

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1報）

スギ・カラマツ苗の成長と養分組成に及ぼす 土壤中の燐酸含量の影響

原 田 洸⁽¹⁾

1. ま え が き

苗木生育の母体となる苗畑の土壤は、毎年耕耘、施肥等の操作が加わり、そのため土壤中の養分の有効度や含有率は、たえず大きな変動をする。土壤中の養分状態が変化すれば、とうぜん苗木の養分吸収は変化してくる。したがって、苗木の栄養状態を正常に保つような合理的施肥法を確立するためには、異なる土壤養分のもとで、苗木の養分吸収の状態をしらべなければならない。

筆者は、土壤中の養分状態が苗木の生育、養分吸収、利用に及ぼす影響を養分の interaction の立場から研究中有であるが、その手はじめとして燐酸欠乏の土壤に種々の量の過燐酸石灰を施して、土壤中の燐酸含有状態を変化させた培地で、苗木の成長や養分の含有状態がどのように変わってくるかをしらべた。

この試験は、最初別の目的^{*}のために設計されたものであるので、以上の目的をしらべる最良の設計ではないが、試験の結果二、三の傾向を知ることができたので報告する。

この研究を行うにあたり終始指導助言を賜わった土壤調査部長宮崎榊博士、土壤肥料科長橋本与良技官、土壤肥料研究室長塘隆夫技官、加里分析を担当して下さった土壤分析室下田禰代子技官、供試土壤の採取に協力して下さった岡山営林署大滝勇技官に厚く御礼申しあげる。

2. 試 験 方 法

2.1 試験設計

岡山営林署小本宮苗畑の燐酸に欠乏している土壤（第1表参照）を内径 30 cm、高さ 22 cm の素焼製鉢に 7.5 kg あてつめ、消石灰 15 g、硫酸 5 g、硫酸加里 3 g をそれぞれ施用した。消石灰を与えたことにより各鉢の土壤の pH (H₂O) は 6.0~6.4 となった。

第 1 表 供試土壤（小本宮苗畑土壤）の性質
Table 1. Chemical properties of the soil (Kohongu nursery soil)

pH (H ₂ O)	C %	N %	0.2 N HCl sol.		Exchangeable K m. e.	Phosphorus absorption coefficient	Soil phosphorus index determined by YANAGIDA's rapid soil test
			P ppm	Ca %			
5.6	4.16	0.67	28	0.08	1.20	1100	2

^{*} 塘 隆男・原田 洸：土壤養分の迅速簡易定量法の育苗への応用 (1) 燐酸の検定結果と苗の成長との関係 林試報 103号 (1957) p. 117~120.

(1) 土壤調査部土壤肥料科土壤肥料研究室員

第2表 過磷酸石灰の施用量
Table 2. Experimental design of soil phosphorus level for this study

Soil phosphorus level	Soil weight in pot (kg)	Super phosphate added gram in pot	Soil phosphorus content
P ₀	7.5	0	Very low
P ₁	7.5	3	
P ₂	7.5	6	Low
P ₃	7.5	10	
P ₄	7.5	15	Adequate
P ₅	7.5	20	
			High

過磷酸石灰は第2表のように6段階にわけて施し、便宜上 P₀~P₅ と呼称した。各区とも2回くり返しとした。使用樹種はスギ・カラマツのまきつけ苗(1-0 苗)および床替苗(1-1 苗)である。

2.2 試験方法

この試験は1956年林業試験場目黒苗畑の屋外で行ったものであり、素焼鉢はそれぞれ所定の施肥をした土をつめた後、土中に埋め、4月5日にまきつけおよび植付けを行った。

まきつけは1鉢当りスギ 1g カラマツ 1g あてに行い、植付けはスギ・カラマツとも1鉢3本植えとした。植付け時の苗高はスギは9.5~11.0 cm、カラマツは10.0~12.0 cm であつた。

カラマツ床替苗の新芽は4月中旬に開舒し、タネの発芽はスギ・カラマツともに大部分が4月25日~5月2日の間に行われた。まきつけ苗は適宜間引を行った。その後、生育経過特に処理の違いによる葉色の変化を注意してかんさつした。9月初旬、カラマツの床替苗はいずれの処理区も葉色が黄化しはじめ、窒素欠乏の症状と考えられたので、各鉢に1鉢当り 1g の硫酸を追肥した。

11月9日に掘り取り、苗高・生重量を測定し、乾燥後乾燥重量を測定し、粉碎して分析に供した。掘り取り時におけるまきつけ苗の1鉢当りの本数は、スギで43~51本、カラマツで24~30本であつた。

2.3 分析方法

(イ) 土壌の分析

pH(比色法)、炭素、窒素は国有林野土壌調査方法書にしたがつて測定した。

磷酸は0.2N 塩酸で浸出し、珪酸分離した液をモリブデン酸アンモンと塩化第一錫で発色させ、ルメトロン光電光度計を使つて filter 650 で透過率を測定して求めた。

石灰は同じく0.2N 塩酸浸出、珪酸分離の液に蓆酸石灰の沈澱を作り、過マンガン酸カリで滴定して求めた。

加里は1Nの醋酸アンモン(pH 7.0)で浸出し、珪酸分離した後、塩化リチウムを加えてパーキン・エルマー燐光光度計(波長 768 mμ)で測定した。

磷酸吸収力は磷酸ソーダを用い常法にしたがつて行つた。

(ロ) 植物体の分析

窒素はケルダール法で分析した。

磷酸は試料を硝酸と過塩素酸で湿式灰化した後、モリブデン酸アンモンおよび塩化第一錫で発色させ、ルメトロン光電光度計の filter 650 を用いて透過率を測定して求めた。

加里は硝酸と過塩素酸で湿式灰化した後、リチウムを加えてパーキン・エルマー燐光光度計(波長 768 mμ)で測定した。

石灰は硝酸と過塩素酸で湿式灰化した後、碳酸石灰の沈澱を作り、過マンガン酸カリで滴定して求めた。

3. 試験結果と考察

3.1 葉色のかんさつ

P₀区のスギは、まきつけ苗・床替苗ともに6月10日前後から下部の葉がやや黒ずんだ緑色を呈し、カラマツは、まきつけ苗・床替苗ともにやはり6月10日前後から下部の葉がやや帯紫色を呈し、あまり明りようではなかつたが、いわゆる磷酸欠乏の症状⁹⁾を示した。

