

Effects of One-shot Application of Controlled-release Fertilizer According to Water Characteristics in a Nursery Box for Rice

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): Paddy Rice, Raising seedlings, Single application of fertilizer in nursery box, Water stress, Potting soil, Controlled-release fertilizer, Soil physics 作成者: 高橋, 智紀, 西田, 瑞彦, 吉田, 光二 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001293

水稲の育苗箱全量施肥における培土と施肥位置が 育苗箱内の水分環境に与える影響

高橋 智紀^{*1)}・西田 瑞彦^{*1)}・吉田 光二^{*2)}

抄 録：水稲の疎植栽培の普及などにより、育苗箱全量施肥を行う際、育苗箱への肥料の多量施用が必要となる機会が増えている。肥料の多量施用は育苗箱中の保水性や苗の生育に影響を及ぼす可能性がある。そこで本研究では多量施用を行った場合の育苗時の乾燥ストレスの可能性について検討を行った。施用量は0, 600, 1200g/箱とし、培土の種類、施肥位置（混合、層状施肥、箱底施肥）をかえ、無加温育苗での農業フィルムの被覆期間と灌水開始以降の水分環境について検討した。被覆期間においては表面から5mmの土壌の水分と出芽率の間に有意な正の相関がみられ、最大容水量が大きい培土、または箱底施肥で表層土壌の含水比が高まり、出芽率が高くなった。被覆除去後においては育苗箱の保水性と苗の乾物重に有意な相関は見られたが、決定係数は小さかった ($r^2=0.13$)。以上から被覆期間において出芽率が低下するリスクを第一に考える必要があり、これを防ぐためには最大容水量の大きな培土を選ぶこと、箱底に施肥することが効果的だと結論した。

キーワード：水稲、育苗、育苗箱全量施肥、乾燥ストレス、培土、肥効調節型肥料、土壌物理

Effects of One-shot Application of Controlled-release Fertilizer According to Water Characteristics in a Nursery Box for Rice : Tomoki TAKAHASHI^{*1)}, Mizuhiko NISHIDA^{*1)} and Koji YOSHIDA^{*2)}

Abstract : One-shot application of controlled release fertilizer in a nursery box is an advantageous technique to decrease the labor cost of rice production. However, heavy application of fertilizer is considered to cause drought stress because the water-holding capacity of the nursery box decreases. The objective of this study was to elucidate the possibility of drought injury of rice seedlings in a nursery box with heavy, one-shot application of controlled-release fertilizer. We examine the drought stress for three fertilizer application levels (0, 600, 1200 g/box), nine types of potting soils, two periods (a covered period for retaining heat by plastic film in the initial stage of seedlings and the subsequent uncovered period with daily watering), and three methods of seeding (seeding on a mixture of soil and fertilizer and covering with soil; adding potting soil first, applying fertilizer on the potting soil, seeding on the fertilizer, then covering with soil; and putting down fertilizer first, applying potting soil on top, seeding on the potting soil, then covering with soil). In the covered period, the water content of the surface soil had a high correlation with ratio of standing. Using high-water-holding-capacity potting soil and seeding on soil but not on fertilizer increased the water content of covered soil and the standing ratio. In the uncovered period, the water content of nursery boxes had a significant correlation with the dry matter of seedlings, but the coefficient of determination was small ($r^2=0.13$). We concluded that the most critical period for the risk of drought stress is the covered period, and that the selection of potting soil with a high water-holding capacity and the application of seeds on soil rather than fertilizer are important techniques to avoid drought injury.

Key Words : Paddy Rice, Raising seedlings, Single application of fertilizer in nursery box, Water stress, Potting soil, Controlled-release fertilizer, Soil physics

* 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)

* 2) ジェイカムアグリ東北支店 (JCAM AGRIC. CO., LTD. Sendai, Miyagi 980-0811, Japan)

2015年11月1日受付、2016年2月16日受理

I 緒 言

近年普及が進んでいる水稲の育苗箱全量施肥技術は育苗箱内に一作期間に必要な窒素肥料を施用し、追肥作業の省力化を図るものである(吉田・上野 2014)。通常の移植体系では10aあたりの育苗箱数は25枚程度であり、6kgN/10aの施肥を仮定すると育苗箱に施用する肥料の量は約600g/箱となる(吉田・上野 2014)。これに対し生産現場では、省力化のために必要育苗箱数を12枚/10a程度にまで減らす疎植栽培が提案されており、これに対応する場合は1200g/箱程度の肥料を育苗箱に施用する必要がある。しかし多量施用が苗の生育に与える影響は十分に検討されていない(坂東 2009)。

肥料の多量施用で懸念されることとして育苗箱の保水性の低下や、ルートマットの発達が弱まり肥料がばらけることが挙げられる(坂東 2009)。保水性やルートマットの発達程度は肥料の施用量だけではなく、培土の種類や肥料の施用方法にも影響される。現在育苗箱全量施肥において一般的な施肥方法は3種類ある(吉田・上野 2014)。1つめは培土と肥料を混合して育苗箱に入れる「混合施肥」、2つめは最初に育苗箱に培土を入れ、次に肥料を施用し、その上に播種と覆土を行う「層状施肥」、3つめは最初に育苗箱に肥料を入れ、次に培土を入れ、その上に播種と覆土を行う「箱底施肥」である。多量施用が保水性やルートマットの発達程度に与える影響を検討する際には、こうした施用方法の違いや培土の物理性についても考慮する必要があると考えられる。

保水性を検討する上でもう1つ重要なのは、育苗工程との関連である。東北地域で一般的な無加温育苗では播種後に育苗箱をハウスに置床し、保温用の農業フィルムを被覆し出芽を促す。この段階では灌水ができないため、被覆期間を通した水分状態が問題となる。これに続く被覆除去後には毎日灌水を行うことが一般的であるため、日単位の水分状態の変化を把握する必要があると考えられる。

本研究の目的は、育苗箱への肥効調節型肥料の施用が育苗時の乾燥ストレスおよびルートマットの発達に与える影響を明らかにすることである。上述のように育苗箱の水分環境は肥料以外の因子の影響も受ける。本研究では特に培土の種類および、被覆期間とその後という育苗工程上の違いに着目して検討した。

