

苗木の成長と養分吸収に及ぼす土壌中の 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 及ぼす土壌中の窒素と燐酸の interaction effects について

原 田 洸⁽¹⁾

1. ま え が き

植物の環境を構成する因子のなかには、植物にとってごくわずかに存在するだけで十分な因子もあり、逆に多量に存在しなければ十分に成長しえないというような因子もある。これらの因子のなかで、植物の要求にたいして必要量だけ存在しないばあいは、その因子が limiting factor となつて植物の生育を支配する、という考えかたは、苗畑の肥培管理に必要な考えかたの1つであつて、たとえばある養分が不足しているために、苗木の成長が不十分であるばあいには、その養分を施肥してやることにより、苗木をよりよく生育させることができる。しかし野外では、環境因子がお互いにかみあつているために、ただ1つの因子が limiting factor となつている例はまれである。またたとえ limiting factor が1つであつたにせよ、たえず耕耘、施肥などの操作が加わり、土壌中の養分の有効度や含有率が、大きな変動をつづけていくものとすれば、limiting factor の種類もたえず変動をつづけるものと考えるべきであろう。すなわち、土壌中に不足している養分を施肥でおぎなつてやると、その養分は limiting factor としての作用を失うが、あたらしくその他の養分のなかで、いちばん不足しているものが、limiting factor としての作用を演じてくる。

また土壌中の養分は、非有効態から有効態へ連続的に変化し、この形態変化のしめす主要な方向は、土壌中にいろいろの形態で存在している元素量の相対的な比率によりほぼ決定されるといわれている。

筆者は前報⁽¹⁾で、土壌に燐酸を多量に供給したばあいは、燐酸が少量供給されたばあいにくらべて、苗木が窒素や石灰などの成分もより多く吸収する結果になることを報告したが、ある養分を供給することにより、土壌中の養分の有効度が変化し、さらに苗木が他の養分の吸収をも増加するとすれば、limiting factor という概念は、土壌中の養分間の比率という考え方も含めて、きわめて動的な立場から考えてゆかねばならない問題になつてくる。

そこで、ある土壌に単一の要素を供給しただけでは逆に生産量が減少し、2種または3種以上の要素を同時に供給するのでなければ、生産量を増加させることができないばあいも生じてくる。

また最近の水耕および砂耕試験の技術の進歩から、多くの養分欠乏の症状がかんさつされているが、苗畑において明りように、ひんぱんにあらわれる欠乏症状の1つとして、燐酸欠乏の症状をあげることがで

(1) 土壌調査部土壌肥料科土壌肥料研究室員

きるであろう。しかし実際には、この症状は、同じように磷酸に欠乏した土壤であつても、あるばあいには明りようにあらわれ、あるばあいには、ほとんどあらわれないか、あるいはあらわれても非常に不明りようである。筆者は前報¹⁰⁾で、この問題にふれ、引用した 2, 3 の文献から、たぶん土壤中の窒素との関係に原因があるのではないかと考えた。

養分の欠乏症状は、肉眼的なかんさつによつたもので、その量的な判定は、症状の拡がりかた、明りようさなどで考えられている。しかし欠乏症が、あるばあいには、はつきりとあらわれ、ある場合にははつきりしないとすれば、単なる欠乏症状の拡がりや、濃淡のみからは、肥培管理の実際において、価値ある指針とはなりえないであろう。

土壤のもつふうごうな状態と、植物が外観にあらわす症状との関連を、より密接にもとめようとすれば、その土壤のふうごうな状態によりひきおこされる植物の生理的な反応の外観（成長および欠乏症状をふくむ）におけるあらわれかたが、どのような条件で明りようにあらわれどのような条件で不明りようにあらわれるかを知る必要がある。

以上のような考えかたにもとづき、筆者は 1957 年度に、カラマツのまきつけ苗をつかつて、カラマツにとって要求度の大きい磷酸と、さらに磷酸の吸収に最も関係があると思われる窒素をくみあわせて、素焼鉢による試験をおこない、2, 3 の結果をうることができたので、ここに報告するしだいである。

