

第2章 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

第1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。第2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て箱なし育苗を行い、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。

材料及び方法

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（第1-1図）。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（280 mm × 15 mm × 580 mm、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、 P_2O_5 、 K_2O 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籾殻に噴霧・攪拌混合して製造時に加えた。覆土400 gにはN、 P_2O_5 、 K_2O 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量測定が困難なため、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。

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（第2-1図）。重量（ W_0 ）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苗用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。

$$\text{灌水ロス} = (\text{必要灌水量} - W1 + W0) / \text{必要灌水量} \times 100$$

$$\text{灌水直後の水分飽和率} = (W1 - W0) / (W2 - W0) \times 100$$

$$\text{翌日の水分飽和率} = (W3 - W0) / (W2 - W0) \times 100$$

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、 P_2O_5 、 K_2O 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 日目に出土不良部分の面積割合を基準として、出土不良程度を達観で調査した。出土不良箇所なしを 0、出土不良面積が 20% 増えるごとにスコアを 1 ずつ増加させ、全面出土不良を 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達観で調査した。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) プロシーチャーを用

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 プロシージャールを用いて分散分析を行った。

結果

1) 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)

苗床被覆資材上に置いたもみが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 (第 2-1 表)。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 (第 2-2 表)。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（第 2-2 表）。すなわち、苗丈、葉齡、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（第 2-2 表）。苗丈と葉齡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。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（第 2-2 図）。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（第 2-3 表）。逆に、

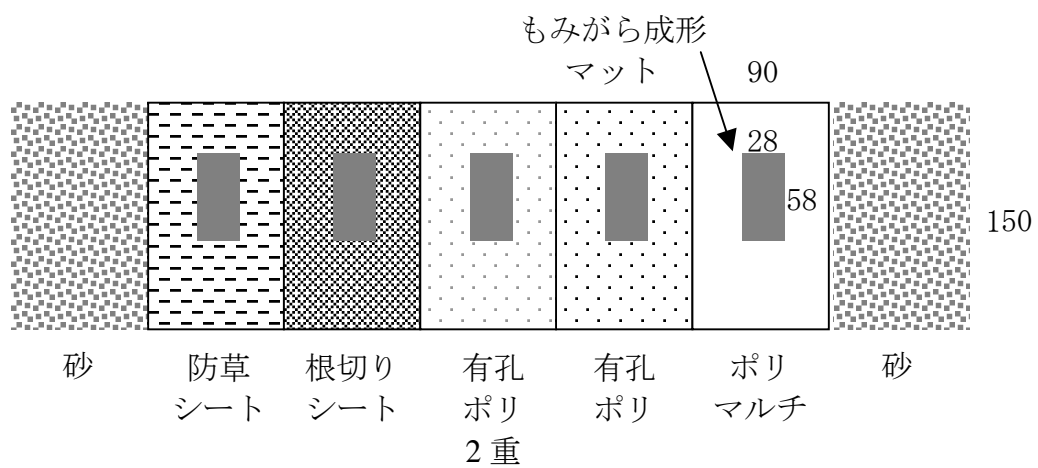
覆土 300 g 孔あり区では種子付きマットの乾燥が観察された。

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（第 2-3 表）。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。

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で多く、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（第 2-1 表）。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%



第 2-1 図 苗床被覆資材ともみがら成形マットの配置（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。

第 2-1 表 苗床被覆資材がもみが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	必要灌	吸水量	灌水ロス	水分飽和率 ²⁾	
	滞水	水量 ¹⁾ (L)	(L)	(%)	灌水直後 (%)	灌水翌日 (%)
防草シート（平織り）	あり	2.6 c	1.66 a	37 c	101 a	13 c
根切りシート（不織布）	なし	4.5 a	1.11 c	75 a	69 c	14 c
有孔ポリ	少し	3.3 b	1.36 b	58 b	84 b	34 bc
有孔ポリ 2 重	あり	2.5 c	1.51 ab	40 c	96 ab	56 b
ポリマルチ	あり	2.6 c	1.56 ab	40 c	95 ab	91 a

