

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

河 田 弘⁽¹⁾

1. は じ め に

アカマツの人工造林については、天然更新と比較した場合の成長の優劣、経営上の得失等の面から多くの論議が行なわれているが、関西地方においては、最近では人工植栽の行なわれている場合も少なくない。したがって、アカマツが林業上主要な地位を占めているこの地方では、アカマツの養苗も林業上軽視できない問題と思われる。また、最近しだいにさかんになりはじめた林地肥培についても、アカマツの幼齢時の肥培効果は、現在では他の主要樹種に比べると十分な効果が見られない場合が多いといわれている。

林木の苗木の生育と土壌中の養分状態との関係は、主要樹種についての今までの研究結果を総合すると、樹種ごとにかかなりの相違があるように思われる。また、苗木の生育は当然栄養状態と密接な関連性を有すると考えられる。したがって、これらの相互の関係を明らかにすることは、苗畑の肥培管理の面から、幼齢時の施肥技術を確立するためにも重要な課題と考えられる。

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、他の主要樹種と対比して養分の吸収および組成の面における特性の検討にとどまり、成長、形質との関係については十分な検討が行なわれていない場合が多い。

筆者は先にアカマツ 1-1 苗の時期別の養分吸収経過について報告⁴⁾したが、今回は同様に 1-1 苗を用いて、N、P₂O₅、K₂O の施肥量をいろいろな比率で組み合わせて、これらの相違が苗木の養分組成、成長、形質におよぼす影響について検討を行なった結果を報告する。

2. 試 験 方 法

2-1. 試験設計

筆者が先に行なったアカマツ 1-1 苗の時期別養分吸収量試験⁴⁾では、苗木全体の養分吸収量は11月中旬で N : P : K = 100 : 13 : 54 であった。肥料の吸収率をNおよび K₂O は 50%、P₂O₅ は 20% と仮定すると、施肥の3要素比は N : P₂O₅ : K₂O = 100 : 75 : 65 となる*。

今回の試験では上述の値を基準として、1 m² あたり硫安 70 g (N₁)、過石および熔リン各 30 g ずつ (P₁)、硫加 20 g (K₁) を標準量 (N₁, P₁, K₁, N : P₂O₅ : K₂O = 100 : 73 : 68) とし、それぞれ欠除 (N₀,

* 翌年3月初旬の結果から計算すると、N : P₂O₅ : K₂O = 100 : 71 : 42 となる。同報告で論じたように、K は冬期間に苗木からかなりの溶脱が行なわれるものと推定され、そのために所要の K₂O は低い値を示したが、N および P₂O₅ の値はほとんど変化がなかった。苗木からの K の溶脱は冬期間だけでなく、全季節を通じて行なわれていると推定される。したがって、苗木に吸収される K₂O の量は当然上記の値を上回ることが推定されるが、今回は11月中旬における値を用いることにした。

1) 関西支場育林地部土壌研究室長・農学博士

第1表 施肥量 (g/m²)Table 1. N-, P₂O₅- and K₂O-fertilizers added gram per plot (1 m²)

処 理 Treatment	硫 安 NH ₄ - sulfate	過 石 Ca super- phosphate	熔 リ ン Fused Mg- phosphate	硫 加 K-sulfate	N content (g)	P ₂ O ₅ content (g)	K ₂ O content (g)
N ₀ P ₀ K ₀	—	—	—	—	0	0	0
N ₀ P ₁ K ₁	0	30	30	20	0	10.8	10.0
N ₁ P ₁ K ₁	35	30	30	20	7.4	10.8	10.0
N ₁ P ₁ K ₁	70	30	30	20	14.8	10.8	10.0
N ₂ P ₁ K ₁	140	30	30	20	29.7	10.8	10.0
N ₁ P ₀ K ₁	70	—	—	20	14.8	0	10.0
N ₁ P ₁ K ₁	70	15	15	20	14.8	5.4	10.0
N ₁ P ₂ K ₁	70	60	60	20	14.8	21.6	10.0
N ₁ P ₁ K ₀	70	30	30	—	14.8	10.8	0
N ₁ P ₁ K ₁	70	30	30	10	14.8	10.8	5.0
N ₁ P ₁ K ₂	70	30	30	40	14.8	10.8	20.0

P₀, K₀), 半量 (N₁, P₁, K₁) および倍量 (N₂, P₂, K₂) を組み合わせて, 第1表に示した 11 の肥料の配合を行なった。これらの肥料はすべて元肥とし, 追肥は行なわなかった。

試験区は支場構内の花崗岩に由来する沖積土を客土した苗畑を用い, 各プロットはいずれも 1 m² の方形とし, 3 ブロックの乱塊法を用いた。

2-2. 供試苗畑の土壌

試験区の土壌の供試前の諸性質は第2表に示すとおりである。

わが国の苗畑土壌についての調査例が少ないので十分な比較は困難であるが, この土壌は腐植に乏しいやや未熟な壤土〜埴壤土で, 置換性 Ca および Mg, 0.2 NHCl 可溶 P₂O₅ および K₂O 含有率は少ないが C-N 率, pH, 置換酸度, Ca および Mg 飽和度は苗木の生育に対してとくに阻害因子をなしているとは考えられなかった。

第2表 供試苗畑の Ap 層の化学的性質および土性 (施肥前)

Table 2. Chemical properties and texture of Ap horizon of nursery soil (before fertilizer treatment)

C %	N %	C-N率 C-N ratio	置換性 Exch. m.e./100g			飽和度 Rate of saturation %		0.2 NHCl soluble (ppm)	
			容 量 Capacity	CaO	MgO	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
1.64	0.12	13.7	7.93	1.43	0.18	18.0	2.3	100	45

P ₂ O ₅ absorption's coefficient	Exch. acidity Y ₁	pH		砂 Sand %			微 砂 Silt %	粘 土 Clay %	土 性 Texture
		H ₂ O	KCl	粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	計 Total			
710	1.20	5.50	4.40	8	46	54	31	15	C L ~ L

2-3. 試験方法

供試苗木は支場構内の苗畑で養苗したアカマツ 1-0 苗を用いた。これらの苗木の苗高は 10.1 cm, 根元直径は 1.9 mm, 地上部生重量は 0.77 g, 地下部生重量は 0.58 g, 計 1.35 g (100 本平均) であった。

1964年3月中旬にこれらの 1-0 苗を49本/m² に方形に植栽し, 同年12月中旬に掘り取り, 周辺の1列を除いて中央の25本について成長量の測定を行なった後, 分析試料として用いた。

苗畑管理としては, 各プロットにいずれも根切虫防除のために BHC 1% 粉剤を 10 g あて植栽前に施し, ボルドー液による消毒および除草を適宜行なった。

2-4. 分析方法

測定に用いた苗木は根, 幹, 葉, 冬芽の各部分に区分し, 60°C で通風乾燥した後, 1 mm 以下に粉碎して分析に供した。2年生葉は10月末~11月初めに落葉していたので, 供試した葉は1年生葉であった。

分析方法は, Cは酸化滴定法³⁾, Nは KJELDAHL 法, Pは樹体はチオ硫酸ソーダによる Molybden-blue¹⁾, 土壌は Vanadomolybdenyellow¹⁴⁾ による比色法, Kは炎光分析法, Ca および Mg は硫化アンモニウムを用いて Mn を除去した後 EDTA 法を用いた。樹体の無機成分は H₂SO₄-HNO₃-HClO₄ を用いて湿式灰化後¹⁰⁾ 上述の方法を用いた。土壌の置換容量は PEECH 法⁹⁾ を用い, その他の土壌分析は常法どおり行なった。

3. 苗木の成長および形質〔結果および考察 (1)〕

3-1. 結果および要因分析

12月中旬に行なった苗木の成長および形質は第3表に示すとおりであった。

第3表 苗木の成長 (1964年12月中旬)
Table 3. Growth of seedling (middle of Dec., 1964)
(苗木 1 本あたり Per one seedling)

処 理 Treatment	苗 高 Height (cm)	根元 直径 Basal dia- meter (mm)	生 重 量 (g) Fresh weight (g)			H/D 苗 高 直 径 Height (cm) Dia- meter (cm)	H/T 苗 高 地上部 Height (cm) Top (g)	T/R 地上部 地下部 Top(g) Root (g)	乾 物 重 Dry weight (g)				
			地上部 Top	地下部 Root	苗木 全体 Whole seed- ling				根 Root	幹 Stem	葉 Needle	冬芽 Bud	苗木 全体 Whole seed- ling
N ₀ P ₀ K ₀	20.1	6.5	23.3	11.5	34.8	31	0.87	2.0	3.30	2.08	5.33	0.23	10.94
N ₀ P ₁ K ₁	20.6	6.6	23.1	11.6	34.7	31	0.89	2.0	3.21	2.21	5.24	0.27	10.93
N ₁ P ₁ K ₁	23.4	7.5	33.4	13.7	47.1	31	0.70	2.4	4.03	2.94	7.48	0.34	14.79
N ₁ P ₁ K ₁	23.6	7.8	34.7	16.3	51.0	30	0.68	2.1	4.58	2.97	7.61	0.37	15.53
N ₂ P ₁ K ₁	20.3	6.6	21.0	12.0	33.0	31	0.97	1.8	3.33	1.92	4.87	0.22	10.34
N ₁ P ₀ K ₁	20.6	6.9	26.4	12.0	38.4	30	0.78	2.2	3.38	2.21	5.90	0.27	11.76
N ₁ P ₁ K ₁	24.1	7.8	33.3	14.8	48.1	31	0.72	2.3	4.31	2.86	6.95	0.35	14.47
N ₁ P ₂ K ₁	22.1	7.1	26.7	12.1	38.8	31	0.83	2.2	3.53	2.41	6.02	0.27	12.03
N ₁ P ₁ K ₀	23.5	7.2	28.5	13.7	42.2	33	0.82	2.1	4.02	2.63	6.38	0.29	13.32
N ₁ P ₁ K _{1/2}	23.3	7.4	29.1	13.8	42.9	31	0.80	2.1	4.07	2.54	6.81	0.33	13.75
N ₁ P ₁ K ₂	21.7	7.2	27.6	12.9	40.2	30	0.79	2.2	3.76	2.46	6.56	0.29	13.07

注) 3 プロットの平均値 Remark: average of 3 plots.

第4表 苗木の成長量の分散分析

Table 4. Analyses of variances of the growth of seedling

要 因 Source of variation	偏 差 平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	分散量 Mean square	F	要 因 Source of variation	偏 差 平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	分散量 Mean square	F
苗 高 (Height)					根 元 直 径 (Basal diameter)				
ブロック Block	1.06	2	0.53	1.06	ブロック Block	0.03	2	0.015	0.63
処 理 Treatment	70.27	10	7.027	14.02**	処 理 Treatment	6.40	10	0.64	26.67**
誤 差 Error	10.02	20	0.501		誤 差 Error	0.48	20	0.024	
全 体 Total	81.35	32			全 体 Total	6.91			
地上部生重量 (Fresh weight of top)					地下部生重量 (Fresh weight of root)				
ブロック Block	10.83	2	5.415	2.26	ブロック Block	2.72	2	1.36	2.75
処 理 Treatment	605.60	10	60.56	25.23**	処 理 Treatment	68.20	10	6.82	13.81**
誤 差 Error	47.90	20	2.395		誤 差 Error	9.88	20	0.494	
全 体 Total	664.33	32			全 体 Total	71.59	32		
H/D					H/T				
ブロック Block	2	2	1	0.56	ブロック Block	0.0036	2	0.0018	1.13
処 理 Treatment	17	10	1.7	0.94	処 理 Treatment	0.2116	10	0.0212	13.56**
誤 差 Error	36	20	1.8		誤 差 Error	0.0321	20	0.0016	
全 体 Total	55	32			全 体 Total	0.2523	32		
T/R					注) ** 1% で有意 Significant at the 1% level. * 5% で有意 Significant at the 5% level.				
ブロック Block	0.05	2	0.025	1.51					
処 理 Treatment	0.83	10	0.083	5.03**					
誤 差 Error	0.33	20	0.0165						
全 体 Total	1.21	32							