この研究をおこなうにあたり、御指導をいただい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男技官、また分析実験にさいしていろいろと御援助してくださった土壤分析室長新名謹之助技官、同室の下田禎代子技官、野外における観察および測定、室内における実験に協力してくださった土壤肥料研究室岩崎美代、大島節子の諸氏にあつく御礼申しあげる。

2. 試 験 方 法

2. 1 試験設計

1956 年度に岡山営林署小本宮苗畑の磷酸に欠乏している土壤をつかつて、過磷酸石灰で土壤中の磷酸の含有量を変化させ、素焼鉢試験をおこなつたが、今回の試験では 1956 年度の試験につかつた土壤をそのまま供試土壤とした。

土壤の最初の性質は第 1 表のとおりであつたが、1956 年度の試験で、各鉢に消石灰 15 g, 硫安 5 g, 硫酸加里 3 g をほどこし、また過磷酸石灰は 0~20 g を 6 段階にわけてほどこしたために、今回の試験をおこなうにさきだち、これらの土壤はよくまぜあわす必要があつた。

そこで、今回の試験では、1956 年度の $P_0 \sim P_1$ 区の土壤をまぜて P_0 系列、 $P_1 \sim P_2$ 区の土壤をまぜて

第 1 表 1956 年度の試験に使用した土壤の性質
Table 1. Chemical properties of the soil (before 1956 experiment)

pH (H_2O)	炭素 C %	窒素 N %	0.2N 塩酸抽出 Extract with 0.2N Hydrochloric acid		1N 酢酸アンモン 抽出 Extract with 1N neutral Ammonium acetate	磷酸吸収力 Phosphorus absorption coefficient	柳田式土壤検定器による 土壤中の磷酸含有状態 Soil phosphorus level determined by the Yanagida rapid soil test
			磷酸 P %	石灰 Ca %	加里 K %		
5.6	4.16	0.67	0.003	0.08	0.05	1,100	2(very low)

第2表 1957年度の試験に使用した土壌の磷酸含有状態と過磷酸石灰の施用量
Table 2. Phosphorus levels of the soils and super phosphate added gram per pot in 1957 experiment

	1956年度の試験後の土壌の養分含有状態 Phosphorus and potassium levels of the soil after 1956 experiment			1957年度の試験における過磷酸石灰の1鉢あたり施用量 (g) Super phosphate added gram per pot in 1957 experiment	1957年度の試験前(施肥後)の土壌の磷酸含有状態 Phosphorus levels of the soil before 1957 experiment (after fertilization)*
	pH (H ₂ O)	磷酸の含有状態 Phosphorus levels*	加里の含有状態 Potassium levels*		
P ₀	6.2	Very low	Adequate	0	Very low
P ₁	6.2	"	"	6	Adequate
P ₂	6.2	Low	"	15	High
P ₃	6.2	Adequate	"	30	Very high

* 柳田式検定器による検定結果 Determined by the Yanagida rapid soil test.

P₁ 系列, P₃~P₄ 区の土壌をまぜて P₂ 系列, P₄~P₅ 区の土壌をまぜて P₃ 系列とした。その結果, P₀~P₃ 系列の土壌の磷酸の含有状態は第2表の左欄のようになったので, 1鉢あたり過磷酸石灰を P₀ 系列に 0 g, P₁ 系列に 6 g, P₂ 系列に 15 g, P₃ 系列に 30 g あてほどこし, 第2表の右欄のような状態とした。

内径 30 cm, 深さ 22 cm の素焼製の鉢に処理した土壌を 7.5 kg あてつめた。

P₀~P₃ 系列の各鉢に, 硫酸を3段階にわけてほどこし, それぞれ N₀, N₁, N₂ 系列とよんだ。N₀ 系列には硫酸 0 g, N₁ 系列には 10 g, N₂ 系列には 20 g をそれぞれほどこした。すなわち, 磷酸処理4系列, 窒素処理3系列をくみあわせて 12 処理区をつくり, 3回くりかえして試験した。けつきよく, この試験に設定した各処理区の土壌の窒素と磷酸の含有状態は第3表のようになる。

第3表 各処理区の土壌の窒素と磷酸の含有状態
Table 3. Nitrogen and phosphorus levels of the treated soil for this study