II 材料と方法

1. 育苗用培土の物理的性質

市販されている8種の育苗用培土(表1)および被覆尿素(ジェイカムアグリ、育苗まかせN400-100)の保水性・水の移動にかかわる因子として、最大容水量、水分特性曲線、不飽和および飽和透水係数を測定した。最大容水量はヒルガード法、不飽和透水係数は蒸発法(Mohrath et al. 1997)、飽和透水係数の測定には変水位法(土壤環境分析法編集委員会 1997)を用いた。水分特性曲線は飽和 \sim -3.1kPaは砂柱法で-98kPaまでは加圧盤法で、これ以下についてはサイクロメーター法で測定した。

2. 被覆期間中の育苗箱内の水分環境の解析

試験は2014年と2015年の2カ年行った。2014年はコンクリート床のガラス室にベニヤ板を敷いて置床し、通常の育苗箱の半分の面積の育苗箱(写真1、育苗箱の内寸は28cm \times 29cm、41穴)を利用した。「結果と考察」で説明するように被覆期間中の乾燥は出芽に大きな影響を及ぼすことが分かったため、2015年はより生産現場に近い条件として床部が土壤のガラス室に置床し、通常の育苗箱(スズテック、「すくすく(1084穴)」)を用いた。便宜上、以降では箱あたりの表示はすべて通常の大きさの育苗箱換算値として示す。

2014年には4月18日に、2015年には4月24日に表1の処理区を設定し、あきたこまちの催芽籾を170g播種した。培土の量は体積が13mmの厚さとな

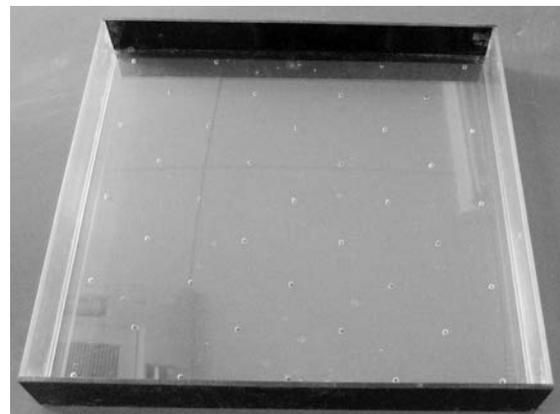


写真1 2014年に用いた一般的な育苗箱の半分の面積の育苗箱

表1 試験区の設計一覧^{a)}

	施肥位置	施肥量 g/箱	培土の量 ^{b)} g/箱	覆土の量 ^{b)} g/箱	2014年 被覆期間	2015年 被覆期間	2014年 被覆後
培土A1	対照	0	2,460	760			○
培土A2	対照	0	2,510	740			○
培土S	対照	0	2,660	760			○
培土U	対照	0	2,670	760			○
培土O	対照	0	3,320	850	○	○	○
	混合	600	2,030	850	○	○	
	層状	600	2,030	850	○	○	○
		1,200	1,180	850	○	○	○
		600	2,030	850	○	○	○
	1,200	1,180	850	○	○	○	
培土M	対照	0	4,130	940	○		○
	混合	600	2,920	940	○		
	層状	600	2,920	940	○		○
		1,200	1,690	940	○		○
		600	2,920	940	○		○
	1,200	1,690	940	○		○	
培土I	対照	0	2,660	800	○		○
	混合	600	1,880	800	○		
	層状	600	1,880	800	○		○
		1,200	1,090	800	○		○
		600	1,880	800	○		○
	1,200	1,090	800	○		○	
培土T	対照	0	2,590	730	○	○	○
	混合	600	1,830	730	○	○	
	層状	600	1,830	730	○	○	○
		1,200	1,060	730	○	○	○
		600	1,830	730	○	○	○
	1,200	1,060	730	○	○	○	

a) 被覆期間の試験では2014年と2015年は苗箱の大きさが異なるため、表は通常の苗箱（58×29cm）換算した値を示した。○は各試験で供試した処理区を示す。

b) 培土および覆土の重量は乾土換算値。

るように揃えた。使用した培土の種類および被覆尿素肥料の施用量は表1のとおりである。施肥窒素量が6kgN/10a、苗箱数を25箱/10aと仮定した際の箱あたりの肥料の施用量は600gと計算されるため、これを標準に2倍量施用に相当する1200g/箱区を用意した。なお吉田・上野（2014）によるハンドブックでは施肥量の記載は1000g/箱までとなっており、1200g/箱の施用はこの上限をやや上回っている。覆土は培土と同じものを用い、すべての処理区において生土で1000g/箱とした。また、このほかに殺菌剤（タチガレエース）7g/箱を培土に混和した。

播種後の苗箱には16mmの灌水を行い底面から浸透水が流出することを確認した。苗箱は育苗器には入れず、ガラス室（無加温）に置床した。浸透水量

が測定できるように各苗箱の下には同型のバットを置き、浸透水を受けた。保温シート（シルバーポリトウ #90、東罐興産株式会社）をかぶせ、シート内の苗箱の高さにおける気温を経時的に測定した。保温シートを被覆後、2日間隔で表面から5mmの覆土（以下、表層土壌とする）の重量含水比および苗箱重を播種後7日目まで調査した。播種後9日目に、苗箱から30個体を無作為に抽出し、3mm以上の根または地上部の伸張が認められるか否かを基準に出芽率を求めた。

3. 保温シート除去後の苗箱内の水分環境の解析

2014年に保温シート除去後、灌水開始以降について、施肥量と施肥位置が苗箱の水分環境に与える影響を検討した。

4月18日に表1の処理区（24処理、48箱）を設定

し、催芽糶の播種を行った。苗箱（スズテック、「すくすく1084穴」）への培土および農薬の施用量は前述の「2 被覆期間中の苗箱内の水分環境の解析」に準じた。また、すべての苗箱に千代田化成（15-15-10）を14g/箱施用した。播種後に育苗器で30℃に加温し、4月21日に育苗用ハウスに置床し、シルバーポリトウ #90（東籾興産株式会社）で2日間被覆した。保温シート除去から1日後の4月24日から約15mm/dを1日1回午前7:30から8:00の間に灌水し、天候に応じて換気等の通常の育苗管理を行った。