全処理区について総括すると、苗高は 20.1~24.1 cm (120%*), 根元直径は 6.5~7.8 mm (120%*), 地上部重量は 21.1~34.7 g (149%*), 地下部重量は 11.5~16.3 g (142%*), 苗木全重量は 34.8~51.0 g (147%*) に達した。

施肥量の相違は上長および肥大成長よりもむしろ重量成長に対して大きな影響をおよぼしていたことが

* 最小値に対する%

第5表 各処理間の成長量の差の有意性

Table 5. Significance of growth differences between the fertilizer treatments

1) 苗 高 (Height)												2) 根元直径 (Basal diameter)											
$N_0P_1K_1$	—											$N_0P_1K_1$	—										
$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	**	**	*									$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	**	**	*								
$N_1P_1K_1$	**	**	*	—								$N_1P_1K_1$	**	**	*	*							
$N_2P_1K_1$	—	—	**	**	*							$N_2P_1K_1$	—	—	**	**	*						
$N_1P_0K_1$	—	—	**	**	*	—						$N_1P_0K_1$	*	*	**	**	*	*					
$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	**	**	*	—	—	**	**					$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	**	**	*	—	**	*	*				
$N_1P_2K_1$	**	**	*	**	*	*	*	*	*			$N_1P_2K_1$	**	**	**	**	*	*	—	*	*		
$N_1P_1K_0$	**	**	*	—	—	**	*	*	—	*		$N_1P_1K_0$	**	**	*	**	*	*	*	—	*	*	
$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$	**	**	*	—	—	**	*	*	—	*	—	$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$	**	**	—	**	*	*	*	*	*	—	*
$N_1P_1K_2$	**	—	**	*	*	—	**	—	*	*	*	$N_1P_1K_2$	**	*	*	*	—	*	—	—	—	—	*
	$N_0P_0K_0$	$N_0P_1K_1$	$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	$N_1P_1K_1$	$N_2P_1K_1$	$N_1P_0K_1$	$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	$N_1P_2K_1$	$N_1P_1K_0$	$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$			$N_0P_0K_0$	$N_0P_1K_1$	$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	$N_1P_1K_1$	$N_2P_1K_1$	$N_1P_0K_1$	$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	$N_1P_2K_1$	$N_1P_1K_0$	$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$	

3) 地上部生重量 (Fresh weight of top)												4) 地下部生重量 (Fresh weight of root)											
$N_0P_1K_1$	—											$N_0P_1K_1$	—										
$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	**	**	*									$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	**	**	*								
$N_1P_1K_1$	**	**	*	—								$N_1P_1K_1$	**	**	*	*							
$N_2P_1K_1$	—	—	**	**	*							$N_2P_1K_1$	—	—	**	**	*						
$N_1P_0K_1$	*	*	**	**	*	*						$N_1P_0K_1$	—	—	**	**	—	*					
$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	**	**	—	—	**	*	*					$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	**	**	—	*	*	*	*				
$N_1P_2K_1$	*	**	**	**	*	*	—	*	*			$N_1P_2K_1$	—	—	**	**	—	—	*	*			
$N_1P_1K_0$	**	**	**	**	*	*	—	*	*	—		$N_1P_1K_0$	**	**	—	*	*	*	*	—	*	*	
$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$	**	**	**	**	*	*	*	—	*	—	—	$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$	**	**	—	*	*	*	*	—	*	—	*
$N_1P_1K_2$	**	**	**	**	*	*	—	*	—	—	—	$N_1P_1K_2$	—	—	—	*	—	—	*	—	—	*	*
	$N_0P_0K_0$	$N_0P_1K_1$	$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	$N_1P_1K_1$	$N_2P_1K_1$	$N_1P_0K_1$	$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	$N_1P_2K_1$	$N_1P_1K_0$	$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$			$N_0P_0K_0$	$N_0P_1K_1$	$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	$N_1P_1K_1$	$N_2P_1K_1$	$N_1P_0K_1$	$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	$N_1P_2K_1$	$N_1P_1K_0$	$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$	

5) H/T (Height/Top)												6) T/R (Top/Root)											
$N_0P_1K_1$	—											$N_0P_1K_1$	—										
$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	**	**	*									$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	**	**	*								
$N_1P_1K_1$	**	**	*	—								$N_1P_1K_1$	—	—	**	*							
$N_2P_1K_1$	**	*	**	*	*							$N_2P_1K_1$	*	*	**	*	*						
$N_1P_0K_1$	**	**	*	*	*	*						$N_1P_0K_1$	*	*	*	—	*	*					
$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	**	**	—	—	**	—						$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	**	**	—	*	*	—	*				
$N_1P_2K_1$	—	—	**	*	*	—	*	*				$N_1P_2K_1$	*	*	*	—	*	—	—	*			
$N_1P_1K_0$	—	*	**	*	*	—	*	—	*	—		$N_1P_1K_0$	—	—	**	—	*	—	*	—	*	—	*
$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$	—	*	**	*	*	—	*	—	*	—	—	$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$	—	—	**	—	*	—	*	—	—	*	—
$N_1P_1K_2$	*	**	*	*	*	—	—	—	—	—	—	$N_1P_1K_2$	*	*	*	—	*	—	—	—	—	—	*
	$N_0P_0K_0$	$N_0P_1K_1$	$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	$N_1P_1K_1$	$N_2P_1K_1$	$N_1P_0K_1$	$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	$N_1P_2K_1$	$N_1P_1K_0$	$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$			$N_0P_0K_0$	$N_0P_1K_1$	$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	$N_1P_1K_1$	$N_2P_1K_1$	$N_1P_0K_1$	$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	$N_1P_2K_1$	$N_1P_1K_0$	$N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$	

認められた。この点はさらに、H/D は 30~33 (110%*) を示したに過ぎなかったが、H/T は 0.68~0.97 (143%*), T/R は 1.8~2.4 (133%*) を示し、苗高に対する枝張り、着葉量等の地上部の発達の割合、地上部と地下部の発達の割合等に大きな影響をおよぼしていたことが認められた。

苗高、根元直径、地上部および地下部生重量、H/D (樹高 cm/根元直径 cm)、H/T (樹高 cm/地上部生重量 g) および T/R 等について、要因分析を行なった結果は第4表に示すとおりである。

いずれもブロック間に有意差は認められなかった。施肥の相違は H/D を除く他の諸成長量および形質について、いずれも危険率1%水準で有意差が認められた。

各施肥別にそれぞれの成長量および形質の相違の有意性を検討した結果は第5表に示すとおりである。

3—2. N, P₂O₅ および K₂O の施肥量の相違が苗木の成長および形質におよぼす影響

第3表の各成長量および形質の各系列ごとの変化を無施肥区 (N₀P₀K₀) を 100 とする指数で示すと第6表のとおりである。

肥料3要素のうち2要素の標準量を与えて残りの1要素の施用量を変化させて、N, P₂O₅ および K₂O の配合比を変化させると、苗木の成長および形質はそれぞれ特徴のある相違を示した。

3—2—1. 標準量区

全処理区を通じて標準量区 (N₁P₁K₁) の各成長量および形質はもっとも良好であった。すなわち、苗高、根元直径、地上部および地下部重量はもっとも大きく、H/T はもっとも小さく、苗高に対する枝張り、着葉量等の割合はもっともすぐれ、T/R は全処理区の平均的な値を示し、地上部と地下部のつりあいも良好であった。

3—2—2. 半量区

第6表 施肥量の変化に伴う成長量の変化 (無施肥区に対するパーセント)

Table 6. Changes of seedling growth in response to the changes of fertilizer treatment (Per cent on unfertilized plot basis)

処 理 (Treatment)	N ₀ P ₀ K ₀	P ₁ K ₁ 系列 (P ₁ K ₁ -series)				N ₁ K ₁ 系列 (N ₁ K ₁ -series)				N ₁ P ₁ 系列 (N ₁ P ₁ -series)			
		N ₀	N _{1/2}	N ₁	N ₂	P ₀	P _{1/2}	P ₁	P ₂	K ₀	K _{1/2}	K ₁	K ₂
苗 高 (Height)	100	102	116	117	101	102	120	117	110	117	116	117	108
根 元 直 径 (Basal diameter)	100	102	115	120	102	106	120	120	109	111	114	120	111
地上部生重量 (Fresh weight of top)	100	99	143	149	90	113	143	149	115	122	125	149	118
地下部生重量 (Fresh weight of root)	100	101	119	142	104	104	114	142	105	111	120	142	110
苗木全生重量 (Fresh weight of whole seedling)	100	100	135	147	95	110	139	147	111	121	123	147	115

N 半量区 ($N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$) および P 半量区 ($N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$) は、苗高、地上部生重量、H/T 等に示される地上部の発達は標準量区との間に有意差が見られなかった。標準量区と比べると、この両区はいずれも地下部生重量は小さく、T/R は大きかった。さらに、根元直径は標準量区と P 半量区は有意差が見られなかったが、N 半量区はこの両区よりも小さかった。このように、N および P 半量区はほぼ同様の傾向を示し、標準量区と比べると地上部の発達は相違が見られなかったが、地下部の発達の減退が認められた。

K 半量区 ($N_1P_1K_{\frac{1}{2}}$) は標準量区と比べると、苗高および T/R は有意差が見られなかったが、直径、地上部および地下部生重量はいずれも小さく、H/T は大きかった。このように、K 半量区では標準量区と比べると地上部および地下部の発達の減退が認められた。

各半量区を相互に比較すると、N および P 半量区は根元直径を除くと、その他の成長量および形質はいずれも有意差が見られず、この両区はほぼ同程度の成長および形質を示すと見てさしつかえないであろう。K 半量区は N および P 半量区と比べると、地上部重量は小さく、H/T は大きく、地上部の発達は劣っていたが、地下部重量は有意差が認められず、ほぼ同程度の発達を示していた。

3—2—3. 欠 除 区

N 欠区 ($N_0P_1K_1$) は N 半量区と比べると、上述の各成長量および T/R は小さく、H/T は大きかった。したがって、N の施用量を半量区から欠除区の段階に減少すると、地上部および地下部の発達はけんちゅに減退したが、地下部よりも地上部の発達の減退の方が相対的にさらにはげしかった。さらに、無施肥区と比べると、各成長量および形質はいずれも有意差が見られず、無施肥区と同程度の成長を示すにすぎなかった。

P 欠区 ($N_1P_0K_1$) は P 半量区と比べると、N 欠区の場合と同様に各成長量はいずれも小さかったが、H/T および T/R は有意差が見られなかった。したがって、 P_2O_5 の施用量を半量区から欠除区の段階に減少すると、地上部および地下部の発達は同じような割合で減退することが認められた。無施肥区と比べると、苗高および地下部重量は有意差が見られなかったが、根元直径、地上部生重量はいずれも大きく、H/T は小さく、T/R は大きかった。したがって、P 欠区では地下部の発達は無施肥区と相違が認められないが、地上部の発達は増大していたことを示していた。

K 欠区 ($N_1P_1K_0$) は K 半量区と比べると、各成長量および形質はいずれも有意差が見られず、ほぼ同程度の成長を示していた。この点は上述の半量区と同様に、苗木の成長および形質におよぼす影響は、 K_2O の場合は N および P_2O_5 とはかなり異なった特徴を示すものとして注目に値しよう。無施肥区と比べると、H/T および T/R は有意差が見られなかったが、各成長量はいずれも大きかった。

各欠除区を相互に比較すると、地上部生重量および H/T は、P 欠区と K 欠区の間では有意差が見られず、N 欠区と比べると前者は大きく、後者は小さく、地上部の発達は P および K 欠区は N 欠区よりすぐれていた。これに対して、地下部生重量は N および P 欠区の間では有意差が見られず、いずれも K 欠区より小さく、地下部の発達は劣っていた。

3—2—4. 倍 量 区

N 倍量区の各成長量はいずれも標準量区および N 半量区より小さく、また、N 欠区および無施肥区との間に有意差は見られなかった。さらに、N 倍量区は標準量区、N 半量区、N 欠区および無施肥区のいずれよりも H/T は小さかった。N 倍量区の H/T および T/R は全処理区を通じてそれぞれ最大および最小値を示した。これらの点は、N の施用量の増大は、倍量区の段階では各成長量はいずれもけん

ちに減退したが、地下部に比べると、地上部の発達は相対的にさらにはげしく減退したことを示していた。この点は、以下に述べる P および K 倍量区の場合とは異なった傾向を示していた。

