3.0A	3.9AB	15.4AB
			5	2.2	1.2	14.7A	3.1A	3.8ABC	15.4AB
			24	5	2.2	1.2	14.7A	3.1A	3.8ABC

a) 葉齢は不完全葉を1とした。
 同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey 法)。

理が上面灌水、プールともに箱なし苗すべての区で上面灌水の慣行苗と同等以上の苗形質が得られた。

箱なし苗と慣行苗を比較した試験15-16、現地試験1-3において、慣行苗と育苗期間が同じ試験15では箱なし苗の茎葉乾物重が慣行苗より少なかった(表14)。箱なし苗の育苗期間が慣行苗より1日だけ長かった現地試験1では箱なし苗の苗丈と茎葉乾物重が慣行苗より劣った。しかし、箱なし苗の育苗期間が慣行苗より4日~6日長いその他の試験では苗の生育は慣行苗と同等以上であった。試験15-16と現地試験1-3の平均で比較すると箱なし苗と慣行苗で苗丈、葉齢、茎葉乾物重に有意差は見られなかった。

2) 移植精度

箱なし苗の苗マットの引張強度は育苗期間28日までは育苗期間が長いほど大きく、育苗期間28日以上では104 N~129 Nで118 Nの慣行苗と有意差がなくなった(表15)。箱なし苗の移植後の一株本数は3.6本~3.9本で育苗期間によらず慣行苗と同程度であった。箱なし苗の欠株率は慣行苗とは有意差はなか

表14 移植時の苗形質

試験	苗	苗丈		葉齢 ^{a)}		茎葉乾物重	
		(cm)	SD	SD	(mg)	SD	
試験15	箱なし	9.5	1.8	3.4	0.2	8.6	-
	慣行	9.4	1.0	3.5	0.3	9.9	-
試験16	箱なし	12.4	0.5	4.3	0.1	16.2	2.5
	慣行	12.4	0.5	3.4	0.1	13.8	0.5
現地	箱なし	9.4	2.2	3.2	0.2	7.8	-
	慣行	10.0	2.3	3.2	0.3	9.1	-
試験1	箱なし	10.7	0.8	3.7	0.2	11.2	0.6
	慣行	9.7	0.4	3.4	0.2	8.5	0.7
試験2	箱なし	15.0	1.0	3.3	0.2	13.1	0.5
	慣行	14.5	1.0	3.5	0.2	12.1	0.6
試験3	箱なし	11.4	ns	3.6	ns	11.4	ns
	慣行	11.2		3.4		10.7	

a) 葉齢は不完全葉を1とした。
 苗丈、葉齢の標準偏差 (SD) は、試験15と現地試験1では個体間の標準偏差、その他は苗マット間の標準偏差。
 nsは5%水準で有意差がないことを示す (分散分析)。

ったものの、育苗期間36日を除けば7%~10%と6%の慣行苗より高い傾向が見られた。

被覆期間7日~14日で比較すると、除覆時苗丈4.2cmの被覆期間9日(表11)までは被覆期間が長

表15 育苗日数が箱なし苗の苗マットの物性と欠株率に与える影響 (試験 11)

苗	育苗日数	引張強度 ^{a)} (N)	一株本数	欠株率 (%)
箱なし	20	35 b	3.9 a	7.4 a
	24	56 b	3.7 a	10.3 a
	28	104 a	3.8 a	6.9 a
	32	109 a	4.0 a	9.1 a
	36	129 a	3.6 a	5.5 a
慣行	20	118 a	3.8 a	5.9 a

a) 7cm幅で測定した値を苗マット幅の28cmに換算した値。同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。欠株率は平方根変換後に検定した。

表16 被覆日数が箱なし苗の苗マットの物性と欠株率に与える影響 (試験 12)

苗	被覆日数	引張強度 ^{a)} (N)	一株本数	欠株率 (%)
箱なし	7	144 b	2.5 c	11.4 a
	8	153 b	3.1 abc	6.8 b
	9	169 ab	2.9 bc	7.8 ab
	10	169 ab	3.2 abc	6.9 b
	12	167 ab	2.9 abc	8.1 ab
	14	151 b	3.3 ab	6.9 b
慣行	6	195 a	3.7 a	5.0 b

a) 7cm幅で測定した値を苗マット幅の28cmに換算した値。同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。欠株率は平方根変換後に検定した。

いほど苗マット引張強度が強くなり、被覆期間9日～12日では167 N～169 Nで195 Nの慣行苗と有意差が見られなかった (表16、試験12)。箱なし苗の一株本数は慣行苗よりやや少なく、被覆期間7日が2.5本、被覆期間8日以上では2.9本～3.3本であった。箱なし苗の欠株率は除覆時苗丈1.5 cmの被覆期間7日では11.4 %で5.0 %の慣行苗より有意に高かった。被覆期間8日以上では箱なし苗の欠株率は6.8 %～8.1 %でほぼ一定であったが、慣行苗より高い傾向が見られた。

箱なし苗の育苗期間を慣行苗と同じ24日と33日の2水準、被覆期間は除覆時の苗丈3 cmと6 cmを目標に2水準組み合わせた試験13では箱なし苗の欠株率は2.1 %～5.4 %であり、有意でない場合が多かったものの1.9 %の慣行苗より高い傾向を示した (表17)。

育苗期間を慣行苗の育苗期間24日より長い28日と32日、被覆期間は除覆時の苗丈3 cmと6 cmを目標

表17 被覆日数、育苗日数と箱なし苗の欠株率 (試験 13)

苗	育苗日数	被覆日数	欠株率 ^{a)} (%)
箱なし	24	10	4.5 ab
		12	2.1 b
	33	10	3.6 ab
		14	5.4 a
慣行	24	5	1.9 b

a) 欠株率は移植後18日に調査。同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。欠株率は平方根変換後に検定した。

表18 被覆日数、育苗日数と箱なし苗の欠株率 (試験 14)

苗	育苗日数	被覆日数	欠株率 ^{a)} (%)
箱なし	28	15	2.7 a
		16	3.5 a
		17	4.4 a
慣行	24	5	3.6 a

a) 欠株率は移植後36日に測定した。同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。欠株率は平方根変換後に検定した。

表19 箱なし苗の欠株率

試験	苗	調査日移植後 (日)	欠株率 (%)
試験15	箱なし	35	1.9 ns
	慣行		1.1
試験16	箱なし	32	8.4 ***
	慣行		1.5
平均 ^{a)}	箱なし		5.1 *
	慣行		1.3

a) 平均値は各試験のブロックをブロックとして分散分析。平方根変換後分散分析。
*と***はそれぞれ5%と0.1%水準で慣行と有意差があることを示す。
nsは5%水準で有意差がないことを示す。

に2水準組み合わせた試験14の上面灌水の箱なし苗の欠株率は、慣行苗と有意差はなかったものの、育苗期間32日では4.4 %～8.7 %と3.6 %の慣行苗より高い傾向を示した (表18)。

箱なし苗と慣行苗の比較試験では、欠株率は、箱なし苗が慣行苗に比べて、試験15では有意ではないが高い傾向であり、試験16では有意に高く、両方を合わせて検定すると有意に高かった (表19)。

3) 生育

育苗期間20日～36日で比較すると、箱なし苗の移植後35日の水田における草丈は育苗期間と一定の傾向は見られず、慣行苗と有意差がなかった(表20、試験11)。箱なし苗の茎葉乾物重は慣行苗と有意差はなかったが、育苗期間が28日より長くなると低下する傾向が見られた。

被覆期間7日～14日で比較すると、移植後34日の箱なし苗の草丈は被覆期間と一定の傾向は見られず、慣行苗と有意差がなかった(表21、試験12)。箱なし苗の茎葉乾物重は有意差はないものの慣行苗より大きい傾向が見られた。被覆期間と箱なし苗の茎葉乾物重には一定の傾向は見られなかった。

箱なし苗の育苗期間を慣行苗と同じ24日と33日の2水準、被覆期間は除覆時の苗丈3 cmと6 cmを目標に2水準組み合わせた試験13では、移植後24日の箱なし苗の茎葉乾物重は処理間で差は見られなかったが、慣行苗より大きい傾向であった(表22)。

育苗期間を慣行苗の育苗期間24日より長い28日と

32日、被覆期間は除覆時の苗丈3 cmと6 cmを目標に2水準組み合わせた試験14の上面灌水の箱なし苗の移植後32日の草丈は処理間で有意差がなく、慣行苗とも有意差がなかった(表23)。箱なし苗の茎葉乾物重は処理間で有意差がなく、慣行苗と比べて有意ではないものの大きい傾向が見られた。