育苗期間中の蒸発散量を把握するために各苗箱の下にはポリエチレンを内張りした苗箱を重ね、重力排水される水を受けられる構造とした。灌水前には苗箱の重量（A）および重力排水された水の重量（DA）を、灌水後には苗箱の重量（B）と重力排水された水の重量（DB）を測定し、測定後に受け皿から除去した。以下の式により重力排水された水の重量（D）、蒸発散量（ET）および灌水量（I）を求めた。

$$I_i = (B_i - A_i) + (DB_i - DA_i)$$

$$D_i = DA_{i+1} - DA_i$$

$$ET_i = I_i - D_i - (A_{i+1} - A_i) \\ = (A_i - A_{i+1}) + (DB_i - DA_{i+1})$$

i は測定開始後の日数を示す。この計算式では苗の乾物重を考慮していないため、 D_i 、 ET_i に苗の1日あたりの乾物生産量が誤差として含まれている。また、初日の測定の結果、DBと翌日のDAの差は0.24mmとわずかであった（標準偏差は0.07）。このため、以降は簡略化のためにDAの測定は行わずに $DA_{i+1} = DB_i$ と仮定した。この仮定により、灌水量は平均で0.2mm/dの過大評価を、蒸発散量は平均で0.2mm/dの過小評価をする。

蒸発散量の測定は5月12日まで行い（ただし、5月7日～5月9日は除く）、5月21日に苗の生育量およびマット強度の試験を行った。育苗箱から取り出したマットの両手持ち、片手持ちの可否の調査を行い、「容易」、「困難」、「不可」の3段階で評価し、それぞれを3、2、1として数値化した。苗の生育量として苗箱の中央部および対角線上の中央から角の1/3に相当する位置から苗30本を無作為に選び合計乾物重を求めた。

育苗期間中は地面から40cmの高さに温湿度計を設置し、温度と湿度の測定を行った。また高さ1m

に風速計をおき、ハウス内の風速を測定した。

Ⅲ 結果と考察

1. 培土の物理性

育苗用培土の物理特性を表2に示した。また培土と被覆尿素肥料の透水係数の測定結果を図1に示した。「人工培土の品質等について」（農林水産省農畜園芸局農産課 1988）によると飽和透水係数の「留意すべき値」は 10^{-3} cm/sec以上となっており、今回用いたすべての培土でこの値を上回った（図1）。また最大容水量は50g/100g以上とされており、培土Mはこの値に達しなかった。同資料では-3.1kPa含水比と-49kPaの含水比との水分差（以下、有効水分とする）が、10%以上であることが望ましいとしている。今回の測定では-49kPa含水比を測定していなかったため、水分特性曲線の内挿によく利用されるvan Genuchten式（小杉 2007）を用いて-49kPa含水比を求めたところ、培土I、培土Mでは、推奨値である10%を下回った（表2）。

2. 被覆期間中の苗箱内の水分環境の解析

シート被覆下の気温の推移を図2に示した。シートを被覆することにより苗箱の温度は常に外気温よりも高く保たれ、期間を通じた保温シート内と外気温の平均値は2014年でそれぞれ20.5℃と9.0℃、2015年では22.3℃と14.9℃であった。

保温シート内での水移動の例として培土O、培土Tの結果を表3に示した。両年とも受け皿への浸透水は認められず、どの処理区においても苗箱内の水分の減少は蒸発散によるものだった。このことはシート被覆期間中の苗箱では水移動は下から上への移動が主体であることを示している。蒸発散量の平均値は299～421g/箱（1.8mm）であり、被覆期間において平均18～22%の水が蒸発散によって苗箱から失われた。この傾向は2014年における他の培土でも同様だった。

播種9日後の出芽率は表層土壌の重量含水比との相関が高く（図3）、表層土壌の乾燥が出芽不良の主因であると考えられた。また年次間で比較すると2015年は出芽率・表層土壌の含水比はともに2014年よりも高く、2015年単独では両者の間に有意な相関は無かった。

表層土壌の含水比をみると2014年は培土、施肥方法、および両者の交互作用は有意であり、2015年では培土および施肥方法に有意差があった（表4 -

表 2-1 育苗用培土および被覆尿素の物理性

形状	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土	合計	最大容水量	最大容水量	有効水分	全炭素含量
	%	%	%	%	%	%	g/100g	g/mL	%(v/v)	%
培土 A1	21.4	25.4	46.8	35.2	17.9	100	86.3	0.65	59	7.5
培土 A2	27.3	19.8	47.1	31.8	21.1	100	83.8	0.63	36	1.8
培土 S	9.4	18.3	27.8	37.3	34.9	100	77.6	0.66	34	2.4
培土 U	49.4	2.7	52.1	17.8	30.0	100	71.5	0.63	47	0.3
培土 O	12.8	15.3	28.1	30.8	41.1	100	51.9	0.54	27	1.0
培土 M	62.4	12.1	74.4	15.6	10.0	100	36.8	0.49	6	0.3
培土 I	56.2	8.3	64.5	14.0	21.5	100	70.7	0.59	8	0.4
培土 T	4.9	8.0	12.9	38.5	48.6	100	73.6	0.61	31	5.9
被覆尿素	-	-	-	-	-	-	116.8	1.17	15	-

表 2-2 育苗用培土および被覆尿素の物理性 (続き)

飽和透水係数 cm/sec	各水分ポテンシャルにおける体積水分率								
	-0.25kPa	-0.98kPa	-3.1kPa	-9.8kPa	-49kPa ^{a)}	-980kPa	-1500kPa	-9800kPa	
	v/v	v/v	v/v	v/v	v/v	v/v	v/v	v/v	v/v
培土 A1	0.0025	0.650	0.657	0.628	0.336	0.060	0.048	0.043	0.027
培土 A2	0.0332	0.630	0.619	0.412	0.327	0.130	0.060	0.051	0.030
培土 S	0.0061	0.660	0.626	0.401	0.311	0.129	0.068	0.059	0.029
培土 U	0.0472	0.630	0.638	0.531	0.313	0.056	0.061	0.058	0.042
培土 O	0.0807	0.540	0.398	0.334	0.269	0.144	0.066	0.060	0.033
培土 M	0.0022	0.490	0.503	0.402	0.199	0.065	0.051	0.045	0.023
培土 I	0.0672	0.590	0.416	0.345	-	0.261	0.280	0.260	0.212
培土 T	0.0025	0.610	0.580	0.484	-	0.254	0.223	0.178	0.097
被覆尿素	-	0.496	0.174	0.182	-	0.054	0.058	0.037	0.022