P 倍量区 ($N_1P_2K_1$) は標準量区および P 半量区と比べると、各成長量はいずれも小さく、H/T は大きかったが、T/R は有意差が見られなかった。P 欠区と比べると、苗高は大きかったが、その他の各成長量および形質は有意差が見られなかった。これらの点は、 P_2O_5 の施肥量の増加は倍量区の段階では N の場合と同様に、欠除区とはほぼ同程度に成長量を減少させることが認められた。

K 倍量区 ($N_1P_1K_2$) は標準量区と比べると、各成長量はいずれも小さく、H/T は大きく、T/R は有意差が見られなかった。さらに、K 欠区と比べると、苗高は小さかったが、他の諸成長量および形質は有意差が見られなかった。これらの点は、 K_2O の施用量の増加は倍量区の段階では N および P_2O_5 の場合と同様に、欠除区と同程度まで成長量が低下したことを示していた。

各欠除区を相互に比較すると、P 倍量区と K 倍量区は各成長量および形質はいずれも有意差が見られなかった。また、この両区は N 倍量区と比べると、地下部生重量は有意差が見られなかったが、その他の各成長量は大きく、H/T は小さく、T/R は大きかった。したがって、倍量区の段階では、P および倍量区は地下部の発達は N 倍量区と同程度であったが、地上部の発達の減退はかなりゆるやかであった。

3—3. まとめ—肥培管理の応用

アカマツは主要造林樹種のなかでは、スギ、ヒノキ等に比べると、無機養分の増加に対して成長量の増大はもっとも小さい樹種であるといわれている⁶⁾¹¹⁾。

施肥に対する苗木の成長量の反応は樹種によって異なりと同時に、苗齢によっても異なる。今までに行なわれたスギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツ等の 1—1 苗の施肥試験の結果¹⁾⁶⁾⁸⁾¹¹⁾は、それぞれ実験条件が異なるが、比較総合して見ると、アカマツは他の樹種に比べると、施肥による養分の供給に対して成長反応が鈍感な樹種であるということを、その特性として認めてさしつかえないように思われる。今回の結果も、もっとも成長量のすぐれていた標準量区は無施肥区と比べると、上長および肥大成長では 1.2 倍、重量成長では 1.4~1.5 倍に過ぎなかった。これらの結果は、今までの試験例⁶⁾⁸⁾¹¹⁾ とかなり近似的な値を示していた。

今回の結果では、肥料 3 要素の施用量およびその比率の相違がアカマツ 1—1 苗の成長および形質に対して、それぞれ前述のように異なった特徴を示していたことは、苗木の肥培管理の面から見て重要性を有すると思われる。

各系列の欠除区の成長量が標準量区より劣ったことは当然予想された点であった。欠除区の段階では、地上部の成長は N の欠除は P_2O_5 および K_2O の欠除よりも、地下部の成長は N および P_2O_5 の欠除は K_2O の欠除よりも、それぞれ成長を阻害する因子としてより大きな影響をおよぼしていた。

半量区の段階では、N および P_2O_5 の半量の施用は地上部の成長をいちじるしく促進し、標準量区と同程度の最良の成長を示した。しかしながら、地下部に対する成長促進の効果は十分ではなく、標準量の施用によって最良の成長に達した。このように、地上部と地下部の成長の N および P_2O_5 の施用量に対する反応がそれぞれ異なっていたことは注目に値しよう。これに対して、 K_2O の施用は、欠除区の段階では N および P 欠区よりも地上部および地下部に対する成長の阻害は少なかったが、半量区の段階では各成長量は欠除区と相違が見られず、標準量区の段階ではじめて十分な効果を示した。このように、 K_2O の成長におよぼす影響は N および P_2O_5 とはかなり異なった性格を有していたことは興味ある事実

第7表 苗木の養分濃度
Table 7. Nutrient concentrations of seedling

(乾物あたり% Per cent on dry basis)

処 理 Treatment	苗木の部分 Part of seedling	C	N	P	K	Ca	Mg
$N_0P_0K_0$	根 (Root)	50.1	1.30	0.22	0.86	0.22	0.10
	幹 (Stem)	57.5	1.28	0.17	0.64	0.33	0.10
	葉 (Needle)	58.9	2.31	0.21	0.86	0.45	0.088
	冬 芽 (Bud)	56.5	2.79	0.41	0.95	0.38	0.14
	全 体 (Whole seedling)	55.9	1.82	0.21	0.82	0.36	0.095
$N_0P_1K_1$	根 (Root)	50.2	1.23	0.23	0.94	0.23	0.12
	幹 (Stem)	56.2	1.26	0.16	0.59	0.33	0.12
	葉 (Needle)	58.0	2.21	0.19	1.02	0.47	0.087
	冬 芽 (Bud)	55.3	2.53	0.38	0.94	0.38	0.14
	全 体 (Whole seedling)	55.3	1.74	0.20	0.91	0.37	0.11
$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	根 (Root)	49.1	1.30	0.20	0.91	0.23	0.11
	幹 (Stem)	54.5	1.25	0.15	0.58	0.30	0.10
	葉 (Needle)	57.3	2.23	0.21	1.02	0.47	0.091
	冬 芽 (Bud)	55.4	2.57	0.34	0.86	0.40	0.11
	全 体 (Whole seedling)	54.5	1.79	0.20	0.90	0.37	0.099
$N_1P_1K_1$	根 (Root)	49.2	1.30	0.20	0.83	0.22	0.12
	幹 (Stem)	56.2	1.26	0.16	0.61	0.33	0.11
	葉 (Needle)	57.8	2.31	0.21	0.96	0.51	0.084
	冬 芽 (Bud)	55.2	2.78	0.38	0.89	0.38	0.14
	全 体 (Whole seedling)	55.0	1.82	0.20	0.86	0.39	0.10
$N_2P_1K_1$	根 (Root)	48.7	1.32	0.19	0.91	0.22	0.12
	幹 (Stem)	55.6	1.31	0.15	0.62	0.33	0.12
	葉 (Needle)	59.0	2.39	0.20	0.93	0.50	0.088
	冬 芽 (Bud)	56.3	2.78	0.37	0.94	0.40	0.12
	全 体 (Whole seedling)	55.1	1.85	0.19	0.87	0.38	0.11
$N_1P_0K_1$	根 (Root)	47.9	1.21	0.19	0.95	0.19	0.12
	幹 (Stem)	56.3	1.28	0.16	0.61	0.33	0.12
	葉 (Needle)	57.8	2.22	0.19	0.91	0.49	0.082
	冬 芽 (Bud)	53.9	2.66	0.34	0.82	0.38	0.13
	全 体 (Whole seedling)	54.7	1.76	0.19	0.87	0.37	0.10
$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	根 (Root)	48.1	1.21	0.19	0.83	0.21	0.10
	幹 (Stem)	55.0	1.34	0.16	0.67	0.34	0.12
	葉 (Needle)	58.4	2.28	0.21	0.96	0.48	0.086
	冬 芽 (Bud)	56.1	2.61	0.34	0.86	0.40	0.13
	全 体 (Whole seedling)	55.4	1.78	0.20	0.86	0.37	0.098
$N_1P_2K_1$	根 (Root)	48.7	1.25	0.21	0.90	0.24	0.13
	幹 (Stem)	55.0	1.24	0.16	0.58	0.37	0.12
	葉 (Needle)	57.5	2.20	0.21	0.91	0.49	0.085
	冬 芽 (Bud)	56.6	2.65	0.41	0.91	0.40	0.14
	全 体 (Whole seedling)	54.5	1.77	0.21	0.86	0.40	0.11

処 理 Treatment	苗木の部分 Part of seedling	C	N	P	K	Ca	Mg
N ₁ P ₁ K ₀	根 (Root)	50.0	1.30	0.22	0.92	0.23	0.12
	幹 (Stem)	55.9	1.26	0.15	0.61	0.33	0.11
	葉 (Needle)	56.8	2.22	0.21	0.93	0.50	0.086
	冬 芽 (Bud)	54.1	2.70	0.39	0.86	0.40	0.14
	全 体 (Whole seedling)	54.5	1.75	0.20	0.86	0.38	0.11
N ₁ P ₁ K _{1/2}	根 (Root)	46.4	1.23	0.19	0.83	0.21	0.11
	幹 (Stem)	56.4	1.25	0.15	0.64	0.34	0.11
	葉 (Needle)	57.4	2.15	0.21	0.86	0.49	0.089
	冬 芽 (Bud)	55.6	2.70	0.36	0.89	0.40	0.13
	全 体 (Whole seedling)	53.7	1.72	0.20	0.81	0.38	0.10
N ₁ P ₁ K ₂	根 (Root)	48.5	1.29	0.19	0.87	0.23	0.12
	幹 (Stem)	56.1	1.36	0.15	0.60	0.33	0.11
	葉 (Needle)	58.3	2.33	0.21	1.03	0.46	0.090
	冬 芽 (Bud)	56.5	2.71	0.35	0.94	0.40	0.12
	全 体 (Whole seedling)	54.8	1.85	0.20	0.90	0.37	0.10

であった。

倍量区の段階では、各倍量区はいずれも各欠除区と同程度まで成長量の低下を示したが、とくに N 倍量区においては、地上部の発達の減退が地下部に比べるといちじるしく、N 欠区よりも形質の面でさらに劣ったことは十分の注意を要するものと思われる。

今までのアカマツ 1—1 苗に対する試験例が乏しいために、今回の結果から直ちに一般的な結論を下すことはむずかしいが、アカマツ 1—1 苗の良好な成長および形質を確保するための施肥量、および 3 要素の配合比の範囲は、かなり狭いのではないかと予想された。宮崎⁵⁾はアカマツ苗木に対する 3 要素の配合比として、N: P₂O₅: K₂O=4: 3: 3~4 を最適としている。筆者の結果では最良の成長および形質を示した標準量区の 3 要素の配合比は、K₂O の比率が多少少なかったが、宮崎の結果とはほぼ近似的な値といえよう。

4. 苗木の各部分および全体の各養分濃度、養分含有量、養分比および有機物生産に要する養分量〔結果および考察 (2)〕

4—1. 養分濃度

各処理別の苗木の各部分および全体の養分濃度は第 7 表に示すとおりである。

4—2. 施肥量および配合比の変化にともなう養分濃度の変化

第 7 表の結果から、各系列ごとに、さらに各養分別に、無施肥区を 100 とする指数で示すと第 8 表のとおりである。

4—2—1. N 濃度

P₂O₅ および K₂O の標準量を与えた P₁K₁ 系列では、苗木の各部分および全体の N 濃度は N 欠区ではいずれも無施肥区より少なかった。さらに、N 欠→N 半量→標準量→N 倍量区の順に N の施用量の増大にともなう、根、葉、冬芽および苗木全体では一部に同じ濃度を示して変化の見られなかった場

第8表 苗木の養分濃度指数(無施肥区に対するパーセント)

Table 8. Indexes of nutrient concentrations of seedling
(Per cent on unfertilized plot basis)

1) N 濃 度 (N concentration)

	N ₀ P ₀ O ₀	P ₁ K ₁ 系列 (P ₁ K ₁ -series)				N ₁ K ₁ 系列 (N ₁ K ₁ -series)				N ₁ P ₁ 系列 (N ₁ P ₁ -series)			
		N ₀	N _{1/2}	N ₁	N ₂	P ₀	P _{1/2}	P ₁	P ₂	K ₀	K _{1/2}	K ₁	K ₂
根 (Root)	100	95	100	100	102	93	93	100	96	100	95	100	99
幹 (Stem)	100	98	98	98	102	100	105	98	97	98	98	98	106
葉 (Needle)	100	96	97	100	103	96	99	100	95	96	93	100	101
冬芽 (Bud)	100	91	92	100	100	95	94	100	95	97	97	100	97
全体 (Whole seedling)	100	96	98	100	102	97	98	100	97	96	94	100	101

2) P 濃 度 (P concentration)

根 (Root)	100	105	91	91	86	86	86	91	95	100	86	91	86
幹 (Stem)	100	94	88	94	88	94	94	94	94	88	88	94	88
葉 (Needle)	100	90	100	100	95	90	100	100	100	100	100	100	100
冬芽 (Bud)	100	93	83	93	90	83	83	93	100	95	88	93	85
全体 (Whole seedling)	100	95	95	95	90	90	95	95	100	95	95	95	95

