

アカマツおよびクロマツの苗木および 幼齢木の無機栄養に関する研究

(両樹種の比較および栄養状態 と成長との関連性について)

河 田 弘⁽¹⁾

1. は じ め に

アカマツが林業上重要な地位を占めている関西地方では、最近では年々かなりの面積にわたってアカマツの植栽が行なわれているが、さらに、今まで主として海岸の防風林に植栽されていたクロマツの普通林地に対する植栽も、しだいに増加の傾向を示している。このようにマツ類が林業上主要な地位を占めていることが、この地方の林業上の一つの特色であろう。したがって、当地方ではアカマツおよびクロマツの養苗はかなりの重要性を有するといえよう。

養苗および幼齢木の施肥等の基本として、これらの無機栄養に関する研究の必要性については、今さら強調する必要はないであろう。しかし、今までに行なわれたアカマツ苗木の無機栄養に関する研究はきわめて少なく、また、クロマツについてはわずかに柴田の 1-1 苗についての報告⁹⁾があるにすぎない。

筆者はさきにアカマツ 1-1 苗の無機栄養について二、三の報告⁹⁾¹⁰⁾を行なったが、今回はクロマツを含めて次のような諸点について検討を行なった。

一般に、クロマツは無機栄養の面ではアカマツとほぼ同様であろうと推定され、苗畑の施肥についても同様に扱われているが、はたしてそのとおりであろうか？ 苗木から幼齢木までを含めて、両樹種の無機栄養についての特性を明らかにすることが、一つの目的であった。

つぎに、苗木および幼齢木についての一般的な問題として、苗木の成長ないし形質の相違、または、幼齢木の成長の相違と無機栄養状態との関係を明らかにすることが、第 2 の目的であった。筆者⁹⁾はさきにアカマツ 1-1 苗について、N、P および K の施用量の相違によって生ずる成長および形質の相違と、無機栄養状態との関係について報告したが、今回は大苗と小苗では、どのような相違が見られるかについて検討を加えることにした。

さらに、1-0 苗の成長および形質は、その後の 1-1 苗および幼齢木の成長経過に、どのような影響をおよぼすか？ この点についての知見をうることが、第 3 の目的であった。

筆者は以上の目的をもって、アカマツおよびクロマツを播種後 4 年間にわたって調査したので、その結果を報告する。

2. 研 究 方 法

1968 年 9 月 12 日受理

(1) 関西支場育林部土壌研究室長・農学博士

2-1. 1-0 苗

1958 年 3 月中旬に、支場構内の火山灰性黒色土壌を客土した苗畑に、アカマツおよびクロマツの播種を行なった。

施肥はいれも m^2 あたり硫安 70g, 過石 30g, 熔リン 30g, 硫加 10g, オガクズ堆肥 (飽水) 1kg を基肥として施し, 追肥は行なわなかった。

根切虫防除用として m^2 あたり 1% BHC 粉剤 10g を施肥と同時に施し, ボルドー液による消毒および除草を適宜行なった。

発芽した苗は適宜間引きを行なって, 最終仕立本数は $500\text{本}/\text{m}^2$ とした。

翌 1959 年 3 月中旬に苗木を掘り取り, 苗高を基準にして, 大, 中および小苗に区分した。アカマツは大苗は 10cm 以上, 小苗は 7~5 cm, クロマツは大苗は 8 cm 以上, 小苗は 6~5 cm とし, 両樹種ともにその中間を中苗としたが, 以後の実験には, 両樹種の大苗および小苗の 4 グループを用いることにした。

各グループの苗木からそれぞれ任意に 100 本ずつを抽出して, 成長および形質の調査を行なうとともに, 残りの苗木の中から任意に抽出して床替えを行なった。

苗木の各養分濃度の分析は, 大苗は上述の調査苗木を, 小苗は残りの苗木の中から約 200 本を追加して行なった。また, 冬芽はいずれもきわめて少量であったので幹に含めて分析した。

2-2. 1-1 苗

2-1 で述べたアカマツおよびクロマツの 1-0 大苗および小苗の 4 グループの床替えは, 支場構内の沖積土 (花こう岩質) を客土した苗畑で行なった。

4 グループはそれぞれ 6 プロットずつ, 計 24 プロットを乱塊法によって設定した。各プロットは $1 \times 1\text{m}$ の方形とし, 1-0 苗 49 本を方形に植栽した。

施肥は各グループいずれも m^2 あたり硫安 100 g, 過石 40 g, 熔リン 40 g, 硫加 20 g, オガクズ堆肥 (飽水) 1 kg を基肥として施し, 追肥は行なわなかった。

その他の保育方法は 1-0 苗の場合と同様であった。

翌 1960 年 3 月中旬に掘取りを行なったが, 以下 (3-1-2) に述べるように, 両樹種はいずれも 1-0 大苗植栽区からは 1-1 大苗が, 1-0 小苗植栽区からは 1-1 小苗が得られた。それぞれ各 6 プロットの中から任意に 3 プロットを抽出して, 成長および形質, 苗木の各部分の養分濃度の分析を行なった。各プロットの苗木はいずれも周辺の 1 列を除いて, 中央の 25 本を供試した。

アカマツ苗の 2 年生葉は前年秋に落葉していたので, 供試した針葉は 1 年生葉であったが, クロマツ苗は 2 年生葉も現存していたので 1 年生葉と合わせて分析した。この場合, クロマツの 2 年生葉は前年春以後ほとんど伸長していなかったもので, 前年度の 1 年生葉と同じ重量と見なすと, 全針葉の約 4~6% を占めるにすぎなかった。

2-3. 幼 齡 木

1960 年 3 月中旬に, 2-2 で述べた両樹種の各グループ, 1-1 大苗および 1-1 小苗の残りの各 3 プロットの苗木を, 同じ苗畑に山出し苗として植栽した。

これらの 4 グループは 3 プロットずつ, 計 12 プロットを乱塊法によって設定した。各プロットは $1 \times 10\text{m}$ の長方形とし, $50 \times 50\text{cm}$ 間隔の 2 列植栽とした。植穴は $30 \times 30 \times 30\text{cm}$ とした。調査試料は各ブ

ロットの中央の 25 本の中から任意に 20 本を抽出した。

幼齡木に施肥は行なわず、また、下刈りは年 2 回 6 月および 8 月に行なった。

植栽時、1 年後の 1961 年 3 月中旬および 2 年後の 1962 年 3 月中旬に、樹高および根元直径（高さ 10cm）を測定するとともに、1 年後および 2 年後に頂枝の 1 年生葉を採取して葉分析を行なった。

2-4. 分析方法

苗木の各部分および幼齡木の針葉の分析方法は次のとおりであった。

C……酸化滴定法²⁾、N……KJELDAHL 法、P……モリブデンブルーによる比色法¹⁾、K……蛍光分析法、Ca および Mg…… $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ を用いて Mn を除去した後に EDTA 法を用いた。無機成分は $\text{HClO}_4\text{-HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ を用いて湿式灰化後、上述の各方法を用いて定量した。

3. 結果および考察

3-1. アカマツおよびクロマツの苗木および幼齡木の成長経過

3-1-1. 結 果

両樹種の苗木および幼齡木の成長および形質は第 1～2 表に示すとおりであった。

1-1 苗の各成長量および形質、幼齡木の各年間成長量について要因分析を行なった結果、いずれもブロック間に有意差は認められなかった。しかし、樹種および 1-0 苗の苗木の大小の影響は、いずれも 1 ないし 5 % 水準で有意差が認められた。これらの各成長量および形質の差の有意性について、検討した結果は第 3 表に示すとおりであった。

3-1-2. 1-0 苗の大きさとその後の成長との関係

両樹種はいずれも同様の傾向を示し、1-0 苗の大きさは、これを養苗した 1-1 苗の大きさに比例することが認められた。すなわち、1-0 苗の大苗から得られた 1-1 苗は小苗から得られた 1-1 苗に比べると、樹高および直径、地上部および地下部の重量成長はいちじるしく大きく、1-0 大苗からは 1-1 大苗が、1-0 小苗からは 1-1 小苗が得られた。