1) もみがら成型マットの底面が全面濡れるまでの灌水量。

2) 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）。

第 2-2 表 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）。

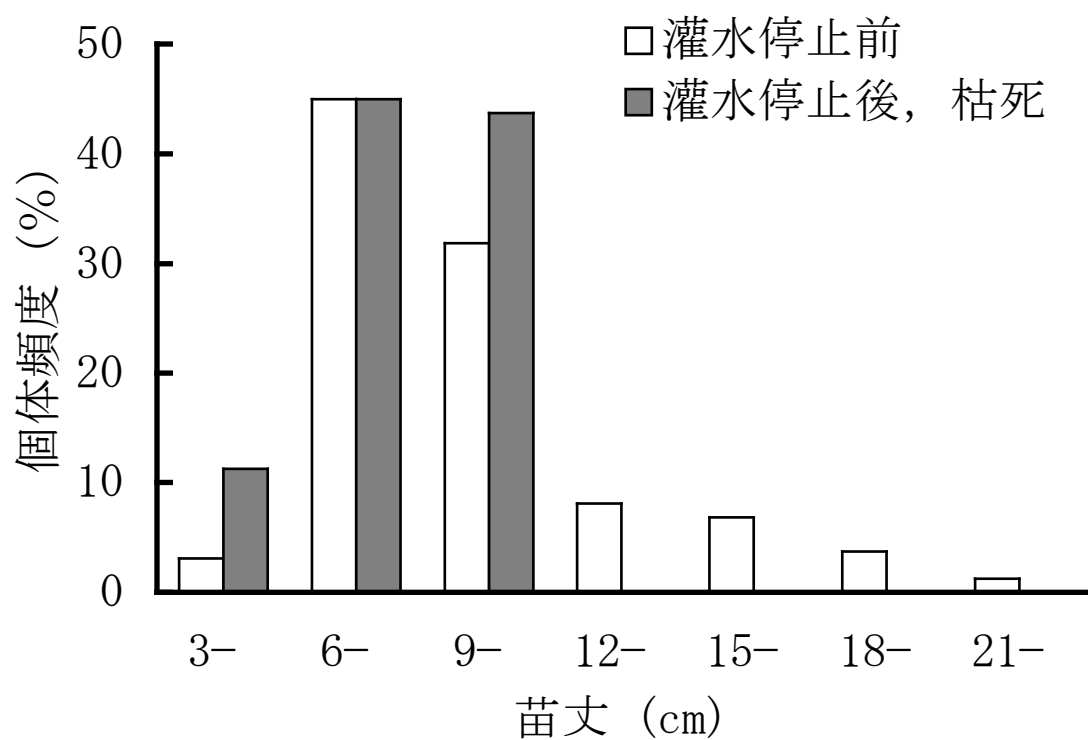
資材	出芽 勢 ¹⁾ (%)	被覆 期間 (日)	育苗開始後 11 日目			育苗開始後 22 日目				
			苗丈 (cm)	葉齢	茎葉 乾物重 (mg 本 ⁻¹)	苗丈		葉齢	茎葉 乾物重 (mg 本 ⁻¹)	枯死幅 ³⁾ (cm)
						(cm)	SD ²⁾ (cm)			
防草シート	16 b	8	4.0 bc	2.0 ab	3.1 bc	8.1 a	2.0 bc	3.4 a	7.1 c	2.1 ab
根切りシート	0 b	9	2.4 c	1.5 b	1.9 c	8.1 a	2.0 bc	3.4 a	7.6 bc	2.6 a
有孔ポリ	93 a	6	5.6 ab	2.3 a	4.6 ab	9.9 a	3.4 a	3.6 a	9.4 ab	1.2 b
有孔ポリ 2 重	98 a	6	6.0 a	2.3 a	5.0 ab	9.3 a	2.9 ab	3.5 a	9.7 ab	1.2 b
ポリマルチ	95 a	5	6.7 a	2.5 a	6.3 a	9.8 a	1.3 c	3.7 a	11.4 a	0.0 c

1) 育苗開始後 5 日目に測定。

2) 苗マット内の苗丈の標準偏差の平均値。

3) 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)。



第 2-2 図 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。

第 2-3 表 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	覆土量	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)	葉齡	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

*, **はそれぞれ 5%と 1%水準で有意差があることを示す。

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（第2-2表）。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、第2-2図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（第 2-2 図）、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（第 2-2 表）。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と報告している。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（第 2-3 表）、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（第 2-3 表）。第 2-1 表の結果に基づくと、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（第 2-3 表）。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根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、覆土が少なくて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。

第 2 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（第 2-3 表）。

第 3 章 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

第 2 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の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。

材料及び方法

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（第 3-1 表）。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い、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、 P_2O_5 、 K_2O 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期間で表示し、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第 3-1 表に示した。