6月下旬から両樹種ともP₀区の成長がやや劣つてきたように見られたが、葉色はそれ以上明りような違いを示さず、7月中旬以降はこれらの色調もうすれて、葉色の上から他の区との差を見出すことはできなかつた。P₁~P₃区では、両樹種とも全生育期間を通じて葉色に特別な変化を認めることができなかった。

9月初旬、カラマツ床替苗は、いずれの処理区も葉色が黄化しはじめ、窒素欠乏の症状のように感ぜられたので、1鉢当たり1gの硫酸を追肥してまもなく回復した。

供試土壌が磷酸に欠乏した土壌であつたにもかかわらず、いわゆる磷酸欠乏の症状があまり明りようにあらわれなかつた一つの原因として、窒素の形態と量の問題が考えられるであろう。窒素の形態については、たとえば高橋ら(1955)¹²⁾は、タバコの砂耕試験で磷酸欠乏はNO₃-Nを与えたときには明りようであつたが、NH₄-Nのときにはあらわれないことを報告している。また、窒素の量との関係では、SHRIKHANDE(1954)¹¹⁾やFINN(1955)⁹⁾らは、窒素の施用量を増加させると植物の磷酸の吸収利用が増加すると報告しており、これを植物の立場からみれば、窒素の施用量が増加すると、植物はそれに伴つてより多くの磷酸を要求することになる。そこで、磷酸の欠乏または不足しがちな土壌に窒素を多量に施用すると、そこに生育する植物は窒素を少量施用したときより明りような磷酸欠乏の症状を示す可能性があるとも考えられるだろう。この実験で、磷酸欠乏の症状があまり明りようでなかつた原因は、以上の考え方を考慮して、今後さらに研究されるべき問題であろう。

3.2 成長

スギ・カラマツのまきつけ苗・床替苗ともに6月中旬ごろまでは、処理間の差はなく良好に成長していたが、6月下旬から7月上旬にかけて処理による成長差があらわれはじめ、11月9日に掘り取り調査をしたときは、第3表のようになっていた。

一般に磷酸欠乏の土壌に生育する植物は、磷酸施用量の増加に伴い成長が増大することは当然であるが、一方施与した窒素の形態により、磷酸の施用量増加に伴う成長反応は異なるようであり、高橋ら(1955)¹²⁾のタバコの砂耕試験の結果をみると、窒素がNO₃-Nで与えられているときは磷酸の供給増加で成長が増大するが、NH₄-Nのときは不規則である。

また磷酸の施用量が適量をこえて、過剰の状態になつた場合は、根の重量が減じたり⁵⁾、枝の重量が減じたり¹⁾、成長が劣つたり²⁾することが報告されている。Citrusでは、磷酸の過剰で成長が劣るのは、銅や亜鉛が欠乏するからではないかと考えられている²⁾。

筆者の今回の実験では、苗長と生重量の両者を総合して比較考察してみると、スギのまきつけ苗ではP₄区、床替苗ではP₃区で最高の成長を示した。スギまきつけ苗のP₃区の苗長、根部重量がP₄区のものよりやや減じ、スギ床替苗ではP₄、P₅区の苗長、地上部重量、根部重量がP₃区のものよりやや減

第 3 表 苗長と生重量
Table 3. Top length and fresh weight of the seedlings

Phosphorus level	Sugi							
	Top length (cm)	1-0 seedling			Top length (cm)	1-1 seedling		
		Fresh weight (g)				Fresh weight (g)		
		Top	Root	Total seedling		Top	Root	Total seedling
P ₀	7	0.9	0.6	1.5	20	19.0	15.7	34.7
P ₁	8	1.1	0.9	2.0	20	19.3	14.9	34.2
P ₂	8	1.2	1.0	2.2	23	25.0	14.5	39.5
P ₃	9	1.3	0.9	2.2	25	30.7	18.9	49.6
P ₄	9	1.4	1.0	2.4	24	20.7	13.9	34.6
P ₅	8	1.4	0.9	2.3	24	27.3	18.7	46.0

第 4 表 苗の乾燥重量
Table 4. Dry weight of the seedlings grown in

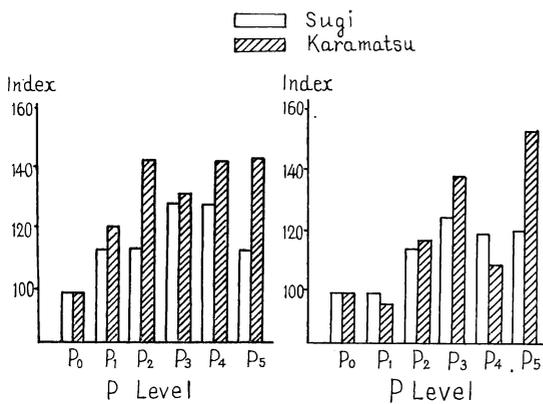
Phosphorus level	Sugi					
	1-0 seedling			1-1 seedling		
	Top	Root	Total seedling	Top	Root	Total seedling
P ₀	0.3	0.1	0.4	6.7	4.3	11.0
P ₁	0.3	0.2	0.5	7.0	3.7	10.7
P ₂	0.3	0.2	0.5	8.0	4.3	12.3
P ₃	0.4	0.2	0.6	9.3	5.0	14.3
P ₄	0.4	0.2	0.6	7.0	3.7	10.7
P ₅	0.4	0.2	0.6	8.0	5.0	13.0

じているが、この結果から直ちに P₄, P₅ 区がスギにとって磷酸過剰の状態であると考えてよいものか、あるいは実験誤差によるものかは、さらに試験を繰り返した後検討したいと考える。

カラマツのまきつけ苗では P₃ 区の苗長、P₄ 区の地上部重量、床替苗では P₄ 区の苗長、地上部重量が減じて逆の傾向を示しているが、いずれの場合も P₅ 区で最高の生育を示しているところから、これは