さらに、幼齡木では、初年度および第 2 年度の樹高成長は、1-1 大苗植栽区の方が 1-1 小苗植栽区より大きく、両者の樹高の相違は年を追って増大した。これに対して、各年間直径成長はいずれも両者の間に有意差は見られなかった。

以上のように、1-0 苗の大小はその後の 1-1 苗および幼齡木の成長——とくに樹高成長——に大きな影響を与えることが認められたが、この点は養苗および造林上とくに重視すべき点であろうと思われる。

3-1-3. 大苗と小苗の形質の比較

各樹種の各苗齡ごとにそれぞれ大苗と小苗を比較すると、次の諸点が認められた。

1-0 苗では、大苗は小苗より T/R は大きく、H/T は小さかった。これらの点は、大苗は小苗に比べると、地上部重量の地下部重量に対する割合が大きく、苗高の割に地上部の発達が大いことを示すものといえよう。以下の第 10 表に示すように、根の乾物重量の苗木全体に対する比率が、小苗は大苗よりいちじるしく大きいことから明らかであろう。

1-1 苗においても、1-0 苗と同様の傾向が認められたが、大苗と小苗との間の相違は 1-0 苗の場合よりかなりけんちよな減少を示していた。

以上のように、苗木の形質は苗齡によってかなりの相違を示すことが認められた。

第1表 アカマツおよびクロマツの 1-0 および 1-1 苗の成長および形質
Table 1. Growth and quality of 1-0 and 1-1 seedlings of *P. densiflora* and

	苗 高 Height (cm)	根元直径 Basal diameter(mm)	生重量 Fresh weight(g)			T/R Top/ Root	H/D Height/ Diameter	H/T Height/ Top	乾 根 Root
			地上部 Top	地下部 Root	全苗木 Whole seedling				
アカマツ 1-0 苗 1-0 (1-year-old) seedling of <i>P. densiflora</i> *1									
大苗 Large-sized seedling	12.1	2.5	1.87	0.84	2.71	2.2	48	6.5	0.30
小苗 Small-sized seedling	6.1	1.3	0.42	0.28	0.72	1.5	47	15	0.099
クロマツ 1-0 苗 1-0 (1-year-old) seedling of <i>P. Thunbergii</i> *1									
大苗 Large-sized seedling	9.0	3.2	3.78	1.77	5.55	2.1	28	2.4	0.58
小苗 Small-sized seedling	5.4	1.7	0.82	0.55	1.37	1.5	32	6.6	0.16
アカマツ 1-1 苗 1-1(2-year-old, once transplanted) seedling of <i>P. densiflora</i> *2									
大苗区 Large-sized seedling plot*3	34.8	9.8	59.4	22.8	82.2	2.6	36	0.59	8.57
小苗区 Small-sized seedling plot*4	17.5	6.1	20.3	10.3	30.6	2.0	29	0.86	3.52
クロマツ 1-1 苗 1-1 (2-year-old, once transplanted) seedling of <i>P. Thunbergii</i> *2									
大苗区 Large-sized seedling plot*3	30.8	10.0	77.5	26.7	104.2	2.9	31	0.40	9.94
小苗区 Small-sized seedling plot*4	18.0	6.8	28.6	11.9	40.5	2.4	27	0.63	4.30

注 Remarks) *1 苗木 100 本の平均: Average of 100 seedlings. *2 3 プロットの平均:
*3 1-0 大苗床替区: Plot transplanted large-sized 1-0 seedling. *4 1-0 小苗床替区: Plot
1-0 seedling.

第2表 アカマツおよびクロマツの幼齢木の成長
Table 2. Growth of young *P. densiflora* and *P. Thunbergii* stands

	1965 年 3 月, March 1965		1966 年 3 月, March, 1966				1967 年 3 月,	
	樹 高 Height (cm)	根元直径 Basal diameter (mm)	樹 高 Height (cm)	根元直径 Basal diameter (mm)	樹高成長 Height growth (cm)	直径成長 Diameter growth (mm)	樹 高 Height (cm)	根元直径 Basal diameter (mm)
アカマツ <i>P. densiflora</i>								
大苗区 Large-sized seedling plot*2	36	9	67	18	31	9	135	34
小苗区 Small-sized seedling plot*3	22	6	45	14	23	8	95	29
クロマツ <i>P. Thunbergii</i>								
大苗区 Large-sized seedling plot*2	29	9	56	17	27	8	115	30
小苗区 Small-sized seedling plot*3	18	6	39	12	21	6	85	24

注 Remarks) 根元直径は地上 10cm: Basal diameter is at 10 cm height.
*1 3 plot の平均: Average of 3 plots. *2 1-0 大苗から得られた 1-1 大苗植栽区: Plot trans-
1-1 seedling, originated from 1-0 large-sized seedling. *3 1-0 小苗から得られた 1-1 小
transplanted small-sized 1-1 seedling, originated from 1-0 small-sized seedling.

第3表 各処理間の1-1 苗および幼齡木の成長および形質の差の有意性

Table 3. Significance of growth and quality differences between treatments

P. Thunbergii

物重量 Dry weight (g)			
幹 Stem	葉 Needle	冬芽 Bud	全苗木 Whole seedling
0.34	0.44	—	1.08
0.040	0.075	—	0.194

0.37	1.05	—	2.00
0.06	0.18	—	0.40

7.29	14.2	0.61	30.7
1.98	5.25	0.29	11.0

7.57	22.2	1.09	39.7
2.47	7.96	0.42	15.2

Average of 3 plots.
transplanted small-sized

March, 1967	
樹高成長 Height growth (cm)	直径成長 Diameter growth (mm)
68	16
50	15
59	13
46	12

planted large-sized
苗植栽区: Plot

A 1-1 苗, 1-1 Seedling		
A-1 樹高 Height	A-2 根元直径 Basal diameter	A-3 地上部重量 Fresh top weight
P.d.s **	P.d.s **	P.d.s **
P.T.L **	P.T.L **	P.T.L **
P.T.S **	P.T.S **	P.T.S **
P.d.L **	P.d.L **	P.d.L **
P.d.S **	P.d.S **	P.d.S **
P.T.L **	P.T.L **	P.T.L **
P.T.S **	P.T.S **	P.T.S **
A-4 地下部重量 Fresh root weight	A-5 T/R Top / Root	A-6 H/D Height / Diameter
P.d.s **	P.d.s **	P.d.s **
P.T.L **	P.T.L **	P.T.L **
P.T.S **	P.T.S **	P.T.S **
P.d.L **	P.d.L **	P.d.L **
P.d.S **	P.d.S **	P.d.S **
P.T.L **	P.T.L **	P.T.L **
P.T.S **	P.T.S **	P.T.S **
A-7 H/T Height / Fresh top weight	B-1 樹高成長(1年目) Height growth (1st year)	B-2 直径成長(1年目) Diameter growth (1st year)
P.d.s **	P.d.s **	P.d.s **
P.T.L **	P.T.L **	P.T.L **
P.T.S **	P.T.S **	P.T.S **
P.d.L **	P.d.L **	P.d.L **
P.d.S **	P.d.S **	P.d.S **
P.T.L **	P.T.L **	P.T.L **
P.T.S **	P.T.S **	P.T.S **
B-3 樹高成長(2年目) Height growth (2nd year)	B-4 直径成長(2年目) Diameter growth (2nd year)	
P.d.s **	P.d.s **	
P.T.L **	P.T.L **	
P.T.S **	P.T.S **	
P.d.L **	P.d.L **	
P.d.S **	P.d.S **	
P.T.L **	P.T.L **	
P.T.S **	P.T.S **	

注 Remarks)

** 1% で有意: Significant at 1% level.

* 5% で有意: Significant at 5% level.

— 5% で有意差なし: Insignificant at 5% level.