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）とつくば市農家水田（現地試験 3）で行った（第 3-2 表）。現地試験 1-2 では 37 a の水田を供試して、2004 年と 2005 年に箱なし苗を 25 a、慣行苗を 11a 移植した。現地試験 3 では 2005 年に 14 a の水田に箱なし苗、13 a 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、7 cm × 28 cm 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 28 cm 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 m²～4 m²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1.80 mm（試験11－12、試験15、現地試験1－2、現地試験3の坪刈）、または1.85 mm（現地試験3の全刈収量）、はえぬきは1.90 mm（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。

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（第3-3表、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（第 3-4 表、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 以上では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の交互作用も検討するために、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（第 3-5 表）。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 5.5cm 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（第 3-6 表）。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、葉齡、莖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、葉齡、莖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 日の莖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、葉齡、莖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、葉齡は同程度であり、莖葉乾物重は優る傾向であった。まとめると、水管理が上面灌水、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 では箱なし苗の莖葉乾物重が慣行苗より少なかった（第 3-7 表）。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莖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、葉齡、莖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（第 3-8 表）。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 4.2 cm の被覆期間 9 日（第 3-4 表）までは被覆期間が長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（第 3-9 表、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 水準組み合わせさせた試験 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（第 3-10 表）。

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（第 3-11 表）。

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（第 3-12 表）。

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（第 3-13

表、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（第 3-14 表、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 水準組み合わせさせた試験 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（第 3-15 表）。

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（第 3-16 表）。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（第 3-17 表）。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（第 3-18 表、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。

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（第 3-19 表、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 3 cm と 6 cm 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（第 3-20 表）。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 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（第 3-21 表）。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（第 3-22 表）。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。

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（第 3-23 表、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（第 3-24 表、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（第 3-25 表）。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（第 3-26 表）。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（第 3-27 表）。有意差はなかったが、箱なし苗は慣行苗に比べて穂数が少なく、一穂粒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（第 3-28 表）。欠株率が通常箇所の評刈では、箱なし苗は慣行苗に比べて、粒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、粒数が少なかった。箱なし苗の品質は慣行苗と有意差がなかった。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、一穂粒数の増加により粒数が補償され、現地試験 2 ではむしろ通常箇所より粒数が多かった。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。

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はいないことを示し、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。

第3-1表 育苗条件。

試験年	育苗場所	品種	苗箱	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)			マット・床土温度			
									N	P ₂ O ₅	K ₂ O	追肥日	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 24 28 32 36	9 10 11 12 15	上面	低発泡ポリ	4/25	1.4	1.7	1.5	-8	1.0	1.0	1.0	21.6 21.6 20.8 20.5 19.7	5.2 5.4 5.7 5.4 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 8 9 10 12 14	4 7 8 9 10 12 14	上面	低発泡ポリ	5/06	1.4	1.7	1.5	-2	0.5	0.5	0.5	22.2	6.0
			慣行	25	6					0.8	1.6	1.4	-	-	-	-	20.6	6.4
13	2006	天仙	はえぬき	箱なし	24 12 33 14	10 12 10 14	上面	低発泡ポリ	6/05	1.7	1.9	1.8	-11	-7	1.0	1.0	21.1 21.0 - -	5.0 5.0 - -
			慣行	24	5					1.7	2.1	1.5	-	-	-	-	21.1	4.8
14	2007	天仙	はえぬき	箱なし	28 16 32 17	15 16 14 17	上面	低発泡ポリ	5/21	1.7	1.9	1.8	-12	1.0	1.0	1.0	- 19.2 - 18.2	- 4.2 - 5.0
			慣行	24	5					1.7	2.1	1.5	-	-	-	-	-	-
			箱なし	28	15	テール	低発泡ポリ	-	-	1.7	1.9	1.8	-12	1.0	1.0	1.0	- 20.0 - 18.9	- 6.5 - 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	天仙	はえぬき	箱なし	28 24 21	8 4 6	テール	低発泡ポリ	5/26	1.7	1.9	1.8	-12	1.0	1.0	1.0	22.0 20.3 -	5.8 4.3 -
現地1	2004	つくばみらい	コシヒカリ	箱なし	22	9	上面	低発泡ポリ	5/02	1.1	1.2	1.1	-7	1.0	1.0	1.0	-	-
			慣行	21	6					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 23	13 7	上面	低発泡ポリ	5/03	1.4	1.7	1.5	-	-	-	-	19.8	3.7
			慣行	29	7					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	低発泡ポリ	5/09	1.4	1.7	1.5	-	-	-	-	21.2	3.8
			慣行	23	6					1.5	1.5	1.5	-	-	-	-	-	-