実験操作上の誤差が影響したものと考えられる。

P₀ 区の成長を 100 として、各区の成長増加指数を図示すると、第 1 図および第 2 図のようになる。この図からみると、二、三の例外を除いては、土壌の磷酸含量の増加に伴う成長増加を認めることができる。また、樹種間の比較をしてみると、一般的にカラマツはスギより土壌の磷酸含量の増加に伴う成長増加の割合が大である。すなわち、カラマツはスギより磷酸に対する要求度が強い樹種であると考えられる。なお、それぞれの乾燥重量は第 4 表のようになる。



(a) 1-0 seedling (b) 1-1 seedling

第 1 図 苗長指数 (P₀ 区の苗長を 100 とした場合)
Fig. 1 Top length index of the seedlings grown in each P level soil (per P₀ seedling growth)

(苗木1本当たり)
grown in each P level soil (gram per a seedling)

Karamatsu									
1-0 seedling				1-1 seedling					
Top length (cm)	Fresh weight (g)			Top length (cm)	Fresh weight (g)				
	Top	Root	Total seedling		Stem	Foliage	Total top	Root	Total seedling
9	0.6	0.5	1.1	24	5.3	4.3	9.6	9.0	18.6
11	0.7	0.6	1.3	23	8.0	6.0	14.0	13.3	27.3
13	0.8	0.8	1.6	28	8.0	8.0	16.0	14.7	30.7
12	1.0	0.9	1.9	26	7.7	6.6	14.3	16.3	30.6
13	0.8	0.9	1.7	33	12.0	9.0	21.0	20.3	41.3
13	1.1	1.0	2.1	37	14.7	13.3	28.0	19.0	47.0

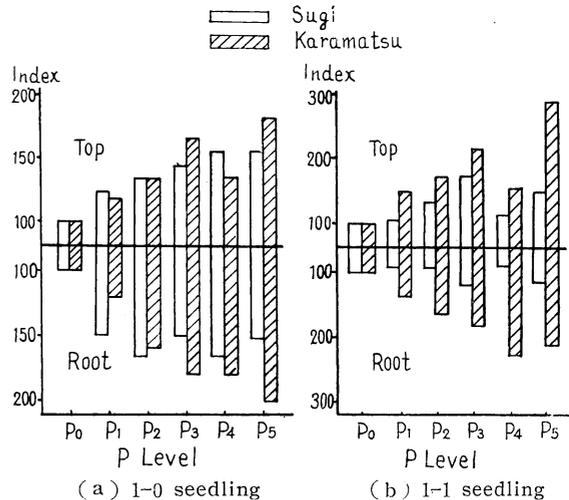
(1本当たり)
each P level soil (gram per a seedling)

Karamatsu							
1-0 seedling			1-1 seedling				
Top	Root	Total seedling	Foliage	Stem	Total top	Root	Total seedling
0.2	0.1	0.3	1.5	2.3	3.8	2.3	6.1
0.2	0.1	0.3	2.0	3.3	5.3	3.5	8.8
0.3	0.2	0.5	2.3	3.5	5.8	3.8	9.6
0.3	0.2	0.5	2.0	3.3	5.3	4.2	9.5
0.3	0.2	0.5	2.7	4.8	7.5	5.3	12.8
0.4	0.2	0.6	3.2	6.0	9.2	5.0	14.2

3.3 磷酸の吸収

各苗木を地上部と根部にわけ、そのおのおのの磷酸含有率を測定した結果は第5表であり、これをグラフにしたのが第3図である。

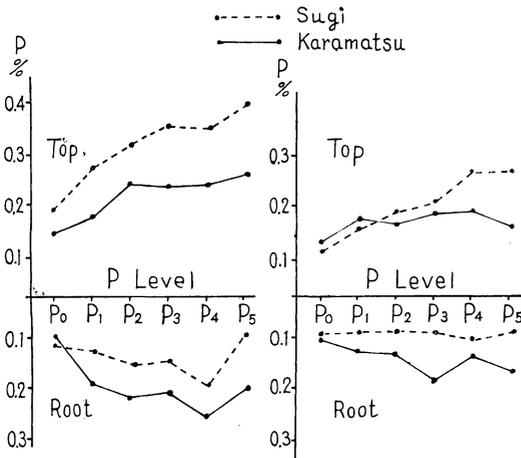
土壤中の磷酸含量の増加に伴う地上部の磷酸含有率の増加は、スギのみつけ苗、床替苗およびカラマツのみつけ苗で明らかに認められた。カラマツ床替苗ではそれほど明りよな傾向を示さなかつたが、しかしいずれの区も P₀区よりは含有率が増加しており、P₅区における含有率がP₁~P₄区より低下している点を除けばほぼ漸増の傾向とみることが出来る。カラマツ床替苗の地上部をさらに葉と幹の部分にわけ、磷酸含有率をしらべてみると、第4図のようになり、結局 P₅区の地上部の磷酸含有率の低下は、幹の部分の含有率が低下したためであることがわかる。



第2図 生重量指数 (P₀区の重量を100とした場合)
Fig. 2 Fresh weight index of the seedlings grown in each P level soil (per P₀ seedling weight)

第5表 苗木の磷酸含有率 (対乾物 P%)
Table 5. Phosphorus concentration of seedlings grown in each P level soil (P% of dry weight)

Species	Age	Portion	P level					
			P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Sugi	1-0	Top	0.19	0.27	0.32	0.35	0.35	0.39
		Root	0.12	0.13	0.15	0.14	0.19	0.10
	1-1	Top	0.11	0.15	0.18	0.20	0.26	0.26
		Root	0.09	0.08	0.08	0.09	0.11	0.09
Karamatsu	1-0	Top	0.14	0.17	0.24	0.23	0.23	0.26
		Root	0.10	0.19	0.22	0.21	0.25	0.20
	1-1	Foliage	0.15	0.17	0.17	0.21	0.18	0.18
		Stem	0.12	0.17	0.16	0.17	0.18	0.14
		Total top	0.13	0.17	0.16	0.18	0.18	0.15
		Root	0.11	0.13	0.14	0.19	0.14	0.17



(a) 1-0 seedling (b) 1-1 seedling

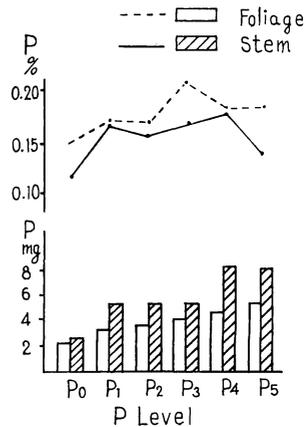
第3図 苗木の磷酸含有率

Fig. 3 Phosphorus concentration of seedlings grown in each P level soil (P% of dry weight)