P. d. L アカマツ大苗区: Large-sized *P. densiflora* seedling plot.P. d. S アカマツ小苗区: Small-sized *P. densiflora* seedling plot.P. T. L クロマツ大苗区: Large-sized *P. Thunbergii* seedling plot.P. T. S クロマツ小苗区: Small-sized *P. Thunbergii* seedling plot.

第1~2表参照: See Table 1~2.

3-1-4. アカマツおよびクロマツの苗木および幼齡木の成長および形質の比較

両樹種の同じ苗齡の大苗および小苗をそれぞれ相互に比較すると、次のような諸点が認められた。

1-0 苗では全般に苗長はアカマツの方が大きかったが、直径、地上部および地下部重量はクロマツの方がいちじるしく大きく、乾物重量では根は約2倍、葉は約2倍強に達した。また、クロマツはアカマツに比べると、苗長の割に直径および地上部の発達が大いことが認められたが、この点は両樹種の H/D および H/T の相違に明りょうに示されている。

1-1 苗では、両樹種間の相違は 1-0 苗ほど明りょうではなかった。大苗では苗長はアカマツが、地上部および地下部重量はクロマツの方が大きかったが、直径は有意差が見られなかった。小苗では地上部重量はクロマツの方が大きかった以外は、いずれも有意差は見られなかった。また、クロマツの乾物重量はアカマツに比べて、大苗および小苗はいずれも根は約 1.2 倍、葉は約 1.5 倍にすぎず、両樹種間の相違は 1-0 苗の場合よりかなり減少を示していた。クロマツはアカマツよりも、大苗および小苗はいずれも T/R は大きく、H/T は小さく、地上部の発達がいちじるしいことを示していた。

幼齡木では、第2年度の小苗区の樹高成長を除くと、各年度いずれもアカマツの方がクロマツより、年間樹高および直径成長はすぐれていた。

以上のように、両樹種の苗木および幼齡木の成長、および形質の特徴は、苗齡ないし樹齡、および大きさによってかなりの変化を示すことが認められ、一定の傾向を認め難かった。

3-2. アカマツおよびクロマツの苗木および幼齡木の各養分濃度

3-2-1. 結 果

アカマツおよびクロマツの 1-0 および 1-1 苗の、各部分および全体、1～2年生の幼齡木の針葉の各

第4表 アカマツ 1-0 苗の養分濃度および養分比

Table 4. Nutrient concentrations and nutrient ratios of 1-0 *P. densiflora* seedling

乾物当パーセント (Per cent on dry basis)

	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N	N/P	N/K	N/Ca	K/P	Ca/Mg
大 苗 Large-sized seedling												
根 Root	44.4	1.12	0.21	0.72	0.14	0.14	39.6	5.3	1.6	8.0	3.4	1.0
幹 Stem	49.7	1.82	0.28	0.75	0.23	0.20	27.3	6.5	2.4	7.9	2.7	1.2
葉 Needle	52.8	2.13	0.24	1.03	0.41	0.15	24.8	8.9	2.1	5.2	4.3	2.7
全苗木 Whole seedling	49.4	1.75	0.25	0.86	0.28	0.17	28.2	7.0	2.0	6.3	3.4	1.6
小 苗 Small-sized seedling												
根 Root	44.0	1.13	0.27	0.78	0.15	0.17	38.9	4.2	1.4	7.5	2.9	0.9
幹 Stem	48.8	1.77	0.27	0.79	0.21	0.16	27.6	6.6	2.2	8.4	2.9	1.3
葉 Needle	52.9	2.10	0.24	1.02	0.39	0.16	25.2	8.8	2.1	5.4	4.3	2.4
全苗木 Whole seedling	48.4	1.64	0.26	0.88	0.25	0.16	29.5	6.3	1.9	6.6	3.4	1.6

養分濃度は第4～8表に示すとおりであった。

3-2-2. 苗木および幼齡木の成長と各養分濃度との関係

各樹種について、各苗齡ごとにそれぞれ大苗と小苗の各部分および全体の各養分濃度、幼齡木の各樹齡ごとの大苗および小苗植栽区の針葉の各養分濃度を比較すると、次のような諸点が認められた。

第5表 クロマツ 1-0 苗の養分濃度および養分比

Table 5. Nutrient concentrations and nutrient ratios of 1-0 *P. Thunbergii* seedling
乾物当パーセント (Per cent on dry basis)

	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N	N/P	N/K	N/Ca	K/P	Ca/Mg
大 苗 Large-sized seedling												
根 Root	46.6	1.03	0.16	0.73	0.12	0.12	45.2	6.4	1.4	8.6	4.6	1.0
幹 Stem	49.8	1.53	0.28	0.78	0.23	0.21	32.5	5.5	2.0	6.7	2.8	1.1
葉 Needle	49.6	1.93	0.20	1.12	0.39	0.15	25.7	9.7	1.7	4.9	5.6	2.6
全苗木 Whole seedling	48.7	1.60	0.20	0.95	0.28	0.16	30.4	8.0	1.7	5.7	4.8	1.8
小 苗 Small-sized seedling												
根 Root	45.3	1.02	0.22	0.73	0.15	0.14	44.4	4.6	1.4	6.8	3.3	1.1
幹 Stem	49.2	1.56	0.28	0.81	0.21	0.18	31.5	5.6	1.9	7.4	2.9	1.2
葉 Needle	49.5	1.91	0.21	1.04	0.34	0.15	25.9	9.1	1.8	5.6	5.0	2.3
全苗木 Whole seedling	47.7	1.51	0.22	0.88	0.24	0.15	31.6	6.9	1.7	6.3	4.0	1.6

第6表 アカマツ 1-1 苗の養分濃度および養分比

Table 6. Nutrient concentrations and nutrient ratio of 1-1 *P. densiflora* seedling
乾物当パーセント (Per cent on dry basis)

	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N	N/P	N/K	N/Ca	K/P	Ca/Mg
大苗区 Large-sized seedling plot*												
根 Root	43.1	1.18	0.16	0.55	0.21	0.15	36.7	7.4	2.1	5.6	3.4	1.4
幹 Stem	52.0	1.31	0.18	0.52	0.33	0.11	39.7	7.3	2.5	4.0	2.9	3.0
葉 Needle	57.6	2.17	0.21	0.73	0.52	0.11	26.5	10.3	3.0	4.2	3.5	4.7
冬芽 Bud	51.3	2.36	0.36	0.83	0.34	0.10	21.7	6.6	2.8	6.9	2.3	3.4
全苗木 Whole seedling	52.1	1.69	0.19	0.64	0.39	0.12	30.8	8.9	2.6	4.3	3.4	3.3
小苗区 Small-sized seedling plot*												
根 Root	45.2	1.29	0.17	0.52	0.18	0.12	35.0	7.6	2.5	7.2	3.1	1.5
幹 Stem	50.6	1.46	0.18	0.51	0.33	0.13	34.7	8.1	2.9	4.4	2.8	2.5
葉 Needle	55.5	2.38	0.21	0.77	0.56	0.10	23.3	11.3	3.1	4.3	3.7	5.8
冬芽 Bud	53.3	2.51	0.39	0.90	0.41	0.16	21.2	6.4	2.7	6.1	2.3	2.6
全苗木 Whole seedling	51.4	1.88	0.20	0.65	0.40	0.11	27.3	9.4	2.9	4.7	3.3	3.6

注 Remark) * 第1表と同じ。Same as Table 1.