「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」はシルバーポリの不織布の複合資材を表す。

追肥日は移植日からの日数で表示。

追肥量は合計値。

第3-2表 耕種概要。

試験	移植 圃場	移植 苗 株数 (株 m ⁻²)		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	つくばみ	18.2	共通	4.5	4.5	4.5	-	-	-	-
試験1	らい現地									
現地	つくばみ	18.2	共通	4.5	4.5	4.5	-	-	-	-
試験2	らい現地									
現地	つくば	15.2	共通	4.8	18.0	6.4	7月13日	2.2	0.0	2.2
試験3	現地									

第3-3表 育苗日数が水稻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)	葉齡	苗丈 (cm)	葉齡	茎葉乾物重 (mg)
箱なし	20	9	3.8	1.9	9.2 c	3.4 bc	10.2 c
	24	10	6.0	2.1	13.9 a	3.5 b	12.1 b
	28	11	4.8	2.0	14.3 a	3.8 a	13.3 ab
	32	12	4.0	1.9	14.2 a	4.0 a	13.6 ab
	36	15	4.4	2.1	15.4 a	4.0 a	15.1 a
慣行	20	4	—	—	11.4 b	3.3 c	12.4 b

葉齡は不完全葉を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）。

第3-4表 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)	葉齡	苗丈 (cm)	第2葉鞘長 (cm)	葉齡	茎葉乾物重 (mg)
箱なし	7	1.5 f	0.6 d	9.2 c	2.4 d	3.9 a	12.2 b
	8	3.0 e	1.6 c	9.5 c	2.6 cd	3.8 a	13.0 ab
	9	4.2 d	2.0 bc	10.9 c	3.3 bc	3.7 ab	12.8 ab
	10	5.9 c	2.2 b	13.2 b	4.4 a	3.5 b	12.4 b
	12	8.2 b	2.9 a	13.1 b	4.3 a	3.5 b	13.1 ab
	14	11.9 a	2.9 a	15.2 a	4.9 a	3.3 c	12.8 ab
慣行	6	1.8 f	0.8 d	13.2 b	3.4 b	3.8 a	15.1 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）。

葉齡は不完全葉を1葉とした。

第3-5表 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			
			苗丈 (cm)	葉齡	苗丈 (cm)	第2葉鞘長 (cm)	葉齡	茎葉乾物重 (mg)
箱なし	24	10	3.3 c	1.9 c	10.6 c	2.9 c	3.7 cd	14.9 b
		12	5.5 b	2.2 b	12.1 ab	3.7 a	3.6 c	16.7 ab
	33	10	3.4 c	2.0 c	11.5 bc	2.4 d	4.3 a	19.0 ab
		14	7.9 a	2.6 a	13.2 a	3.3 ab	4.0 b	19.4 a
慣行	24	5	2.1 d	1.2 d	12.1 ab	2.9 bc	3.9 bc	17.1 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）。

葉齡は不完全葉を1葉とした。

第3-6表 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			
				苗丈 (cm)	葉齡	苗丈 (cm)	第2葉鞘長 (cm)	葉齡	茎葉乾物重 (mg)
上面	箱なし	28	15	4.3	2.2	12.5 a	3.3 a	3.5 c	12.4 a
			16	6.2	2.5	12.8 a	3.5 a	3.4 c	13.1 a
		32	14	3.5	2.1	12.7 a	2.8 a	3.8 a	13.2 a
			17	5.2	2.3	12.8 a	3.0 a	3.8 ab	12.7 a
	慣行	24	5	2.2	1.2	12.3 a	3.0 a	3.6 bc	12.7 a
プール	箱なし	28	15	4.3	2.2	12.7 A	3.1 A	3.7 BC	13.9 B
			16	6.2	2.5	13.7 A	3.5 A	3.6 C	14.8 B
		32	14	3.5	2.1	14.3 A	2.9 A	4.0 A	17.0 A
			17	5.2	2.3	14.0 A	3.0 A	3.9 AB	15.4 AB
	慣行	24	5	2.2	1.2	14.7 A	3.1 A	3.8 ABC	15.4 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）。