3) K 濃 度 (K concentration)

根 (Root)	100	109	106	96	106	110	96	96	105	107	96	96	101
幹 (Stem)	100	92	91	95	97	95	105	95	91	95	100	95	94
葉 (Needle)	100	119	119	112	108	106	112	112	106	108	100	112	120
冬芽 (Bud)	100	99	90	94	99	86	90	94	96	90	94	94	99
全体 (Whole seedling)	100	111	110	105	106	106	105	105	105	105	99	105	110

4) Ca 濃 度 (Ca concentration)

根 (Root)	100	105	105	100	100	86	95	100	109	105	95	100	105
幹 (Stem)	100	100	91	100	100	100	103	100	112	100	103	100	100
葉 (Needle)	100	104	104	113	111	109	107	113	109	111	109	113	102
冬芽 (Bud)	100	100	105	100	105	100	105	100	105	105	105	100	105
全体 (Whole seedling)	100	103	103	108	106	103	103	108	114	106	106	108	103

5) Mg 濃 度 (Mg concentration)

	$N_0P_0K_0$	P ₁ K ₁ 系列 (P ₁ K ₁ -series)				N ₁ K ₁ 系列 (N ₁ K ₁ -series)				N ₁ P ₁ 系列 (N ₁ P ₁ -series)			
		N ₀	N _{1/2}	N ₁	N ₂	P ₀	P _{1/2}	P ₁	P ₂	K ₀	K _{1/2}	K ₁	K ₂
根 (Root)	100	120	110	120	120	120	100	120	130	120	110	120	120
幹 (Stem)	100	120	100	110	120	120	120	110	120	110	110	110	110
葉 (Needle)	100	99	103	95	100	93	98	95	97	98	101	95	102
冬芽 (Bud)	100	100	79	100	86	93	93	100	100	100	93	100	86
全体 (Whole seedling)	100	116	104	105	116	105	103	105	116	116	105	105	105

合もあったが、全般的に N 濃度は順次わずかながら増大を示した。しかしながら、幹では N 半量区の N 濃度は、N 欠および標準量区よりわずかに減少を示して例外をなしていた。

N および K₂O の標準量を与えた N₁K₁ 系列では、無施肥区に比べると P 欠区では幹を除くと N 濃度はいずれも減少を示した。さらに、P 欠→P 半量→標準量区の順に根、葉および苗木全体では P₂O₅ の施用量の増大にともなう、N 濃度は順次わずかながら増大したが、P 倍量区ではいずれも標準量区より N 濃度は減少を示した。以上のように、P₂O₅ の施用量と N 濃度との間に、とくに一定の関係は認められなかった。

N および P₂O₅ の標準量を与えた N₁P₁ 系列では、苗木の各部分および全体の N 濃度は、K 欠区は無施肥区と同等ないし多少の低下を示した。K 欠区→K 倍量区の順に比較すると、K₂O の施用量と N 濃度との間に一定の関係を見いだすことはできなかった。

無施肥区を含めた全処理区について、N 濃度の変化の範囲を指数で示すと、根は 93~102、幹は 97~106、葉は 93~103、冬芽は 91~100、苗木全体は 94~102 を示し、いずれも無施肥区の N 濃度の10% ないしそれ以下の相違を示したにすぎなかった。

4—2—2. P 濃 度

N₁K₁ 系列では苗木の各部分および全体の P 濃度は、無施肥区に比べると P 欠区ではいずれも減少を示した。さらに、P 欠→P 半量→標準量→P 倍量区の順に、P₂O₅ の施用量の増大にともなう、根、葉、冬芽および苗木全体では、一部には同じ濃度を示して変化の見られなかった場合もあったが、全般的に P 濃度はわずかながら順次増大した。しかしながら、幹では P 欠→P 倍量区までいずれも同じ P 濃度を示し、変化が見られなかった。

P₁K₁ 系列では、N 欠区の根を除いた他の苗木の各部分および苗木全体の P 濃度は、いずれも無施肥区より低かった。根の P 濃度は N 欠→N 倍量区の順に N の施肥量の増大にともなうわずかながら減少（一部は同じ値）を示した。苗木全体の P 濃度は N 欠→標準量区は相違が見られなかったが、N 倍量区では減少を示した。幹、葉および冬芽では P 濃度と N 施肥量との間には一定の関係は認められなかった。

N₁P₁ 系列では K 欠区の苗木各部分および全体の P 濃度は無施肥区と同濃度ないしは減少を示した。K 欠→K 倍量区の順に比べると、葉および苗木全体の P 濃度は変化を示さなかったが、根、幹および冬芽では K₂O の施用量と P 濃度との間に一定の関係は認められなかった。

無施肥区を含めた全処理区について P 濃度の変化の範囲を指数で示すと、根は 86~105, 幹は 88~100, 葉は 90~100, 冬芽は 83~100, 苗木全体は 90~100 を示し、無施肥区の P 濃度の 10~20% 前後の相違を示し、上述の N の場合よりも変化の幅は増大を示した。

4-2-3. K 濃度

N_1P_1 系列では、 K_2O の施用量の増大にともなう苗木の各部分および全体の K 濃度の変化は、冬芽では K 欠→K 倍量区の順に順次増大した以外は、いずれも明りょうな関連性が見られなかった。

そのほか、 P_1K_1 系列において葉の K 濃度が N の施用量の増大にともなって減少し、 N_1K_1 系列において冬芽の K 濃度が P_2O_5 の施用量の増大にともなって減少し、苗木全体の K 濃度が変化を示さなかった以外は、いずれも施用量と K 濃度との間に一定の関係は認められなかった。

以上のように、苗木の各部分および全体の K 濃度と各施肥量との関係は、一般的にはきわめて少ないといえよう。この点は前述の N および P 濃度の場合とはかなり明りょうな相違を示していた。

無施肥区を含めた全処理区について K 濃度の変化の範囲を指数で示すと、根は 96~110, 幹は 91~105, 葉は 100~120, 冬芽は 86~100, 苗木全体は 99~111 を示し、無施肥区の濃度の 12~20% 前後の相違を示し、前述の N の場合よりも変化の幅は増大を示した。

4-2-4. Ca 濃度

今回の試験ではとくに Ca 肥料を施用しなかったが、過石および熔リンにはそれぞれかなりの量の CaO が含有されている。したがって、 N_1K_1 系列の P_2O_5 の施用量の変化は当然 CaO の施用量の変化をとまうといえよう。

苗木の各部分および全体の Ca 濃度は、 N_1K_1 系列では P_2O_5 の施用量の増大にともなって、根および苗木全体では P 欠→P 倍量区の順に順次わずかずつ増大(一部は同じ値)を示し、 P_1K_1 系列では N の施用量の増大にともなって、根の Ca 濃度は標準量区および N 倍量区では、N 欠および N 半量区より増大した。その他の場合には、施肥量の変化と Ca 濃度との間には一定の関係は見られなかった。

無施肥を含めた全処理区について Ca 濃度の変化の範囲を指数で示すと、根は 86~105, 幹は 91~112, 葉は 100~113, 冬芽は 100~105, 苗木全体は 100~114 を示し、冬芽を除くと他はいずれも無施肥区の濃度の約 15~20% 前後の相違を示した。

4-2-5. Mg 濃度

今回の試験ではとくに Mg 肥料を施用しなかったが、熔リンにはかなりの量の MgO が含まれている。したがって、 N_1K_1 系列における P_2O_5 の施用量の変化は当然 MgO の施用量の変化をとまうといえよう。

N_1K_1 系列では、冬芽の Mg 濃度が標準量および P 倍量区で P 欠および P 半量区より増大した以外は、苗木の各部分および全体の Mg 濃度と施肥量との間に一定の関係は認められなかった。

P_1K_1 系列および N_1P_1 系列では、後者の幹の Mg 濃度が K 欠→K 倍量区において同じ値を示した以外は、Mg 濃度と施肥量との間に一定の関係は認められなかった。

無施肥区を含めた全処理区について Mg 濃度の変化の範囲を指数で示すと、根は 100~130, 幹は 100~120, 葉は 93~100, 冬芽は 79~100, 苗木全体は 100~116 を示し、葉を除くと他はいずれも 15~30% 前後の相違を示した。

4-3. 苗木の各部分の養分濃度および養分比

第9表 苗木の養分濃度 (最低～最高)

Table 9. Nutrient concentrations of seedling (Min.~Max.)

(乾物あたり% Per cent on dry basis)

	N	P	K	Ca	Mg
根 (Root)	1.21~1.32	0.19~0.23	0.83~0.95	0.19~0.24	0.10~0.13
幹 (Stem)	1.24~1.36	0.15~0.17	0.58~0.67	0.30~0.37	0.10~0.12
葉 (Needle)	2.15~2.39	0.19~0.21	0.86~1.03	0.45~0.51	0.082~0.091
冬芽 (Bud)	2.53~2.79	0.34~0.41	0.82~0.95	0.38~0.40	0.11~0.14
〔地上部 (Top)〕	(1.93~2.10)	(0.19~0.21)	(0.80~0.91)	(0.42~0.46)	(0.09~0.10)
全体 (Whole seedling)	1.70~1.85	0.19~0.21	0.81~0.91	0.36~0.41	0.095~0.11

第10表 苗木の養分比 (最低～最高)

Table 10. Nutrient ratios of seedling (Min.~Max.)

1) Nに対するパーセント (Per cent on N concentration basis)

	N	P	K	Ca	Mg
根 (Root)	100	14~19	64~79	16~19	7.7~10
幹 (Stem)	100	11~13	44~51	24~30	7.8~9.7
葉 (Needle)	100	8.4~9.8	37~46	20~23	3.6~4.1
冬芽 (Bud)	100	13~15	31~37	14~16	4.3~5.5
全体 (Whole seedling)	100	10~12	45~53	20~23	5.2~6.3

2) 養 分 比 (Nutrient ratio)

	N/P	N/K	N/Ca	K/P	Ca/Mg
根 (Root)	5.3~6.9	1.3~1.6	4.8~6.4	3.9~5.0	1.6~2.2
幹 (Stem)	7.7~9.1	2.0~2.3	3.4~4.2	3.6~4.3	2.8~3.3
葉 (Needle)	10.2~12.0	2.2~2.7	4.4~5.1	4.1~5.4	5.1~6.1
冬芽 (Bud)	6.5~7.8	2.7~3.2	6.2~7.8	2.2~2.7	2.7~3.6
全体 (Whole seedling)	8.5~9.7	1.9~2.2	4.3~5.1	3.9~4.6	3.4~3.9

上述のように、苗木の各部分の各養分濃度は施肥の影響を受けてある程度の変化を示したが、苗木の各部分ごとの各養分の要求量および養分比は、それ以上に明りょうな相違を示し、それぞれ特徴が見られた。

これらの点を明らかにするために、苗木の各部分および全体の養分濃度の変化 (最低～最高) を第9表に、養分比の変化 (最低～最高) を第10表に示した。

N 濃度は冬芽がもっとも高く、葉がこれに次ぎ、幹および根ではいちじるしく低く、冬芽および葉のN 濃度は根および幹の約2倍近い値を示していた。

P 濃度は冬芽がいちじるしく高く、ついで根、葉、幹の順に低下した。冬芽はもっとも低かった幹の約2倍以上の値を示したが、他の3部分の相違は少なかった。

K 濃度は根、葉および冬芽はほぼ同程度の値を示し、明りょうな相違が見られなかったが、幹ではこれらの3部分より低い値を示していた。

Ca 濃度は葉がもっとも高く、ついで冬芽、幹の順に減少し、根がもっとも小さく、葉の約半分程度に

過ぎなかった。

Mg 濃度は冬芽は根および幹よりわずかに上回っていたが、この 3 部分の相違はわずかであった。葉の Mg 濃度はこれらの 3 部分より明らかに低下を示していた。

以上の結果を苗木の各部分別にとりまとめると、次のとおりである。

根は N および Ca 濃度がとくに低かった。N 濃度に対する P, K および Mg 濃度の比率が高く、N/P, N/K および Ca/Mg 等の養分比は苗木の各部分中もっとも小さかった。