第 7 表 クロマツ 1-1 苗の養分濃度および養分比

Table 7. Nutrient concentrations and nutrient ratios of 1-1 *P. Thunbergii* seedling
乾物当パーセント (Per cent on dry basis)

	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N	N/P	N/K	N/Ca	K/P	Ca/Mg
大苗区 Large-sized seedling plot*												
根 Root	45.3	0.98	0.10	0.52	0.15	0.10	46.2	9.8	1.9	6.5	5.2	1.5
幹 Stem	51.1	1.18	0.13	0.55	0.36	0.10	43.3	9.1	2.1	3.3	4.2	3.6
葉 Needle	50.8	1.75	0.15	0.70	0.47	0.12	29.0	11.7	2.3	3.7	4.7	3.9
冬芽 Bud	51.9	2.25	0.34	1.04	0.56	0.10	23.1	6.6	2.2	4.0	2.9	5.6
全苗木 Whole seedling	51.0	1.51	0.14	0.65	0.37	0.11	33.8	10.8	2.3	4.1	4.6	3.4
小苗区 Small-sized seedling plot*												
根 Root	47.7	0.96	0.091	0.50	0.12	0.065	47.0	10.7	1.9	8.0	5.5	1.8
幹 Stem	48.1	1.19	0.13	0.53	0.32	0.12	40.4	9.2	2.3	3.7	4.1	2.7
葉 Needle	50.6	1.64	0.15	0.70	0.50	0.13	30.9	10.9	2.3	3.3	4.7	3.8
冬芽 Bud	52.4	2.17	0.34	0.97	0.61	0.16	24.1	6.4	2.2	3.6	2.9	3.8
全苗木 Whole seedling	49.3	1.39	0.13	0.62	0.37	0.11	35.5	10.7	2.2	3.7	4.8	3.4

注 Remark) * 第 1 表と同じ。Same as Table 1.

第 8 表 アカマツおよびクロマツ幼齢木の針葉の養分濃度および養分比

Table 8. Nutrient concentrations and nutrient ratios of needles of young *P. densiflora* and *P. Thunbergii* stands

乾物当パーセント (Per cent on dry basis)

	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N	N/P	N/K	N/Ca	K/P	Ca/Mg
アカマツ 1 年生 1-year-old <i>P. densiflora</i>												
大苗区 Large-sized seedling plot*	54.5	2.09	0.19	0.66	0.54	0.12	26.3	10.9	3.1	3.8	3.5	4.5
小苗区 Small-sized seedling plot*	53.6	2.13	0.19	0.67	0.50	0.12	25.1	11.2	3.2	4.3	3.5	4.2
クロマツ 1 年生 1-year-old <i>P. Thunbergii</i>												
大苗区 Large-sized seedling plot*	53.7	1.33	0.14	0.63	0.49	0.11	40.3	9.5	2.1	3.1	4.5	4.5
小苗区 Small-sized seedling plot*	53.4	1.41	0.13	0.63	0.49	0.11	37.8	10.8	2.2	2.9	4.8	4.5
アカマツ 2 年生 2-year-old <i>P. densiflora</i>												
大苗区 Large-sized seedling plot	54.2	1.83	0.17	0.70	0.68	0.13	29.6	10.8	2.6	2.7	4.1	5.2
小苗区 Small-sized seedling plot	56.6	1.85	0.18	0.69	0.64	0.11	30.5	10.3	2.7	2.9	3.8	5.8
クロマツ 2 年生 2-year-old <i>P. Thunbergii</i>												
大苗区 Large-sized seedling plot	54.0	1.34	0.13	0.66	0.67	0.13	40.2	10.3	2.0	2.0	5.1	5.2
小苗区 Small-sized seedling plot	54.4	1.35	0.13	0.65	0.61	0.11	40.2	10.4	2.1	2.2	5.0	5.5

注 Remark) * 第 2 表と同じ。Same as Table 2.

両者の各養分濃度の差を、高い濃度を基準として、これに対する Percentage で比較すると、苗木の場合には一部の養分濃度はかなり大きな相違が認められた。これに対して、幼齡木の針葉の両区の各養分濃度の相違はきわめて小さく、ほぼ 10% 以下にすぎず、近似的にはほぼ同じと見なしてさしつかえない程度であった。

苗木の N, P および K 濃度については、両樹種の 1-0 苗の根の P 濃度がいずれも大苗は小苗よりかなり低く、約 20~30% の減少を示した。しかし、その他の 1-0 および 1-1 苗の各部分および全体の N, P および K 濃度の相違は約 10% ないしそれ以下にすぎず、きわめて近似した値を示していた。

Ca および Mg 濃度は、1-0 苗ではアカマツの根および幹の Mg 濃度、クロマツの根の Ca 濃度、1-1 苗ではアカマツの根および冬芽の Ca および Mg 濃度、クロマツの根の Ca および Mg 濃度、幹および冬芽の Mg 濃度等、かなり多くの場合にいずれも約 15~35% 程度のかかなり大きな相違が認められた。

筆者⁴⁾はさきにアカマツ 1-1 苗について、N, P および K の施肥量をかえた場合の成長、および形質の異なる各処理区の苗木の各部分および全体の各養分濃度の変化について、N 濃度は 10% 以下、P, K および Ca 濃度は約 10~20%, Mg 濃度は約 15~35% 前後の相違を示し、 $N < P$, K および $Ca < Mg$ 濃度の順に相違の程度が増大することを指摘した。今回の大苗および小苗間の各養分濃度の相違も、これとかなり類似した傾向を示していたと見るべきであろう。

今回の結果を総合すると、各樹種の 1-0 および 1-1 苗は土壌ないし施肥条件が同じ場合には、それぞれ成長量がかかなり相違している場合でも各養分濃度の相違は少なく、とくに N, P および K 濃度はほぼ同じレベルにあると筆者は考えたい。

幼齡木の葉分析について、筆者および衣笠⁵⁾はクロマツ幼齡林および 19 年生のアカマツ林について調査し、同一土壌条件下の 1 つの林分の個々の林木を、その成長の大小によって 2 区分してグループごとに比較した結果、針葉の各養分濃度は近似的な値を示して、相違が見られないことを明らかにした。さらに、このような結果から、林木の葉の各養分濃度は土壌中の各養分レベルと直接の(一次的な)関連性を有するが、成長との間にはむしろ間接的な(二次的な)関連性が見られるとの見解を示した。

今回の幼齡木の葉分析の結果も同様の見解を支持するものといえよう。

3-2-3. 栄養状態から見たアカマツおよびクロマツの比較

両樹種の 1-0 および 1-1 苗の各部分および全体、1~2 年生の幼齡木の針葉の各養分濃度を相互に比較すると、両樹種間に次のような相違が認められた。

アカマツはクロマツに比べると、いずれの場合も N および P 濃度は明らかに高かった。しかし、その他の K, Ca および Mg 濃度の相違はいずれも僅少で、ほぼ近似的な値を示した。

養分比については、このような両樹種間の相違を反映して、上述のいずれの場合もアカマツはクロマツに比べて C/N および K/P は小さく、N/K および N/Ca は大きかったが、Ca/Mg は明らかに相違が見られなかった。また、N/P は苗木の場合はアカマツの方が多少小さかったが、幼齡木の場合は相違が認められなかった。

柴田⁶⁾はクロマツ 1-1 苗の根、幹および葉の各時期別の P 濃度はアカマツ 1-1 苗より低いことを指摘したが、この点は筆者の結果とよく一致していた。

以上のように、両樹種を比較すると N および P 濃度に明らかに相違が認められたことは、両樹種の栄養生理的な特徴を示すと同時に、苗木の栄養生理および葉分析による林木の栄養診断について、きわめて

重要な知見を与えたものといえよう。

3-2-4. 今までの諸研究者の成果との比較

苗畑における施肥設計の方法はいくつか提案されているが、その一つとして苗木の養分濃度および乾物量から、吸収量を求めて算出する方法が行なわれている。この方法の基準となる苗木の、各養分濃度についてのアカマツおよびクロマツの研究—とくにクロマツ—は意外に少ない。

筆者^{*)}はさらに、アカマツ 1-1 苗についての今までの諸研究者の結果は、いちじるしい相違を示し、基準となりうる大体のレベルを決定し難いことを指摘した。今回のアカマツ 1-1 苗についての結果は、筆者の今までの結果³⁾⁴⁾と比べると、苗木の大きさはかなり異なるにもかかわらず、大体同程度のレベルにあったといえよう。