根部の磷酸含有率 (第3図) はまきつけ苗ではスギ・カラマツともに P₄ 区まで増加したが, P₅ 区で低下した。床替苗ではカラマツでは増加の傾向を示したが, スギではほとんど変化しなかつた。

磷酸含有率を乾物重量に乗じて計算した磷酸の含有量は第5図であり, 土壌中の磷酸含量の増加に伴って, 苗の地上部および根部の磷酸の含有量は増加することがわかる。ただスギの床替苗の根部のみは, それほど明りような傾向を示さなかつた。しかし, 地上部と根部を合計した磷酸の総量 (まきつけ苗では吸収量に相当する) はいずれの場合も明らかに増加した。

FLETCHER (1955)⁴⁾ は eastern red cedar の 10~16 年生の木で, 葉の磷酸含量と土壌中の磷酸量とは関係があると報告しているが, この試験の結果, スギ・カラマツのまきつけ苗および床替苗では, 葉に限らず地上部の磷酸含量も土壌中の磷酸量と関係があることがわかつた。また, 根部の磷酸量もスギ・カラマツまきつけ苗の P₅ 区における低下を除いては, だいたい土壌中の磷酸量と関係があると考えられ,



第4図 カラマツ床替苗の葉と幹の磷酸含有率および含有量

Fig. 4 Phosphorus concentration and content in the foliage and the stem of 1-1 karamatsu seedling grown in each P level soil (P% of dry weight and milligram per a seedling)

また地上部と根部を合計した磷酸の総含量も土壌中の磷酸量と関係あることがわかつた。

磷酸の含有率を樹種別に比較してみると、まきつけ苗、床替苗ともに地上部ではスギの方が高く、根部ではカラマツの方が高くなつており、含有量の上でもこの傾向は同じである。

3.4 窒素,加里および石灰の含有状態

土壌中の磷酸含量の増加に伴い、各苗木の地上部の窒素, 加里, 石灰などの Macro の成分がどのように変つてゆくかを調べた結果は第6表および第6~8

図であり、カラマツ床替苗の地上部を葉と幹にわけて調べた結果は第9図である。

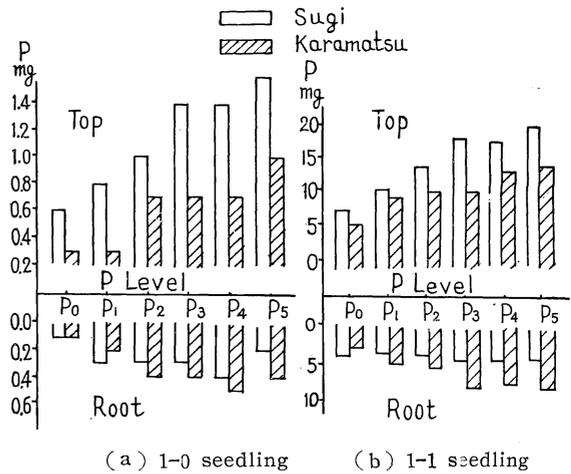
窒素については内田ら (1953)¹⁴⁾ は、カラマツの土耕試験で磷酸施用量を多くしてやると、苗木の全窒素含量が増加すると報告している。しかし、高橋ら (1955)¹²⁾ がタバコで砂耕試験をした結果では、窒素の形態が NO₃-N のときは磷酸施用量の増加で葉の窒素量減じ、NH₄-N のときは明らかな傾向がないと述べている。

第6図によると、土壌中の磷酸含量の増加に伴う苗木中の窒素含有率の変化は、まきつけ苗ではスギ・カラマツともに一定の傾向がなかつた。床替苗ではスギでは P₂ 区で最高の値を示し、P₄ 区でやや低下し

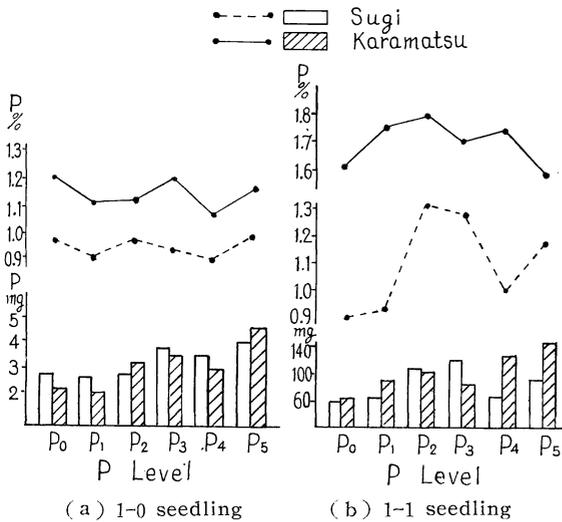
第6表 苗木地上部の窒素, 加里, 石灰の含有率 (対乾物%)

Table 6. Nitrogen, potassium and calcium concentration of the top of seedlings grown in each P level soil (N, K and Ca % of dry weight)