葉齡は不完全葉を1葉とした。

第3-7表 移植時の苗形質。

試験	苗	苗丈		葉齡		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	—
試験1	慣行	10.0	2.3	3.2	0.3	9.1	—
現地	箱なし	10.7	0.8	3.7	0.2	11.2	0.6
試験2	慣行	9.7	0.4	3.4	0.2	8.5	0.7
現地	箱なし	15.0	1.0	3.3	0.2	13.1	0.5
試験3	慣行	14.5	1.0	3.5	0.2	12.1	0.6
平均	箱なし	11.4	ns	3.6	ns	11.4	ns
	慣行	11.2		3.4		10.7	

苗丈、葉齡の標準偏差 (SD) は試験15, 現地試験1は個体間の標準偏差、その他は苗マット間の標準偏差。

葉齡は不完全葉を1葉とした。

第3-8表 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 ¹⁾ (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

1) 7cm幅で測定した値を苗マット幅の28cmに換算した値。

土付苗の重量には苗箱を含む。

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（苗重量と直径はTukey-Kramer法、他はTukey法）。欠株率はsquare-root変換後に検定した。

第3-9表 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 ¹⁾ (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

1) 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（苗重量と直径はTukey-Kramer法、他はTukey法）。欠株率はsquare-root変換後に検定した。

第3-10表 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 (%)
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

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square-root変換後検定した。

欠株率は移植後18日に調査。

第3-11表 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 (%)
箱なし	28	15	2.7 a
		16	3.5 a
	32	14	8.7 a
		17	4.4 a
慣行	24	5	3.6 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）。欠株率はsquare-root変換後検定した。

欠株率は移植後36日に測定した。

第3-12表 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	箱なし		5.1 *
	慣行		1.3

square-root変換後分散分析。

*と***はそれぞれ0.5%と0.1%水準で土付苗と有意差があることを示す。
 平均値は各試験のブロックをブロックとして分散分析。

第3-13表 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）。

第3-14表 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）。

第3-15表 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）。

第3-16表 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）。

第3-17表 箱なし苗の初期生育。

試験	苗	調査日 移植後 (日)	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	箱なし		30.7 ns	434 ns
	慣行		31.3	339

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す。

第3-18表 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）。

第3-19表 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）。

第3-20表 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）。

第3-21表 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（Dunnett法）。

第3-22表 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	箱なし	7月28日 -	86.1 -	2.7 -
試験1	慣行	7月26日	90.2	3.3
現地	箱なし	8月 1日 -	86.4 -	0.9 -
試験2	慣行	8月 1日	86.7	0.9
現地	箱なし	8月 5日 -	87.2 -	2.6 -
試験3	慣行	8月 5日	89.1	2.8
平均	箱なし	8月 1日 ns	84.8 ns	1.8 ns
	慣行	8月 1日	85.7	1.9

*は5%水準で慣行苗と有意差があることを示す。

平均値は各試験を1ブロックとして検定した。

第3-23表 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	4.5 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1.8 mm。

第3-24表 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	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 (粒 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	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）。登熟歩合はsquare-root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1.8 mm。

第3-25表 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square-root 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1.9 mm。

第3-26表 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square-root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1.9 mm。

第3-27表 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 (粒 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	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

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す。

登熟歩合と整粒歩合はsquare-root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1.8 mm、試験16は1.9 mm。

第3-28表 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	品質 (1上上-9下下)	欠株率 (%)
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	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	

欠株率は坪刈箇所の値。

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

登熟歩合と整粒歩合はsquare-root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1.85 mm、他は1.80 mm。

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3 cm～6 cm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、葉齡、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(第3-3表)。試験 12 では目標の苗形質が得られなかった(第3-4表)。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3.3 cm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(第3-5表)。試験 14 では全ての区で目標の苗が得られた(第3-6表)。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3.5 cm～6.2 cm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(第3-7表)。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(第1-2表)。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 °Cであり、第1章の発芽試験の温度 30 °Cより約 10 °C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の除覆時苗丈は 3.4 cm～6.2 cm であったので（第 3-3 表から第 3-6 表）、除覆時苗丈の目安を 3 cm～6 cm 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、新潟県水稻栽培指針 2005、栃木県水稻栽培技術指針 2010）、苗丈 3 cm（福島ら 1995）、苗丈 4 cm～5 cm（稚苗、水稻栽培技術指針（福岡県）1998）、苗丈 6 cm～7 cm（佐竹ら 1980）とかなり幅がある。高橋ら（2004a）は除覆時苗丈 1 cm～7.7 cm 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 3 cm～6 cm 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 3 cm～6 cm 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 3 cm～6 cm 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 of 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 47 N より大きく、取り扱いに問題はなかった（第 3-8 表）。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（第 3-13 表）。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（第 3-18 表）。倒伏程度は、育苗期間 24 日で育苗期間 28 日以上 of 箱なし苗より有意に大きかった（第 3-18 表）。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（第 3-23 表）。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、品質の点で同等であり、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（第 3-8 表）、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（第 3-8 表、第 3-11 表）、試験 16 で有意に欠株率が高かった（第 3-12 表）。