アカマツ 1-0 苗については中塚⁵⁾、芝本および中沢⁷⁾、クロマツ 1-1 苗については柴田⁸⁾の報告があるが、これらの結果は第 9 表に示したとおりである。クロマツ 1-0 苗については今までの資料が得られないので、論議はできない。

第 9 表に示した結果を今回の筆者の結果と比較すると、いずれもいちじるしい相違が認められた。このような相違は各研究者ごとの施肥ないし土壤条件、試料の採取時期、気候条件等の相違によってもたらされたものであろうか？ これらの諸点については、今後なお多くの研究に待たなければならないと思われる。

第 9 表 アカマツ 1-0 苗およびクロマツ 1-1 苗の養分濃度についての今までの研究

Table 9. A review of previous works on nutrient concentrations of 1-0 *P. densiflora* and 1-1 *P. Thunbergii* seedlings 乾物当パーセント (Per cent on dry basis)

	N	P	K	Ca	Mg
アカマツ 1-0 苗, 1-0 <i>P. densiflora</i> seedling 中塚, by NAKATSUKA, T. ^{5)*1}					
根 Root	1.33	0.11	—	—	—
幹 Stem	0.64	0.28	—	—	—
葉 Needle	2.95	0.21	—	—	—
全苗木 Whole seedling	2.09	0.17	—	—	—
芝本および中沢, by SHIBAMOTO, T. and NAKAZAWA, H. ^{7)*2}					
全苗木 Whole seedling	1.89 1.74	0.16 0.14	1.00 0.61	0.31 0.35	0.16 0.17
クロマツ 1-1 苗, 1-1 <i>P. Thunbergii</i> seedling 柴田, by SHIBATA, N. ^{8)*3}					
根 Root	1.29~1.50 1.77~2.09	0.10~0.13 0.15~0.17	0.29~0.37 0.32~0.36	0.16~0.22 0.13~0.25	—
幹 Stem	1.31~1.57 1.57~2.11	0.048~0.092 0.092~0.12	0.36~0.46 0.36~0.52	0.94~1.32 0.76~1.19	—
葉 Needle	1.90~3.08 2.48~4.41	0.15~0.18 0.18~0.34	0.60~0.91 0.69~0.90	0.32~0.52 0.23~0.44	—

注 Remarks)

*1 時期別吸収量試験, (3月18日): An experiment on seasonal variation of nutrient absorption. (March, 18)

*2 同上 (10月11日), 上欄は施肥区, 下欄は無施肥区: Ibid., (Oct., 11), Upper rank is the fertilized plot and lower rank the unfertilized plot.

*3 3要素適量試験 (最小~最大), (1月): An experiment on relation between the amount of manuring and contents of the element. (min. ~max.) (January)

3-2-5. アカマツおよびクロマツ苗木の養分含有量

第4～8表に示した両樹種の1-0および1-1苗の各養分濃度, および第1表に示した乾物重から計算した苗木の各養分含有量は, 第10～11表に示すとおりであった。

両樹種の1-1大苗の3要素含有量はいちじるしく大きく, m^2 あたりに換算すると, 各肥料の利用率を考慮に入れて計算した施肥量を, 大きく上回った。この点は使用した苗畑の土壌の3要素の天然供給量が大きかったことを示すものといえよう。

1-0苗について大苗と小苗をそれぞれ比較すると, いずれもクロマツはアカマツより各養分含有量はいちじるしく大きかった。すなわち, Nは1.7～1.9倍, Pは1.5～1.8倍, Kは2.1倍, Caは1.9～2.0倍, Mgは1.7～1.9倍に達した。これらの点は両樹種の重量成長の相違によってもたらされたものである。

1-1苗について同様の比較を行なうと, クロマツはアカマツに比べて, Nは1.0～1.2倍, Pは0.9～0.95倍, Kは1.2～1.3倍, Caは1.1～1.2倍, Mgは1.2～1.4倍の含有量を示したにすぎなかった。アカマツは調査当時すでに2年生葉は落葉していたので, これを含めた場合には第11表の結果を多少上

第10表 アカマツおよびクロマツ 1-0 苗の養分含有量

Table 10. Nutrient contents of 1-0 *P. densiflora* and *P. Thunbergii* seedlings

1本当 mg (mg per one seedling)

		乾物量 Dry weight	N	P	K	Ca	Mg
アカマツ, 大苗 <i>P. densiflora</i> , Large-sized seedling							
根	Root	300 (28)	3.36 (18)	0.63 (23)	2.2 (24)	0.42 (14)	0.42 (23)
幹	Stem	340 (31)	6.18 (33)	0.95 (35)	2.6 (28)	0.78 (26)	0.68 (38)
葉	Needle	440 (41)	9.37 (50)	1.1 (41)	4.5 (48)	1.8 (60)	0.66 (37)
全苗木	Whole seedling	1080(100)	18.9 (100)	2.7 (100)	9.3 (100)	3.0 (100)	1.8 (100)
同上, 小苗 Ibid., Small-sized seedling							
根	Root	79 (41)	0.89 (28)	0.21 (42)	0.61 (36)	0.11 (23)	0.13 (42)
幹	Stem	49 (21)	0.71 (22)	0.11 (22)	0.32 (19)	0.084(17)	0.064(21)
葉	Needle	75 (39)	1.56 (49)	0.18 (36)	0.77 (45)	0.29 (60)	0.12 (39)
全苗木	Whole seedling	194(100)	3.18(100)	0.50(100)	1.7 (100)	0.48(100)	0.31(100)
クロマツ, 大苗 <i>P. Thunbergii</i> , Large-sized seedling							
根	Root	580 (29)	5.97 (19)	0.92 (23)	4.2 (22)	0.69 (12)	0.69 (22)
幹	Stem	370 (19)	5.66 (18)	1.0 (25)	2.9 (15)	0.85 (15)	0.77 (25)
葉	Needle	1050 (53)	20.3 (64)	2.1 (53)	12 (63)	4.1 (73)	1.6 (52)
全苗木	Whole seedling	2000(100)	31.9 (100)	4.0 (100)	19 (100)	5.6 (100)	3.1 (100)
同上, 小苗 Ibid., Small-sized seedling							
根	Root	160 (40)	1.58 (27)	0.34 (39)	1.1 (31)	0.23 (24)	0.22 (37)
幹	Stem	60 (15)	0.92 (16)	0.17 (19)	0.48 (14)	0.12 (12)	0.11 (19)
葉	Needle	180 (45)	3.40 (58)	0.37 (42)	1.9 (54)	0.61 (64)	0.26 (44)
全苗木	Whole seedling	400(100)	5.90(100)	0.88(100)	3.5 (100)	0.96(100)	0.59(100)

注 Remark)

カッコ内の数字は全苗木に対するパーセント Figures in parenthesis are per cent on whole seedling.