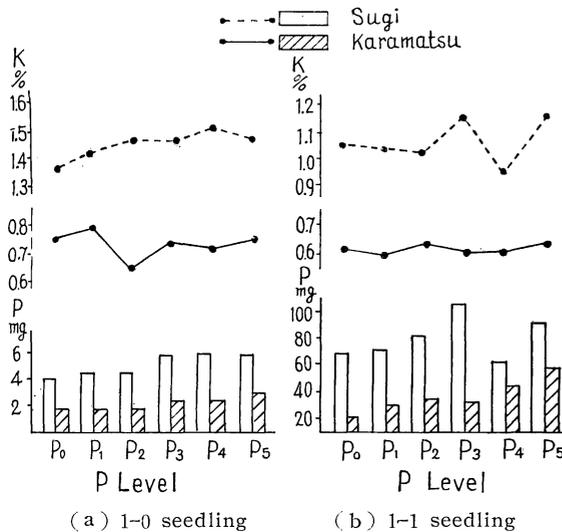
Nutrient	Species	Age	Portion	P level					
				P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
N	Sugi	1-0	Top	0.96	0.91	0.97	0.94	0.90	0.99
			"	0.90	0.93	1.32	1.28	1.00	1.16
	Karamatsu	1-0	Top	1.21	1.11	1.12	1.20	1.06	1.16
			Foliage	2.24	2.20	2.35	2.21	2.48	2.22
		1-1	Stem	1.20	1.47	1.42	1.37	1.32	1.24
			Total top	1.61	1.75	1.79	1.69	1.74	1.58
K	Sugi	1-0	Top	1.36	1.42	1.47	1.47	1.51	1.47
			"	1.06	1.04	1.03	1.17	0.95	1.15
	Karamatsu	1-0	Top	0.75	0.79	0.64	0.74	0.72	0.75
			Foliage	0.81	0.82	0.89	0.89	1.00	1.00
		1-1	Stem	0.49	0.47	0.47	0.44	0.39	0.45
			Total top	0.62	0.60	0.64	0.61	0.61	0.64
Ca	Sugi	1-0	Top	1.15	1.15	1.14	1.08	1.14	1.16
			"	0.83	0.99	0.94	1.05	0.91	0.91
	Karamatsu	1-0	Top	0.41	0.43	0.51	0.47	0.42	0.49
			Foliage	0.58	0.73	0.77	0.76	0.78	0.70
		1-1	Stem	0.30	0.37	0.38	0.42	0.35	0.39
			Total top	0.41	0.51	0.53	0.55	0.51	0.50



第5図 苗木の磷酸含有量 (1本当り mg)
Fig. 5 Phosphorus content of seedlings grown in each P level soil (milligram per a seedling)



第6図 苗木地上部の窒素含有率および含有量 (1本当り)
 Fig. 6 Nitrogen concentration and content of the top of seedlings (N % of oven dry weight and milligram per a seedling)



第7図 苗木地上部の加里含有率および含有量 (1本当り)
 Fig. 7. Potassium concentration and content of the top of seedlings (K % of oven dry weight and milligram per a seedling)

樹種別に窒素含有率を比較してみると、まきつけ苗・床替苗ともにカラマツの方がスギより大であつた。加里については、内田ら (1953)¹⁴⁾ はカラマツで行つた試験で、磷酸施用量の増加に伴い加里は大きな変化をしないと述べ、WEHUNT (1954)¹⁵⁾ は土壤中の石灰・苦土・磷酸の増加はリンゴの葉の加里含量を低下させると述べている。

第7図でみると、土壤中の磷酸含量の増加に伴う加里の含有率の変化は、スギまきつけ苗でやや増加の傾向を示すが、その他ではほとんど一定の傾向が認められなかつた。しかし第9図に示すように、カラマ

ているが P₅ 区でふたたび上昇し、いずれの区においても P₀ 区よりは含有率が大きであつた。カラマツ床替苗では P₂ 区で最高の値を示し、P₄ 区まではいずれも P₀ 区より含有率が大きであつた。しかし、P₅ 区では P₀ 区を下回る程度にまで含有率が低下した。

スギ・カラマツ床替苗の地上部の窒素の含有率は、土壤中の磷酸含量がある程度まで増加するとき、それに伴つて増加し、それ以上に磷酸含量が増加すると、今度は逆に減少する傾向を示すように思われた。この傾向は、第9図のカラマツ床替苗の幹の部分の窒素量で認められる。

窒素の含有量はまきつけ苗では、スギ・カラマツとも土壤の磷酸量の増加に伴い増加の傾向を示しているが、床替苗ではカラマツのみがこの傾向を示し、スギでは P₃ 区までは増加したが、P₄、P₅ 区では P₂、P₃ 区より減少していた。これは第2図に示すような P₄、P₅ 区における成長低下が影響した結果である。

以上は地上部のみの結果であるが、もし土壤中の磷酸含量の増加に伴い、植物体中の窒素の含有量が増加するとすれば、植物の立場からみれば、より多量の窒素を要求する結果であり、磷酸を多量に含む土壌または多量に施肥した土壌では、それに伴つて窒素の施肥量も多くする必要のあるように考えられる。

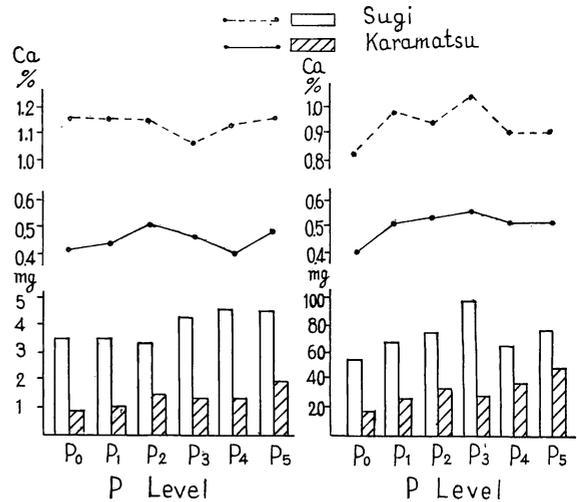
ツ床替苗の地上部を葉と幹にわけて調べてみると、葉の加里含有率は土壤の磷酸含量の増加に伴い増加した。このことはZUER (1957)¹⁶⁾ が綿で実験した結果と同じである。しかし、カラマツの幹では逆に減少する傾向が認められた。

加里含有量は、スギ床替苗のP₄, P₅区を除いては、いずれの場合も土壤磷酸量の増加に伴い増加した。スギ床替苗のP₄, P₅区における含有量の低下は第2図に示すように成長の低下が影響した結果である。