a) van Genuchten式 (小杉 2007) からの内挿値。

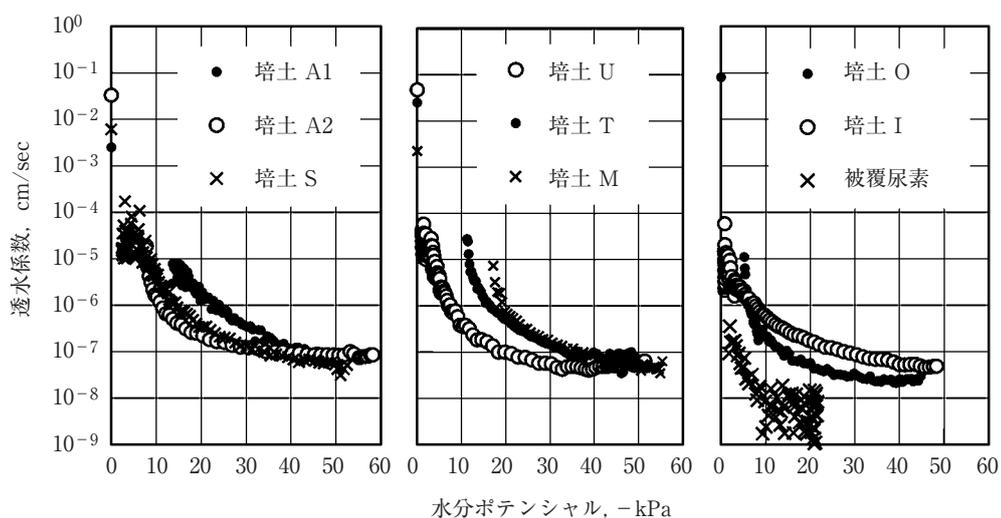


図 1 培土および被覆尿素の透水係数

水分ポテンシャルがゼロの値は飽和透水係数を、それ以外は各水分ポテンシャルでの不飽和透水係数を示す。

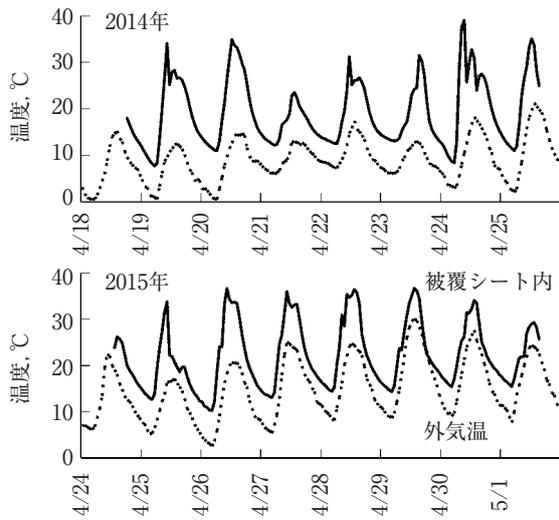


図2 保温シート被覆期間中の気温の推移

実線は保温シート被覆内の気温、点線は大曲アメダスの気温。

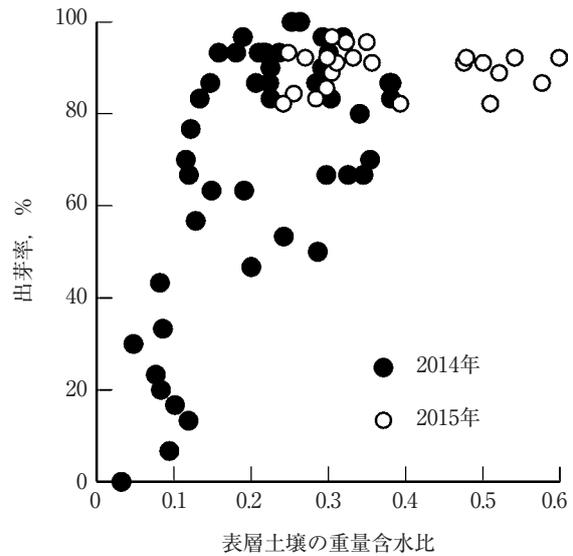


図3 播種後7日目の表層土壌の重量含水比と播種後9日目の出芽率の関係

表3 被覆期間の苗箱の水収支 (各処理の平均値)

	2014年 ^{a)}		2015年		
	培土O	培土T	培土O	培土T	
被覆直前 ^{b)} の水分量(A) g/箱	1,377	1,939	1,724	2,058	
期間中の浸透水量 g/箱	0	0	0	0	
期間中の蒸発散量(B) g/箱	299	370	315	421	
B/A	%	21.7	19.1	18.3	20.5

a) 2014年のデータは通常の大きさの苗箱に換算した値。
b) 灌水19時間後のデータ

1)。交互作用があった2014年の単純主効果を多重比較すると同一施肥方法での表層土壌の水分は培土の種類によって大きく変化し、培土O、培土Mは培土I、培土Tに比べて低い傾向だった(表4-2)。2015年の主効果についても同様に培土Oよりも培土Tの含水比が大きかった(表4-3)。培土O、培土Mは供試した培土の中では最大容水量が小さな培土であり(表2)、培土の物理性が表層土壌の乾燥に影響したと考えられる。また同一培土での施肥方法についての単純主効果をみると箱底施用の含水比は対照区と同等以上であるのに対し、培土M、培土Tでは層状1200g/箱で含水比が最小となった。ただし、層状600g/箱と層状1200g/箱の間に有意な差はなく、肥料の施用量は表層の乾燥に影響しなかった。培土O、培土Iについてはこのような傾向は見られず、これが分散分析で交互作用がみられた要因

であると考えられる。培土O、培土Iはともに粒状培土であるという特徴を持ち、この特徴と今回測定した表層土壌の乾燥との関連については今後検討する必要がある。また、2015年も層状施用では表層の含水比が低い傾向を示したが多重比較では処理間に有意差はなかった。

出芽率をみると2015年には有意差がなく(表5-1、表5-3)、2014年には培土、施肥方法および両者の交互作用に有意差が認められた(表5-1)。単純主効果を多重比較し、施肥方法に対する培土の種類の違いをみると、層状施用では培土Mの出芽率が著しく低下した(表5-2)。これに対して箱底1200g/箱区では培土の種類間に有意差は認められなかった。次に同一培土における施肥方法の単純主効果をみると培土Mにおいて層状施用区の出芽率の低下が有意であり、それ以外の培土では処理による明確な傾向は無かった。