箱なし苗と慣行苗の比較を行った試験15-16では、移植後32～35日の草丈は箱なし苗と慣行苗で有意差はなかった(表24)。茎葉乾物重は試験16で箱なし苗が慣行苗より有意に大きかったが、両試験を合わせると有意差はなかった。

4) 出穂と倒伏

出穂期を育苗期間20日～36日で比較すると、育苗期間20日～24日は箱なし苗の出穂期は育苗期間20日の慣行苗と同じであったが、それ以降は1日早かった(表25、試験11)。箱なし苗の稈長は育苗期間の影響を受けず、慣行苗と同程度であった。倒伏程度は育苗期間28日以上では慣行苗より有意に小さかった。

表20 育苗日数が箱なし苗の移植後 35 日目の生育に与える影響 (試験 11)

苗	育苗日数	草丈 (cm)	茎葉乾物重 (mg)
箱なし	20	26.7 a	268 ab
	24	27.3 a	283 a
	28	26.2 a	246 abc
	32	25.9 a	216 c
	36	26.3 a	222 bc
慣行	20	27.7 a	243 abc

同ジアルファベットは 5%水準で有意差がないことを示す (Tukey 法)。

表22 被覆日数と育苗日数が箱なし苗の移植後 24 日目の茎葉乾物重に与える影響 (試験 13)

苗	育苗日数	被覆日数	茎葉乾物重 (mg)
箱なし	24	10	491 a
		12	430 a
	33	10	482 a
		14	483 a
慣行	24	5	448 a

同ジアルファベットは 5%水準で有意差がないことを示す (Tukey 法)。

表21 被覆日数が箱なし苗の移植後 34 日目の生育に与える影響 (試験 12)

苗	被覆日数	草丈 (cm)	茎葉乾物重 (mg)
箱なし	7	34.3 abc	365 a
	8	35.2 a	391 a
	9	34.0 bc	373 a
	10	33.7 c	366 a
	12	34.5 abc	377 a
	14	34.3 abc	374 a
慣行	6	35.1 ab	351 a

同ジアルファベットは 5%水準で有意差がないことを示す (Tukey 法)。

表23 被覆日数と育苗日数が箱なし苗の移植後 32 日目の生育に与える影響 (試験 14)

苗	育苗日数	被覆日数	草丈 (cm)	茎葉乾物重 (mg)
箱なし	28	15	34.8 a	891 a
		16	34.7 a	842 a
	32	14	35.3 a	893 a
		17	33.8 a	772 a
慣行	24	5	34.0 a	747 a

同ジアルファベットは 5%水準で有意差がないことを示す (Tukey 法)。

表24 箱なし苗の初期生育

試験	苗	調査日 (移植後日数)	草丈 (cm)	茎葉乾物重 (mg)
試験15	箱なし	35	24.5 ns	130 ns
	慣行		25.5	143
試験16	箱なし	32	36.9 ns	737 *
	慣行		37.1	535
平均a)	箱なし		30.7 ns	434 ns
	慣行		31.3	339

a) 平均値は各試験のブロックをブロックとして分散分析。
*は5%水準で土付苗と有意差があることを示し、nsは有意差がないことを示す。

表25 育苗日数が箱なし苗の出穂期、稈長及び倒伏程度に与える影響 (試験11)

苗	育苗日数	出穂期	稈長 (cm)	倒伏程度 (0無-5甚)
箱なし	20	7月31日 a	91.5 a	2.8 a
	24	7月31日 a	89.6 a	2.8 a
	28	7月30日 a	89.9 a	2.0 b
	32	7月30日 a	91.7 a	2.0 b
	36	7月30日 a	89.5 a	1.3 c
慣行	20	7月31日 a	91.8 a	2.8 a

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。

表26 被覆日数が箱なし苗の出穂期、稈長および倒伏程度に与える影響 (試験12)

苗	被覆日数	出穂期	稈長 (cm)	倒伏程度 (0無-5甚)
箱なし	7	8月2日 a	87.3 a	3.0 a
	8	8月2日 a	89.4 a	3.0 a
	9	8月2日 a	88.9 a	3.0 a
	10	8月2日 a	88.1 a	3.0 a
	12	8月2日 a	88.2 a	3.0 a
	14	8月2日 a	88.9 a	3.0 a
慣行	6	8月2日 a	87.3 a	3.0 a

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。

表27 育苗日数と被覆日数が箱なし苗の出穂期、稈長、倒伏程度に与える影響 (試験13)

苗	育苗 日数	被覆 日数	出穂期	稈長 (cm)	倒伏程度 (0無-5甚)
箱なし	24	10	8月17日 ab	76.6 a	0.0 a
		12	8月17日 a	73.3 a	0.0 a
	33	10	8月16日 abc	75.3 a	0.0 a
		14	8月16日 bc	74.7 a	0.0 a
土付	24	5	8月16日 c	73.9 a	0.0 a

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。

被覆期間7日~14日で比較すると、箱なし苗の出穂期は被覆期間にかかわらず同じで、慣行苗とも同じであった (表26、試験12)。箱なし苗の稈長も同様に被覆期間による有意差はなく、慣行苗とも有意差はなかった。箱なし苗の倒伏程度も同様に被覆期間による有意差はなく、慣行苗とも有意差はなかった。

箱なし苗の育苗期間を慣行苗と同じ24日と33日の2水準、被覆期間は除覆時の苗丈3cmと6cmを目標に2水準組み合わせさせた試験13の箱なし苗では、出穂期は育苗期間24日で慣行苗より1日遅く、育苗期間33日では慣行苗と同じであった (表27)。箱なし苗の稈長は被覆期間が長い方が短い傾向が見られたが、慣行苗を含めて有意差はなかった。箱なし苗、慣行苗とも倒伏はしなかった。

育苗期間を慣行苗の育苗期間24日より長い28日と32日、被覆期間は除覆時の苗丈3cmと6cmを目標に2水準組み合わせさせた試験14の上面灌水の箱なし苗の出穂期は、育苗期間と被覆期間によらず同じで、慣行苗とも同じであった (表28)。箱なし苗の稈長は育苗期間と被覆期間の違いによる有意差はなく、慣行苗とも有意差はなかった。箱なし苗、慣行苗とも倒伏はしなかった。

箱なし苗の育苗期間が慣行苗と同じ試験15、4日長かった試験16、6日長かった現地試験2、5日長かった現地試験3では、出穂期は慣行苗と同じだった (表29)。箱なし苗の育苗期間が慣行苗より1日長かった現地試験1では2日遅かった。これら一連の試験の平均出穂期は箱なし苗と慣行苗で差はなかった。試験15では箱なし苗の稈長が慣行苗より有意に長かったが、全体では有意差はなかった。倒伏程度は箱なし苗と慣行苗で有意差はなかった。

表28 箱なし苗の被覆日数と育苗日数が出穂期と倒伏に与える影響 (試験14)

苗	育苗 日数	被覆 日数	出穂期	稈長 (cm)	倒伏程度 (0無-5甚)
箱なし	28	15	8月8日 a	66.5 ab	0.0 a
		16	8月8日 a	67.3 ab	0.0 a
	32	14	8月8日 a	70.2 a	0.0 a
		17	8月8日 a	65.4 b	0.0 a
慣行	24	5	8月8日 a	68.0 ab	0.0 a

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。
慣行苗と箱なし苗各区との比較は何れも5%水準で有意差がなかった (Dunnnett法)。

5) 収量と品質

育苗期間20日～36日の箱なし苗と慣行苗で精玄米重、籾数、登熟歩合、千粒重、穂数、一穂籾数で有

意差はなかった（表30、試験11）。箱なし苗の育苗期間と品質には一定の傾向は見られず、慣行苗とも有意差はなかった。

被覆期間7日～14日で箱なし苗を比較すると、慣行苗を含めて精玄米重、籾数、登熟歩合、千粒重、品質に有意差はなかった（表31、試験12）。ただし、被覆期間7日の箱なし苗は精玄米重はやや少なく、登熟歩合もやや低い傾向が見られた。被覆期間が長いほど穂数が多く、一穂籾数が少ない傾向が見られた。

箱なし苗の育苗期間を慣行苗と同じ24日と33日の2水準、被覆期間は除覆時の苗丈3 cmと6 cmを目標に2水準組み合わせさせた試験13では、慣行苗も含めて、精玄米重、籾数、千粒重、穂数に有意差は見られず、登熟歩合では一部有意差があったものの差の大きさ自体は小さかった（表32）。一穂籾数は、有意ではないものの、育苗期間が長い方が多く、被覆期間が長い方が少ない傾向が見られた。整粒歩合も同様に、有意ではないものの、育苗期間と被覆期間