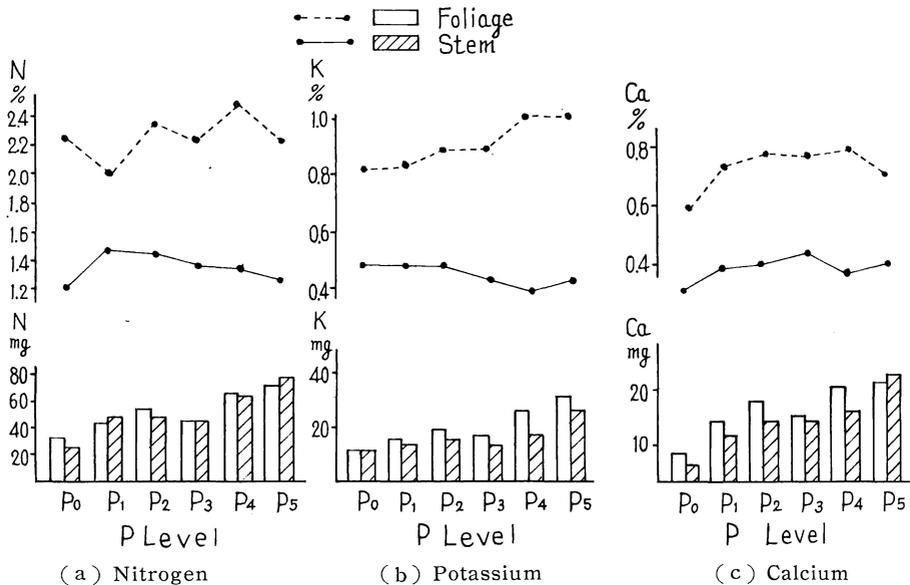
樹種別に加里含有率を比較してみると、まきつけ苗・床替苗ともにスギの方がカラマツより大であり、含有量も同じ傾向である。

石灰については、ZUER ら(1955)¹⁶⁾ は磷酸施肥量を増加させると綿の葉の石灰含有率が增加すると述べている。

第8図でみると、土壤中の磷酸含量の増加に伴う石灰の含有率の変化は、スギまきつけ苗では一定の傾向を認めえなかつたが、カラマツのまきつけ苗ではP₂区で最高の値を示した。スギ・カラマツの床替



(a) 1-0 seedling (b) 1-1 seedling
第8図 苗木地上部の石灰含有率および含有量 (1本当り)
Fig. 8 Calcium concentration and content of the top of seedlings (Ca % of oven dry weight and milligram per a seedling)



(a) Nitrogen (b) Potassium (c) Calcium
第9図 カラマツ床替苗の葉と幹の窒素, 加里, 石灰の含有率および含有量 (1本当り)
Fig. 9 Nitrogen, potassium and calcium concentration and content in the foliage and stem of karamatsu 1-1 seedling
(N, K and Ca % of dry weight and milligram per a seedling)

苗では P₃ 区で最高の値を示し、傾向としては、窒素におけるほど明らかではないが、これに近い傾向を示すように見られた。カラマツ床替苗の地上部を葉と幹にわけて測定した結果（第9図c）をみると、特に葉でこの傾向は明りようである。

石灰含有量の変化は、スギまきつけ苗では明りようでなく、床替苗では P₃ 区までは増加したが、P₄、P₅ 区では P₂、P₃ 区より減じた。これは窒素および加里の場合と同じように、この区における成長の低下が影響した結果と思われる。カラマツの場合はまきつけ苗・床替苗ともに土壌磷酸量の増加に伴い、石灰含有量は増加した。

樹種別に石灰含有率を比較してみると、まきつけ苗・床替苗ともにスギの方がカラマツより大であり、含有量もこれと同じ傾向である。

以上の結果に、REED ら（1923）⁹⁾ が orange の砂耕試験の結果から石灰が欠乏していれば磷酸を多く与えても細根の生成作用は低下すると述べたことや、野本ら（1956）⁶⁾⁷⁾ が石灰に不足している酸性土壌での磷酸の多量施用は、苦土や硼素の欠乏を助長すると報告したことなどを考慮すると、石灰に不足しているときはもちろん、石灰がある程度含まれている土壌でも、磷酸のみの多量施用は多くの危険性をもっているように考えられる。

3.5 総合考察

磷酸欠乏の土壌に過磷酸石灰を種々の量ほどこし、土壌中の磷酸含量を変えて、スギ・カラマツのまきつけ苗および床替苗の成長と、養分含有状態をしらべた。

P₀ 区では、スギ・カラマツともあまり明りようではないが、6月中旬から葉にいわゆる磷酸欠乏の症状があらわれ、6月下旬以降 P₀ 区の成長はやや劣つたように見られた。葉のいわゆる磷酸欠乏の症状は、7月中旬以降はうすれて、葉色の上から他の区との差を見出すことができなかつたが、11月初旬に掘り取り調査を行つた結果、土壌中の磷酸含量の増加に伴う苗長および生重量の増加傾向を認めることができた。すなわち、スギまきつけ苗では P₄ 区、床替苗では P₃ 区で最高の成長を示し、カラマツではまきつけ苗、床替苗ともに P₃ 区で最高の成長を示した。土壌中の磷酸含量の増加に伴う成長増加の割合は、カラマツで大であり、カラマツはスギより磷酸に対する要求度の強い樹種であると考えられることができる。

苗木の磷酸含有率を測定した結果は、二、三の例外を除いては、土壌中の磷酸含有量の増加に伴う苗木の磷酸含有率の増加を認めることができ、磷酸の吸収量も増加した。苗木の磷酸含有率を樹種別にみると、地上部ではスギで大であり、根部ではカラマツで大であり、この傾向は磷酸含有量のうえでも認められた。しかし、地上部と根部の磷酸含有量を合計した数値は、スギの方がカラマツより大であつた。

土壌中の磷酸含量の増加に伴う苗木の他の養分含有率の変化は、大別すると2つの型、すなわち、土壌磷酸の含量が増加するにしたがい含有率が大きく変化する場合と、ほとんど変化しない場合に分けられると考えられる。前者は limiting factor としての磷酸に強く左右される養分であり、後者はそれほど関係しない養分と考えてよいだろう。

筆者の今回の試験では、苗木地上部の養分の含有率の変化は、同一要素であつても、樹種により或いは、まきつけ苗と床替苗の違いにより、同一の傾向を示さなかつたが、スギ・カラマツ床替苗の窒素、スギまきつけ苗の加里、カラマツまきつけ苗、スギ・カラマツ床替苗の石灰の傾向は、前者の傾向とみてよいだろう。カラマツ床替苗の地上部の加里の含有率は、あまり明りような傾向を示さなかつたが、地上部を葉と幹にわけて調べた結果では、葉で明らかに加里含有率が増加し、幹では逆に減少した。石灰の含有

