

育苗資料：床替え時期とスギ1年生苗の成長

丹下 健・肖 映秋*¹

Effect of time of transplanting on growth of one-year-old
Cryptomeria japonica seedlings

Takeshi TANGE and XIAO Yingqui

I. 要 旨

床替え時期と苗木の成長に関するデータを得ることを目的として、3月～5月にかけてスギ1年生苗の床替えを行い、その後の生存と成長、水分生理状態を調べた。4月10日と5月1日の床替えでは、3月中の床替えに比べて苗木の生存率が低く、成長率も低かった。発根剤（100ppm インドール酢酸溶液）に2時間浸した後に移植することによって生存率が高まった。4月10日と5月1日に床替えした苗木は、床替え後2ヵ月近くは、根の吸水能の低下によって水ストレスがかかっていた。旺盛な光合成生産を行える期間が短くなることで床替え時期が遅くなることによる成長低下の原因と考えられた。

キーワード：床替え時期、スギ苗、水ストレス

I. Summary

In order to take data on the effect of time of transplanting on growth of one-year-old *Cryptomeria japonica* seedlings, we carried out four times of transplanting experiment from 1 March to 1 May and compared on survival ratio, growth and midday leaf water potential. Survival ratios and growth rates of the seedlings transplanted on 10 April and 1 May were lower than those of the seedlings transplanted on 1 and 20 March. The survival ratios of the seedlings transplanted on 10 April and 1 May were risen by soaking in 100ppm indole acetic acid (IAA) solution for two hours before planting. The seedlings transplanted on 10 April and 1

東京大学大学院農学生命科学研究科

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

*1 現勤務先：瀋陽市林業局，中華人民共和国遼寧省瀋陽市

Present address: Shenyang Forestry Bureau

May were subject to water stress by root damage for two months after transplanting. The reduction of vigorous growth period was considered the reason for slow growth of the seedlings transplanted in late season.

Key words: time of transplanting, *Cryptomeria japonica*, water stress

Ⅱ. は じ め に

育苗作業における床替えは、苗木の成長に応じた生育空間を与えるための密度調整と、根の剪定によって水ストレスと細根の発生を促し地下部の充実した苗木の育成を目的に行われる。実施時期については、秋に掘りとり仮植しておいた苗木もしくは苗畑に据え置いた苗木を春の成長停止期に移植するのが好ましいとされている（陣内1965, 原田1994）。1年生での山行苗の育成を目的とした床替え時期（赤司・川添1934）や床替えの省略を目的とした根切り時期（白澤1906）などの検討が過去に行われているが、床替えの時期や根の剪定強度などに関する技術指針は経験的な知見に基づいており、その科学的な裏付けについては不十分な状況である。移植した苗木の水分生理状態については、1mを超えるシラカシとクスノキ、クロマツの大型苗について移植後の水ポテンシャルの経時変化が活着した苗と枯死した苗で異なることや（Ikeda *et al.* 1987）、3月に造林地に植栽したスギ苗の光合成が8月になっても水ストレスの影響を強く受けていたこと（丹下1996）などが報告されているが、移植時期の影響については調べられていない。

本研究では、床替えを行う時期が、その後の根系の水分吸収能の回復や成長に与える影響を知ることを目的として、3月から5月にかけて床替え実験を行い、その後の成長や生残、水分生理状態を調べた。また、発根剤（インドール酢酸）処理を行うことによって、床替えの適期を拡大することが可能かどうかについても検討した。

実験を行うにあたり田無試験地から実験材料の提供等の支援を頂いた。お礼申し上げる。

Ⅲ. 材 料 と 方 法

1. 材料

東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林田無試験地第1苗畑で育苗されたスギ1年生苗（千葉演習林産種子）を供試した。苗高（約11cm）は時期による差はないが、根元直径（約2mm）は、3月よりも4月と5月の方が大きかった（表-1）。供試苗は、2002年4月に播種されてから、そのまま播種床に据え置かれた苗であり、根切り等の作業は行われていない。

表-1. 実験開始時の苗木の大きさ

Table-1. Size of seedlings at the start of the experiment

移植日	処理区	苗高 (cm)	根元直径 (cm)	形状比
2003年3月1日	対照区	11.2±1.7 a	0.19±0.04 a	62±15 a
	発根剤区	11.2±1.7 a	0.20±0.02 a	56±8 ac
2003年3月21日	対照区	11.8±1.7 a	0.20±0.03 a	59±10 a
	発根剤区	10.7±1.7 a	0.20±0.04 a	55±10 ad
2003年4月10日	対照区	10.9±1.8 a	0.26±0.04 b	43±8 b
	発根剤区	10.9±1.5 a	0.26±0.05 b	44±10 bd
2008年5月1日	対照区	11.3±1.6 a	0.26±0.05 b	45±7 bd
	発根剤区	11.7±1.7 a	0.26±0.05 b	47±10 bcd