磷酸の供給 P supply	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃
窒素の供給 N supply				
N ₀	N low P low	N low P adequate	N low P high	N low P very high
N ₁	N adequate P low	N adequate P adequate	N adequate P high	N adequate P very high
N ₂	N high P low	N high P adequate	N high P high	N high P very high

硫酸加里は, 各鉢に 4 g あてほどこした。

試験につかつた苗は, カラムツまきつけ苗である。

2.2 試験方法

この試験は, 1957年に林業試験場目黒苗畑の屋外で, 3回くりかえしの素焼鉢試験でおこなつたものであり, 素焼鉢は, 3月25日にそれぞれ所定の施肥処理をした土を 7.5 kg あてつめたのち土中にうずめ, 3月31日にウスブレンの1,000倍液で土壌を消毒し, 4月5日にまきつけをおこなつた。まきつけは1鉢あたり水選したタネを 1 g あてとした。

タネの発芽は大部分が4月27日~5月6日のあいだにおこなわれた。6月10日に第1回の間引をおこない, その後, 1鉢あたり 40本の成立を目標にして7月下旬まで数回にわたり間引をおこなつた。

しかし、生育の途中で枯死するものもあつて、10月末の掘りとりとのさいの1鉢あたりの本数は第4表のようになつたが、分散分析の結果、ポット間、処理間とも、有意差はみられなかつた（第5表）。

苗の生育期間中は、窒素および磷酸の供給のちがいによる葉色の変化を注意してかんさつし、7月と8月の下旬に、生育の途中経過をしらべる目的で、苗高を測定した。

10月30日に掘りとり、苗高と生重量を測定し、乾燥したのち乾燥重量を測定し、粉碎して分析の試料とした。

第4表 1ポットあたりの本数
Table 4. Survival seedlings per pot in the end of October

窒素の供給 N supply	磷酸の供給 P supply Pot	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	計 Sum
N ₀	1	37	39	40	37	153
	2	39	30	38	40	147
	3	40	37	37	39	153
	計 Sum	116	106	115	116	453
	平均 Mean	39	35	38	39	
N ₁	1	39	36	34	37	146
	2	40	38	31	29	138
	3	40	39	36	36	151
	計 Sum	119	113	101	102	435
	平均 Mean	40	38	34	34	
N ₂	1	39	40	36	35	150
	2	39	40	38	38	155
	3	36	40	40	30	146
	計 Sum	114	120	114	103	451
	平均 Mean	38	40	38	34	

第5表 ポット当り本数の平均値の分散分析表
Table 5. Analysis of variance of the survival seedlings per pot

要因 Source of variation	偏差平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	分散量 Mean squares	F	5% における 有意性 Significant at the 5% level
Block	5	2	2.5	0.35	3.44
Treatment	167	11	15.2	2.14	2.30
Error	156	22	7.1		
Total	328	35			

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分析した。

磷酸は0.2N塩酸で浸出し、ケイ酸を分離したのち、モリブデン酸アンモンと塩化第1錫で発色させ、ルメトロン光電光度計をつかつて、filter 650で透過率を測定してもとめた。

石灰は、おなじく0.2N塩酸で浸出し、ケイ酸を分離したのち、微酸性の状態下でシュウ酸石灰の沈殿をつくり、過マンガン酸カリで滴定してもとめた。

加里は、1Nの酢酸アンモン（pH 7.0）で浸出し、ケイ酸を分離したのち、リチウムを加えてパーキン

エルマー 焰光光度計で測定した。

(ロ) 植物の分析

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のち、モリブデン酸アンモンおよび塩化第1錫で発色させ、日立光電光度計の filter No. 65 をつかつて、吸光度を測定してもとめた。