以上から最大容水量の小さい培土と層状施肥の組み合わせは出芽不良のリスクを高める恐れがあると考えられた。被覆尿素は培土と比べ不飽和透水係数が小さい(図1)。このために種子直下に肥料が存在する層状施肥では毛管水が切断され、下方からの水分供給が低下することが懸念される(板東2009)。表層土壌の重量含水比をみると、このような傾向は認められ(表4-2)、層状施肥では表層土壌が乾燥しやすいといえる。また層状施肥では種

表 4-1 播種後 7 日目における表層土壌の重量含水比 (wt/wt) の分散分析結果

	2014年				2015年			
	自由度	平方和	F 値	危険率	自由度	平方和	F 値	危険率
培土	3	0.31317	148.6	1.2×10^{-15}	1	0.16792	47.4	1.7×10^{-15}
施肥方法	5	0.06535	18.6	1.5×10^{-7}	5	0.05810	3.3	0.043
交互作用	15	0.03733	3.5	0.0029	5	0.02988	1.7	0.21
残さ	24	0.01686			12	0.04247		

表 4-2 2014年における表層土壌の重量含水比 (wt/wt) と単純主効果の多重比較

	対照	Y ^{b)}	混合施肥	Y	層状600	Y	層状1200	Y	箱底600	Y	箱底1200	Y
培土 O	0.08	c	0.13	c	0.11	c	0.14	b	0.2b	b	0.20	b
X ^{a)}	b		ab		b		ab		a		a	
培土 M	0.09	c	0.10	c	0.11	c	0.07	c	0.17	b	0.22	b
X	bc		bc		bc		c		ab		a	
培土 I	0.26	b	0.22	b	0.22	b	0.25	a	0.30	a	0.31	a
X												
培土 T	0.38	a	0.32	a	0.29	a	0.22	a	0.35	a	0.35	a
X	a		ab		bc		c		ab		ab	

- a) 培土の種類に対する各施肥法の多重比較。同符号は Bonferroni の多重比較によって有意差がないことを示す ($p < 0.05$)。培土 I は有意差なし。
- b) 各施肥方法に対する培土の種類多重比較。同符号は Bonferroni の多重比較によって有意差がないことを示す ($p < 0.05$)。

表 4-3 2015年における表層土壌の重量含水比 (wt/wt) と多重比較^{c)}

	対照	混合施肥	層状600	層状1200	箱底600	箱底1200	処理平均
培土 O	0.32	0.30	0.28	0.28	0.31	0.28	0.29b
培土 T	0.55	0.50	0.43	0.30	0.53	0.47	0.46a
培土平均	0.43	0.40	0.35	0.29	0.42	0.37	0.37

- c) 同符号は Bonferroni の多重比較によって有意差がないことを示す ($p < 0.05$)。施肥方法間については有意差なし。

子は肥料の直上に播かれるために、表層土壌の乾燥だけでなく、肥料の層の水分量の低下によって乾燥ストレスを受ける可能性も考えられる。

2014年と2015年では蒸発散量は同様な値であったが、表層土壌の水分および出芽率は大きく異なり、2014年の方が乾燥傾向が強かった。この理由は明らかではないが、この2ヵ年の間にはハウスの床環境、被覆時の気温および育苗の種類等が異なるため、結果の違いはこれらに起因すると考えられる。育苗期間中の天候が不順で被覆期間が長くなった場合には、2014年のように表層土壌の乾燥が進むことが予想される。2014年、2015年ともに表層土壌の含水比には培土の種類や施肥位置が影響するという結果は一貫しており、最大容水量が高い培土を選び、箱底施用を行うことで、年次間の気象条件等に関わらず乾燥のリスクが抑えられた。

3. 保温シート除去後の苗箱内の水分環境の解析

保温シート除去後、育苗期間中のハウス内およびアメダスによる気温・湿度の推移を図4に示した。

育苗期間中のハウス内の平均気温は11~18℃で推移し、屋外に較べ日平均で1~5℃高かった。蒸発散量は、0.8~3.6mm/dの範囲に分布した。日日照時間と蒸発散量には密接な関係があり、日日照時間が長い日は蒸発散量が高かった。ハウス内の日平均風速は最大でも0.3m/secと極めて小さい値だった(データ省略)。また、どの区においても毎日浸透水がみとめられ(データ省略)、余剰水が浸透する程度に十分な灌水が行われていたことが確認された。

肥料の施肥位置や施用量が灌水前後の苗箱内の水分量および蒸発散量に与える影響の例を図5に示した。灌水後の水分量は徐々に増加する傾向を示したが、これはここで示した水分量は苗の重量を含めたみかけの水分量であり、苗の生長による重量の増加が含まれているためである。灌水前、後ともに苗箱内の水分量は施肥量が増えるにつれて減少しており、肥料の保水性が培土に較べ小さい(表2-2)ことを反映していた。また、同量の肥料が含まれている場合、層状施肥に比べ、箱底施肥では苗箱あた

表5-1 播種後9日目における出芽率(%)の分散分析結果

	2014年				2015年			
	自由度	平方和	F値	危険率	自由度	平方和	F値	危険率
培土	3	12304	35.0	6.3×10^{-9}	1	1487	59.1	0.46
施肥方法	5	8048	13.7	2.2×10^{-6}	5	9038	71.9	0.62
交互作用	15	13279	7.6	8.0×10^{-6}	5	3483	27.7	0.92
残さ	24	2811			12	30185		

表5-2 2014年の播種後9日目における発芽率(%)と単純主効果の多重比較

	対照	Y ^{b)}	混合施肥	Y	層状600	Y	層状1200	Y	箱底600	Y	箱底1200	Y
培土 O	21.7	c	78.3	ab	45.0	b	85.0	a	93.3	a	95.0	
X ^{a)}	b		a		b		a		a		a	
培土 M	56.7	b	55.0	b	10.0	c	8.3	c	63.3	b	90.0	
X	b		b		c		c		ab		a	
培土 I	100	a	91.7	a	90.0	a	85.0	a	95.0	a	93.3	
X												
培土 T	86.7	a	81.7	ab	58.3	b	50.0	b	75.0	ab	68.0	
X	a		ab		ab		b		ab		ab	

- a) 培土の種類に対する各施肥法の多重比較。同符号は Bonferroni の多重比較によって有意差がないことを示す ($p < 0.05$)。培土 I は有意差なし。
- b) 各施肥方法に対する培土の種類多重比較。同符号は Bonferroni の多重比較によって有意差がないことを示す ($p < 0.05$)。箱底 1200g/箱は有意差なし。