表29 箱なし苗の出穂期、稈長及び倒伏程度

試験	苗	出穂期	稈長 (cm)	倒伏程度 (0無-5甚)
試験15	箱なし	7月24日 ns	90.6 *	2.8 ns
	慣行	7月24日	88.3	2.5
試験16	箱なし	8月10日 ns	73.7 ns	0.0 ns
	慣行	8月10日	74.0	0.0
現地試験1	箱なし	7月28日 -	86.1 -	2.7 -
	慣行	7月26日	90.2	3.3
現地試験2	箱なし	8月1日 -	86.4 -	0.9 -
	慣行	8月1日	86.7	0.9
現地試験3	箱なし	8月5日 -	87.2 -	2.6 -
	慣行	8月5日	89.1	2.8
平均 ^{a)}	箱なし	8月1日 ns	84.8 ns	1.8 ns
	慣行	8月1日	85.7	1.9

a) 平均値は各試験を1ブロックとして検定した。
*は5%水準で慣行苗と有意差があることを示す。
nsは5%水準で有意差がないことを示す。

表30 育苗日数が箱なし苗の収量構成要素と玄米品質に与える影響（試験11）

苗	育苗日数	精玄米重 (g m ⁻²)	籾数 (100粒 m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂籾数	品質 (1上上-9下下)
箱なし	20	632 a	339 a	90 a	20.8 a	375 a	90 a	5.3 a
	24	625 a	332 a	91 a	20.7 a	368 a	90 a	4.3 a
	28	618 a	329 a	91 a	20.7 a	370 a	89 a	4.8 a
	32	620 a	329 a	91 a	20.6 a	357 a	92 a	7.3 a
	36	625 a	333 a	91 a	20.7 a	373 a	89 a	5.3 a
	慣行	20	633 a	338 a	90 a	20.7 a	370 a	92 a

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。
登熟歩合は逆正弦変換後検定した。
精玄米重と千粒重は水分15%換算。
ふるい目は1.8mm。

表31 被覆日数が箱なし苗の収量構成要素と玄米品質に与える影響（試験12）

苗	育苗日数	精玄米重 (g m ⁻²)	籾数 (100粒 m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂籾数	品質 (1上上-9下下)
箱なし	7	571 a	314 a	87 a	20.9 a	323 d	97 a	4.5 a
	8	597 a	315 a	91 a	20.8 a	339 bcd	93 ab	5.0 a
	9	580 a	308 a	91 a	20.7 a	331 dc	93 ab	3.5 a
	10	616 a	324 a	91 a	20.8 a	369 a	88 b	2.8 a
	12	592 a	311 a	92 a	20.8 a	345 bcd	90 ab	3.5 a
	14	607 a	321 a	91 a	20.8 a	358 ab	90 ab	4.3 a
	慣行	6	592 a	311 a	92 a	20.7 a	347 abc	90 b

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey法)。
登熟歩合は平方根変換後検定した。
精玄米重と千粒重は水分15%換算。
ふるい目は1.8mm。

が長い方が低い傾向が見られた。

育苗期間を慣行苗の育苗期間24日より長い28日と32日、被覆期間は除覆時の苗丈3 cmと6 cmを目標に2水準組み合わせさせた試験14の上面灌水の箱なし苗は慣行苗も含めて、精玄米重、籾数、登熟歩合、千粒重、穂数、一穂籾数、整粒歩合の有意差はなかった(表33)。ただし、精玄米重は育苗期間32日、被覆期間17日の箱なし苗が低い傾向が見られた。

試験15-16では、一部有意差のある項目もあるが、平均で比較すると箱なし苗と慣行苗で、精玄米重、

籾数、登熟歩合、千粒重、品質、整粒歩合に有意差はなかった(表34)。箱なし苗は慣行苗に比べて、有意差はないものの穂数が少なく、一穂籾数が多い傾向が見られた。

現地試験1-3では箱なし苗と慣行苗の全刈収量の平均値に有意差はなかった(表35)。欠株率が通常の箇所の坪刈では、箱なし苗は慣行苗に比べて、籾数が有意に少ないために精玄米重が少なかった。箱なし苗は慣行苗に比べて穂数が少ないために、籾数が少なかった。箱なし苗の品質は慣行苗と有意差

表32 箱なし苗の被覆日数と育苗日数が収量および収量構成要素に与える影響 (試験 13)

苗	育苗 日数	被覆 日数	精玄米重 (g m ⁻²)	籾数 (100粒 m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂 籾数	整粒歩合 (%)
箱なし	24	10	578 a	292 a	87 b	22.8 a	434 a	67 ab	83 a
		12	575 a	289 a	88 ab	22.7 a	452 a	64 b	78 ab
	33	10	592 a	294 a	88 ab	22.9 a	423 a	70 a	81 ab
		14	572 a	285 a	88 ab	22.8 a	425 a	67 ab	75 b
慣行	24	5	580 a	286 a	89 a	22.9 a	435 a	66 b	81 ab

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey 法)。

登熟歩合は平方根変換後に検定した。

精玄米重と千粒重は水分15%換算。

ふるい目は1.9mm。

表33 箱なし苗の被覆日数と育苗日数が収量および収量構成要素に与える影響 (試験 14)

苗	育苗 日数	被覆 日数	精玄米重 (g m ⁻²)	籾数 (100粒 m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂 籾数	整粒歩合 (%)
箱なし	28	15	503 a	248 a	87 a	23.5 a	411 a	60 a	81 a
		16	498 a	253 a	85 a	23.2 a	429 a	59 a	81 a
	32	14	531 a	259 a	88 a	23.2 a	410 a	63 a	82 a
		17	456 a	233 a	84 a	23.2 a	390 a	60 a	76 a
慣行	24	5	484 a	249 a	84 a	23.1 a	424 a	59 a	78 a

同じアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す (Tukey 法)。

登熟歩合と整粒歩合は平方根変換後に検定した。

精玄米重と千粒重は水分15%換算。

ふるい目は1.9mm。

表34 箱なし苗の収量構成要素と玄米品質

試験	苗	精玄米重 (g m ⁻²)	籾数 (100粒 m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂籾数	品質 (1上上-9下下)	整粒歩合 (%)
試験15	箱なし	630 ns	337 ns	88 ns	21.4 ns	423 ns	80 ns	2.0 ns	-
	慣行	621	334	87	21.4	432	77	2.3	-
試験16	箱なし	623 ns	304 ns	87 ns	23.4 *	417 ns	73 ns	-	89 ns
	慣行	642	309	88	23.6	435	72	-	88
平均 ^{a)}	箱なし	626 ns	321 ns	88 ns	22.4 ns	626 ns	76 ns	2.0 ns	89 ns
	慣行	631	322	87	22.5	631	75	2.3	88

a) 平均値は各試験のブロックをブロックとして検定した。

*は慣行苗と比べて5%水準で有意差があることを示し、nsは有意差がないことを示す。

登熟歩合と整粒歩合は平方根変換後に検定した。

精玄米重と千粒重は水分15%換算。

ふるい目は試験15は1.8mm、試験16は1.9mm。

表35 箱なし苗の全刈収量と坪刈の収量構成要素（現地試験1-3）

試験	苗	坪刈 箇所	全刈収量 (kg 10a ⁻¹)	精玄米重 (g m ⁻²)	籾数 (100粒 m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	穂数 (粒 m ⁻²)	一穂 籾数 (1上上-9下下)	品質	欠株率 ^{a)} (%)
現地	箱なし	通常	622	608	299	93	21.9	424	71	4.7	2
試験1	慣行	通常	573	654	329	91	21.8	461	71	5.7	0
現地	箱なし	通常	548	535	271	92	21.4	312	87	3.8	6
試験2	連続欠株	-	-	546	291	91	20.6	279	104	2.0	40
	慣行	通常	553	586	296	92	21.5	371	80	2.4	1
現地	箱なし	通常	539	569	292	91	21.3	283	103	2.0	6
試験3	連続欠株	-	-	568	294	92	21.1	267	110	2.0	30
	慣行	通常	575	643	316	94	21.7	335	94	2.6	1
平均 ^{b)}	箱なし		570 ns	571 *	287 **	92 ns	21.5 ns	340 *	87 *	3.5 ns	-
	慣行		567	627	314	93	21.6	389	76	3.6	

a) 欠株率は坪刈箇所の値。

b) 平均値は各試験を1ブロックとして検定した。

*, **は慣行苗と比べてそれぞれ5%、1%水準で有意差があることを示す。

nsは5%水準で有意差がないことを示す。

登熟歩合と整粒歩合は平方根変換後に検定した。

精玄米重と千粒重は水分15%換算。

ふるい目は現地試験3の全刈収量のみ1.85mm、他は1.80mm。

がなかった。箱なし苗の連続欠株のある箇所の坪刈の精玄米重は、欠株率が30%~40%と非常に高いにもかかわらず、欠株率6%の通常箇所と差は見られなかった。連続欠株箇所は穂数が少ないが、一穂籾数の増加により籾数が補償され、現地試験2ではむしろ通常箇所より籾数が多かった。連続欠株箇所の品質は通常箇所と同程度かやや良かった。