加里は、試料を硝酸と過塩素酸で湿式灰化したのち、リチウムをくわえて、パーキンエルマー 焰光光度計で測定してもとめた。

石灰は、試料を硝酸と過塩素酸で湿式灰化したのち、微酸性の状態でシユウ酸石灰の沈殿をつくり、過マンガン酸カリで滴定してもとめた。

3. 試験結果と考察

3.1 生育期間中の葉色と成長のかんさつ

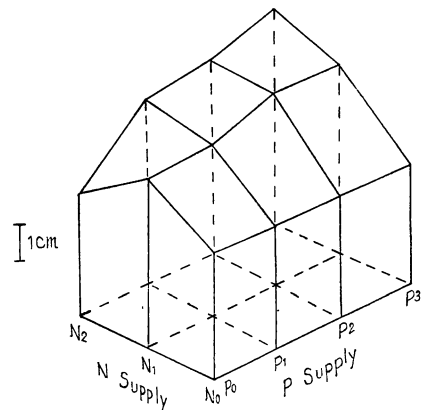
6月10日のかんさつでは、窒素の施用量のちがいが葉色にすでにあらわれており、窒素の施用量が多いほど、葉は濃緑色となつていた。しかし N_0 系列(無窒素区)では、窒素欠乏のような症状はあらわれていなかった。磷酸の施用量のちがいは、葉色にあまり明りようにあらわれていなかったが、 P_0 系列(無磷酸区)では、地上部全体がやや暗緑色をしめしていた。

6月24日のかんさつでは、窒素の施用量のちがいは、葉色にも、成長にもはつきりとあらわれてきて、 N_2 系列では葉は濃緑色をしめし、成長もすぐれていた。しかし N_0 系列における窒素欠乏の症状は、あらわれていなかった。磷酸の施用量のちがひによる葉色の变化は、6月10日にかんさつしたときより、はつきりとしており、窒素施用量の多少にかかわらず、 P_0 系列のところ(N_0P_0 , N_1P_0 , N_2P_0)では、下葉が暗緑色をしめし、 N_2 系列では、磷酸を少量ほどこしたところ(N_2P_1)でも、下葉がやや暗緑色をしめしていた。磷酸の施用量の増加にともなう成長のちがいは、 N_2 系列でみとめられた。

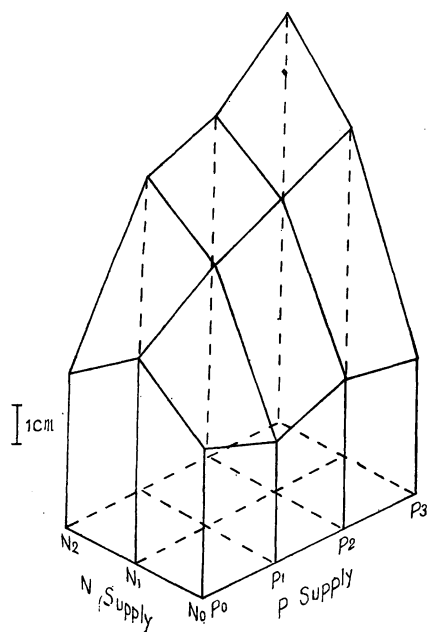
7月11日のかんさつでは、 N_0 系列の成長不良が目立ち、葉も淡黄色をしめし、窒素欠乏のような症状をあらわしはじめた。 N_1 系列では、磷酸の施用量の多少にかかわらず、いずれも成長が良好であつたが、 N_2 系列では P_0 区の成長が非常にわるく、下部の葉が紫色化していた。

7月22日に苗長を測定した結果は、第1図であり、 N_0P_0 , N_0P_1 , N_0P_2 , N_0P_3 および N_2P_0 区で成長がわるく、 N_2P_3 区で最もよく成長していた。

7月30日に葉色をかんさつした結果、 N_0 系列の苗の窒素欠乏の症状は、まだ残つていたが、 P_0 系列の苗木の磷酸欠乏の症状は、 N_2P_0 区をのぞいては、ほとんど消えうせていた。 N_2P_0 区の苗の磷酸欠乏の症状は、9月24日にかんさつしたときもはつきりと残つており、10月30日の掘取調査のときにも、下部の葉がやや帯紫



第1図
カラマツ苗の苗長成長におよぼす窒素と磷酸の interaction effects (7月22日測定)
Fig. 1 Interaction effects of nitrogen and phosphorus supply on the top length of Karamatsu 1-0 seedling in late-July



第2図

カラマツ苗の苗長成長におよぼす窒素と磷酸の interaction effects (8月23日測定)