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（第 3-13 表、第 3-16 表）か有意に大きかった（第 3-17 表）。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、より軽かった（第 3-18 表、第 3-21 表、第 3-22 表）。

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（第 3-23 表、第 3-26 表、第 3-27 表）。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（第 3-28 表）。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（3-28 表）。

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（第 3-28 表）。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も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。

第4章 種子付きマットを用いた箱なし苗の作業性

第1章ではもみがら成型マットに、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（第1-1図）。第2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3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。

第4章では、第3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係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（第4-1図）、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条件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。

材料及び方法

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（第3-1表、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（第3-1表、第3-2表）。第3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。第 4-2 図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載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、手前側短辺をめく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。

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 (第 4-1 表)。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 (第 4-2 表)。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、標準偏差も同程度であった (第 4-3 表)。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（第 4-3 表）。特に苗マットの継ぎ目では、第 3 章試験 16 と同様に連続欠株が観察された（データ未掲載）。

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（第 4-1 表）。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製を除く種子予措からハウスへの苗の搬入までで 10 a 当たり 66 分 (8.5 ha 規模、梅本 1993)、40.2 分 ～ 41.4 分 (6 ha 規模と 9 ha 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



第 4-1 図 箱なし苗の運搬。



第 4-2 図 種子付きマットを苗床に並べる状況。

第4-1表 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。

第4-2表 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		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			—	—	

SDは標準誤差。

***は0.1 %水準で慣行苗と有意差があることを示す。

第4-3表 箱なし苗の移植精度。

試験	苗	植付深さ		植付本数		欠株率			
						移植日		活着後	
		cm	SD	本	SD	%	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		**		*	

SDは標準偏差。欠株率では調査箇所間の標準偏差。

*, **はそれぞれ 5%, 1 %水準で苗間に有意差があることを示す。

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（第 4-2 表）、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。もみが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 1.3 kg 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 4.5 kg 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がら成型マットを苗箱に入れて育成した苗よりさらに 1.5 kg 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 12 kg のロングマット水耕苗である（苗箱は使わない、Tasaka 1999）。その他に軽い苗として報告されているのは、バーク堆肥使用で 3.2 kg（沼田ら 2001）、バーミキュライトとピートモス使用で 4.4 kg（村上ら 2000）、爆砕もみがら使用で 5.2 kg（村上ら 2001）、改良苗箱で 5.3 kg（高橋 2003）、床土減量で 5.6 kg（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（第 4-2 表）、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（第 4-3 表）。この値は第 3 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（第 3-8 表、育苗日数 24 日、28 日、第 3-11 表）、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、もみが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 4.4 kg で、苗箱は約 0.5 kg 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、軽量な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。

総合考察

第1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2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、苗箱なしで育苗できることを示した。第3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4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 と重いが、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（第 4-2 表）、従来報告されている軽量な苗の中で、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（第 4-2 表）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（第 4-1 表）。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。この点は水稻の規模拡大や、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場合、灌水が必要な期間は最大で 1 日しか増えず（第 3-3 表 28 日育苗）、むしろ短くなる場合もあった（第 3-3 表 24 日育苗、第 3-6 表）。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)、苗箱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、水稻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 の不織布付もみか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 2 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、もみがら成形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。

もみがら成形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）。もみがら成形マットは厚さが 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（第 2-3 図）、増量は困難であると考ええる。

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、軽い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、自動化やノーブレー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担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。

摘要

本研究では、まずもみがら成型マットにハードニング種子と覆土を接着した軽量の種子付きマットを開発した。開発した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。次に、慣行の育苗箱を利用した苗と同等以上の箱なし苗が得られる育苗期間と無加温平置育苗における被覆期間を明らかにした。また、箱なし苗と慣行苗の苗形質、移植精度、生育、収量を比較し、箱なし苗の実用性の評価を行った。最後に、現地試験において、箱なし苗育苗の作業時間、苗マットの形質、搬出・運搬を含む現場に近い条件における移植精度などを慣行苗と比較し、箱なし苗の優れた作業性を明らかにした。得られた結果の概要は次の通りである。