第11表 アカマツおよびクロマツ 1-1 苗の養分含有量

Table 11. Nutrient contents of 1-1 *P. densiflora* and *P. Thunbergii* seedlings

	乾物重 Dry weight (g)	N (mg)	P (mg)	K (mg)	Ca (mg)	Mg (mg)
アカマツ, 大苗区 <i>P. densiflora</i> , Large-sized seedling plot*						
根 Root	8.57(28)	101 (19)	14 (24)	47 (24)	18 (15)	13 (34)
幹 Stem	7.29(24)	95.5(18)	13 (22)	38 (20)	24 (20)	8.0(21)
葉 Needle	14.2 (46)	309 (59)	30 (51)	100 (54)	74 (63)	16 (42)
冬芽 Bud	0.61 (2)	14.3 (3)	2.2 (4)	5.1 (3)	2.1 (2)	0.6 (2)
全苗木 Whole seedling	30.7(100)	520 (100)	59 (100)	194 (100)	118 (100)	38 (100)
同上, 小苗区 Ibid., Small-sized seedling plot*						
根 Root	3.52 (32)	45.4(22)	6.0 (27)	23 (28)	6.3 (15)	4.2 (35)
幹 Stem	1.98 (18)	28.9(14)	3.6 (16)	13 (16)	6.5 (15)	2.6 (22)
葉 Needle	5.25 (48)	125 (61)	11 (50)	44 (53)	29 (67)	5.1 (42)
冬芽 Bud	0.29(2.6)	7.3 (4)	1.1 (5)	2.6 (3)	1.2 (3)	0.46 (4)
全苗木 Whole seedling	11.0 (100)	207 (100)	22 (100)	83 (100)	43 (100)	12 (100)
クロマツ, 大苗区 <i>P. Thunbergii</i> , Large-sized seedling plot*						
根 Root	9.94(25)	97.4(16)	9.9 (18)	5.2(20)	15 (10)	9.9 (22)
幹 Stem	7.57(19)	89.3(15)	9.8 (17)	42 (16)	27 (18)	7.6 (17)
葉 Needle	22.2 (56)	389 (65)	33 (59)	155 (60)	100 (68)	27 (59)
冬芽 Bud	1.09 (3)	24.5 (4)	3.7 (7)	11 (4)	6.1 (4)	1.1 (2)
全苗木 Whole seedling	39.7(100)	600 (100)	56 (100)	260 (100)	148 (100)	46 (100)
同上, 小苗区 Ibid., Small-sized seedling plot*						
根 Root	4.30(28)	41.3(20)	3.9 (20)	22 (23)	5.2 (9)	2.8 (16)
幹 Stem	2.47(16)	29.4(14)	3.2 (16)	13 (14)	7.9 (14)	3.0 (18)
葉 Needle	7.97(52)	131 (62)	12 (60)	56 (59)	40 (71)	10 (59)
冬芽 Bud	0.42 (3)	9.1 (4)	1.4 (7)	4.1 (4)	2.6 (5)	0.7 (4)
全苗木 Whole seedling	15.2(100)	211 (100)	20 (100)	95 (100)	56 (100)	17 (100)

注 Remark)

* 第1表と同じ。Same as Table 1.

回るであろう。

3-3. 苗畑施業への応用

今回の試験結果から苗畑施業を行なう場合に注意しなければならない諸点として、次のことをとくに指摘しておきたい。

アカマツおよびクロマツはいずれも 1-0 大苗は、その後の 1-1 苗、さらに山出し後の幼齢木の成長も 1-0 小苗に比べるといちじるしく大きく、1-0 苗の成長はその後の成長に大きな影響を及ぼしていた。この点は、両樹種の養苗および山出し苗の選苗の際に、とくに注意を要する点であろうと思われる。

苗畑施業の一般的な基準では、両樹種の 1-0 苗の仕立本数は同じ (500 本/m²) として扱われている。同程度の苗長の苗木を比較すると、クロマツはアカマツに比べると、乾物重量で約 2 倍、各養分吸収量は約 1.5~2 倍に達する。この点は両樹種の 1-0 苗の施肥に対して、とくに考慮を払う必要があろう。

第 12 表 アカマツおよびクロマツ苗木の各養分レベル

(苗畑施肥の基準としての養分吸収量算出のための試案)

Table 12. Nutrient levels of *P. densiflora* and *P. Thunbergii* seedlings (A tentative plan on calculation of nutrient absorption of seedling for determination of fertilizer amount given in nursery practice)

(乾物は全苗木当, 各養分濃度は乾物当% : Dry matters are per cent on fresh whole seedling basis and nutrient concentrations on dry matter basis)

	乾 物 Dry matter %	N	P	K	Ca	Mg
1-0 苗, 1-0 seedling						
アカマツ <i>P. densiflora</i>	35	1.65~1.75	0.60	1.35~1.40	0.35~0.40	0.25~0.30
クロマツ <i>P. Thunbergii</i>	35	1.50~1.60	0.50	1.40~1.50	0.35~0.40	0.25~0.30
1-1 苗, 1-1 seedling						
アカマツ <i>P. densiflora</i>	35	1.70~1.90	0.45	1.05	0.50~0.55	0.20
クロマツ <i>P. Thunbergii</i>	35	1.40~1.50	0.30	1.05	0.50~0.55	0.20

上述の第 12 表に示すように、両樹種はいずれも 1-0 苗は 1-1 苗に比べると、苗木全体の N 濃度は大きな相違が見られないが、P、K および Mg 濃度が高いことに注意を払う必要があろう。この点は苗齡によって各養分の要求度が異なることを示すものであるが、同時に施肥の際の 3 要素の比率は 1-0 苗と 1-1 苗ではかなり異なったものとなるであろう。

1-1 苗の場合には、ほぼ同じ苗長の苗木を比べると、クロマツはアカマツに比べて、乾物重量は約 1.3~1.4 倍、各養分含有量は 0.9~1.4 倍にすぎず、両樹種間の吸収量の相違は 1-0 苗の場合に比べるとかなり少なかった。

筆者は両樹種の 1-0 および 1-1 苗の施肥設計の基準として、苗木全体の各養分濃度を試案として第 12 表に示した。

K 濃度は筆者³⁾がアカマツ 1-1 苗について指摘したように、樹体からの溶脱が予想されるので、以前の晩秋の K 濃度³⁾を採用した。その他の場合にはこの点は未検討であるが、同様の考え方で今回の 3 月に得られた結果を約 30% 程度増大させた。

実際に施肥設計をたてる場合には、目標とする苗木の大きさ（重量）、仕立本数が決まれば、大苗も小苗も近似的には各養分濃度は同じレベルと見なされるので、苗木の養分吸収量は容易に求めることが可能であろう。さらに、各肥料の利用率を考慮に入れれば、これらの結果に基づいて合理的な施肥設計をたてることは容易であろう。

4. お わ り に

1) この研究は筆者がさきに行なったアカマツ 1-1 苗の無機栄養に関する研究³⁾⁴⁾のつづきとして、新たにクロマツも加えて、1-0 苗から 2 年生の幼齡木まで 4 か年にわたって、無機栄養について調査した結果を報告したものである。

2) この研究のおもな目的は次の諸点を検討することにあった。

i) 両樹種の無機栄養の相違

ii) 両樹種の成長ないし形質の相違と各養分濃度に示される栄養状態との関係

iii) 1-0 苗の成長および形質が、その後の 1-1 苗および幼齡木の成長ないし形質におよぼす影響

3) 得られた結果は次のとおりであった。

i) 1-0 苗の成長および形質は、その後の 1-1 苗および幼齡木の成長に大きな影響をおよぼすことが認められた。1-0 大苗から得られた 1-1 苗の樹高および直径成長は、1-0 小苗から得られた 1-1 苗より大きく、さらに、幼齡木の場合は 1-1 大苗植栽区は 1-1 小苗植栽区より樹高成長は大きかったが、直径成長は有意差が見られなかった。

ii) 1-0 および 1-1 苗の各部分および全体の各養分濃度、幼齡木の葉分析の結果は、クロマツはアカマツより N および P 濃度が明らかに低いことが認められた。しかし、その他の K, Ca および Mg 濃度は明らかな相違が認められず、ほぼ近似的な値を示した。

iii) 両樹種の大苗区と小苗区を比べると、1-0 および 1-1 苗の N, P および K 濃度の相違は全般的にきわめて小さかったが、Ca および Mg 濃度の相違はやや増大した。しかし、幼齡木の葉分析の結果は、各養分濃度の相違はきわめて小さかった。