Fig. 2 Interaction effects of nitrogen and phosphorus supply on the top length of Karamatsu 1-0 seedling in late-August

成長は、7月下旬ごろから不良となり、 $P_1 \sim P_3$ 系列でも N_0 の状態では成長が不良であつた。

高橋ら (1955)²³⁾ は、タバコの砂耕試験で、磷酸欠乏の症状は、窒素少量区よりも多量区で、早い時期に、しかも広い範囲にあらわれると報告し、GOODALL ら (1955)⁶⁾ は、Lettuce の砂耕試験から、窒素が適当量ほどこされているときは、磷酸の施用量を増加することにより、成長を増加させることができる

と報告しているが、筆者のこの試験でも、カラマツで同様のことがかんさつされた。

第6表 苗長
Table 6. Top length of the seedlings (cm)

窒素の供給 N supply	Pot	磷酸の供給 P supply			
		P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	1	4.9	4.0	5.2	4.0
	2	4.3	4.1	4.1	4.8
	3	4.3	4.3	5.4	4.4
	計 Sum	13.5	12.4	14.7	13.2
	平均 Mean	4.5	4.1	4.9	4.4
N_1	1	7.3	8.9	10.8	9.5
	2	6.4	8.8	9.4	11.3
	3	5.6	9.2	13.1	13.1
	計 Sum	19.3	26.9	33.3	33.9
	平均 Mean	6.4	9.0	11.1	11.3
N_2	1	3.8	10.5	13.9	14.2
	2	5.5	12.3	11.4	13.0
	3	5.3	9.6	10.5	9.8
	計 Sum	14.6	32.4	35.8	37.0
	平均 Mean	4.9	10.8	11.9	12.3

3. 2 掘取りのさいの苗の成長状態

10月31日の掘取りのさいに測定した、苗長

および苗木1本あたりの生重量は、第6表および第7表のとおりであり、これらの平均値を分散分析した結果は第8表に示すとおりである。

この結果からみると、いずれもブロック間では有意差がなく、処理間であきらかに有意差 (1% 水準) をみとめることができた。さらに要因の分散分析をおこなった結果では、苗長では窒素および磷酸の単独施用の効果は1%の水準で、窒素と磷酸の相互作用の効果は5%の水

色をしめしていた。

8月23日に苗長を測定した結果は、第2図であり、 N_0P_0 , N_0P_1 , N_0P_2 , N_0P_3 , N_1P_0 および N_2P_0 区では、成長が非常におとつており、これらの区の苗木は7月下旬の測定のとときくらべてみても、その後あまり成長していないことがわかる。

けつきよく、 N_0 系列では、磷酸の施用量の多少にかかわらず、6月下旬から成長の不良が目立ち、7月中旬ごろから葉は淡黄緑色となり、下部の葉は枯れはじめた。この葉の症状は、しだいにうすれていったが、10月下旬の掘取りのときにも残っていた。 N_2 系列では、磷酸の施用量の多少にかかわらず、6月下旬ごろから葉色が濃緑色となつたが、 N_2P_0 区の苗の下葉には、磷酸欠乏の症状があらわれ、10月下旬の掘取りのときまで、これらの症状は残っていた。7月中旬から、 N_2P_0 の成長不良が目立ちだした。

P_0 系列では、6月下旬以降、苗の下葉に磷酸欠乏の症状があらわれたが、窒素の施用量が多いほど、この症状ははつきりあらわれ、 N_2P_0 区では、10月下旬の掘取りのときまで、この症状が残っていた。また P_0 系列の

第7表 生 重 量
Table 7. Fresh weight (gram per a seedling)