幹は N, P および K 濃度は低かった。N 濃度に対する Ca および Mg 濃度の比率が大きく、N/Ca は苗木の各部分中もっとも小さかった。

葉は N および Ca 濃度が高く、Mg 濃度が低かった。N 濃度に対する P, K および Mg 濃度の比率が低く、Ca 濃度の比率が高く、N/P および Ca/Mg は苗木の各部分中もっとも大きく、また、N/K も大きかった。

冬芽は N および P 濃度がとくに高かった。N 濃度に対する K, Ca および Mg 濃度の比率は小さく K/P がとくに小さく、N/K および N/Ca が大きかった。

これらの苗木の各部分および全体の養分比の変化と施肥量の関係については、施肥量の変化にともなうて、一部には養分比の増大ないし減少を示した場合も認められたが、多くの場合は一定の関係は認められなかった。また、各養分比の変化の幅はいずれも最低値を基準にすると、最高値は 20~30% の増大を示したに過ぎなかった。これらの点は上述の各養分濃度の変化から当然裏づけられることであるが、植物体における養分比の変化の幅としてはきわめて小さいといえよう。

これらの点は、アカマツ 1-1 苗は施肥量およびその相互の比率がいちじるしく異なっている場合でも、苗木の各部分の生産に当たって必要とする各養分は、ある程度の変化の幅はあるが、かなり近似した割合で吸収されていたことを示すものといえよう。

4-4. 苗木の各部分および全体の養分含有量

第 7 表に示した苗木の各部分の各養分濃度に、乾物重量をかけて求めた各養分含有量および苗木全体の養分含有量は、第 11 表に示すとおりである。

第 11 表から、各養分の含有量を各系列ごとに無施肥区を 100 とする指数で示すと、第 12 表のとおりである。

各養分の含有量を各系列ごとに比較すると、全般的に欠除→半量→標準量区の順に順次いちじるしい増大を示し、標準量区において吸収量が最大に達した場合が多かった。倍量区ではいずれも、標準量区よりかなりの減少を示した。

これらの点は、第 13 表に示した無施肥区を 100 とした各系列ごとの苗木の各部分および全体の乾物重量比の変化からも明らかのように、施肥量の相違にともなう乾物重量の相違の方が各養分濃度の相違よりも、養分含有量に対して大きな影響をおよぼしていたことを示すものといえよう。しかしながら、 N_1P_1 系列の K 欠区と K 半量区の根および幹、 P_1K_1 系列の N 半量区と標準量区の葉、 N_1K_1 系列の P 半量区と標準量区の幹等の場合には、乾物重量の相違がわずかであったために、養分濃度の相違の方が養分含有量に対して大きな影響をおよぼし、上述の全般的な傾向に対して多少の例外をなしていた場合も認められた。このような例外は各養分別に見ると、N および P 含有量の場合には少なく、K, Ca, およびとくに Mg 含有量の場合に多く見られた。

第11表 苗木の養分含有量
 Table 11. Nutrient contents of seedling

(1本あたり mg: mg per one seedling)

処 理 Treatment	苗木の部分 Part of seedling	C	N	P	K	Ca	Mg
$N_0P_0K_0$	根 (Root)	1,650	42.9	7.3	28.4	7.3	3.3
	幹 (Stem)	1,200	26.6	3.5	13.3	6.9	2.1
	葉 (Needle)	3,140	123	11.2	45.8	24.0	4.7
	冬 芽 (Bud)	130	6.4	0.94	2.2	0.87	0.32
	全 体 (Whole seedling)	6,120	199	22.9	89.7	39.1	10.4
$N_0P_1K_1$	根 (Root)	1,610	39.5	7.4	30.2	7.4	3.9
	幹 (Stem)	1,240	27.8	3.5	13.0	7.3	2.7
	葉 (Needle)	3,040	116	10.0	53.4	24.6	4.6
	冬 芽 (Bud)	149	6.8	1.0	2.5	1.0	0.38
	全 体 (Whole seedling)	6,040	190	21.9	99.1	40.3	11.6
$N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$	根 (Root)	1,990	52.4	8.1	36.7	9.3	4.4
	幹 (Stem)	1,600	36.8	4.4	17.1	8.8	2.9
	葉 (Needle)	4,290	167	15.7	76.3	35.1	6.8
	冬 芽 (Bud)	188	8.7	1.2	2.9	1.4	0.37
	全 体 (Whole seedling)	8,070	265	29.4	133	54.6	14.5
$N_1P_1K_1$	根 (Root)	2,250	59.5	9.2	38.0	10.1	5.5
	幹 (Stem)	1,670	37.4	4.8	18.1	9.8	3.3
	葉 (Needle)	4,400	176	16.0	73.1	38.8	6.4
	冬 芽 (Bud)	204	10.3	1.4	3.3	1.4	0.52
	全 体 (Whole seedling)	8,520	283	31.4	133	60.1	15.7
$N_2P_1K_1$	根 (Root)	1,620	44.0	6.3	30.3	7.3	4.0
	幹 (Stem)	1,070	25.2	2.9	11.9	6.3	2.3
	葉 (Needle)	2,870	116	9.7	45.3	24.4	4.3
	冬 芽 (Bud)	124	6.1	0.81	2.1	0.9	0.26
	全 体 (Whole seedling)	5,680	191	19.7	89.6	38.9	10.9
$N_1P_0K_1$	根 (Root)	1,620	40.8	6.4	32.1	6.4	4.1
	幹 (Stem)	1,240	28.3	3.5	13.5	7.3	2.7
	葉 (Needle)	3,420	131	11.2	53.7	28.9	4.8
	冬 芽 (Bud)	146	7.2	0.92	2.2	1.0	0.38
	全 体 (Whole seedling)	6,430	207	22.0	102	43.6	12.0
$N_1P_{\frac{1}{2}}K_1$	根 (Root)	2,070	52.2	8.2	35.8	9.1	4.3
	幹 (Stem)	1,570	38.3	4.6	19.2	9.7	3.4
	葉 (Needle)	4,060	158	14.6	66.7	33.4	6.0
	冬 芽 (Bud)	196	9.1	1.2	3.0	1.4	0.46
	全 体 (Whole seedling)	7,900	258	28.6	125	53.6	14.2
$N_1P_2K_1$	根 (Root)	1,720	44.1	7.4	31.8	8.5	4.6
	幹 (Stem)	1,330	29.9	3.9	14.0	8.9	2.9
	葉 (Needle)	3,460	132	12.6	54.8	29.5	5.1
	冬 芽 (Bud)	153	7.2	1.1	2.5	1.1	0.38
	全 体 (Whole seedling)	6,660	213	25.0	103	48.0	13.0

処 理 Treatment	苗木の部分 Part of seedling	C	N	P	K	Ca	Mg
N ₁ P ₁ K ₀	根 (Root)	2,010	52.3	8.4	37.0	9.2	4.8
	幹 (Stem)	1,470	33.1	3.9	16.0	8.7	2.8
	葉 (Needle)	3,620	142	13.4	59.3	31.9	6.1
	冬 芽 (Bud)	157	7.8	1.1	2.5	1.2	0.41
	全 体 (Whole seedling)	7,260	233	26.8	115	51.0	14.1
N ₁ P ₁ K _{1/2}	根 (Root)	1,890	50.1	7.7	33.8	8.5	4.5
	幹 (Stem)	1,430	31.8	3.8	16.3	8.6	2.8
	葉 (Needle)	3,910	146	14.3	58.6	33.4	6.1
	冬 芽 (Bud)	183	8.9	1.2	2.9	1.3	0.43
	全 体 (Whole seedling)	7,410	237	27.0	112	51.8	13.8
N ₁ P ₁ K ₂	根 (Root)	1,820	48.5	7.1	32.7	8.6	4.5
	幹 (Stem)	1,380	33.5	3.7	14.8	8.1	2.7
	葉 (Needle)	3,820	153	13.8	67.6	30.2	5.9
	冬 芽 (Bud)	164	7.8	1.0	2.7	1.2	0.35
	全 体 (Whole seedling)	7,810	243	25.6	118	48.1	13.4

第 12 表 苗木の養分含有量指数 [N₀P₀K₀ 区に対する %]

Table 12. Indexes of nutrient contents of seedling

[Per cent on unfertilized plot]

1) N含有量 (N content)

	N ₀ P ₀ K ₀	P ₁ K ₁ 系列 (P ₁ K ₁ -series)				N ₁ K ₁ 系列 (N ₁ K ₁ -series)				N ₁ P ₁ 系列 (N ₁ P ₁ -series)			
		N ₀	N _{1/2}	N ₁	N ₂	P ₀	P _{1/2}	P ₁	P ₂	K ₀	K _{1/2}	K ₁	K ₂
根 (Root)	100	92	122	139	103	95	122	139	103	122	117	139	113
幹 (Stem)	100	105	138	141	95	106	144	141	112	124	120	141	126
葉 (Needle)	100	94	136	143	94	107	128	143	107	115	119	143	124
冬芽 (Bud)	100	106	134	161	95	112	142	161	112	122	139	161	122
全体 (Whole seedling)	100	95	133	144	96	104	130	144	107	117	119	144	122

2) P 含有量 (P content)

根 (Root)	100	101	111	126	86	88	112	126	101	115	105	126	97
幹 (Stem)	100	100	126	137	83	100	131	137	111	111	109	137	106
葉 (Needle)	100	89	140	143	87	100	130	143	112	120	130	143	123
冬芽 (Bud)	100	106	128	149	86	98	128	149	117	117	128	149	106
苗木全体 (Whole seedling)	100	96	128	137	86	96	125	137	109	117	118	137	112

3) K 含有量 (K content)

	$N_0P_0K_0$	P ₁ K ₁ 系列 (P ₁ K ₁ -series)				N ₁ K ₁ 系列 (N ₁ K ₁ -series)				N ₁ P ₁ 系列 (N ₁ P ₁ -series)			
		N ₀	N _{1/2}	N ₁	N ₂	P ₀	P _{1/2}	P ₁	P ₂	K ₀	K _{1/2}	K ₁	K ₂
根 (Root)	100	106	129	134	107	113	126	134	112	130	119	134	115
幹 (Stem)	100	98	129	136	89	101	144	136	105	120	123	136	111
葉 (Needle)	100	117	167	160	99	117	146	160	120	129	128	160	148
冬芽 (Bud)	100	114	132	150	95	100	136	150	114	114	132	150	123
全体 (Whole seedling)	100	110	148	148	100	114	139	148	115	128	125	148	131

4) Ca 含有量 (Ca content)

根 (Root)	100	101	127	138	100	88	125	138	116	126	116	138	118
幹 (Stem)	100	106	128	142	91	106	141	142	129	126	125	142	117
葉 (Needle)	100	102	146	162	102	120	139	162	123	133	139	162	126
冬芽 (Bud)	100	115	161	161	103	115	161	161	126	138	149	161	138
全体 (Whole seedling)	100	103	140	154	99	111	137	154	125	130	132	154	123

5) Mg 含有量 (Mg content)

根 (Root)	100	118	133	167	121	124	130	167	139	145	136	167	136
幹 (Stem)	100	129	138	157	110	129	162	157	138	133	133	157	129
葉 (Needle)	100	98	145	136	91	102	128	136	108	130	130	136	125
冬芽 (Bud)	100	119	116	163	81	119	144	163	119	128	134	163	109
全体 (Whole seedling)	100	112	139	151	105	115	137	151	125	136	133	151	129

第13表 苗木の乾物重量指数 (無施肥区に対する%)

Table 13. Indexes of dry weight of seedling

[N₀P₀O₀ 区に対する% Per cent on unfertilized plot basis]

	$N_0P_0O_0$	P ₁ K ₁ 系列 (P ₁ K ₁ -series)				N ₁ K ₁ 系列 (N ₁ K ₁ -series)				N ₁ P ₁ 系列 (N ₁ P ₁ -series)			
		N ₀	N _{1/2}	N ₁	N ₂	P ₀	P _{1/2}	P ₁	P ₂	K ₀	K _{1/2}	K ₁	K ₂
根 (Root)	100	97	122	139	101	102	131	139	102	122	123	139	114
幹 (Stem)	100	106	141	143	92	106	138	143	116	126	122	143	118
葉 (Needle)	100	98	140	143	91	111	131	143	113	120	128	143	123
冬芽 (Bud)	100	117	148	161	96	117	152	161	117	126	143	161	126
全体 (Whole seedling)	100	100	135	142	95	110	132	142	110	122	126	142	119