iv) さらに、苗畑における施肥設計の基準として、両樹種の 1-0 および 1-1 苗の各養分濃度についての試案を示しておいた。

稿を終わるにあたり、終始多大のご配慮をいただいた前関西支場長徳本孝彦技官、現同江畑奈良男技官、育林部長松下規矩技官に心からの感謝をささげる次第である。

文 献

- 1) 池田長生：チオ硫酸ナトリウムによるリン酸イオンの新比色法，日化誌，72，pp. 23～26，(1951)
- 2) 河田 弘：TiURIN 法による土壌有機炭素の定量の検討 および その改良方法について，林野土調報，8，pp. 67～80，(1957)
- 3) 河田 弘 (KAWADA, H.)：アカマツ 1-1 苗の時期別養分吸収について，林試研報 (Bull. Gov. For. Exp. Stat.)，187，pp. 27～52，(1966)
- 4) 同上 (Ibid.)：アカマツ 1-1 苗の成長および養分組成におよぼす窒素，リン酸およびカリの施用量の影響，同上 (Ibid.)，212，pp. 59～88，(1968)
- 5) 河田 弘・衣笠忠司 (KAWADA, H. and KINUGASA, T.)：姥ヶ原国有林におけるクロマツ幼齡林施肥試験 (関西地方における林地施肥試験，第 3 報)，同上 (Ibid.)，219，pp. 121～136，(1968)
- 6) 中塚友一郎：アカマツ苗の成長ならびに窒素およびリン酸含量に関する 2, 3 の実験，日林誌，34，pp. 326～327，(1952)
- 7) 芝本武夫・中沢春治：アカマツ稚苗の成長にともなう無機養分の吸収について，同上，pp. 383～390，(1958)
- 8) 柴田信男：林木稚苗の栄養生理に関する研究 第 7 報，スギ，ヒノキ，アカマツおよびクロマツ稚苗における肥料要素含有量に関する 2, 3 の綜合考察，京大演報，29，pp. 181～206，(1960)

A Study on Mineral Nutrition on Seedling and Young Stand of
Pinus densiflora* and *Pinus Thunbergii
 (On a Comparison with both Species and a Correlation between
 their Growth and Nutrient Conditions)

Hiroshi KAWADA⁽¹⁾

(Résumé)

1. Introduction

A characteristic of woodland in the Kansai area is that pine forests form an important part and the plantation of *P. densiflora* seedling for afforestation was fairly extensively practiced. In more recent times, the plantation of *P. Thunbergii* seedling, usually limited to the seashore for protection against wind, gradually increased year by year in normal woodland in this area. This being so, the author paid increasing attention to the raising of pine seedlings in this area.

He designed a series of studies on their nutrient physiology and reported on the seasonal variations of nutrient absorption and the effects of N, P₂O₅ and K₂O supplies on growth and nutrient compositions of 1-1 (1-year-old, once transplanted) *P. densiflora* seedling³⁾⁴⁾. Successively, he arranged to carry out an investigation during 4 years from 1-0 (one-year-old) seedling to 2-year-old young stand of *P. densiflora* and *P. Thunbergii* for clarifying the following uncertainties :

- 1) The foresters are of the opinion that both species would be similar in their nutrient physiology. Is it true? As yet, this still remains an unidentified point.
- 2) What factors induce the differences of seedling and young stand growth on the same nursery soil or forest soil conditions? Are they induced by their differences of nutrient condition? Are the nutrient concentrations of excellently growing seedling and young stand more rich as against those of poorly growing seedling and young stand?
- 3) What effects have the size of 1-0 seedling on growth of successive ages, 1-1 seedling and young stand? Is the growth of 1-1 seedling and young stand originating from large-sized 1-0 seedling more superior as compared with those from small-sized 1-0 seedling?

2. Experimental method

2-1. 1-0 seedling

The seeds of both species were sown on nursery bed, transposed with black soil originating from volcanic ash, in the Kansai Branch of this Experiment Station in the middle of March, 1958.

As treatment, 70g of ammoniumsulfate, 30g of Ca superphosphate, 30g of Mg fused-phosphate, 20g of potassiumsulfate and 1 kg of sawdust compost (fully moistened) per m² were given. After 1 year, in the middle of March, 1959, the raised 1-0 seedling of both species were dug out and divided into the following 6 groups by their height.

	large-sized	medium-sized	small-sized
<i>P. densiflora</i>	over 10 cm	10~7 cm	7~5 cm
<i>P. Thunbergii</i>	over 8 cm	8~6 cm	6~5 cm

(1) Chief, Soil Unit, Silviculture Division, Kansai Branch Station. Dr.

In the successive experiments, the large- and small-sized 1-0 seedlings were used. Their average growth measurement and nutrient analyses were done with the seedlings randomly selected.

2-2. 1-1 seedling

For raising 1-1 seedling the nursery bed in this Branch was transposed with loamy alluvial soil originating from granite.

The 49 1-0 seedlings selected randomly out of each group mentioned above were transplanted in individual plots, 1×1 m, and given with 100 g of ammoniumsulfate, 40 g of Ca superphosphate, 40 g of Mg fusedphosphate, 20 g of potassiumsulfate and 1 kg of sawdust compost (fully moistened).

The transplantation of every group of 1-0 seedling was repeated six times with randomized blocks.

After one year, in the middle of March, 1960, the raised 1-1 seedlings were dug out and as mentioned below their sizes were in proportion to those of the original 1-0 seedlings, transplanted. They were divided into 4 groups as 1-0 seedling. The 1-1 seedlings of 3 plots of each group, selected randomly, were used for the growth measurement and nutrient analyses. Excluding the extreme outside seedling, the residual 25, one each plot, were used. Those of residual 3 plots were used for afforestation.

2-3. Young stand

The same nursery described in 2-2 was used for the afforestation of 1-1 seedlings. The 20 1-1 seedlings, selected randomly among the central 25 seedlings in each plot, were planted in individual plots, 1×10 m, at 50×50 cm intervals, and were not given any fertilizer.

The transplantation of every group was repeated three times with the randomized blocks.

At the plantation, after the 1st and 2nd years, in the middle of March, 1960, 1961 and 1962, their height and basal diameter at 10 cm height were measured. The 1-year-old needles of the uppermost shoot were picked up for nutrient analyses at the end of the 1st and 2nd years.

2-4. Analytical method

The analytical methods were as follows: Carbon was determined by chromic titration method, and nitrogen by KJELDAHL's method. After wet ashing by HClO_4 - HNO_3 - H_2SO_4 mixture, potassium was determined by flame photometer, phosphorus by molybdenblue method, colorimetrically, and Ca and Mg by EDTA method.

3. Result and discussion

3-1. Growing processes of seedling and young stand of both species

3-1-1. Result

The growing processes of seedling and young stand of both species are shown in Table 1 and 2.

The analyses of variances in height, diameter, top and root weight, T/R, H/D and H/T ratios of 1-1 seedling and annual height and diameter growth of young stand were done. The differences among blocks were insignificant in every case, whereas those between the groups were significant in 1 or 5 % levels. The significances of growth and

quality differences between the groups are shown in Table 3.

3-1-2. Correlation between size of 1-0 seedling and growth of successive ages

The 1-1 seedlings of both species were divided into two groups, large- and small-sized seedlings by their height. Their growth was proportional to their original 1-0 seedling. The height and diameter, top and root weights of 1-1 seedling, raised with large-sized 1-0 seedling, were remarkably more excellent than those of 1-1 seedling, raised with small-sized 1-0 seedling.

The annual height growth of young stand during the 1st and 2nd years, originating from large-sized 1-1 seedling, was more excellent than that from small-sized 1-1 seedling.

The differences of height of young stands between these two groups were increased year by year. However, the differences of annual diameter growth during the same period between both groups were insignificant.

From the silvicultural point of view, the author attached great importance to the fact that the size 1-0 seedling affected the growth—especially height growth—of successive ages.

3-1-3. On the quality differences between large- and small-sized seedlings

On the 1-0 seedling, the quality differences between both-sized seedlings showed the same tendency. The increase of T/R ratio and decrease of H/T ratio in large-sized seedling as compared with that of small-sized seedling were clearly recognized. This fact showed that the weight ratio of top to root and the development of top in proportion to height of large-sized seedling were more remarkable than those of small-sized seedling.

A similar tendency was recognized on 1-1 seedlings of both species but the differences between both sizes were less than those of 1-0 seedling.

3-1-4. Comparison with growth and quality of seedling and annual growth of young stand

Comparing both species on each size of 1-0 and 1-1 seedlings, the following facts were observed.