3. 考察

3章の目的は箱なし苗に適する育苗期間と被覆期間を明らかにすることである。一般に育苗条件が与える影響は苗形質に対しては比較的明瞭であるが、本田での生育、収量に対する影響は不明瞭になっていくので、苗形質と本田での形質を分けて検討することにする。まず慣行苗と同等以上の苗形質が得られる箱なし苗の育苗期間と被覆期間を明らかにし、「適正育苗条件」と呼ぶことにする。次に、適正育苗条件で育成した箱なし苗の移植精度、本田での生育、収量、品質等が他の箱なし苗より劣っていないことを示し、適正育苗条件が苗形質だけでなく、移植精度、本田での生育、収量等の面からも箱なし苗の育苗条件として妥当であることを示す。最後に、適正育苗条件の箱なし苗の移植精度、本田での生育、収量、品質等を慣行苗と比較し、箱なし苗の栽培面での評価を行う。

1) 苗形質から見た適正な育苗期間と被覆期間
箱なし苗に適する育苗期間と被覆期間を苗の形質から検討した結果、育苗期間は慣行苗より4日~8

日程度長く、除覆時苗丈は3cm~6cm程度が箱なし苗の育苗に適していると考えられ、これを適正育苗条件とした。ここでは、その根拠について考察する。

本章では、苗形質の目標を、慣行苗と苗丈、葉齢、茎葉乾物重で有意差がないか、優ることとした。試験11では育苗期間が慣行苗より4日~16日長い、育苗期間24日~36日が当てはまった(表10)。試験12では目標の苗形質が得られなかった(表11)。被覆期間を長くしても草丈が伸びるだけであり、慣行苗並の茎葉乾物重を持った充実した苗は得られなかった。被覆資材の光透過率は低発泡ポリエチレンで約20%、シルバーポリ + 不織布とアルミ蒸着フィルムで5%以下と低いため、被覆期間中の温度は上昇して苗丈は伸びるものの、光合成速度は増加しないためと考えられた。試験13では育苗期間が慣行苗と同じ24日で、除覆時苗丈3.3cmでは苗丈が慣行苗より有意に小さかったが、その他の区は目標の苗が得られた(表12)。試験14では全ての区で目標の苗が得られた(表13)。箱なし苗の育苗期間は慣行苗より4日~8日長く、除覆時の苗丈は3.5cm~6.2cmであった。慣行苗との比較試験では、慣行苗と育苗期間が同じ試験15と1日長い現地試験1では慣行苗より茎葉乾物重が少なかった(表14)。試験16、現地試験2-3では育苗期間は慣行苗より4日~6日長く、目標の苗が得られた。

以上まとめると、育苗期間が慣行苗より4日以上

長いと目標の苗が得られた。第1章の結果、乾熱－ハードニング処理をした種子の30℃における T_{50} は1.0日～1.5日であった(表2)。本章では、育苗開始後4日間の種子付きマット温度は平均温度 20.1 ± 1.9 ℃、平均最高温度 27.9 ± 4.3 ℃、平均最低温度 14.6 ± 1.7 ℃であり、II章の発芽試験の温度30℃より約10℃低かった。そのため、慣行苗の播種時の状態である鳩胸催芽状態になるまでに、種子付きマットでは T_{50} より長い4日程度必要だったと推察される。育苗期間は長くなるほど管理の手間が掛かり、高温障害や老化苗、徒長苗になる可能性が高まるので、上限は慣行苗より8日長い期間が妥当と考えられた。慣行苗より育苗期間が4日～8日長く、目標の苗が得られた試験区を除覆時苗丈は3.4cm～6.2cmであったので(表10～表13)、除覆時苗丈の目安を3cm～6cmとした。慣行苗の除覆の時期は、出芽時(後藤ら 2000、青森県稲作改善指導要領 2005、新潟県水稲栽培指針 2005、栃木県水稲栽培技術指針 2010)、苗丈3cm(福島ら 1995)、苗丈4cm～5cm(稚苗、水稲栽培技術指針(福岡県) 1998)、苗丈6cm～7cm(佐竹ら 1980)とかなり幅がある。高橋ら(2004a)は除覆時苗丈1cm～7.7cmまで試し、育苗終了時には著しい生育差はないが、除覆時苗丈が長いと第2葉鞘高が伸びて徒長気味になると報告している。今回の苗丈3cm～6cmという値は慣行苗における除覆時苗丈の長い方の範囲内であった。以上の結果および考察から、慣行苗より育苗期間が4日～8日長く、除覆時苗丈が3cm～6cmを箱なし苗の適正育苗条件とした。試験11の育苗日数24日と28日、試験14の全区が該当した。また、試験16、現地試験2-3での育苗期間が該当し、除覆時苗丈の測定値はないものの除覆の目安を苗丈3cm～6cmとしたので、これらも適正育苗条件に該当するものとした。

2) 適正育苗条件による箱なし苗の本田での移植精度、生育、収量等

以上のように苗形質からみた適性育苗条件を明らかにしたが、本条件で得られた苗が本田での生育、収量などについても適正育苗条件でない箱なし苗と比べて少なくとも劣っていないことが求められる。このため、まず箱なし苗を用いて幅広い条件で実施されている試験11において、適正育苗条件とそれ以外の育苗条件での移植精度、生育、収量等を比較した。

育苗日数24日の箱なし苗の引張強度は育苗期間28日以上箱なし苗より小さかったが、坂田ら(1993)が十分なマット形成と判断した47Nより大きく、取り扱いに問題はなかった(表15)。育苗日数24日の箱なし苗は欠株率もやや高かったが、育苗期間と欠株率には一定の傾向は見られなかった。したがって、適正育苗条件の苗は他の苗より苗マットの取り扱い性や移植精度で特に劣ることはないかと判断した。

適正育苗条件の箱なし苗の移植後約1ヶ月の草丈と茎葉乾物重は他の箱なし苗と比べて特に劣ることはなかった(表20)。適正育苗条件の箱なし苗の出穂期は、より育苗期間の長い箱なし苗と同じあるいは1日遅れであった(表25)。倒伏程度は、育苗期間24日で育苗期間28日以上箱なし苗より有意に大きかった(表25)。しかし、その差は大きくなく、稈長に差はなかったので、大きな問題ではないと判断した。このように適正育苗条件の箱なし苗は初期生育、出穂期、倒伏程度で他の箱なし苗と大きな差はなく、問題はなかった。

適正育苗条件の箱なし苗の精玄米重や品質は他の箱なし苗と同程度であった(表30)。以上の結果を総合的に判断して、適正育苗条件の箱なし苗は移植精度、生育、収量、品質の面で他の箱なし苗より劣ることはなく、適正育苗条件は本田での生育などに関しても妥当であると結論した。

3) 適正育苗条件の箱なし苗と慣行苗の比較

適正育苗条件の箱なし苗は、欠株率がやや高いことを除けば、慣行苗と本田生育、収量、品質の面で同等であり、慣行苗と代替することができると判断された。

育苗期間24日の箱なし苗は引張強度が慣行苗より弱かったが(表15)、前述のように取り扱いに問題はなかった。適正育苗条件の箱なし苗の欠株率は慣行苗と比べて、試験11の育苗期間24日と28日、試験14の全区で高い傾向であり(表15、表18)、試験16で有意に欠株率が高かった(表19)。

これらの試験・処理区は移植後約1ヶ月の草丈は慣行苗と差がなく、茎葉乾物重は有意差なし(表20、表23)か有意に大きかった(表24)。これらの試験・処理区および現地試験2-3の出穂期は慣行苗と同じか1日早く、倒伏程度は慣行苗と有意差なしか、より軽かった(表25、表28、表29)。

適正育苗条件の箱なし苗は収量、品質あるいは整

粒歩合も慣行苗と有意差はなかった（表30、表33、表34）。現地試験では、全刈収量は差がなく、坪刈の精玄米重のみ慣行苗より低かった（表35）。現地試験の坪刈収量は坪刈箇所の影響を受けることと、多くの試験で箱なし苗と慣行苗で収量に有意差がないことから、収量には差がないと判断した。品質は慣行苗と差がなかった（表35）。