第1章

ハードニング種子と覆土をもみがら成型マットに接着した種子付きマットを開発した。

1. 15℃の水に5日間浸漬したのち乾燥させる種子のハードニングと50℃で5日間または7日間の種子の乾熱処理は50%発芽日数(T_{50})を減少させた。休眠種子の場合、ハードニング前の乾熱処理はハードニング後の乾熱処理よりハードニングの効果を高めた。ハードニング処理は無処理に対して種子付きマットからの苗の茎葉乾物重を増加させた。
2. マットに覆土を接着することにより、無覆土の場合に対して、箱なし育苗における種子付きマットの出芽率、苗丈、葉齢および茎葉乾物重が増加した。

3. ハードニング種子は短い T_{50} と 95 %以上の発芽率を室温で 120 日間維持した。ハードニング種子を用いた種子付きマットは 95 %以上の出芽率を 208 日間維持した。開発した種子付きマットは冬に製造して春の育苗時期まで保存できると判断された。

第2章

種子付きマットを用いた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検討した。

1. 苗床被覆資材として防草シート、根切りシート、有孔ポリ、有孔ポリ 2 重、ポリエチレンマルチ（以下ポリマルチ）を用い、それらの上で箱なし育苗を行ったところ、ポリマルチで出芽勢が高く、苗の茎葉乾物重が大きかった。
2. 苗床被覆資材に用いたポリマルチの小孔の有無、覆土量 300 g、400 g および 500 g、育苗開始時の灌水量 1.5 L と 3 L を組み合わせて箱なし育苗を行った。苗床被覆資材は小孔なしのポリマルチ、覆土量は 300 g～400 g、育苗開始時の灌水量は 1.5 L が適当と判断した。
3. これらの条件で育苗した箱なし苗の葉齢と茎葉乾物重は慣行苗より劣る傾向が見られた。

第3章

種子付きマットを用いた箱なし育苗における発芽の遅れによる生育不足を補償し、慣行苗と同等以上の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、現地試験も含めて実用性を検討した。

1. 育苗期間が慣行苗より 4 日～8 日長く、被覆期間が除覆時苗丈 3 cm～6 cm の時に慣行苗と同等以上の苗丈、葉齡、茎葉乾物重を持つ箱なし苗が得られたので、これを適正育苗条件とした。
2. 適正育苗条件で育苗した箱なし苗は、欠株率がやや高いことを除けば、慣行苗と苗生育、本田生育、収量、品質の点で同等であった。

第 4 章

現地試験を中心に、箱なし苗と苗箱を用いた慣行苗をビニールハウス内の無加温平置き出芽法にて育苗し、作業時間、苗マットや苗の形質、移植精度等を比較した。

1. 箱なし苗は、育苗準備の作業時間が苗 20 枚当たり 20.7 分と慣行の約 1 / 3 になり、苗箱の回収・洗浄・保管も不要となった。
2. 箱なし苗の苗マットの重量は 2.8kg で慣行の半分以下であり、従来軽量苗として報告されているバーク堆肥を使った苗やもみがら成型マットを苗箱にいれて育成した苗より軽く、ハンドリングの軽作業化に大きな効果があった。
3. 箱なし苗を丸めてトラックで運搬した現地試験において、箱なし苗は慣行苗より欠株率が高かったものの、最大で 7 %であり、苗運搬の影響は小さいと考えられた。

謝辞

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）農林水産技術情報協会）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（現作物研究所稲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。JA 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共に、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。

引用文献

Andoh, H. and T. Kobata (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.

安藤秀俊・小葉田亨 (2002) ハードニング処理したコムギと水稻種子における乾燥土壌化の出芽およびアミラーゼ活性の促進. *日作紀* 71: 220-225.

Basra, S. M. A. , M. Farooq, K. Hafeez and N. Ahmad (2004) Osmohardening: a new technique for rice seed invigoration. *Int. Rice Res. Notes* 29: 80-81.

Basra, S. M. A. , M. Farooq, R. Tabassam and N. Ahmad (2005) Physiological and biochemical aspects of pre-sowing seed treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Sci. Technol.* 33: 623-628.

Basu, R. N. and P. Pal (1980) Control of rice seed deterioration by hydration-dehydration pretreatments. *Seed Sci. Technol.* 8: 151-160.

Bewley, J. D. (1997) Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9: 1055-1066.

Bray, C. M. (1995) Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In "Seed Development and Germination", J. Kigel and G. Galili (eds). Marcel Dekker, Inc., New York. p. 767-789.