窒素の供給 N supply	Pot	磷酸の供給 P supply	地上部 Top				地下部 Root				苗木全体 Whole seedling			
			P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃
N ₀	{	1	0.31	0.18	0.31	0.16	0.29	0.15	0.17	0.13	0.60	0.33	0.48	0.29
		2	0.15	0.12	0.18	0.20	0.11	0.08	0.15	0.14	0.26	0.20	0.33	0.34
		3	0.17	0.16	0.28	0.15	0.20	0.16	0.28	0.15	0.37	0.32	0.56	0.30
		計 Sum	0.63	0.46	0.77	0.51	0.60	0.39	0.60	0.42	1.23	0.85	1.37	0.93
		平均 Mean	0.21	0.15	0.26	0.17	0.20	0.13	0.20	0.14	0.41	0.28	0.46	0.31
N ₁	{	1	0.44	0.52	0.66	0.53	0.29	0.32	0.42	0.31	0.73	0.84	1.08	0.84
		2	0.31	0.61	0.77	0.96	0.29	0.43	0.42	0.71	0.60	1.04	1.19	1.67
		3	0.34	0.62	1.19	1.23	0.23	0.38	0.58	0.71	0.57	1.00	1.77	1.94
		計 Sum	1.09	1.75	2.62	2.72	0.81	1.13	1.42	1.73	1.90	2.88	4.04	4.45
		平均 Mean	0.36	0.58	0.87	0.91	0.27	0.38	0.47	0.58	0.63	0.96	1.35	1.48
N ₂	{	1	0.21	0.71	1.29	1.26	0.15	0.37	0.65	0.77	0.36	1.08	1.94	2.03
		2	0.38	0.92	1.15	1.03	0.26	0.60	0.73	0.55	0.64	1.52	1.88	1.58
		3	0.13	0.46	0.60	0.52	0.10	0.20	0.37	0.32	0.23	0.66	0.97	0.84
		計 Sum	0.72	2.09	3.04	2.81	0.51	1.17	1.75	1.64	1.23	3.26	4.79	4.45
		平均 Mean	0.24	0.70	1.01	0.94	0.17	0.39	0.58	0.55	0.41	1.09	1.60	1.48

第8表 要因の分散分析
Table 8. Analyses of variances of the top length and the fresh weight of the seedling

要因 Source of variation	苗 長 Top length				地上部生重量 Top fresh weight				苗木全体生重量 Whole seedling fresh weight			
	偏差平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	分散量 Mean squares	F	偏差平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	分散量 Mean squares	F	偏差平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	分散量 Mean squares	F
Block	0.24	2	0.12		0.0394	2	0.0197		0.1257	2	0.0629	
Treatment	377.34	11	34.30	9.7**	3.7484	11	0.3408	6.8**	8.4054	11	7.6412	5.7**
Error	77.73	22	3.53		1.1146	22	0.0507		2.9192	22	0.1326	
Total	455.31	35			4.9024	35			11.4503	35		
N	220.81	2	110.41	31.2**	2.0429	2	1.0215	20.1**	4.4831	2	2.2416	16.9**
P	98.96	3	32.99	9.3**	1.1127	3	0.3709	7.3**	2.4256	3	0.8085	6.1**
N × P	57.57	6	9.59	2.7*	0.5928	6	0.0988	1.9	1.4967	6	0.2495	1.8
Error		22	3.53			22	0.0507			22	0.1326	