以上のように、箱なし苗は慣行苗と比べて欠株率はやや高かったが、収量に対する影響は見られなかった。また、欠株率30%以上の連続欠株箇所も通常箇所と坪刈収量に差はなかった（表35）。従来、収量に影響がない欠株率は5%（寺島 2002）、10%（森重・河内 2005）、16.7%（河内 2005）、3連続欠株・20%（前田ら 1972）と報告されており、許容限界は15%（渡邊ら 2005）または20%（北川ら 2004）と報告されている。今回の結果はこれらより欠株率が高くて収量には影響しない場合があることを示している。しかし、欠株によって移植時の見た目が悪くなると本技術の導入を躊躇する農家も出ることが予想される。また、欠株率が高いと雑草が繁茂しやすくなる。このため、今後欠株率、特に苗の継ぎ目の連続欠株の発生を改善していく方策を検討する必要があると考える。

V 種子付きマットを用いた箱なし苗の作業性

第II章ではもみから成型マットに、ハードニングした種子と覆土を貼り付けた種子付きマットを開発した（図1）。第III章では種子付きマットを用いた箱なし苗に適した覆土量、灌水量、苗床被覆資材を明らかにした。第IV章では箱なし育苗の適正育苗条件を明らかにし、慣行苗より欠株率は高いものの、慣行苗と同程度の苗形質、本田生育、収量、品質が得られることを示した。

本章では、前章で実施した主に現地試験において、箱なし苗の作業性を明らかにすることを目的とした。箱なし苗特有の作業が含まれる育苗準備と苗マットのビニールハウスからの搬出について作業時間を測定した。苗運搬の作業性に関する苗マットの特性を調査した。移植精度は、ビニールハウスで苗マットを丸めて搬出し（図9）、トラックで圃場まで運搬した苗を移植することにより、運搬の影響も含めたより実際的な条件において検討した。なお、種子付きマットは工場で製造し農家はそれを購入するという想定であるので、製造についての検討は行わなかった。



図9 箱なし苗の運搬



図10 種子付きマットを苗床に並べる状況

1. 材料および方法

1) 試験の構成

試験は中央農業総合研究センター（茨城県つくば市）の育苗ハウスで2004年（表8、試験15）と2005年（試験11）、谷和原村（現つくばみらい市）の農家で2004年（現地試験1）と2005年（現地試験2）、つくば市農家で2005年（現地試験3）に行った。場内では育苗試験、現地では育苗試験と移植試験を行った。なお、試験11の箱なし苗は適正育苗条件である育苗期間24日のものを用いた。育苗条件と耕種概要は第3章で示した（表8、表9）。前章と同じく、現地試験2-3を適正育苗条件とみなした。

2) 育苗試験

a) 作業時間

現地試験1-3では苗床準備から被覆まで1人で作業を行い、作業時間を調査した。図10に種子付マ

ットを苗床に配置する状況を示した。慣行育苗の値は苗箱の土詰めから被覆まで複数名で作業を行い、作業時間を聞き取りにより調査した。

b) 苗のサイズと重量

試験11、15、現地試験2、3では育苗終了時の箱なし苗の丸めた時の直径を測定した。反復は順に4枚、6枚、10枚、10枚とした。試験11と試験15では箱なし苗と慣行苗の重量も測定した。反復は順に4枚と6枚（慣行苗は4枚）であった。重量には苗箱も含めた。

3) 移植試験

a) 苗運搬

現地試験では、箱なし苗をビニールハウス内で丸めて台車に乗せてトラックまで運び、丸めたままトラックに載せて圃場まで運搬した。丸め方は、手前側短辺をめぐって奥へ長辺方向に丸めながら押した。丸めた箱なし苗を側面から見ると「の」の形状になった。現地試験3では1人で苗の運搬をし、作業時間を調査した。移植は各農家所有の5条乗用田植機で行った。

b) 移植精度

植付深さと植付本数は各処理20株調査した。欠株は移植日と活着後に調査した。1箇所500株調査し、現地試験1では各処理3箇所、ただし活着後の箱なし苗のみ6箇所、現地試験2、3では各処理5箇所調査した。

2. 結果

1) 作業時間

苗床シートの敷設から保温資材の被覆までに必要な作業時間は箱なし苗では20枚（10 a相当）当たり20.7分で、慣行苗の約1/3に減少した（表36）。箱なし苗では時間のかかる土入れや播種作業がなくなった。一方、新たに加わった灌水と薬剤灌注は播種ほど時間がかからなかった。

箱なし苗20枚（約10 a分相当）を丸めてビニールハウスからトラックに載せるまでの作業時間は7.3分で6.2分の慣行苗の場合より約1分長かった（データ未掲載）。

2) 苗の形質

箱なし苗の苗マットの重量は平均2.8 kgで慣行苗の半分以下であった（表37）。運搬のために丸めた箱なし苗の直径は22 cmであった。

3) 移植精度

箱なし苗の植付深さは慣行苗と変わらず、標準偏

表36 箱なし育苗の育苗開始までの延べ作業時間（分/20枚）

作業	現地試験			平均
	1	2	3	
箱なし苗				
苗床シート、風よけ等設置	2.8	2.8	下に含む	2.8
種子付きマット配置	5.2	3.0	3.7	4.0
灌水	6.6	3.8	12.2	7.5
薬剤灌注	3.0	4.8	5.2	4.3
保温資材被覆	2.2	3.3	3.4	3.0
合計	19.9	17.8	24.5	20.7
慣行苗				
苗床シート、風よけ等設置	2.8	2.8	-	2.8
土入れ	25.3	27.5	13.4	22.1
播種・箱並べ	45.2	38.3	29.0	37.5
保温資材被覆	2.2	3.3	3.4	3.0
合計	75.5	71.9	45.8	64.4

箱なし苗と慣行苗で共通の作業は同じ値を用いた。

表37 箱なし苗の重量と運搬時の苗直径

試験	苗	苗重量		苗直径		備考
		kg	SD ^{a)}	cm	SD	
試験11	箱なし	2.81	0.03***	22.8	1.5	
	慣行	5.53	0.26	-	-	苗箱含む
試験15	箱なし	2.80	0.04***	21.6	0.6	
	慣行	6.28	0.24	-	-	苗箱含む
現地試験2	箱なし			21.5	1.1	
現地試験3	箱なし			22.2	1.3	
平均	箱なし	2.81		22.0		
	慣行	5.91		-	-	

a) SD は標準偏差。

***は0.1%水準で慣行苗と有意差があることを示す。

差も同程度であった（表38）。箱なし苗の植付本数は慣行よりやや少ない傾向が見られたが、標準偏差は同程度であった。つまり、植付深さや植付本数の精度は箱なし苗と慣行苗は同程度であったといえる。

現地試験における箱なし苗の欠株率は移植直後で2.0%～6.6%と慣行苗より高く、活着後には3.0%～7.0%とやや増加した（表38）。特に苗マットの継ぎ目では、前章試験16と同様に連続欠株が観察された（データ未掲載）。

3. 考察

箱なし苗の育苗準備の作業時間は慣行苗の約1/3に減少した（表36）。慣行育苗における作業時間は、育苗開始と時期的に切り離して行える床土調整を除く種子予措からハウスへの苗の搬入までで10 a

表38 箱なし苗の移植精度

試験	苗	植付深さ		植付本数		欠株率			
		cm	SD ^{a)}	本	SD	移植日		活着後	
						%	SD	%	SD
現地試験1	箱なし	2.6	0.6	5.9	2.7	2.0	0.2	3.0	2.1
	慣行	2.7	0.4	6.6	2.6	0.1	0.1	0.1	0.2
現地試験2	箱なし	2.7	0.5	4.6	1.9	4.4	2.6	6.0	3.9
	慣行	3.1	0.4	6.7	1.9	1.1	0.7	0.6	0.3
現地試験3	箱なし	3.3	0.5	6.0	2.2	6.6	1.3	7.0	1.2
	慣行	3.0	0.7	5.3	3.0	2.8	2.3	2.4	1.9
分散分析		ns		ns		**		*	

a) SDは標準偏差。欠株率では調査箇所間の標準偏差。

欠株率は平方根変換後に検定した。

*,**はそれぞれ5%、1%水準で苗間に有意差があることを示す。

nsは5%水準で有意差がないことを示す。

当たり66分(8.5ha規模、梅本1993)、40.2分～41.4分(6ha規模と9ha規模、佐々木ら2004)と報告されており、本研究の値と概ね同じ範囲である。これらの値と比べても箱なし苗の作業時間は大きく減少している。なお、現地試験3の結果では灌水時間が12.2分と長い、水道の水量が少なかったためである。その後の管理は慣行苗と同じであり、作業時間も基本的に同じである。