平均値±標準偏差

異なるアルファベットは有意差があることを示す (Scheffe's F test, $p<0.05$)

2. 実験方法

(1) 床替え時期と処理方法

床替えは、2003年3月1日、3月20日、4月10日、5月1日の4回行った。東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林のホームページ (<http://www.uf.a.u-tokyo.ac.jp/index.html>) に掲載されている気象観測データから作図した実験実施時の気象条件 (気温、地温 (深さ10cm)、降水量) を図-1に示す。3月1日から5月1日にかけて、日平均気温が5℃から20℃に上昇し、日平均地温 (深さ10cm) は8℃から18℃に上昇した。3月から4月にかけて、無降雨が1週間以上続くことはなかった。最も遅い5月1日の時点での苗木の状況は、芽が膨らみ始めたところであった。3月1日、3月20日、4月10日、5月1日に10本ずつ掘りとり調べた根の剪定前の地上部乾重量と地下部乾重量はそれぞれ0.93±0.25gと0.31±0.07g、0.99±0.48gと0.30±0.14g、0.88±0.27gと0.20±0.06g、1.10±0.33gと0.24±0.07gであった。根の剪定によって切除された根の乾重量は、3月1日、3月20日、4月10日、5月1日の順に0.10±0.03g、0.11±0.07g、0.03±0.02g、0.03±0.02gであった。

毎回、播種床からできるだけ苗高のそろった50本の苗を掘りとり、苗長と根元直径を測定した後、根を長さ10cmに切りそろえた。25本はそのまま苗畑に植栽し、残りの25本は100ppmのインドール酢酸溶液に根を2時間浸したのち、苗畑に植栽した。

(2) 成長測定

5月から9月までの毎月、各処理区の苗について、生死を判別し、生きている供試苗の苗長を測定した。

実験終了時 (9月16日) には、生存しているすべての供試苗を掘りとり、苗長と根元直径を測定した後、地上部と地下部に切り分け、地上部についてはそのまま通風乾燥器 (80℃) で乾燥させ、乾燥重量を測定した。地下部は細根 (直径2mm以下) とそれ以外に分けて通風乾燥器 (80℃) で乾燥させ、それぞれ乾燥重量を測定した。

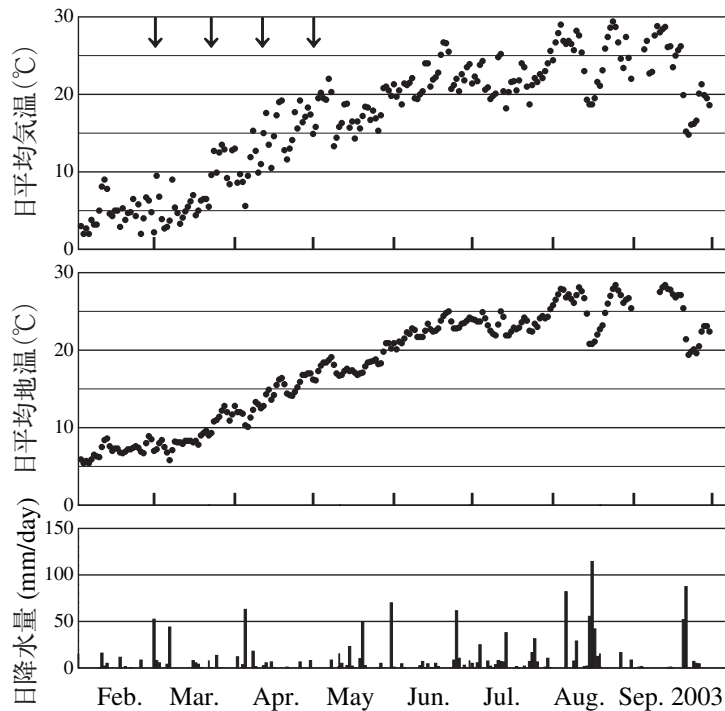


図-1. 実験実施期間の環境条件

Figure-1. Climate conditions during the experiment

東京大学演習林気象データ（東京大学演習林ホームページ）から作成。
地温は深さ10cmでの観測値。矢印は、移植実験を行った日を示す。

(3)水ポテンシャル測定

5月24日、6月19日、9月16日の11～13時の間に、処理区につき3～5本の供試苗から枝条を採取し、プレッシャーチャンバー（3000型, Soilmoisture社）を用いて水ポテンシャルを測定した。測定日の天候は概ね晴れである。