** 1% で有意 significant at the 1% level

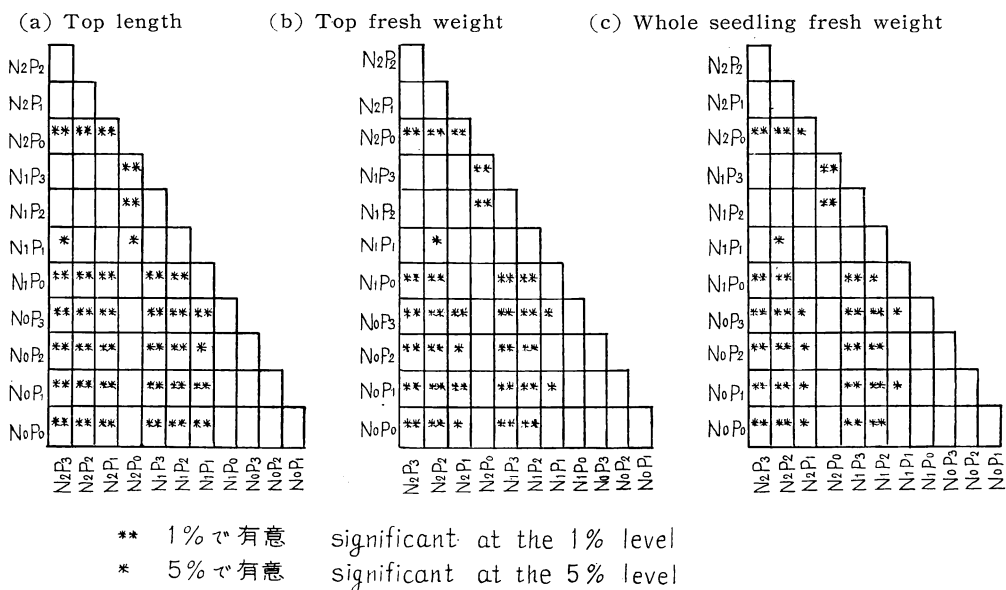
* 5% で有意 significant at the 5% level

準で、それぞれ有意差をみとめることができ、また地上部の生重量および苗木全体の生重量のばあいには、窒素および磷酸の単独施用の効果の有意性を、1% の水準でみとめることができた（第8表）。

さらに全処理間における、相互の成長差の有意性をしらべてみると、第3図のようになり、苗長、地上部の生重量、苗木全体の生重量ともに、N₀ 系列すなわち、N₀P₀、N₀P₁、N₀P₂、N₀P₃ 区および P₀ 系列、すなわち N₀P₀、N₁P₀、N₂P₀ 区とその他の区との間で、1% または 5% の水準で有意差をみとめることができた。

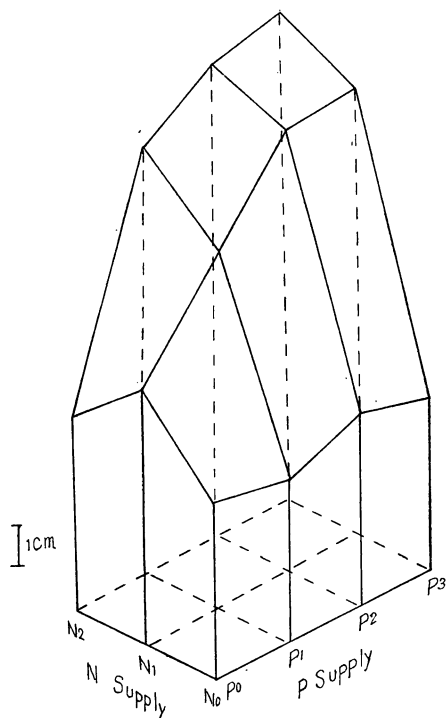
第6表および第7表の平均値を図で示めすと、第4図、第5図および第6図となる。

これらの結果からみると、苗長では、N₀ 系列では磷酸の供給の多少にかかわらず、苗長成長が不良であり、また P₀ 系列では、窒素の施用量の多少にかかわらず、苗長成長が不良であり、N₁ および N₂ 系列



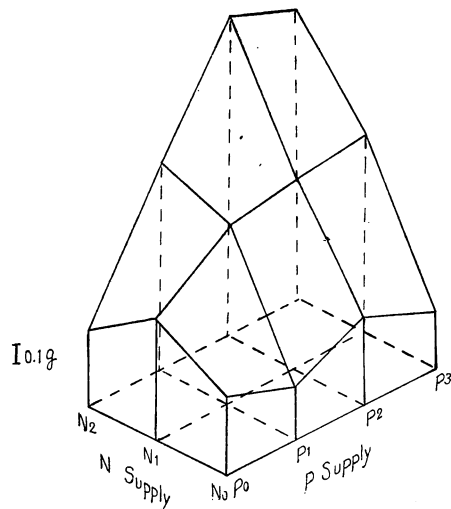
第3図 各ポット間の成長差の有意性

Fig. 3 The significance of growth differences between seedlings grown in each pots



第4図 カラムツ苗の苗長成長におよぼす窒素と
 磷酸の interaction effects (10月31日測定)

Fig. 4 Interaction effects of nitrogen and
 phosphorus supply on the top length of
 Karamatsu 1—0 seedling in late-October



第5図 カラムツ苗の生重量におよぼす窒素と
 磷酸の interaction effects (10月31日測定)