苗をビニールハウスから搬出する作業時間は箱なし苗の方が慣行苗より苗20枚当たり約1分長かった。箱なし苗は台車に7枚載せることができ、慣行苗の4枚より多かったが、苗マットを丸める作業のために慣行苗に比べて作業時間が長くなったと考えられる。ただし、増加が1分と短く、作業上大きな影響はない。

箱なし苗は苗箱の回収・洗浄が不要である点も大きなメリットである。洗浄そのものは苗箱洗浄機を使えば20枚を4分～6分で洗え、補助者が苗補給の待機時間に行うことも多い。しかし、回収や保管まで含めると作業時間はさらに伸び、苗箱の洗浄を負担に感じる農家も多い。保管場所も考慮すると、苗箱を使わないメリットは大きい。以上のように、箱なし苗は育苗準備の作業時間を短縮し、苗箱の回収・洗浄・保管が不要になるため、忙しい春季の作業時間を減少させる効果が期待できる。

箱なし苗の苗マットの重量は慣行苗の半分以下であり(表37)、苗のハンドリングの軽作業化に大きな効果があると考えられる。もみから成型マットは土に比べて軽量であるが、苗箱に入れて床土代わりに使う通常の方法では根上を防ぐために1.3kg程度

の多めの覆土が推奨されていることもあり、苗の重量は4.5kg前後である(苗箱含む、注意書きがない限り以下同様。小笠原・鎌田2002、矢野・菊池2002)。箱なし苗は覆土の量が少なく、苗箱もないことからもみから成型マットを苗箱に入れて育成した苗よりさらに1.5kg以上も軽量化することができた。これまで農業現場で利用されている最も軽い田植機用の苗は10枚分相当で12kgのロングマット水耕苗である(苗箱は使わない、Tasaka1999)。その他に軽い苗として報告されているのは、パーク堆肥使用で3.2kg(沼田ら2001)、パーミキュライトとピートモス使用で4.4kg(村上ら2000)、爆砕もみから使用で5.2kg(村上ら2001)、改良苗箱で5.3kg(高橋2003)、床土減量で5.6kg(高橋ら2004b)である。これらより箱なし苗は軽いので、苗のハンドリングの軽作業化に大きな効果があると考えられる。

丸めた箱なし苗の直径は22cmで(表37)、計算上は軽トラックの荷台には1段で約40枚、2段で約80枚積める。今後2段に積んでも苗に損傷がないことを確認する必要がある。

箱なし苗の欠株率は2.0%～6.6%で慣行苗より高かった(表38)。この値は前章における適正育苗条件による箱なし苗の場内試験の値である2.7%～10.3%と同程度なので(表15、育苗日数24日、28日、表18)、苗マットを丸めてトラックで運搬することの影響は小さいと考えられた。一方、もみから成型マットを苗箱に入れて育苗した中苗の欠株率は0.03%であった(小笠原・鎌田2002)、この苗の重量は4.4kgで、苗箱は約0.5kgなので苗マット自

体の重量は箱なし苗より約1 kg大きい。苗マットが軽いと苗送りが不十分になり移植精度が低下するので(高橋ら 2004b)、箱なし苗の欠株率が高い一因は軽いためであるといえる。苗マットの継ぎ目の連続欠株は、苗マットが軽いために上の苗マットによる押さえが効かず、苗マットの横転や変形、引きずりによって生じていることが観察された。欠株率低減のためには、苗マットを重くするか、軽量の苗マットを精度良く移植できる田植機の開発が必要と考える。これらについては総合考察で考察を加える。

VI 総合考察

第II章では、ハードニング種子と覆土をもみから成型マットに接着した種子付きマットを開発した。第III章では、土壌水分を適切に保つ育苗箱の機能を、苗床にポリマルチを敷設し、覆土量を300 g~400 gにし、育苗開始時の灌水量を1.5 Lとすることで代替し、育苗箱なしで育苗できることを示した。第IV章では、箱なし育苗は慣行育苗より育苗期間を4日~8日長くし、苗丈が3 cm~6 cmになったときに除覆することが適切であることを示した。また、このような適正育苗条件で育苗した箱なし苗は慣行苗より欠株率は高いものの、苗形質、生育、収量、品質は慣行苗と同等であることを示した。第V章では箱なし育苗により、育苗開始までの作業時間が慣行育苗より短くなり、現地試験においても欠株以外は作業性に問題はないことを明らかにした。以上のように、本研究では種子付きマットを用いた箱なし育苗に関する種々の問題点を検討し、基本技術を開発した。総合考察では、本研究で開発した箱なし育苗法が緒言で指摘した慣行育苗法の問題点を解決できているか検討し、次に、今後の応用と課題について考察する。

1. 慣行育苗の問題点の解決

慣行苗の問題点は、重い苗を手で取り扱う作業が多いこと、忙しい春に播種作業をする必要があること、回収、洗浄、保管が負担になる育苗箱を使用することである。本研究で開発した箱なし育苗技術はこれらの問題を軽減できる。

慣行苗は灌水前でも育苗培土、育苗箱、種子の合計が約4 kgと重い、乾燥状態の種子付きマットは約1 kgである。慣行苗は播種前や播種後に育苗培土や播種した育苗箱のハンドリングが必要になるが、箱なし苗は乾燥した種子付きマットを苗床に置いて

いくだけで済み、労働負荷が小さい。育苗後の箱なし苗の重量は慣行苗の半分以下であり(表37)、従来報告されている軽量の苗の中で、ロングマット水耕苗の次に軽かった(Tasaka 1999、村上ら 2000、村上ら 2001、沼田ら 2001、小笠原・鎌田 2002、矢野・菊池 2002、高橋 2003、高橋ら 2004b)。箱なし苗技術は軽い苗を少ないハンドリングで育苗でき、育苗準備から移植までの苗や育苗資材のハンドリングの労働負荷を軽減できた。また、苗の運搬には最大積載量が350 kgである軽トラックが使われることが多いが、2.8 kg(表37)の箱なし苗なら工夫しだいで3段120枚積載できる。2段でも80枚積載できる。一方、約6 kgの慣行苗は60枚積載すると最大積載量を超える可能性がある。このように、箱なし苗は軽トラックによる苗運搬も効率的にできると考えられる。

箱なし苗は慣行苗より育苗準備の作業時間が短かった(表36)。これは種子付きマットが常温で保存できるため、工場等であらかじめ製造しておくことが可能であるからである。箱なし苗により忙しい春の時間を有効に使うことが出来る。この点は水稲の規模拡大や、野菜や果樹など収益性の高い作目との複合経営において有利になる。

箱なし苗の育苗期間は慣行苗より4日~8日長くすることが必要であった。移植日を慣行苗と同じにする場合は、育苗開始を慣行苗より4日~8日早くすることになる。この場合、低温に遭う危険性が高まるものの、被覆期間が慣行苗より長いため灌水が必要な期間は最大で1日しか増えず(表10 28日育苗)、むしろ短くなる場合もあった(表10 24日育苗、表13)。育苗期間延長に伴う灌水の手間は慣行苗とほぼ同じか、かえって減るといえる。ただし、被覆期間が長いとカビの発生する可能性が高まるため、被覆前の殺菌剤の散布が必要である。

箱なし苗は育苗箱を使わないため、移植後の使用済み育苗箱の回収、洗浄、保管が不要である。枠を作って育苗培土を詰める箱なし苗では(横田ら 1997)、育苗の代わりに枠の組立、育苗後の回収、洗浄、保管が必要となる。本研究で開発した箱なし苗はそのような必要がなく、農家の負担を軽減できる。

以上、箱なし苗が実用化されれば、水稲の移植栽培の軽作業化や春の労働ピークの分散、育苗箱の取り扱いの負担軽減など、現在の移植栽培における問

題点を解決できる。このことで、水稻の移植栽培を大規模化や担い手の高齢化へ対応させることに役立つものと考えられる。

2. 今後の応用と課題

本研究で用いた種子付きマットは、水稻の箱なし育苗以外への応用の可能性が広がっている。ここでは2つの応用例を示す。

一つ目はロングマット苗への応用である。厚さ5 mm、長さ4 mの不織布付もみがら成型マットを用いて水稻の種子付きマットを試作し、箱なし育苗と同様に無加温平置育苗を行うことによりロングマット苗が育成できた（白土・中西 2006）。このロングマット苗は慣行苗7枚分相当で重量が12.3 kgであり、箱なし苗の約60%の重量で、非常に軽かった。欠株率は16%と高いものの、収量は慣行苗と同等であった。種子付きマットを用いることで、高価な水耕装置を導入することなく、通常のプール育苗用の苗床でロングマット苗を育成できる点が大きなメリットである。