第 14 表 苗木の各部分の養分含有量および乾物重比 (最低～最高: 苗木全体に対する%)

Table 14. Rates of nutrient content and dry weight
(Min.～Max.: Per cent on whole seedling basis)

	N	P	K	Ca	Mg	Dry weight
根 (Root)	20～23	28～34	28～34	15～19	30～37	27～32
幹 (Stem)	13～15	14～16	13～15	16～19	20～24	18～20
葉 (Needle)	61～63	46～53	51～57	61～66	39～47	47～51
冬 芽 (Bud)	3～4	3～5	2～3	2～3	2～3	2

4—5. 苗木の各部分における各養分の配分割合

苗木に含まれる各養分が、苗木の各部分にどのような割合で分布しているかを明らかにするために、第 11 表の結果から、苗木の各部分の各養分含有量の苗木全体に対する割合を算出し、その結果を要約して最低～最高値を第 14 表に示した。

各養分の苗木の各部分に対する配分状態は、各養分ごとにかかなりの相違を示していたが、施肥量および 3 要素の配合比の変化にとまなう影響は少ないことが明らかであろう。また、乾物重量の配分状態と対比すると、前述(4—3)の各部分における各養分濃度の相違を明りょうに反映していることが認められた。

4—6. ま と め

今回の試験結果では、前述(4—2)のように、アカマツ 1—1 苗の各部分および全体の養分濃度は、一般的に P_1K_1 系列における N の施肥量の増大、 N_1K_1 系列における P_2O_5 の施用量の増大にともなう、それぞれ N ないし P 濃度が多くの場合に順次漸増した以外は、施肥量と各養分濃度との間に一定の関連性は見られなかった。

施肥量の変化にとまなう各養分濃度の変化の幅は、一般的に N 濃度をもっとも小さく、P、K および Ca 濃度がこれに次ぎ、Mg 濃度をもっとも大きかった。

アカマツ苗木の養分生理の研究は津田¹⁵⁾(明治 42 年)にはじまり、以後多くの研究が行なわれているが、他の樹種と比較することによってアカマツの特徴を明らかにしようとした試みが多い。苗木の養分組成は樹種によって異なるとともに、同じ樹種でも苗齢によって異なる。したがって、今回の結果を今までのアカマツ 1—1 苗についての研究結果と比較すると、次のような諸点が注目されよう。

柴田¹³⁾は 3 要素のうち 2 要素の標準量を与えて、残る 1 要素の施用量を変化させると、N の施用量の変化は針葉の N 濃度に一定の関係を示さないように思われ、 P_2O_5 の施用量が少ないと葉や根の P 濃度が低く、 K_2O は影響が認められないとしている*。同氏の結果を無施肥区を含めた全処理区について総括すると、苗木の各部分ごとの各養分濃度は、最低値に対して最高値は、N 濃度は 1.3～2 倍、P 濃度は 1.7～3.7 倍、K 濃度は 1.5～2.1 倍、Ca 濃度は 1.3～2.4 倍に達していることが認められる(第 15 表)。したがって各養分濃度の変化の幅は、筆者の今回の結果に比べるといちじるしく大きい。同氏の場合は埴質なせき悪土壌の苗畑で、3 要素の標準施肥量も筆者の場合よりもいちじるしく多い。この両者の結果の相違の原因については、その他にこの種の研究が見られないために明らかにし得なかった。そのほか、中塚⁸⁾の施肥試験の結果では、施肥区の根、幹および葉の N および P 濃度は無施肥区と比べると、根の

* 同氏は 3 要素を多少とも与えたものの平均値を 3 要素区、各要素を完全に欠除したものを N 欠、P 欠、K 欠区とし、無施肥区を含めた 5 グループを比較考察している。

第15表 アカマツ 1—1 苗の養分濃度についての今までの研究

Table 15. Review of the previous works on the nutrient concentration of 1-1 *P. densiflora* seedling

(乾物あたりパーセント Per cent on dry basis)

部 分 (Part)	N	P	K	Ca	Mg
芝 本 ^{11)*1} (By SHIBAMOTO, T.)					
全 体 (Whole seedling)	1.83	0.12	0.32	0.29	—
同 上 ¹²⁾ (Ibid.)					
全 体 (Whole seedling)	1.39	0.10	0.30	—	—
中 塚 ^{7)*2} (By NAKATSUKA, T.)					
根 (Root)	0.86	0.07	—	—	—
幹 (Stem)	1.14	0.11	—	—	—
葉 (Needle)	2.18	0.15	—	—	—
〔地 上 部 (Top)〕	(1.88)	(0.14)	—	—	—
全 体 (Whole seedling)	1.59	0.12	—	—	—
同 上 ^{8)*5} (Ibid.)					
根 (Root)	0.87, 0.90	0.06, 0.06	—	—	—
幹 (Stem)	1.32, 1.44	0.11, 0.13	—	—	—
葉 (Needle)	1.96, 2.00	0.14, 0.14	—	—	—
〔地 上 部 (Top)〕	(1.77, 1.83)	(0.13, 0.14)	—	—	—
全 体 (Whole seedling)	1.50, 1.54	0.11, 0.11	—	—	—
同 上 ^{8)*6} (Ibid.)					
根 (Root)	0.91~1.01	0.07~0.08	—	—	—
幹 (Stem)	1.15~1.45	0.11	—	—	—
葉 (Needle)	1.94~2.06	0.14~0.15	—	—	—
〔地 上 部 (Top)〕	1.73~1.83	0.13~0.14	—	—	—
塘 ^{16)*3} (By TSUTSUMI, T.)					
根 (Root)	1.12, 1.07	0.29	0.73	0.59	—
地 上 部 (Top)	1.97, 2.03	0.24	0.84	0.45	—
全 体 (Whole seedling)	1.73, 1.77	0.26	0.81	0.49	—
柴 田 ^{13)*7} (By SHIBATA, N.)					
根 (Root)	1.04~2.15(1.49)	0.09~0.15(0.12)	0.07~0.17(0.12)	0.22~0.33(0.26)	—
幹 (Stem)	1.27~1.83(1.55)	0.03~0.10(0.08)	0.33~0.66(0.45)	0.64~1.54(1.13)	—
葉 (Needle)	2.77~3.56(3.19)	0.15~0.26(0.24)	0.61~0.91(0.77)	0.44~0.58(0.51)	—

筆 者⁴⁾*4 (By the author)

部 分 (Part)	N	P	K	Ca	Mg
根 (Root)	0.96	0.21	0.86	0.18	0.13
幹 (Stem)	1.28	0.19	0.65	0.29	0.14
葉 (Needle)	2.13	0.20	0.91	0.52	0.12
〔地 上 部 (Top)〕	〔1.82〕	〔0.20〕	〔0.81〕	〔0.43〕	〔0.13〕
全 体 (Whole seedling)	1.54	0.20	0.83	0.35	0.13

備考

- *1 時期別吸収量試験 (10月1日)
 *2 同 上 (12月17日)
 *3 同 上 (11月5日)
 *4 同 上 (11月15日)
 *5 施肥試験 (施肥および無施肥, 3月24日)
 *6 植栽本数試験 (40~160本/m², 2月4日)
 *7 3要素適量試験 (最低~最高, カッコ内は3要素区, 1月)

Remarks.

- *1 An experiment on the seasonal variations of nutrient absorption (Oct., 1)
 *2 Ibid. (Dec., 17)
 *3 Ibid. (Nov., 5)
 *4 Ibid. (Nov., 15)
 *5 An experiment on the effects of fertilization (unfertilized and fertilized, March., 24)
 *6 An experiment on the effects of the changes of plantation density (40~160 seedlings per m², Febr., 4)
 *7 An experiment on the effects of the changes of N, P₂O₅ and potassium supplies. (Min.~Max., figures in parenthesis are the N, P₂O₅ and K₂O supplied plot, January)

P 濃度は相違が見られないが, その他はいずれも 10% ないしそれ以下のわずかな増大を示しているにすぎない。これらの結果は, 筆者の標準量区と無施肥区を比べた場合とよく一致した傾向を示していた (第 15 表)。

また, 中塚³⁾のアカマツ 1—1 苗の植栽密度試験 (40~160 本/m²) の結果では, 各区の苗木の重量成長および T/R はかなり大きな相違を示していたにもかかわらず, 幹の N 濃度がやや大きな相違を示していた以外は, 根, 葉, 地上部全体の N および P 濃度は, 10% ないしそれ以下のわずかな相違を示していたに過ぎない。この点も今回の筆者の結果と同様に, アカマツ 1—1 苗の養分濃度は成長量および形質の相違との関連性が少ないことを示すものといえよう。

アカマツ 1—1 苗の施肥設計をたてるための重要な基礎的な資料の一部として, また, 養分生理の基本的な問題として, 苗木の各部分ないし全体の各養分濃度および養分比について, 今までの各研究者の結果を総括して第 15 表に示した。

苗木の養分組成は時期別に変化が見られるが, この点はアカマツ 1—1 苗についても多くの研究者によって明らかにされている³⁾¹¹⁾¹⁶⁾。

これらの各研究者の試料の採取時期は 10 月初めから翌年 3 月におよんでいる。筆者の結果³⁾では, 成長休止期と考えられる 11 月から翌春にかけて, N および P 濃度の増大と K 濃度の減少が見られる。さらに, 苗木の養分の吸収は地方ごとの, ないし年度ごとの気象, 土壌, 施肥, その他の諸条件の影響を受けることも考えられるので, 厳密な意味でこれらの結果を相互に比較することはむずかしいと思われる。

これらの各研究者の結果と第 10~11 表に示した今回の結果を比較すると, 次のような諸点が認められた。

N 濃度については, 柴田¹⁴⁾の根, 幹および葉の N 濃度は他の研究者の場合より全般的に高いように思

われるが、とくに葉の N 濃度がいちじるしく高いことは注目に値しよう。その他の研究者の結果は、苗木の区分がそれぞれ異なるので厳密には比較し難いが、全般的にかなり近似した値を示すように思われる。

P 濃度については、中塚⁷⁾⁸⁾ および芝本¹¹⁾¹²⁾ の場合は筆者および塘¹⁶⁾ の結果よりいちじるしく低いといえよう。塘の地上部および地下部の P 濃度は筆者の結果より高い値を示している。さらに柴田¹⁴⁾ の結果は筆者と比べると、葉はいちじるしい相違が見られないが、根および幹はいちじるしく低い。

K 濃度については、筆者および塘¹⁶⁾ の結果はほぼ同程度の値を示しているが、芝本¹¹⁾¹²⁾ の場合はいちじるしく低い。この点は分析方法の相違が原因の一部をなしているのではないかと思われる。すなわち、他の樹種の分析例も含めて炎光分析を用いた分析例に比べると、重量法を用いたと思われる古い報告の K 濃度がかなり低いことは、共通した傾向のように思われる。柴田¹⁴⁾ の場合は筆者および塘¹⁶⁾ と比べると根の K 濃度が異常に低く、また、同氏の葉および幹に比べてもいちじるしく低く、かなり異なった傾向が見られる。

Ca 濃度については、地上部は筆者および塘¹⁶⁾ の結果は近似的な値を示していたが、塘の根の Ca 濃度はいちじるしく高く、同氏の地上部を上回る値を示していた。この点は、根の Ca 濃度は地上部よりもかなりの低下を示していた、筆者および柴田¹⁴⁾ の場合とはいちじるしい相違を示している。また、柴田の結果は葉は筆者と同程度の値を示していたが、幹は異常に高い値を示している。

養分比について、苗木全体の N に対する各養分濃度の比率を見ると、P および K 濃度の相違がいちじるしいことが注目される。この点については、上述の苗木の各部分の各養分濃度についての各研究者ごとの相違から説明されよう。全般的に今回の結果は、塘および以前の筆者の結果と近似した値を示していたが、他の研究者とはかなりいちじるしい相違が見られる。