表5-3 2015年の播種後9日目における発芽率(%)

	対照	混合施肥	層状600	層状1200	箱底600	箱底1200	処理平均
培土 O	87.2	90.0	93.3	86.7	89.4	87.2	89.0
培土 T	93.3	92.8	92.2	88.3	88.9	87.8	90.6
培土平均	90.3	91.4	92.8	87.5	89.2	87.5	89.8

りの水分量が多い傾向だった。これは苗箱底部の孔を肥料粒子または土壌粒子が塞ぐ効果が施肥方法等によって異なるためだと考えられる。この影響があるため、苗箱の水分含量は培土や肥料の保水性だけでは決定できず、施肥位置や苗箱の底面の形状、敷紙の有無等の影響を受けることが予想された。ここでは培土 I の結果を示したが、供試したすべての培土において上述の結果は同様だった。

蒸発散量は、水分量に比べ相対的に処理区間の差は小さかった (図5)。しかし、試験に供試したすべての処理区の蒸発散量の標準偏差をみると、蒸発散量が大きな日には試料間のばらつきが大きくなる傾向みられた。これは乾燥時には蒸発散量の処理区間差が広がることを示している。蒸発散量のばらつきの増加は、乾燥ストレスを生じた苗箱では気孔が閉じ蒸発散量が低下したため、そうでない苗箱との差が拡大したことによると推察される。そこで標準偏差が大きかった4月29日、5月4日、5月6日の3日間の蒸発散量の平均値を求めたところ、培土

I、培土 T では層状1200g/箱区で蒸発散量が有意に小さくなった (表6)。また、苗の重量が小さく過大評価の影響が小さい4月24日の灌水後の苗箱の水分量を最大保水量とし、上述3日間の蒸発散量の平均値との関係をみたところ、両者には正の相関がみられ、最大保水量の小さな苗箱では蒸発散量が小さい傾向があった (図6上)。これは上述3日間の蒸発散量には苗箱の保水性が影響を与えていることを示唆している。さらに育苗終了時の苗の乾物重と上述3日間の蒸発散量の平均値との関係をみると、蒸発散量が大きかった苗箱で苗の乾物重が大きい傾向だった (図6右下)。このことから処理区によっては乾燥ストレスによって気孔が閉じ、これが蒸発散量の低下として観測される一方、育苗終了時の乾物生産を低下させる一因となったと考えられた。しかし乾物重のばらつきに対する最大保水量の寄与率は13%と小さかった (図6左下、 $r^2=0.13$)。このことから、培土の種類や施肥方法が苗の生育に及ぼす影響は存在するものの、わずかだと判断した。

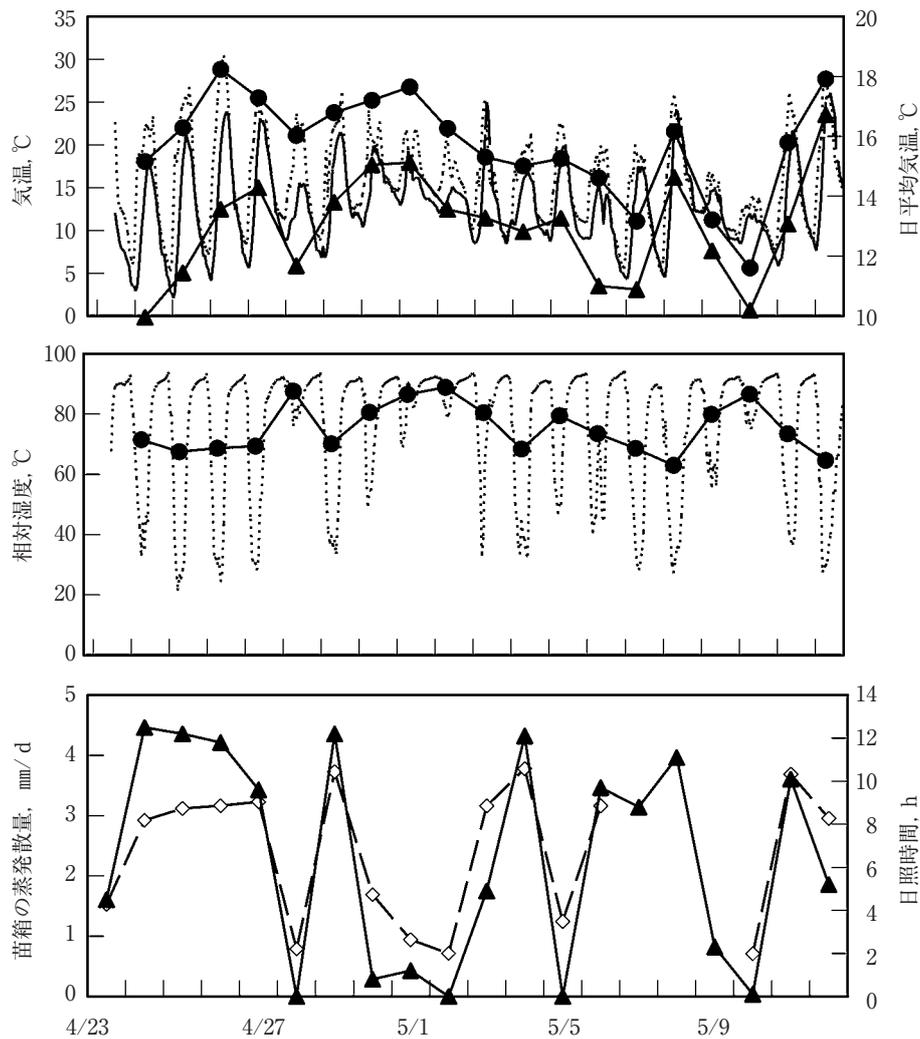


図4 保温シート除去後のハウス内およびアメダスによる気温・湿度の推移

シンボルがないものについて、点線はハウス内の観測値。実線はアメダスの観測値。シンボルがあるものについて、上段の●はハウス内の日平均気温、▲はアメダスの日平均気温、中段の●はハウス内の日相対湿度、下段の▲はアメダスにおける日日照時間、◇は苗箱の日蒸発散量（全処理区の平均値）を示す。