On 1-0 seedling, *P. densiflora* was superior in height but was inferior in diameter, top and root weights as against those of *P. Thunbergii*. The dry weights of root and needles of the latter were about twice that of the former. The more excellent development of top and diameter in proportion to the height of *P. Thunbergii* as compared with that of *P. densiflora* was shown by the differences of H/D and H/T ratios between the two species.

On 1-1 seedling, the differences between both species were not so distinguished as those of 1-0 seedling. A similar tendency as in the 1-0 seedling was observed on large-sized seedling except the basal diameter, which showed no significant difference. On small-sized seedling, no significant difference was observed except top weight; that was more excellent in *P. Thunbergii* than in *P. densiflora*.

On young stand, the annual height and diameter growth was more excellent in *P. densiflora* than in *P. Thunbergii* except the height growth of small-sized group in the second year.

These facts verify that the characteristic of growth and quality of seedling and young stand changed by the progress of their age and size.

3-2. On the nutrient concentrations of seedling and young stand of both species

3-2-1. Result

The nutrient concentrations of parts and whole seedling of 1-0 and 1-1 seedlings of

both species and those of 1-year-old needles of uppermost shoot of young stand are shown in Table 4-8.

3-2-2. Correlation between the nutrient concentrations and growth of seedling and young stand.

Comparing the N, P and K concentration of large- and small-sized 1-0 and 1-1 seedlings of each species, respectively, the following facts are recognized.

These nutrient concentrations of both-sized seedlings were similar except P concentrations of root of 1-0 seedlings of both species, and the differences between both groups of each species were only about 10% or less. The P concentrations of large-sized group were decreased 20~30% as compared with those of small-sized group.

On the other hand, the differences of Ca and Mg concentrations between both groups of each species were usually increased, and they often reached to about 15~35%.

Summarizing these results, the author was of the opinion that the nutrient concentrations of parts and whole seedling on the same soil conditions and fertilization were not significantly different; they could be considered nearly similar levels—especially N, P and K concentrations.

On the nutrient concentrations of needles of young stand, the differences between both groups of each species were very little, in fact less than 10%. They may be regarded as approximately the same levels.

The author et al.⁵⁾ had pointed out that there was no clear difference on the nutrient concentrations of needles between excellently growing and poorly growing stands of young *P. Thunbergii* and 19-year-old *P. densiflora* forests on the same soil conditions, respectively. From these results, they were of the opinion that the nutrient concentrations of needles correlated directly to the nutrient levels of soil (primary correlation) and indirectly to their growth (secondary correlation). The above-mentioned results in this work would support the same opinion.

3-2-3. Comparison with both species on the nutrient condition.

As shown in Table 4~8, N and P concentrations of parts and whole seedling and needles of young stand were more rich in *P. densiflora* than in *P. Thunbergii*. However, the differences of K, Ca and Mg concentrations between both species were little and were approximately similar.

Comparing the nutrient ratios of *P. densiflora* with those of *P. Thunbergii*, the decreases of C/N and K/P ratios and the increments of N/K and N/Ca ratios were clearly recognized. The N/P ratios of the former were slightly decreased as compared with those of the latter on 1-0 and 1-1 seedlings, but no clear difference between both species was seen on their young stands.

The author wants to call special attention to the clearly lower N and P concentrations of *P. Thunbergii* as against those of *P. densiflora*. It is very interesting and noteworthy on their nutrient physiology.

3-2-4. Review of previous works on nutrient concentrations of seedlings of both species.

The author made a review on nutrient concentrations of 1-1 *P. densiflora* seedlings by other authors in his previous work⁴⁾, and he pointed out that the standard nutrient levels were not determinable for any wide differences among them.

The nutrient concentrations of 1-1 *P. densiflora* seedlings in this work agree well with

the author's previous results³⁾⁴⁾; nevertheless the sizes of seedlings were widely different.

The previous data on nutrient concentrations of 1-0 *P. densiflora* and 1-1 *P. Thunbergii* seedling by other authors are summarized in Table 9 for future reference.

Remarkable differences are observed among them and those in this work. These differences world may be induced by the differences of soil conditions, fertilization or other factors of the tests. The author is of the opinion that still more works of investigation would be required for the elucidation of these problems.

3-2-5. Nutrient contents of seedlings of both species

The nutrient contents of seedlings of both species are shown in Table 10, 11.

The absorbed N, P and K amounts of large-sized 1-1 seedlings of both species are very large. Calculating in terms to per m², they are well over the amounts given by fertilizers, taking their availabilities into account. These influences would be induced by the large natural N, P₂O₅ and K₂O supplies of nursery soil used.

On 1-0 seedlings, comparing both species on each-sized seedling, the nutrient amounts absorbed by *P. Thunbergii* are increased as follows as against those of *P. densiflora*; N is 1.7~1.9 fold, P is 1.5~1.8 fold, K is 2.1 fold, Ca is 1.9~2.0 fold and Mg is 1.7~1.9 fold. These differences of nutrient amounts absorbed between both species are due to those of weight growth as shown in Table 1.

On 1-1 seedlings, the differences of nutrient amounts absorbed between both species of each-sized seedling show a tendency similar to those of 1-0 seedling, but they are decreased as follows; N is 1.0~1.2 fold, P is 0.90~0.95 fold, K is 1.2~1.3 fold, Ca is 1.1~1.2 fold and Mg is 1.2~1.4 fold.

3-3. Application for the nursery practice

From the above-mentioned results, the author is of the following opinion on the matters to be attended to in nursery practices.

The effects of size of 1-0 seedling on growth of successive ages, 1-1 seedling and young stand, are worthy of note. The growth of 1-1 seedling and young stand, obtained by raising large-sized 1-0 seedling groups of both species, is more superior than that by small-sized 1-0 seedling. These facts are matters calling for deep reflection on nursery practice and afforestation.

The same densities of 1-0 seedling of both species in nursery bed are usually adopted in nursery practice. As shown in 3-2-5, the fact that the nutrient amounts absorbed by 1-0 *P. Thunbergii* seedling is about 1.5~2.0 fold as against those of 1-0 *P. densiflora* seedlings on similar height groups points up the necessity for paying attention to the fertilizer amounts given in nursery practice.

As shown in Table 12, the P, K and Mg concentrations of 1-0 seedlings of both species are increased as compared with those of 1-1 seedlings; nevertheless, their N concentrations are similar. These facts verify that the nutrient requirements of seedlings change by the progress of age, and due consideration should be given to this in attending to fertilization in nursery practice.

On 1-1 seedlings, as shown in 3-2-5, the nutrient amounts absorbed by *P. Thunbergii* seedling increased about 0.9~1.4 fold over those of *P. densiflora* as compared with groups of similar height. The differences between both species were less than those of 1-0 seedlings.

The author proposed standard levels of nutrient concentrations of 1-0 and 1-1 whole seedlings of both species in Table 12 as a tentative plan for the basis of fertilizer design in nursery practice. On K concentrations, as its elucidation from seedling during the season from late autumn to early spring was suggested on 1-1 *P. densiflora* seedling by the author³⁾, he adopted that of the late autumn, 1.3 fold of that of the following spring, shown in his previous work³⁾. On other seedlings, though the elucidation of K has not yet been ascertained, their K concentrations are increased 1.3 fold of that obtained in this work by the same reasoning.

On the practical use, as the concentration levels are similar on large- and small-sized seedlings, the desired size (weight) of seedlings to be obtained and the density of seedling on nursery bed could be designed, and the nutrient amounts absorbed by seedlings could be calculated easily. Then the reasonable fertilizer amounts to be given to the seedlings could be obtained easily, taking the availability of fertilizer by seedling into account.

4. Acknowledgement

The author wishes to express his gratitude to Mr. T. TOKUMOTO, pre-director of Kansai Branch of this Experiment Station, Mr. N. EBATA, Director of this Branch, and K. MATSUSHITA, Chief of Silviculture Division of this Branch, for their encouragement in carrying out this work.