IV. 結果と考察

1. 床替え時期と苗木の生存率

実験終了時の生存数を表-2に示した。対照区では、床替え時期によって生存率に有意差が認められ（ χ^2 検定, $p < 0.05$ ）、3月1日に比べ、4月10日と5月1日の生存率が低かった。インドール酢酸に根を浸した発根剤区では生存率に有意差はなかった。4月10日の床替えでは、発根剤処理によって生存率が有意に高かった（ χ^2 検定, $p < 0.05$ ）。供試苗の枯死のほとんどは、床替え後2ヶ月以内に起きていた。床替え時の選苗の際に苗木の乾燥を防ぐことが重要とされており（陣内1965）、発根剤区で生存率が高かったことは、水に2時間浸したことによる効果の可能性もあ

るが、本実験では水に浸す処理を行っていないので確認できない。

枯死した供試苗が多かった4月10日の対照区で枯死した15個体のうち5月1日～5月24日の間に9個体が、5月24日～6月19日の間に4個体が枯死した。また5月1日の対照区で枯死した10個体は、6月19日の時点で葉が褐色を呈し伸長成長が認められない状態で生存していた供試苗もあったが7月23日の時点で全ての枯死が確認された。

表-2. 実験終了時の生存苗数

Table-2. Number of alive seedlings at the end of the experiment

移植日	供試苗数 (本)	対照区 (本)	発根剤区 (本)
2003年3月1日	25	24 a	23
2003年3月21日	25	21 ab	23
2003年4月10日	25	12 c	21
2008年5月1日	25	15 b	20

太字斜体は同じ移植日の対照区と発根剤区の生存率に有意差あり (χ^2 検定, $p<0.05$)
異なるアルファベットは生存率に有意差があることを示す (χ^2 検定, $p<0.05$)

2. 床替え時期と苗木の成長

栽培実験終了時に生存していた供試苗について、実験開始時に対する測定時の苗高と根元直径の比率である伸長成長率と直径成長率を求め、実験終了時の伸長成長率と直径成長率を表-3に、実験終了時における伸長成長率上位10個体の伸長成長率の経時変化を図-2に示した。3月中に比べ、4月10日と5月1日の床替えで成長が抑えられる傾向があった。3月中に比べ、4月10日と5月1日の床替え時の根元直径が平均で0.6mm大きく、すでに肥大成長が始まっていたことを考慮すると、肥大成長への床替え時期の影響は大きくないといえる。形状比（根元直径に対する苗高の比）の床替え時期による差は小さく、上位10個体には処理区による有意差は認められなかった。

表-3. 床替え時期と成長

Table-3. Growth of the seedlings transplanted at different times

移植日	処理区	実験終了時生存個体			実験終了時伸長成長率上位10個体		
		伸長成長率	直径成長率	形状比	伸長成長率	直径成長率	形状比
2003年3月1日	対照区	2.0±0.4 ab	2.2±0.7 a	58±10 a	2.4±0.4 ab	2.4±0.7 a	57±11 a
	発根剤区	2.1±0.4 ac	2.0±0.4 a	58±9 a	2.4±0.2 ab	2.2±0.3 ab	59±11 a
2003年3月21日	対照区	1.8±0.3 ad	2.0±0.3 a	51±8 ab	2.0±0.2 abc	2.2±0.3 ab	49±10 a
	発根剤区	2.2±0.4 a	2.4±0.4 a	50±8 ab	2.5±0.2 a	2.5±0.3 a	52±6 a
2003年4月10日	対照区	1.5±0.4 d	1.4±0.3 b	47±9 ab	1.6±0.4 d	1.4±0.2 c	49±9 a
	発根剤区	1.7±0.3 bcd	1.6±0.3 b	47±11 b	2.0±0.3 bd	1.6±0.3 bc	50±10 a
2008年5月1日	対照区	1.7±0.3 bd	1.5±0.2 b	47±8 ab	1.8±0.2 cd	1.5±0.1 c	50±6 a
	発根剤区	1.5±0.2 d	1.4±0.2 b	48±7 ab	1.6±0.1 cd	1.5±0.2 c	47±5 a

平均値±標準偏差, 形状比は苗高/根元直径

異なるアルファベットは成長率に有意差があることを示す (Scheffe's F test, $p<0.05$)