率も葉でより明りような傾向を示した。

養分含有率の変化を成長と結びつけて考察すると、含有率が增加するという事は、養分の吸収作用(または貯蔵作用)が成長を上回っているためであり、含有率が低下するという事は、含有量が低下していないかぎり、吸収作用の低下というより、むしろ成長が吸収または貯蔵作用を上回った結果、養分が体内で dilute された結果と考えるべきであろう。

窒素・石灰の苗木地上部における含有量は、スギ床替苗の P_4 , P_5 区を除いては、土壌中の磷酸含量の増加に伴って増加の傾向を示した。このことは、窒素や石灰等が欠乏または不足しがちな土壌に磷酸を多量に施用することは、磷酸が少量施用された場合にくらべて、苗木がこれら成分をより要求する結果、その不足のために不利な影響を受ける危険性があるものと考えてよいだろう。

以上考察してきた点をさらに精しく調べ、微量元素の問題にまで触れるためには、土壌の磷酸状態を欠乏から過剰の状態にまで巾広く保つて試験する必要がある、また Anion と Cation のバランス¹⁰⁾ や、Antagonic action の考え方も導入する必要があるだろう。

要 約

1. 磷酸欠乏の土壌に種々の量の過磷酸石灰を施し、磷酸含量を6段階($P_0 \sim P_5$)に変化させた培地で、スギ・カラマツのまきつけ苗、床替苗の成長と養分含有状態を調べた。
2. P_0 区ではスギ・カラマツともさほど明りようではなかつたが、6月中旬から葉にいわゆる磷酸欠乏の症状があらわれた。
3. 成長(苗長と生重量)はスギまきつけ苗では P_4 区、床替苗では P_5 区で最高を示し、カラマツではまきつけ苗、床替苗ともに P_5 区で最高を示した。土壌磷酸の増加に伴う成長増加の割合は、カラマツはスギより大であつた。
4. 苗木の磷酸含有率は土壌中の磷酸含量の増加に伴い増加し、含有量も増加した。地上部ではスギはカラマツより含有率高く、根部ではカラマツがスギより高かつた。この傾向は含有量の上でも認められた。しかし、地上部と根部の磷酸量の合計はスギの方が大であつた。
5. 地上部の窒素・加里・石灰の含有率を測定した結果、スギ・カラマツ床替苗の窒素、スギまきつけ苗の加里、スギ床替苗の石灰、カラマツまきつけ苗・床替苗の石灰の含有率は、土壌中の磷酸含量の増加により強く影響された。また窒素・石灰の含有量はスギ床替苗の P_4 , P_5 区以外は、土壌磷酸の増加に伴い増加する傾向を示した。
6. これらの結果を苗木の養分吸収と施肥の立場から考察した。

文 献

- 1) BINGHAM, F. T. and J. P. MARTIN: Effects of phosphorus fertilization on the minor element nutrition of citrus studied with three types of soil series. Calif. Agric. 9 (9), (1955) p. 4~5
- 2) BINGHAM, F. T. and J. P. MARTIN: Effects of soil phosphorus on growth and minor element nutrition of citrus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20 (3), (1956) p. 382~385
- 3) FINN, L. O.: The influence of nitrogen and potassium on the availability of fertilizer phosphorus. S. Dak. Agric. Exp. Sta. Bull. 453, 22, (1955)

- 4) FLETCHER, P. W and J. OCHRYMOWYCH: Mineral nutrition and growth of eastern red cedar in Missouri. Univ. of Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 577, 16, (1955)
- 5) GOEDEWAAGEN, M. A. J: The relative weight of shoot and root of different crops and its agricultural significance in relation to the amount of phosphate added to the soil. Soil Sci. 44, 185, (1937)
- 6) 野本危雄・久保田正夫・久保田了元: 酸性土壌における石灰, 燐酸の施用をめぐる問題 (第1報), 日土肥講, 2, 81, (1956)
- 7) 野本危雄・久保田正夫: 酸性土壌における石灰, 燐酸の施用をめぐる問題 (第3報), 日土肥講, 2, 23, (1956)
- 8) 宮崎 榊: 図説苗木育成法, (1957) pp. 424
- 9) REED, H. S and A. R. C. HAAS: Growth and composition of orange trees in sand and soil cultures. Jour. Agr. Res. 24, (1923) p. 801~814
- 10) SCHARREK, K und J. JUNG: Der Einfluss der Ernährung auf das Verhältnis von Kationen zu Anionen in der Pflanze. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 71, (1955) p. 76~94
- 11) SHRIKHANDE, J. G and J. S. P. YADAN: Effect of nitrogen upon availability of phosphorus. Jour. Indian. Soc. Soil. Sci. 2, (1954), p. 115-120. c. f. Soils and Fertilizers 18, 3, (1955)
- 12) 高橋達郎・吉田大輔: たばこ植物の栄養に及ぼす各種イオンの相互作用について (第2報), 日土肥誌, 26, 4, (1955) P. 11~14
- 13) 高橋達郎・吉田大輔: たばこ植物の栄養に及ぼす各種イオンの相互作用について (第3報), 日土肥誌, 27, 11, (1957) p. 33~37
- 14) 内田丈夫・津田耕治: カラマツに於ける適量試験による燐酸肥料に関する研究, 日林会北海道支部講, 2, (1953) p. 26~28
- 15) WEHUNT, R. L and E. R. PURVIS: Mineral composition of apple leaves in relation to available nutrient content of the soil. Soil. Sci. 77, (1954) p. 215~218
- 16) ZUER, L. A and N. E. Abasheeva: The effect of phosphate fertilizers on the absorption of other mineral nutrients by cotton from long irrigated serozem in the Vakshskaya valley. Soils and Fertilizers. 20, 1, 38, (1957)

Effects of Soil Nutrient Levels on the Growth and Nutrient Uptake by Forest Seedlings (I)
Effects of soil phosphorus levels on the growth and nutrient content of sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) and karamatsu (*Larix Kaempferi* SARG.) seedlings

Hiroshi HARADA

(Résumé)

Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) and Karamatsu (*Larix Kaempferi* SARG.) seedlings were in soil culture at different levels of phosphorus supply. The pots used were of unglazed earthenware, and each of them contained 7.5 kg of soil. Soil for this work was collected from the low phosphorus soil at Kohongu nursery (Table 1).

The amounts of superphosphate added to each experimental pot were as in Table 2. Each pot also received 15 g of slaked lime, 5 g of ammonium sulphate and 3 g of potassium sulphate. The pots were placed outdoors.