このように、アカマツ 1—1 苗の養分濃度および養分比についての、今までの結果を総括すると、いちじるしい相違が見られる。これらの結果から、アカマツ 1—1 苗の養分要求量について一般的な値、ないし共通した傾向を見いだすことは困難であった。これがいかなる原因によるものかは明らかではない。各研究者ごとの試料の採取時期の相違を考慮に入れても、筆者の時期別養分吸収の結果³⁾ から見ると、このような影響にもとづく各養分濃度の変化の幅をはるかに上回るものである。施肥ないし土壌条件の相違によるものとも考えられるが、筆者の今回の結果からは施肥の影響によるものとする見解に対しては、否定的な解答が与えられるし、また、上述の火山灰性黒色土壌で行なった筆者の以前の結果³⁾ と、今回の結果が近似的な値を示している点から見て、土壌条件の影響と考えることにも疑問が感ぜられる。

これらの問題はアカマツ苗木の養分生理、ないしは施肥設計の基本的な事項であるが、今回は一応問題の提起にとどまった感が深い。この問題の解明には、今後の、多くの努力を必要とするものと思われる。

5. お わ り に

1) この報文はアカマツ 1—1 苗の栄養生理に関する研究の一部として、N、 P_2O_5 および K_2O の施用量の相違が、成長、形質および養分組成におよぼす影響について報告したものである。

2) 肥料 3 要素のうち 2 要素の標準量を与えて、残る 1 要素の施用量を欠除、半量、標準量および倍量の 4 段階に変化させて、さらに比較のために無施肥区を加えた。

3) 成長および形質におよぼす影響は、3 要素はそれぞれ異なった特徴を示した。

3—1) 標準量区の成長および形質がもっともすぐれていた。

3—2) 各欠除区を無施肥区と比べると、N 欠区は相違が見られなかったが、P 欠区は地下部は同様に相違が見られなかったが、地上部はやや良好な成長を示し、K 欠区はかなりの成長量の増大を示した。

3—3) 欠除区→標準量区の段階では、N および P_2O_5 の施用量の変化はほぼ同様の傾向を示し、半量区では地上部は標準量区と同程度の成長を示したが、地下部はかなり劣り、地上部と地下部はそれぞれ異なった反応を示した。 K_2O の施用量の変化は N および P_2O_5 と異なり、半量区の成長および形質は欠除区と相違が見られなかった。

3—4) 倍量区の段階では、各倍量区はいずれも各欠除区と同程度に成長量が低下したが、とくに N 倍量区は地下部に比べて地上部の低下がいちじるしかった。

4) 苗木の根、幹、葉、冬芽および苗木全体の N, P, K, Ca および Mg 濃度については次のような結果が得られた。

4—1) 苗木の各部分および全体の各養分濃度の変化は無施肥区の各濃度に対して、N は 10% 以下、P, K および Ca は 10~20%, Mg は 15~25% 前後の相違を示したにすぎなかった。

4—2) 施肥との関係については、N ないし P_2O_5 施肥量の増大にともなって、N ないし P 濃度がそれぞれわずかに増大した以外は、養分濃度と施肥との間に関連性は見られなかった。

4—3) 苗木の各部分の養分濃度および養分比については、苗木の各部分ごとに明りょうな相違を示し、それぞれ特徴が見られた。

5) 苗木の各部分および全体の養分含有量については、多くの場合欠除→半量→標準量区の順に増大を示し、倍量区では減少を示した。この点は養分濃度の相違よりも成長量の相違の方が養分含有量に対して大きな影響をおよぼしていたことが認められた。

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、ならびに分析および測定に協力していただいた河田明子さんに心からの感謝をささげる次第である。

文 献

- 1) 原田 洸：苗木の成長と養分吸収に及ぼす土壤中の養分状態の影響（第2報），カラマツまきつけ苗の成長と養分吸収に及ぼす土壤中の窒素とリン酸の interaction effects について，林試研報，108，pp. 83~113，(1958)
- 2) 池田長生：日化誌，72，pp. 23~26，(1951)
- 3) 河田 弘：(KAWADA, H.): TIURIN 法による土壤有機炭素の定量の検討およびその改良法について，林野土調報 (Forest soils of Japan)，8，pp. 67~80，(1957)
- 4) 同 上 (Ibid)：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)
- 5) 宮崎 紳：苗木育成法，(1957)，高陽書院
- 6) 守屋重政：林試研報，22，pp. 71~85，(1922)
- 7) 中塚友一郎：日林誌，34，pp. 326~327，(1952)
- 8) 同 上：同上，34，pp. 362~365，(1952)
- 9) PEECH, M.: U.S. Dept. Agr. Circular, No. 757, (1947) [船曳真吾・青峯重範：“土壤実験法” (1953)，養賢堂より引用]

- 10) PIPER, C.S. : Soil and plant analysis, New York, (1950)
- 11) 芝本武夫: スギ, ヒノキ, アカマツの栄養ならびに森林土壌の肥沃度に関する研究, 林野庁, (1952)
- 12) 同 上: 肥料, 育苗叢書, 全苗タイムス社, (1953)
- 13) 柴田信男: 京大演報, 29 pp.186~206, (1960)
- 14) SNELL, F.D. and C.T. SNELL: Colorimetric method of analysis, II., (New York), (1961)
- 15) 津田重政: 林試研報, 7, pp.87~92, (1909)
- 16) 塘 隆男: (TSUTSUMI, T.): わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究, 同上 (Bull. Fore. Exp. Stat.), 137, pp.1~158, (1962)

Effects of Nitrogen, Phosphorous and Potassium Supplies on Growth and Nutrient Compositions of 1-1 *Pinus densiflora* Seedling

Hiroshi KAWADA

(Résumé)

The previous works on nutrient physiology of the pine (*P. densiflora*) seedling and its nursery practices are less numerous than those on some other important coniferous seedlings, as the pine forests have usually developed by natural regeneration in this country. In the Kansai Area, however, where the pine forests were distributed widely and formed important parts of its forest land, the plantation of its seedling for afforestation was fairly extensively practiced. Furthermore, according to the gradual spread of fertilization on the young forests, the generally less fertilization effects on the pine forests than that of the other important conifers has come in for more attention among foresters in recent times.

This being so, the author arranged to carry out an investigation upon the effects of nitrogen, phosphorous and potassium supplies on the growth and the nutrient compositions of 1-1 (two-year-old) *P. densiflora* seedlings, expecting that it would be useful for throwing light upon their detailed nutrient physiology, improvement of nursery fertilizer practices and the fertilization on young forests.

1. Experimental method

The nursery bed, transposed with loamy alluvial soil originated from granite, in the Kansai Branch of this Experiment Station, in Kyoto, was employed for this experiment. The chemical properties and texture of its Ap horizon are shown in Table 2. The fertilization design employed is shown in Table 1. The 49 1—0 (one-year-old) seedlings were transplanted in the middle of March, 1964, in every plot, 1×1 m. Their growth (average of 100 seedlings) was as follows: 10.1 cm in height, 1.9 mm in basal diameter, 0.77 g in top weight and 0.58 g in root weight.

The author estimated that the most favorable N: P₂O₅: K₂O supply ratio would be 100: 75: 65. It was based upon the data on nutrient concentrations of 1-1 *P. densiflora* seedling in the late autumn obtained by the author previously⁴⁾ and the assumption that the availabilities of N, P₂O₅ and K₂O fertilizers by the seedling were 50%, 20% and 50% respectively. N₁, P₁ and K₁ were the standard N, P₂O₅ and K₂O supplies, respectively. N: P₂O₅: K₂O ratio of N₁P₁K₁ was

100:75:68. With the combinations of none (N_0 , P_0 , K_0), half ($N_{\frac{1}{2}}$, $P_{\frac{1}{2}}$, $K_{\frac{1}{2}}$), standard (N_1 , P_1 , K_1) and twofold (N_2 , P_2 , K_2) of N, P_2O_5 and K_2O supplies, the 11 fertilizer treatments, shown in Table 1, were tested. Every fertilizer treatment was repeated three times with the randomized blocks.

The sample seedlings were removed from the nursery bed in the middle of December. Excluding the extreme outside seedlings, the residual 25 seedlings in every plot were measured and analysed.

The analytical method of the nutrient contents of the sample seedlings were as follows: Carbon was determined by chromic titration method⁹⁾, and nitrogen by Kjeldahl's method. After wet ashing by $HClO_4$ - HNO_3 - H_2SO_4 mixture¹⁰⁾, potassium was determined by flame photometer, phosphorous by molybden blue method, colorimetrically, and calcium and magnesium by EDTA method, removing manganese by ammoniumsulfide.

The needles analysed were one-year-old, as those of the two-year-old had fallen in the beginning of November.

2. The result and discussion

2-1. The effects of the fertilizer treatments upon the growth and qualities of sample seedlings.

2-1-1. Result.

The growth and qualities of the sample seedlings are shown in Table 3. The results of the analyses of variances on their height, basal diameter, top and root weights, T/R (top weight/root weight), H/D (height/diameter) and H/T (height/top weight) ratios are shown in Table 4. The differences among the blocks were insignificant in every case, whereas the one among the fertilizer treated were significant in 1 % level except the H/D ratio. The significance of the growth and quality differences among the fertilizer treatments are shown in Table 5.

2-1-2. Effects of the differences of nitrogen, phosphorous and potassium supplies upon the growth and qualities of the sample seedlings.

The rates of growth and qualities of sample seedling in response to the fertilizer treatments, and percentage on unfertilized plot basis, are shown in Table 6.

In response to the differences of the fertilizer treatment, the following facts were observed.

1) P_1K_1 -series (The P_2O_5 and K_2O supplies were standard and the N supply was variable).

The growth and qualities of $N_0P_1K_1$ were not significantly different from those of $N_0P_0K_0$.

Comparing $N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$ with $N_0P_1K_1$, the increments of height, basal diameter, top and root weights were observed. The decrease of the H/T ratio showed that the rates of the branch and needle developments to the height were excellent. The increments of the T/R ratio showed that the development of the top was superior to those of the root.

The increments of the root weight and basal diameter and the decrease of T/R ratio of $N_1P_1K_1$ in comparison with those of $N_{\frac{1}{2}}P_1K_1$ showed the stimulation of the root development induced by the increment of N supply from $N_{\frac{1}{2}}$ to N_1 . However, it was not effective on the top development, as shown by the no significant differences of the height, top weight and H/T ratio. The growth and qualities of $N_1P_1K_1$ were most excellent among those of all fertilizer treatments. Height, basal diameter, top and root weights were most superior, and the H/T ratio was least among them. The T/R ratio was near the average of them.

The increments of N supply from N_1 to N_2 degraded the growth and qualities. These were

clearly shown by the decreases of the height, basal diameter, top and root weights and the increment of the H/T ratio. In $N_2P_1K_1$, the degradation of the top development was more vigorous than that of the root as shown by the decrease of T/R ratio. Comparing $N_2P_1K_1$ with $N_0P_0K_0$, the growth showed no significant differences, but the increment of H/T ratio and decrease of T/R ratio were observed.

2) N_1K_1 -series (The N and K_2O supplies were standard and P_2O_5 supply was variable).

Comparing $N_1P_0K_1$ with $N_0P_0K_0$, the increments of the basal diameter, top weight and T/R ratio and the decrease of H/T ratio were observed. The differences of the height and root weight were not significant.

The increments of height, basal diameter, top and root weights in $N_1P_1K_1$ as compared with those of $N_1P_0K_1$ were observed, whereas the difference of H/T and T/R ratios were not significant.

The increments of P_2O_5 supply from $P_1\frac{1}{2}$ to P_1 stimulated the root development as shown by the increment of the root weight and the decrease of T/R ratio, but did not affect the top development.

Comparing $N_1P_2K_1$ with $N_1P_1K_1$, growth was degraded as shown by the decreases of height, basal diameter, top and root weights and H/T ratio.

Except the root weight and H/T ratio that showed no significant differences, the height, basal diameter, top weight and T/R ratio were increased in $N_1P_2K_1$ over those of $N_0P_0K_0$.

3) N_1P_1 -series (N and P_2O_5 supplies were standard and K_2O supply was variable).

Comparing $N_1P_1K_0$ with $N_0P_0K_0$, the increments of height, basal diameter, top and root weights were observed, whereas the H/T and T/R ratios showed no significant differences.