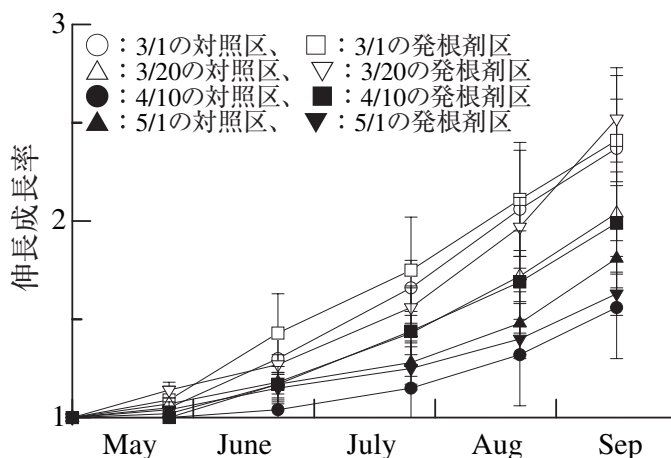


図-2. 伸長成長の経時変化

Figure-2. Seasonal change in elongation growth

伸長成長率は、5月1日時点での苗高を1とした時の苗高の相対値を表す。誤差棒は標準偏差。

実験終了時の伸長成長率上位10個体における個体乾重量等を表-4に示す。実験開始時の個体乾重量が約1.2gであり、実験終了時には約3倍(4月10日対照区)から約8倍(3月21日発根剤区)になった。地上部と地下部の乾重量比(T/R率)には、処理区間に有意差がなく、3.6~4.9と通常みられるスギ苗のT/R率と同程度であった(陣内1965)。細根量の割合は、いずれの処理区も個体乾重量の1割程度であった。床替え時期が遅くなると成長低下の原因となるが、苗の形態への影響は明瞭ではなかった。発根剤処理は、3月1日の床替えに対する4月10日の床替えの成長低下を緩和したが、5月1日の床替えの成長低下を緩和しなかった(表-3, 4)。

表-4. 実験終了時伸長成長率上位10個体の器官別乾重量

Table-4. Dry weight of the seedlings with higher rank in elongation growth rate at the end of the experiment

移植日	処理区	個体乾重量 (g)	地上部乾重量 (g)	地下部乾重量 (g)	細根乾重量 (g)	T/R率 (g)
2003年3月1日	対照区	8.3±3.2 a	6.6±2.6 a	1.7±0.7 a	1.0±0.5 a	4.0±0.7 a
	発根剤区	7.8±1.4 ab	6.3±1.2 ab	1.5±0.2 ab	0.9±0.2 ab	4.1±0.6 a
2003年3月21日	対照区	7.5±2.8 ac	6.2±2.3 ac	1.3±0.5 ac	0.7±0.3 ac	4.8±0.7 a
	発根剤区	9.6±2.1 a	7.9±1.9 a	1.6±0.3 a	1.0±0.2 a	4.9±0.6 a
2003年4月10日	対照区	3.1±2.0 d	2.5±1.6 de	0.6±0.4 cd	0.3±0.2 cd	3.9±0.6 a
	発根剤区	6.2±2.3 ad	5.0±1.9 ae	1.2±0.5 ad	0.8±0.3 ad	4.7±2.4 a
2008年5月1日	対照区	4.1±1.3 bcd	3.2±0.6 bce	0.9±0.3 bcd	0.6±0.3 ad	3.6±0.5 a
	発根剤区	3.7±0.8 cd	3.0±0.6 de	0.7±0.2 cd	0.4±0.1 bcd	4.2±0.7 a

平均値±標準偏, T/R率は地上部乾重量/地下部乾重量
異なるアルファベットは成長率に有意差があること示す (Scheffe's F test, $p < 0.05$)
太さが2mm以下の根を細根とした。

3. 床替え時期と床替え後の苗木の水分生理状態

水ポテンシャルの測定結果を図-3に示す。対照区と発根剤区で明瞭な違いは認められなかった。

3月1日に床替えした供試苗は、5月24日の時点で日中の水ポテンシャルが-1MPa以上であり、3回の測定とも播種床に据え置いた苗木とほぼ同じ値を示した。3月20日に床替えした供試苗は、低い水ポテンシャルを示す供試苗が希にみられるが、いずれの測定日も多くの供試苗は3月1日の供試苗と同程度の値であった。