2つ目は芝等緑化植物への応用である。センチピードグラス種子を用いた種子付きマットを使った緑化の研究が共同研究者の全農により行われている。マットを並べるだけなので施工が簡単であり、マルチ効果による雑草抑制も期待できる。使用できる土壌量に制約のある屋上緑化へも応用できる可能性がある。

一方、本研究で開発した箱なし苗には大きく2つの問題点が残されている。1つ目は苗の出芽や生育のむらであり、2つ目は欠株である。

箱なし苗の出芽や生育は苗床が均平な場合はよく揃うが、整地が不十分な場合は、部分的に出芽不良や生育不良になる場合が見られた。苗床に凹凸があると種子付きマットの水分にむらが生じるためだと思われる。第Ⅲ章で検討したように、水分は主に粗孔隙に保持されていると考えられる。そのため、苗床の高いところから低いところへ重力に従って水分が移動し易いといえる。苗の出芽や生育の安定化のためには、もみがら成型マットへ土等の微粒子を混入して毛細管に保持される水分を増加させるような改良が必要となるであろう。

もみがら成型マットへの土等の混入は苗マットの重量を増加させるが、ある程度の増加は欠株率の低減にも有効であると思われる。欠株率を低減できる苗マットの重量を検討する。沼田ら（2001）による

と、苗箱重量3.2 kgと3.5 kgでは慣行苗より欠株率が0.9%以上高かったが、4.0 kgでは0.3%高いだけであった。高橋ら（2004）の報告では、苗箱重量4.1 kg以下では慣行苗より欠株率が高い場合も低い場合もあった。小笠原・鎌田（2002）の報告では、苗箱重量4.4 kgで欠株率は0.03%と低かった。大まかにまとめると、苗箱を含めて4 kg～4.4 kg、苗マットでは3.5 kg～3.9 kgは欠株率の低減に必要と思われる。つまり、本研究の箱なし苗の重量を0.7 kg～1.1 kg増やす必要がある。土の厚さに換算すると約5 mm～7 mmに相当する（高橋ら 2004）。もみがら成型マットは厚さが15 mmであり、5 mm程度の土なら混入できる可能性はある。しかしながら、これ以上重くすると軽量化のメリットが失われてしまう。なお、覆土量を増やすことで苗マットの重量を増やすことも考えられるが、覆土は接着できる上限が500 g程度であり、500 gにすると、灌水量が多い場合には出芽不良を引き起こしたので（表7）、増量は困難であると考えられる。

軽いという箱なし苗のメリットを最大限活かすためには、軽量の苗マットでも高精度に移植できる田植機の開発が望まれる。これまで田植機の改良は植付精度の向上、自動化やノーブレイキターンなど操作性の向上、多条化や高速化、側条施肥や農薬同時散布による高能率化について行われてきた。しかし、これらの改良は苗を取り扱う補助者の労働負荷を軽減するものではなかった。予備苗のせ台を前方へ伸びるようにして、苗の補給を軽作業化する改良や疎植への対応により、苗補給の軽労化も行われてはいるものの、慣行の重い苗が前提になっていることに変わりはなく、十分とは言えない。慣行苗を対象に、苗送り機構もこれまで歯車式から、ベルト式、ベルトも短いものから長いものへと改良されてきている。軽い苗マットを確実に送るには苗送り機構のさらなる改良が必要である。苗載せ台の滑り改善や苗押さえの改善などを通して軽い苗マットを精度よく植えられる田植機の開発も可能と考える。

引用文献

- 1) Andoh, H.; Kobata, T. 2000. Does wetting and redrying the seed before sowing improve rice germination and emergence under low soil

- moisture conditions? Plant Prod. Sci. 3 : 161-163.
- 2) 安藤秀俊, 小葉田亨. 2002. ハードニング処理したコムギと水稲種子における乾燥土壌下の出芽およびアミラーゼ活性の促進. 日作紀 71 : 220-225.
 - 3) Basra, S. M. A.; Farooq, M.; Hafeez, K.; Ahmad, N. 2004. Osmohardening: a new technique for rice seed invigoration. Int. Rice Res. Notes 29 : 80-81.
 - 4) Basra, S. M. A.; Farooq, M.; Tabassam, R.; Ahmad, N. 2005. Physiological and biochemical aspects of pre-sowing seed treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). Seed Sci. Technol. 33 : 623-628.
 - 5) Basu, R. N.; Pal, P. 1980. Control of rice seed deterioration by hydration-dehydration pretreatments. Seed Sci. Technol. 8 : 151-160.
 - 6) Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. Plant Cell 9 : 1055-1066.
 - 7) Bray, C. M. 1995. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. (Kigel, J.; Galili, G. ed., Seed Development and Germination). New York. Marcel Dekker. p.767-789.
 - 8) Farooq, M.; Basra, S. M. A.; Ahmad, N.; Hafeez, K. 2005. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. J. Integ. Plant Biol. 47 : 187-193.
 - 9) 藤井 薫, 佐々木次郎. 1993. 水稲プール育苗に関する試験. 宮城農セ研報 59 : 20-67.
 - 10) 福島裕助, 松尾太, 中村晋一郎, 大賀康之. 1995. 早期水稲の平床育苗における被覆資材の適応性. 福岡農総試研報 14 : 18-21.
 - 11) 後藤雄佐, 新田洋司, 中村 聡. 2000. 育苗. (作物I [稲作]) (社) 全国農業改良普及協会. p.48-63.
 - 12) Hallgren, S. W. 1989. Effects of osmotic priming using aerated solutions of polyethylene glycol on germination of pine seeds. Ann. Sci. For. 46 : 31-37.
 - 13) Harris, D.; Joshi, A.; Khan, P. A.; Gothkar, P.; Sodhi, P. S. 1999. On-farm seed priming in semi-arid agriculture: development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. Exp. Agric. 35 : 15-29.
 - 14) Hilhorst, H. W. M.; Toorop, P. E. 1997. Review on dormancy, germinability, and germination in crop and weed seeds. Adv. Agron. 61 : 111-165.
 - 15) 平岡博幸, 星野孝文, 八木忠之. 1981. 床土代替資材「パルプ製育苗マット」による稚苗育苗と機械移植適性. 九州農業研究 43 : 20.
 - 16) 星 信幸, 高橋智恵子. 2002. 「もみがら成型マット」の吸水特性と根上がり防止対策. 東北農業研究 55 : 19-20.
 - 17) 伊藤十四英. 1995. 乳苗で誰でも楽々小力・安定多収. (農文協編, 乳苗稲作の実際). 農文協. p.7-22.
 - 18) 河内博文. 2005. 水稲「ヒノヒカリ」の疎植栽培における欠株が生育・収量に及ぼす影響. 近中四農業研究 6 : 8-13.
 - 19) Khan, A. A. 1992. Preplant physiological seed conditioning. Hort. Rev. 13 : 131-181.
 - 20) 北川 寿, 白土宏之, 屋代幹雄, 小倉昭男. 2003. 水稲ロングマット水耕苗の機械移植栽培における欠株発生と収量. 日作紀 72 (別1) : 14-15.
 - 21) 北川 寿, 白土宏之, 小倉昭男, 屋代幹雄, 田坂幸平. 2004. 水稲ロングマット水耕苗の育苗・移植技術マニュアル. 中央農研研究資料 5 : 23-65.
 - 22) 金 和裕, 金田吉弘. 1997. 軽量人工床土を用いた水稲省力育苗技術. 東北農業研究 50 : 43-44.
 - 23) 桑原恵利, 末兼正倫, 中司祐典, 高橋一興, 藏重宏史. 2002. 田植機を利用したマット式水稲湛水直播システムの開発. 山口農試研報 53 : 1-13.
 - 24) Lee, S. S.; Kim, J. H.; Hong, S. B.; Kim, M. K.; Park, E. H. 1998a. Optimum water potential, temperature, and duration for priming of rice seeds. Korean J. Crop Sci. 43 : 1-5.
 - 25) Lee, S. S.; Kim, J. H.; Hong, S. B.; Yun, S. H. 1998b. Effect of humidification and hardening treatment on seed germination of rice. Korean J. Crop Sci. 43 : 157-160.
 - 26) Lee, S. S.; Kim, J. H.; Hong, S. B.; Yun, S. H.; Park, E. H. 1998c. Priming effect of rice seeds on seedling establishment under adverse soil conditions. Korean J. Crop Sci. 43 : 194-198.
 - 27) Lee, S. S.; Kim, H. 2000. Total sugars, α -amylase