Farooq, M. , S. M. A. Basra, N. Ahmad and K. Hafeez (2005) Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. J. Integ. Plant Biol. 47: 187-193.

藤井薫・佐々木次郎 (1993) 水稻プール育苗に関する試験. 宮城県農セ研報 59: 20-67.

福島裕助・松尾太・中村晋一郎・大賀康之 (1995) 早期水稻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.

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、東京. p. 48-63.

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.

Harris, D. , A. Joshi, P. A. Khan, P. Gothkar and P. S. Sodhi (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.

Hilhorst, H. W. M. and P. E. Toorop (1997) Review on dormancy, germinability,

and germination in crop and weed seeds. Adv. Agron. 61: 111-165.

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.

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.

伊藤十四英（1995）乳苗で誰でも楽々小力・安定多収. 乳苗稲作の実際. 農文協編. 農文協、東京. p. 7-22.

河内博文（2005）水稻’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.

Khan, A. A. (1992) Preplant physiological seed conditioning. Hort. Rev. 13: 131-181.

北川寿・白土宏之・屋代幹雄・小倉昭男（2003）水稻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.

北川壽・白土宏之・小倉昭男・屋代幹雄・田坂幸平（2004）水稻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.

金和裕・金田吉弘（1997）軽量人工床土を用いた水稻省力育苗技術. 東北農業

研究 50: 43-44.

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稻湛水直播システムの開発. 山口農試研報 53: 1-13.

Lee, S. S., J. H. Kim, S. B. Hong, M. K. Kim and E. H. Park (1998a) Optimum water potential, temperature, and duration for priming of rice seeds. Korean J. Crop Sci. 43: 1-5.

Lee, S. S., J. H. Kim, S. B. Hong and S. H. Yun (1998b) Effect of humidification and hardening treatment on seed germination of rice. Korean J. Crop Sci. 43: 157-160.

Lee, S. S., J. H. Kim, S. B. Hong, S. H. Yun and E. H. Park (1998c) Priming effect of rice seeds on seedling establishment under adverse soil conditions. Korean J. Crop Sci. 43: 194-198.

Lee, S. S. and H. Kim (2000) Total sugars, α -amylase activity, and germination after priming of normal and aged rice seeds. Korean J. Crop Sci. 45: 108-111.

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.

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.

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.

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.

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.

村上章・戸枝一喜・太田健・小林ひとみ・藤井芳一（2001）爆砕粃がらを床土に用いた水稻育苗．東北農業研究 54： 49-50.

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.

中谷治夫（1981）田植機利用による水稻の湛水土壌中直播栽培に関する研究．石川農試研報 11： 1-28.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Pallais, N. (1989) Osmotic priming of true potato seed: effects of seed age. Potato Res. 32: 235-244.

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.

佐々木豊・金谷豊・建石邦夫（2004）ロングマット苗移植作業の労働負担. ファーミングシステム 5: 59-62.

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.

白土宏之・中西一泰（2008）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.

Singh, A. I. and B. N. Chatterjee (1980) Effect of seed pretreatment on rainfed dryland rice production and on water saturation deficit in leaves. Int. Rice Res. Newsl. 5: 19-20.

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.

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.

高橋行継・佐藤泰史・前原宏・阿部邑美（2004a）群馬県の水稲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.

高橋行継・佐藤泰史・加部武・栗原清・阿部邑美・吉田智彦（2004b）水稻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.

高橋行継・吉田智彦（2006a）群馬県稲麦二毛作地帯における水稻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.

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.

Tasaka, K. (1999) Raising and transplanting technology for long mat with hydroponically grown rice seedlings. JARQ 33: 31-37.

寺島一男（2002）イネ(水稻、陸稻)栽培、管理、収穫. 作物学事典. 日本作物学会編. 朝倉書店、東京. p. 304-319.

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.

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.

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稻の生育・収量に及ぼす影響. 日作東北支部報 48: 43-44.

Welbaum, G. E., Z. Shen, M. O. Oluoch and L. W. Jett (1998) The evolution and effects of priming vegetable seeds. Seed Technol. 20: 209-235.

山内稔（2002）水稻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.

矢野真二・菊池栄一（2002）水稻育苗用「もみがら成型マット」の育苗技術．東
北農業研究 55：23-24.

横田喜尚・千葉準三・大泉眞由美・藤井薫（1997）水稻箱なし育苗 第 1 報 播
種床の開発．東北農業研究 50：41-42.