4月10日に床替えした供試苗は、5月24日の測定では、3月1日床替えの供試苗に比べて水ポテンシャルが低い傾向にあったが、-2MPa以下の供試苗はみられなかった。6月19日と9月16日は、3月1日の供試苗と同程度もしくはより高い値であった。5月1日に床替えした供試苗は、5月24日の測定では、-1MPa以下の供試苗がほとんどであった。6月19日の測定では、-1MPa以上の供試苗と-2MPa以下の供試苗に分かれた。-2MPa以下であった供試苗はその後枯死した。9月16日の測定では、3月1日の供試苗よりも高い値であった。

5月24日は3月20日の床替え後65日目、4月10日の床替え後44日目、5月1日の床替え後23日目にそれぞれあたり、6月19日は4月10日の床替え後70日目、5月1日の床替え後49日目にそれぞれあたる。生存した供試苗であっても、床替え後2ヵ月近くの間は根の吸水機能が損なわれた状態にあり、樹体に水ストレスがかかっていると言える。また、5月1日の床替えであっても生存した供試苗では、床替え後49日目には3月1日床替えの供試苗と同じ水ポテンシャルであったことは(図-3)、床替え時期が遅いことが、根の吸水能の回復を遅らせる要因にはならない可能性を示している。

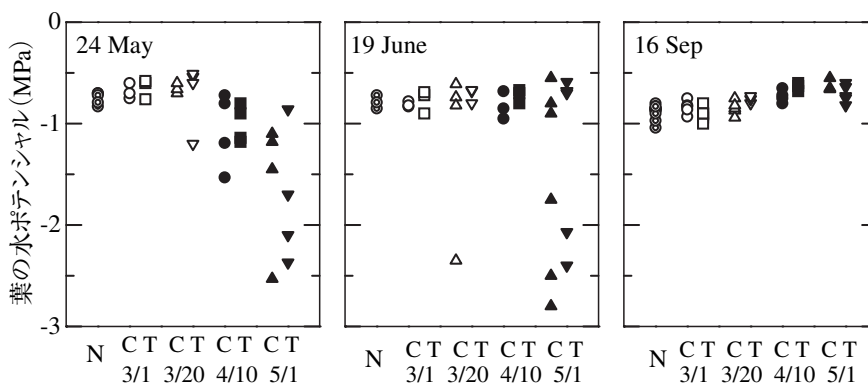


図-3. 床替え後の日中の葉の水ポテンシャルの変化

Figure-3. Change in midday leaf water potential after transplanting

晴天日の11~13時に測定した。

N：床替えをせず苗畑に据え置かれた同年齢の苗木。

C：対照区，T：発根剤区，N以外のシンボルは図-2と同じ。

4. 床替え時期が苗木の成長・形態に与える影響

実験を行った田無試験地では、4月下旬から5月上旬にスギ苗の伸長成長が始まる。床替え後2ヵ月近くは根の吸水能が低下していることから、床替え時期が遅くなることによる成長低下は、成長期間の初期に水ストレスによって光合成生産が減少し、光合成器官である葉量の増加が抑制され、旺盛な光合成生産を行える期間が短くなることが原因と推測される。4月10日と5月1日床替えの供試苗の伸長成長率が、7月以降高まっていること（図-2）も、水ポテンシャルの測定結果と矛盾せず、水ストレスが成長低下の原因であることを示唆している。

形状比やT/R率は、床替え時期による違いは明瞭ではなく（表-3, 4）、床替え時期による苗木の形態への影響は認められなかった。しかし9月16日に測定した日中の水ポテンシャルの値は、4月10日と5月1日に床替えした供試苗の方が、3月中に床替えした苗木より高い値を示したことから（図-3）、水分生理状態を維持しやすい形態となっていた可能性がある。

引用文献

- 赤司禮三・川添久一郎（1934）スギ，ヒノキ一回床替一年生造林に就て．日林誌16：974-983.
- 原田洸（1994）みしょう（実生）苗の養成（造林学－基礎の理論と実践技術－（佐々木恵彦他共著））．95-104．川島書店．東京．
- Ikeda, T., Suzaki, T. and Murakami, Y. (1987) Water relations in trees oafter transplanting and their survival. J. Jpn. For. Soc. 69: 450-452.
- 陣内巖（1965）育苗（造林学（佐藤敬二他共著））．74-95．朝倉書店．東京．
- 白澤保美（1906）苗木根切法施行ノ時季ニ就テ．林試研報3：9-12.
- 丹下健（1995）スギ造林木の成長に関する生態生理学的研究．東京大学演習林報告93：65-145.
- 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林：気象月報2003年．<http://www.uf.a.u-tokyo.ac.jp/index.html>