The seeds were sown in April, 1956 at about 1 g pre pot (germinated plant is called 1-0 seedling in this study) and the seedlings were planted three per pot (planted plant is called 1-1 seedling in this study).

In the case of the latter, sugi 1-1 seedlings had an initial top length of about 9.5~11.0 cm and karamatsu 1-1 seedlings had 10.0~12.0 cm.

The visual symptoms of the foliage of seedling were observed throughout the growing season. The seedlings were removed from the pots in November, by flushing the roots with tap water. After measuring top length and top and root fresh weights, the seedlings were oven-dried at a temperature of 70°C., weighed, milled, and finally analyzed for their concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium.

1. Visual symptoms.

In mid-June, color differences appeared in the foliages of sugi and karamatsu seedlings (1-0 and 1-1 seedlings) grown in P₀ level soil and the other P level soils. The sugi seedlings grown in P₀ level soil became dark green in color. The seedlings grown in P₁-P₅ level soils became uniformly light green in color. The karamatsu seedlings grown in P₀ level soil became purple in color. The seedlings grown in P₁-P₅ level soils became uniformly light green in color.

But, on and after mid-July, color differences between the foliages of seedlings grown in each P level soil did not change noticeably.

2. Growth.

Sugi 1-0 seedlings grown in P₄ level soil showed the highest growth in length and fresh weight, and those in the P₀ level soil showed the lowest.

Sugi 1-1 seedlings grown in P₃ level soil showed the highest, and those in the P₀ level soil showed the lowest. Karamatsu seedlings (1-0 and 1-1) increased the growth in length and fresh weight with the increase of soil phosphorus level, and those in the P₅ level soil showed the highest growth (Fig. 1-2. Table 3).

It seems that the karamatsu seedlings are more sensitive to soil phosphorus content than the sugi.

3. Phosphorus.

The phosphorus concentration in the top of seedling increased with the increase of phosphorus level in the soil. On the other hand that in the root increased with the increase of phosphorus level in all cases except in the 1-0 sugi and 1-0 karamatsu seedlings grown in P_3 level, and the 1-1 sugi seedling grown in each phosphorus level.

The phosphorus contents in the top, root and total plant of seedlings was closely related to the phosphorus level in the soil. The phosphorus concentrations and contents in the top of sugi seedlings (1-0 and 1-1) were higher than those of karamatsu. On the other hand, those in the root of sugi seedling were lower than those of karamatsu (Fig. 3~5. Table 5).

The phosphorus content in total seedlings of sugi were higher than those of karamatsu on the whole.

4. Nitrogen, potassium, and calcium.

Nitrogen concentration in the top of sugi and karamatsu 1-1 seedling, potassium concentration in the top of sugi 1-0 seedling and calcium concentration in the top of sugi 1-1 seedling and karamatsu 1-0 and 1-1 seedlings, were related to the phosphorus level in the soil (Table 6, Fig. 6~8).

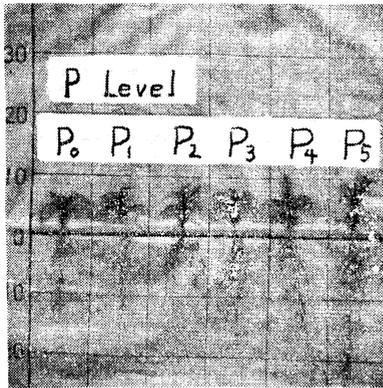
The author is of the opinion that the nutrient concentration of the plant may be governed by the relation of the nutrient uptake and the growth; the nutrient concentration of the plant grown in low phosphorus level may increase with the increase of the phosphorus supply (nutrient uptake > growth), therefore nutrient concentration is independent of this relation as it increases still more until a point is reached when it becomes dilute (nutrient uptake < growth) and causes nutrient concentration decrease.

Nitrogen, potassium, and calcium contents in the top of seedlings were related to phosphorus level in the soil in all cases except those of the sugi 1-1 seedlings grown in P_4 and P_5 level soils.

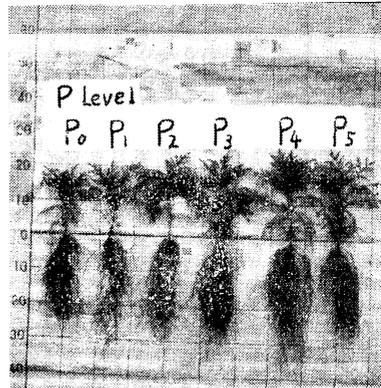
From these results the author formed the opinion that the excessive application of phosphorus on poor soil, especially poor in nitrogen and calcium may induce the nutrient deficiency of seedling grown therein.

Decrease of nutrient in the top of sugi 1-1 seedlings grown in P_4 and P_5 level soils may be caused by the decrease of the growth, as shown in Table 3.

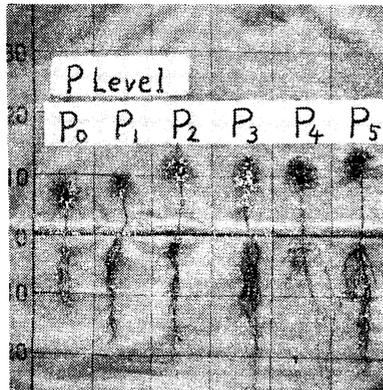
Nitrogen, potassium, and calcium concentrations and contents in the foliage of karamatsu 1-1 seedlings increased with increase of the soil phosphorus level, but on the contrary the nitrogen and potassium concentrations in the stems decreased (Fig. 9).



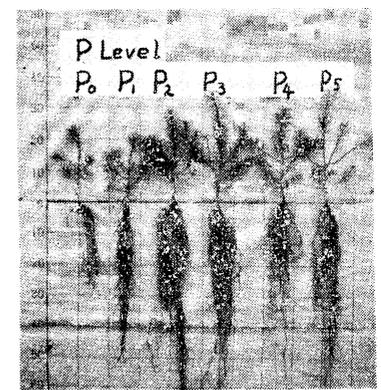
Phot. 1 1-0 Sugi seedling



Phot. 2 1-1 Sugi seedling



Phot. 3 1-0 Karamatsu seedling



Phot. 4 1-1 Karamatsu seedling