- activity, and germination after priming of normal and aged rice seeds. *Korean J. Crop Sci.* 45 : 108-111.
- 28) 前田博文, 松沢正知, 滝広徳男. 1972. 水稻の稚苗移植栽培における欠株の許容度について. 広島農試報告 32 : 1-6.
- 29) 真鍋尚義, 原田皓二, 土居健一. 1989. 北部九州平坦地麦跡移植水稻の低コスト安定生産のための疎植の効果. 福岡農総試研報A 9 : 17-22.
- 30) 丸山清明, 佐本四郎. 1977. 水稻種子の吸水性の品種間差に関する考察. 北陸作物学会報 12 : 10-13.
- 31) 松本浩一. 2005. 水稻ロングマット水耕苗の育苗・移植技術の評価と普及実態. 農及園 80 : 743-750.
- 32) 森重陽子, 河内博文. 2005. 株間拡大と苗かき取り量の削減が使用苗箱数と移植精度および水稻の収量に及ぼす影響. 愛媛農試研報 39 : 10-13.
- 33) 村上 章, 金 和裕, 金田吉弘, 太田 健, 菅原修, 小林ひとみ. 2000. 軽量人工床土を用いた水稻育苗技術. 土肥誌 71 : 893-897.
- 34) 村上 章, 戸枝一喜, 太田 健, 小林ひとみ, 藤井芳一. 2001. 爆砕糶がらを床土に用いた水稻育苗. 東北農業研究 54 : 49-50.
- 35) 中橋富久, 中井 謙, 藤井吉隆, 高田 勇. 2003. 種子マットを利用した湛水直播技術. 滋賀農総セ農試研報 43 : 1-6.
- 36) 中谷治夫. 1981. 田植機利用による水稻の湛水土壤中直播栽培に関する研究. 石川農試研報 11 : 1-28.
- 37) 成田真樹, 高城哲男. 2000. 「もみがら成型マット」を利用した育苗法. 東北農業研究 53 : 31-32.
- 38) 沼田益朗, 田近克司, 小池 潤, 伊藤純雄, 田村有希博. 2001. バーク堆肥を利用した軽量な水稻育苗用培地の開発. 土肥誌 72 : 689-693.
- 39) 落合 宏, 林 久喜, 遠藤織太郎. 1995. 水稻種子におけるプライミング処理が低温条件下の発芽に及ぼす影響. 日作紀 64 (別1) : 70-71.
- 40) 小笠原伸也, 鎌田易尾. 2002. 水稻中苗におけるもみがら成型マットの適用性. 東北農業研究 55 : 21-22.
- 41) 大野高資, 杉山英治, 川崎哲郎. 2001. 水稻疎植栽培が省力・低コスト化に及ぼす影響. 愛媛農試研報 36 : 1-5.
- 42) 大谷和彦, 菊池清人, 山口正篤. 2000. 新育苗箱を使用した水稻育苗の軽労化. 日作関東支部報 15 : 14-15.
- 43) Pallais, N. 1989. Osmotic priming of true potato seed: effects of seed age. *Potato Res.* 32 : 235-244.
- 44) 坂田雅正, 松岡寿充, 猪野亜矢, 山岸 淳. 1993. 早期栽培における水稻乳苗機械移植栽培法. 高知農技セ研報 2 : 55-64.
- 45) 佐々木豊, 金谷 豊, 建石邦夫. 2004. ロングマット育苗移植作業の労働負担. ファーミングシステム 5 : 59-62.
- 46) 佐竹治男, 鳥羽 清, 小松良行. 1980. 水稻機械移植用育苗における遮光性フィルムの利用に関する研究. 第1報 徳島県における遮光性フィルムの普及実態とその問題点. 日作四国支部紀事 16 : 1-5.
- 47) Shiratsuchi, H.; Kitagawa, H.; Okada, K.; Nakanishi, K.; Suzuki, M.; Ogura, A.; Matsuzaki, M.; Yasumoto, S. 2008. Development of rice "seed-mats" consisting of hardened seeds with a cover of soil for the rice transplanter. *Plant Prod. Sci.* 11 : 108-115.
- 48) 白土宏之, 中西一泰. 2006. もみがら成型マットを利用した育苗技術の開発. 農及園 81 : 212-217.
- 49) 白土宏之, 中西一泰, 鈴木光則, 北川 寿, 岡田謙介, 松崎守夫, 安本知子. 2008. 「種子付きマット」を用いた水稻の「箱なし育苗」に適した苗床被覆資材, 覆土量, および灌水量. 日作紀 77 : 266-272.
- 50) 白土宏之, 北川 寿, 小倉昭男, 中西一泰, 鈴木光則. 2009. 種子付きマットを用いた水稻「箱なし苗」の作業性. 農作業研究 44 : 21-28.
- 51) Singh, A. I.; Chatterjee, B. N. 1980. Effect of seed pretreatment on rainfed dryland rice production and on water saturation deficit in leaves. *Int. Rice Res. Newsl.* 5 : 19-20.
- 52) 鈴木富男. 2006. 水稻直播栽培の普及状況と今後の推進方向. 農業技術 61 : 481-487.
- 53) 高橋行継. 2003. プール育苗における新育苗箱の適応性. 日作紀 72 : 19-24.
- 54) 高橋行継, 佐藤泰史, 前原 宏, 阿部邑美. 2004a. 群馬県的水稻普通期露地育苗における平置き出

- 芽法の適用 - 被覆資材と出芽の関係について - . 日作紀 73 : 253-260.
- 55) 高橋行継, 佐藤泰史, 加部 武, 栗原 清, 阿部 邑美, 吉田智彦. 2004b. 水稲育苗箱の培土量減量による軽量・低コスト化に関する検討 - 群馬県におけるプール育苗条件において -. 日作紀 73 : 389-395.
- 56) 高橋行継, 吉田智彦. 2006a. 群馬県稲麦二毛作地帯における水稲育苗箱全量基肥栽培のプール育苗法に関する検討. 日作紀 75 : 119-125.
- 57) 高橋行継, 吉田智彦. 2006b. 群馬県稲作農家の低コスト・省力化技術導入に対する評価と意識及び普及に関する調査. 日作紀 75 : 542-549.
- 58) Tasaka, K. 1999. Raising and transplanting technology for long mat with hydroponically grown rice seedlings. JARQ 33 : 31-37.
- 59) 寺島一男. 2002. イネ (水稲、陸稲) 栽培, 管理, 収穫. (日本作物学会編, 作物学事典). 朝倉書店. p.304-319.
- 60) 梅本 雅. 1992. 稲作における規模の経済性. 東北農試研報 84 : 113-132.
- 61) 梅本 雅. 1993. 稲作コストダウンのための技術的課題と乳苗移植の経営的評価 (1). 農業技術 48 : 304-307.
- 62) 渡邊 肇, 佐々木倫太郎, 関口 道, 鈴木和美, 三枝正彦. 2005. 耕起側条施肥栽培及び不耕起栽培における欠株が水稲の生育・収量に及ぼす影響. 日作東北支部報 48 : 43-44.
- 63) Welbaum, G. E.; Shen, Z.; Oluoch, M. O.; Jett, L. W. 1998. The evolution and effects of priming vegetable seeds. Seed Technol. 20 : 209-235.
- 64) 山内 稔. 2002. 水稲の活性化種子の製造と湛水直播における利用. 日作紀 71 (別1) : 152-153.
- 65) 矢野真二, 菊池栄一. 2002. 水稲育苗用「もみがら成型マット」の育苗技術. 東北農業研究 55 : 23-24.
- 66) 横田喜尚, 千葉準三, 大泉眞由美, 藤井 薫. 1997. 水稲箱なし育苗 第1報 播種床の開発. 東北農業研究 50 : 41-42.
- 67) 吉永悟志, 白土宏之, 長田健二, 福田あかり, 中林光文, 横山裕正, 木村利行, 日影勝幸, 小田中温美, 浅野真澄, 三上雄史, 島津裕雄, 木川裕美, 三浦恒子, 若松一幸, 山川 淳, 井上由紀, 浅野目謙之, 中山芳明, 島宗知行, 鈴木幸夫, 木田義信, 佐々木園子. 2008. 東北地域における直播水稲の登熟特性と収量・品質関連形質. 東北農研研報 109 : 41-82.