The increments of K_2O supply from $K_1\frac{1}{2}$ to K_1 induced no significant differences on the growth and qualities.

However, the basal diameter, top and root weights were increased, and the H/T ratio was decreased in $N_1P_1K_1$ as against those of $N_1P_1K_1\frac{1}{2}$; on the other hand the height and T/R ratio were not significantly different.

Comparing $N_1P_1K_2$ with $N_1P_1K_1$, the decreases of the height, basal diameter, top and root weights, and the increment of H/T ratio were observed. Except the root weight that showed no significant difference, the increments of height, basal diameter, top weight and T/R ratio, and the decrease of H/T ratio were observed in $N_1P_1K_2$ as compared with those of $N_0P_0K_0$.

2—1—3. Discussion

Summarizing the above-mentioned data, it is very important for the advancement of nursery practices and in the study of nutrient physiology to note that the effects of fertilizer treatments on the growth and qualities of *P. densiflora* seedlings were different and characteristic in response to their amounts and ratios. The most excellent growth and qualities of the sample seedlings were observed in $N_1P_1K_1$. The increments and decreases of N, P_2O_5 or K_2O supply from standard levels degraded the growth and qualities of the seedling. Their changes in response to the decreases of the fertilizer supplies from standard to deficient levels showed fairly similar tendencies in P_1K_1 - and N_1K_1 -series.

The degradation of the root development was observed in $N_1\frac{1}{2}$ or $P_1\frac{1}{2}$ levels and more progressive in N_0 or P_0 levels. On the other hand, the degradation of the top development was observed only in N_0 or P_0 levels, and not in $N_1\frac{1}{2}$ or $P_1\frac{1}{2}$ levels.

The effects of the decrease of K_2O supply were somewhat different with N and P_2O_5 supplies.

The degradations of both top and root developments were remarkable in $K_{\frac{1}{2}}$ level and equal with K_0 level.

The increments of N, P_2O_5 or K_2O supplies to N_2 , P_2 or K_2 levels from their standard induced the degradations of growth similar to those of N_0 , P_0 or K_0 levels, respectively. Especially, that the degradation of the qualities in $N_2P_1K_1$ as compared with those of $N_0P_0K_0$, induced the more intense degradation of the top development than that of the root, would be noteworthy.

The opinion that the changes of the growth of *P. densiflora* seedling in response to the fertilizer supplies were least among the important Japanese coniferous seedlings was suggested by some authors and generalized. In this study, the ranges of the growth indexes were as follows: 100~120 in height and basal diameter, 90~149 in top weight, 100~142 in root weight and 95~147 in whole seedling weight. These values were akin to the results of the previous works of the fertilizer test of *P. densiflora* seedling.

Comparing with the results of the fertilizer test on other important Japanese coniferous seedlings, especially sugi (*Cryptomeria japonica*), by other authors, the following opinion would be suggested that the ranges of the optimum fertilizer supplies and their ratios on the *P. densiflora* seedling were limited within a remarkably narrow range.

2—2. The effects of the fertilizer treatment on the nutrient concentrations of the parts and whole seedling.

2—2—1. Result.

The nutrient concentrations of the parts and whole seedling are shown in Table 7, and their rates, percentage on unfertilized plot basis, are shown in Table 8.

1) N concentration.

The changes of N concentration among all the fertilizer treatments, shown by the unfertilized plot basis, were only 10% or less, and their ranges were as follows: 91~102 in root, 97~106 in stem, 93~103 in needle, 91~100 in bud and 94~102 in whole seedling.

In P_1K_1 series, the N concentrations of the parts and whole seedling were less in $N_0P_1K_1$ than in $N_0P_0K_0$. They increased gradually in the following order as $N_0 \rightarrow N_{\frac{1}{2}} \rightarrow N_1 \rightarrow N_2$ except that of stem in response to the increments of N supply with a few exceptions that showed no differences. The slight decrease of N concentration of $N_{\frac{1}{2}}$ as against that of N_0 in the stem was the only exception.

In N_1K_1 and N_1P_1 series, no clear correlation was observed between the N concentrations and the changes of P_2O_5 or K_2O supplies.

2) P concentration.

The changes of P concentration among all the fertilizer treatments, as against the unfertilized plot basis, were 10~20% and their ranges were as follows: 86~105 in root, 88~100 in stem, 90~100 in needle, 83~100 in bud and 90~100 in whole seedling.

In N_1K_1 series, the P concentrations of the parts and whole seedling were less in $N_1P_0K_1$ than those of $N_0P_0K_0$.

They increased gradually in the following order as $P_0 \rightarrow P_{\frac{1}{2}} \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$ except that of stem in response to the increments of P_2O_5 supply with a few exceptions that showed no difference. Just the same P concentrations of the stem from P_0 to P_2 were the only exception.

In P_1K_1 and N_1P_1 series no clear correlation was observed generally between the P concentration and the changes of N or K_2O supplies.

3) K concentration.

The changes of K concentration among all the fertilizer treatments, shown by the unfertilizer plot basis, were 12~20% and their ranges were as follows: 96~110 in root, 91~105 in stem, 100~120 in needle, 86~100 in bud and 99~111 in whole seedling.

In N_1P_1 series, the K concentrations of the part and whole seedling showed no correlation with the changes of K_2O supply except that of bud which increased in the order from K_0 to K_2 .

In P_1K_1 and N_1P_1 series, generally no clear correlation was observed between the K concentration and the changes of N or P_2O_5 supplies.

It is worthy of note that the correlation between the nutrient concentration and the changes of its supply was less in K than in N and P.

4) Ca concentration.

The changes of Ca concentration of the parts and whole seedling among all the fertilizer treatments, shown by the unfertilized plot basis, were 15~20%, except the bud that was only 5%. Their ranges were as follows: 86~105 in root, 91~112 in stem, 100~113 in needle, 100~105 in bud and 100~114 in whole seedling.

In this experiment, no Ca fertilizer was employed. However, Ca superphosphate and fused Mg-phosphate contain a fair amount of Ca, and the Ca amount supplied to the seedling was changed in response to the changes of P_2O_5 supply. The Ca concentrations were increased in the above-mentioned order only in the root and whole seedling of N_1K_1 series.

5) Mg concentration.

The changes of Mg concentration among all the fertilizer treatments, shown by the unfertilized plot basis, were 16~30% except the needle that was only 7%. Their ranges were as follows: 100~130 in root, 100~120 in stem, 93~100 in needle, 79~100 in bud and 100~116 in whole seedling.

Fused Mg-phosphate supplied to the seedling as the P_2O_5 fertilizer contains a fair amount of Mg, and the Mg amount supplied was changed in response to the changes of P_2O_5 supply. The Mg concentrations showed no clear correlation generally with the fertilizer treatments.

2—3. The characteristics of the nutrient concentrations and their ratios of the parts of the seedling.

The ranges of the nutrient concentrations (min.—max.) and their ratios (min.—max.) of the parts and whole seedling are shown in Table 9 and 10.

Considering the differences of the nutrient concentrations induced by the fertilizer treatments, the differences of the nutrient concentrations and their ratios among the parts and whole seedling were characteristic.

The N concentration was decreased in the following order as bud → needle → root and stem. That of the bud, highest among them, was about twice as much as that of root and stem.

The P concentration was highest in bud and it decreased in the following order as bud → root → needle → stem. The differences among the latter three parts were very slight. That of the bud was remarkably high and reached to over twice that of stem.

The K concentrations of the root, needle and bud were of similar level and showed no clear differences; that of the stem was lower than theirs.

The Ca concentration was highest in needle and decreased in the following order as needle → bud → stem → root. That of the root was only about half of that of the needle.

The Mg concentration was slightly increased in bud than in root and stem. The differences among them were not remarkable, whereas that of the needle was clearly decreased.

The parts of the seedling were characterised as follows on the nutrient concentrations and their ratios:

In the root, its N and Ca concentrations were remarkably low. The ratios of its P, K and Mg concentrations to that of N were high and its N/K and Ca/Mg ratios were lowest among the parts of seedling.

The N, P and K concentrations of the stem were low. Its rates of Ca and Mg concentrations to that of N were high and its N/Ca ratio was lowest among the parts of seedling.

The high N and Ca concentrations and the low Mg concentrations were characteristic of the needle. Its ratio of P, K and Mg concentrations to that of N were high and that of Mg to that of N was low. Its N/P and Ca/Mg ratios were highest among the parts of seedling and its N/K ratio was fairly high.

The remarkably high N and P concentrations of the bud were noticeable. Its ratios of K, Ca and Mg concentrations to that of N was low. Its K/P ratio was remarkably low and its N/K and N/Ca ratios were high.

On the correlations between the nutrient ratios of the parts and whole seedling and the fertilizer treatments, a part of the nutrient ratios showed a gradual change in response to that of the fertilizer treatment; nevertheless, no clear correlation was generally observed.

The above-mentioned results suggested that the ratios of the absorbed nutrients by the *P. densiflora* seedling were fairly analogous, whereas the amounts and ratios of the nutrient supplies were remarkably different.

2—4. The effects of the fertilizer treatment on the nutrient uptakes of the parts and whole seedling.

The nutrient uptakes of the parts and whole seedling are shown in Table 11 and their ratios, percentage on unfertilized plot basis, in Table 12.

Comparing every series, they increased generally in the following order as deficient (N_0 , P_0 , K_0) \rightarrow half ($N_{\frac{1}{2}}$, $P_{\frac{1}{2}}$, $K_{\frac{1}{2}}$) \rightarrow standard (N_1 , P_1 , K_1) supply of the nutrients. Their maxima were generally observed in the standard nutrient supply, $N_1P_1K_1$. They remarkably decreased in twice (N_2 , P_2 , K_2) supply as compared with the standard in all series.

These facts can be explained as follows; the changes of the dry matter in response to the fertilizer treatments, shown in Table 13, were more effective upon the nutrient uptakes than on the nutrient concentrations. However, the following exceptions were observed, namely, the roots and stems between K_0 and $K_{\frac{1}{2}}$ in N_1P_1 series, the needles of $N_{\frac{1}{2}}$ and N_1 in P_1K_1 series and the stems of $P_{\frac{1}{2}}$ and P_1 in N_1K_1 series. In these cases, the differences of the nutrient concentrations were more effectable than those of the dry matter, the latter being very slight.

These exceptions were less in N and P uptakes than that of K, Ca and, especially Mg.

2—5. Nutrient distributions among the parts of the seedling.

To make clear the rates of the nutrient distribution among the parts of the seedling, the rates of the nutrient uptakes of them, shown by that of the whole seedling basis, were calculated. Summarizing them, the ranges, min.-max., were shown in Table 14.

These data showed that the changes of the nutrient supplies and their ratios slightly affected the nutrient distributions.

2—6. Review of previous works.

The previous data on the nutrient concentrations and their ratios of 1—1 *P. densiflora* seedling were summarized in Table 15 for future references.

The data obtained in this work, shown in Table 10 and 11, were fairly similar only to that by Tsutsumi¹⁶⁾ and by the author previously⁴⁾.

Remarkable differences were recognized among the previous data. Their sampling periods were different from October to March in the next year. The seasonal variations of the nutrient concentration, the effects of the weather condition of the year of test and the localities, the soil conditions, the fertilizer treatments and their interactions were thought to be the causes of these differences. However, the seasonal changes of the nutrient concentrations from October to March in the next year were fairly little as the author pointed out previously⁴⁾, whereas the increments of N and P concentrations and the decrease of K concentration were observed. The effects of the fertilizer treatments would be negative upon these remarkable differences as shown in this work. That of the soil conditions would be negative, too, as the data obtained in this work were similar to that of the author's previous one⁴⁾ on the volcanic black soil. Only on K concentration, the following facts were generally recognized that the one in the pre-Second World War, analysed by the gravimetric method, were remarkably lower than that carried out in recent times by the flame photometer. On other elements the causes of these differences were unknown.

At the end of this study, the author was of the opinion that still more studies would be required for the elucidation of these problems.

Acknowledgement

The author wishes to express his gratitude to Mr. T. TOKUMOTO, pre-Director of Kansai Branch, Mr. N. EBATA, Director of this Branch, and Mr. K. MATSUSHITA, Chief of Silviculture Division, for their encouragements, and Mrs. A. KAWADA for her cooperation in carrying out the analytical work.