ロール形成およびマット強度評価のための両手持ちの可否についてはすべての苗箱で「容易」と判定され、処理の差はなかった。片手持ち適性の結果を表7に示した。片手持ちの可否は処理によってばらつきが認められ、育苗箱全量施肥によりハンドリングが悪化する傾向だった。しかし分散分析の結果によると、培土の種類、施肥量、施肥位置の3者ともに処理の効果は有意ではなかった（データ省略）。また培土I、培土Mの箱底施肥においては底面の肥料こぼれが観察された（写真2）。この原因は明らかでなく、今後の検討課題である。

以上より、培土の種類や施肥法によっては乾燥による乾物重の減少が認められるが影響は軽微であっ



写真2 「培土M箱底施肥1200区」における底面の肥料こぼれ
(5月21日撮影)

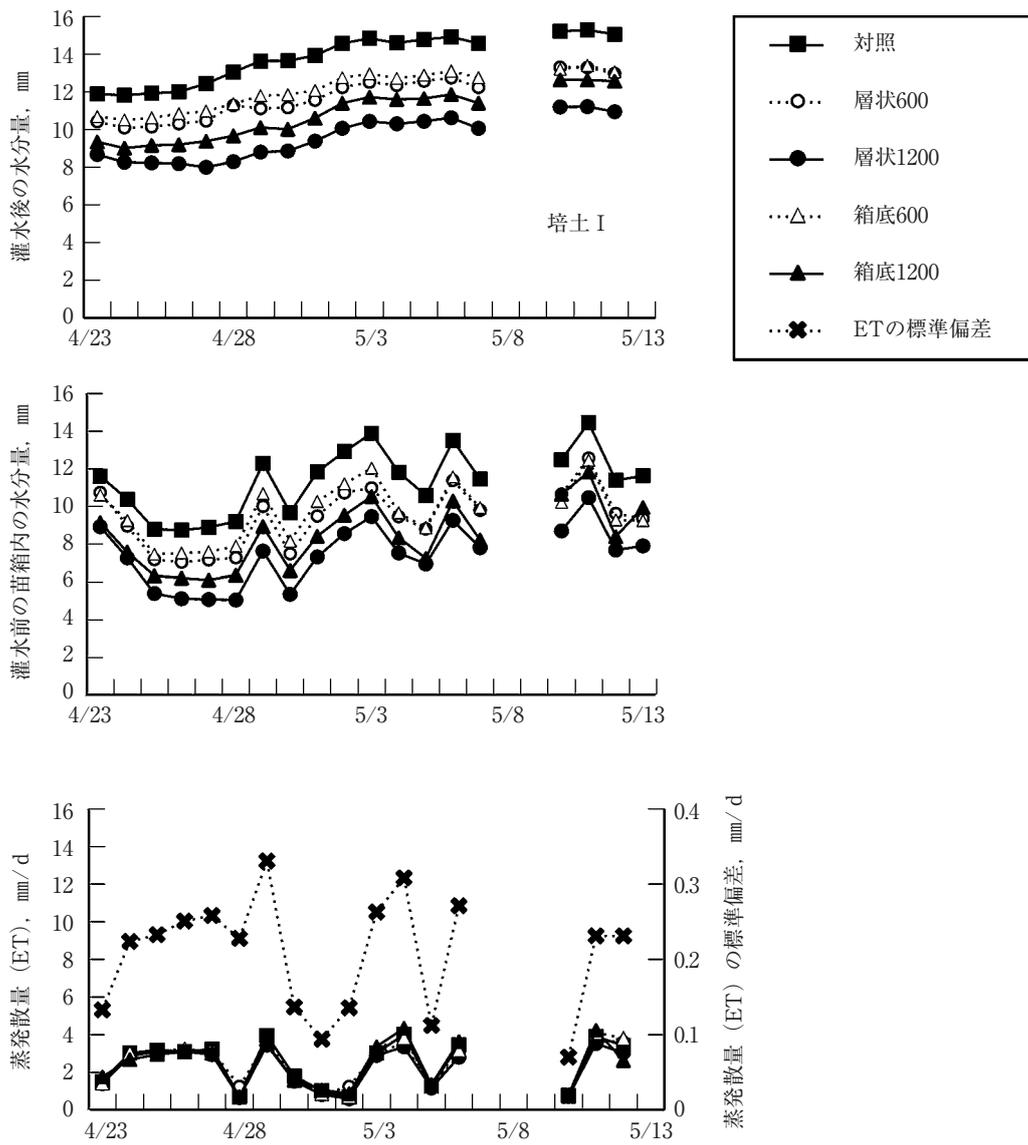


図5 施肥位置および施肥量が灌水前後の苗箱内の水分量または蒸発散量に与える影響

灌水前および灌水後水分量はそれぞれ灌水前苗箱重 (A)、灌水後苗箱重 (B) から苗箱、乾土、肥料、殺菌剤および種子の重量を引いた値。下の図の蒸発散量 (ET) の標準偏差は全試料 (n=48) の標準偏差を示す。

表6 4月29日、5月4日および5月6日の蒸発散量の平均値 (mm/d)^{a)}

	培土 A1	培土 A2	培土 S	培土 U	培土 O	培土 M	培土 I	培土 T
対照	3.95	3.87	3.54	3.36	3.75	3.61	3.81a	4.19a
層状600	-	-	-	-	3.67	3.57	3.37bc	3.60ab
層状1200	-	-	-	-	3.59	3.40	3.20c	3.07b
箱底600	-	-	-	-	3.68	3.28	3.55ab	3.37ab
箱底1200	-	-	-	-	3.65	3.07	3.83a	3.36ab

a) 符号は各培土に対して Bonferroni の多重比較を行い、同符号では有意差がないことを示す ($p < 0.05$)。培土 O、培土 M は施肥方法間に有意差なし。

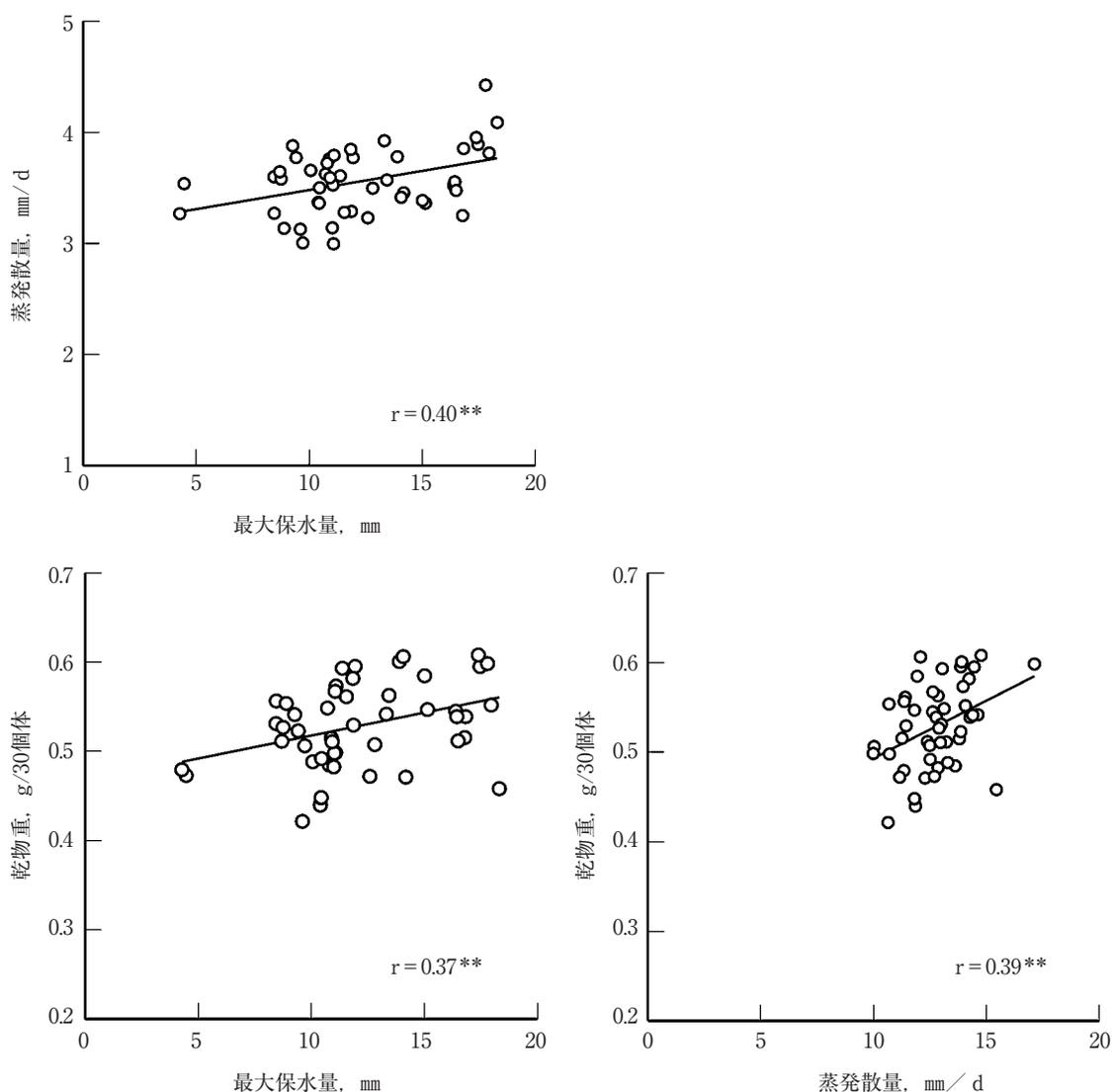


図6 蒸発散量、最大保水量および苗の乾物重との関係

蒸発散量は処理区のばらつきが大きかった4月29日、5月4日、5月6日の3日の平均値。最大保水量は苗の生長の影響が小さい4月24日の灌水直後の水分量。 $**$ は1%以下の危険率で相関が有意であることを示す。

表7 各処理を行った育苗箱におけるマットの片手持ち適性^{a)}

	培土 A1	培土 A2	培土 S	培土 U	培土 O	培土 M	培土 I	培土 T
対照	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0	1.5	2.3	2.5
層状600	-	-	-	-	3.0	2.0	3.0	2.3
層状1200	-	-	-	-	2.0	2.8	1.5	2.5
箱底600	-	-	-	-	3.0	2.0	2.8	1.8
箱底1200	-	-	-	-	3.0	2.0	2.3	1.0

a) 片手持ち適性3段階で評価した平均値。

た。また、育苗箱全量施肥によるマット強度の低下は有意でなく1200g/箱程度までの施用についてはマット強度に大きな問題はないと判断された。

4. 育苗期間全体を通じた考察

今までにみてきたように全体として1200g/箱程度の施用量まででは苗の乾燥ストレスは実用上大きな問題にならないと考えられた。ただし、被覆期間中の検討において、コンクリート床にベニヤ板を敷き、その上に浸透水を受けるバットと育苗箱を置床した2014年には発芽率の大きな低下が認められた。このことから多量施用が乾燥ストレスを引き起こすリスクが比較的高いのは無加温育苗における被覆期間だと思われる。この期間の乾燥の特徴は表層土壌の乾燥が進行し、出芽不良を起こすことであり、最大容水量の大きい培土を用い、箱底施肥を行うことで表層土壌の水分低下は緩和されることが明らかとなった。今回の実験では培土の種類や施肥方法のみを対象に乾燥ストレスを評価したが、現場の育苗管理はハウスの構造、農業フィルムの材質、気温、湿度、日長等の条件が様々であり、より緻密にリスクを評価するにはこうした育苗環境に関する情報収集を行う必要があると考えられる。

引用文献

- 1) 坂東 悟. 2009. 育苗箱全量施肥栽培(箱底施用)と疎植の組合せ. 『農業技術大系』作物編 技+488の120-技+488の125.
- 2) 土壤環境分析法編集委員会. 1997. 土壤環境分析法. 博友社.
- 3) 小杉賢一郎. 2007. Y. Mualem著「不飽和多孔質の透水係数を推定する新たなモデルについて」ならびにM. Th. van Genuchten著「不飽和土壌の透水係数を推定する閉形式解について」. 土壌の物理性 106 : 47-60.
- 4) Mohrath, D.; Bruckler, L.; Bertuzzi, P.; Gaudu, J.C.; Bourlet, N. 1997. Error analysis of an evaporation method for determining hydrodynamic properties in unsaturated soil, Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 725-735.
- 5) 農林水産省農蚕園芸局農産課. 1988. 人工床土の品質等について. 農林水産省.
- 6) 吉田光二, 上野正夫. 2014. 図解「育苗まかせ」を使いこなすためのハンドブック東北版. ジェイカムアグリ.