Fig. 5 Interaction effects of nitrogen
 and phosphorus supply on the fresh
 weight of Karamatsu 1—0 seedling
 in late-October

では、磷酸の供給の増加にともなつて、苗長成長は大となり、また P_1 , P_2 および P_3 系列では、窒素の供給が増加するにしたがい、苗長成長は大となつてゐる。苗長成長の最高は N_2P_3 区でえられ、ついで N_2P_2 , N_1P_3 , N_1P_2 , N_2P_1 区が良好である。

生重量では、地上部、地下部ともにやはり N_0 系列では、磷酸の供給の多少にかかわらず、重量成長が不良であり、また P_0 系列では、窒素の供給の多少にかかわらず、重量成長が不良であり、苗長成長のばあいと同じような傾向であるが、最大の重量成長は N_2P_2 区でえられている。

いま、窒素の供給増加にともなう苗木の成長増加を、 N_0 系列の成長を 100 とした指数であらわすと第9表のようになる。

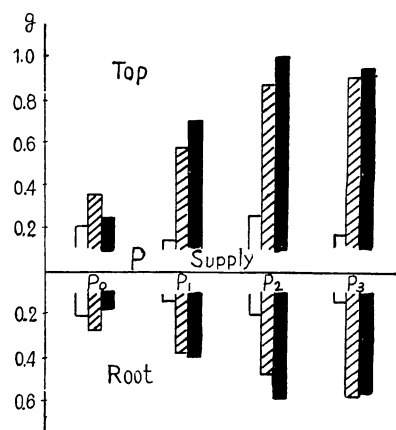
すなわち、 P_0 系列では窒素の供給増加にともなつて、苗長では 1.1~1.4 倍、生重量では約 1~1.5 倍の成長増加をするにすぎないが、 P_3 系列では、苗長で 2.6~2.8 倍、生重量で 4.8 倍と大きく増加する。

また、磷酸の供給増加にともなう苗木の成長増加を、 P_0 系列の成長を 100 とした指数であらわすと第10表のようになる。

すなわち、 N_0 系列では苗長、生重量ともに N_0P_2 区でやや増加しているのみで、 N_0P_1 , N_0P_3 区ではむしろ逆に減少している。しかし N_2 系列では、磷酸の供給増加にともなつて、苗長で 2.2~2.5 倍、生重量では 2.7~3.9 倍と増加している。

THOMPSON (1957)²⁴⁾ は、作物の生産は、磷酸を供給しないで窒素だけを供給しても、わずかしき増加しないし、また窒素を供給しないで磷酸だけを供給しても、わずかしき増加しないが、窒素と磷酸の両方を供給すると、生産は非常に増加するとのべ、NEMEC (1937)¹⁵⁾ も磷酸

や石灰に欠乏している土壤中、窒素を多量にあたえても効果はないとのべ、VAN GOOR (1953)²⁵⁾ は磷酸欠乏の土壤中のカラマツの成長は、窒素の供給で減少するとのべ、GOODALL ら (1955)⁶⁾ は窒素が適量に供給されているときには、磷酸の供給増加で Lettuce の成長が増加するとのべているが、筆者のこの試



Note: Open bars= N_0 series
Hatched bars= N_1 series
Solid bars= N_2 series

第6図 カラマツ苗の地上部と地下部の生重量
Fig. 6 Fresh weight of the top and root of Karamatsu 1-0 seedling in late-October

第9表 窒素の供給増加にともなう成長増加
Table 9. Increase of seedling growth with increase of nitrogen supply

		P supply				
		N supply	P_0	P_1	P_2	P_3
苗 長 Top length	{	N_0	100	100	100	100
		N_1	142	220	227	257
		N_2	109	263	243	280
生重量 Fresh weight	{	N_0	100	100	100	100
		N_1	153	342	293	477
		N_2	100	389	348	477

第10表 磷酸の供給増加にともなう成長増加
Table 10. Increase of seedling growth with increase of phosphorus supply

		P supply				
		N supply	P_0	P_1	P_2	P_3
苗 長 Top length	{	N_0	100	92	109	98
		N_1	100	141	173	178
		N_2	100	220	243	251
生重量 Fresh weight	{	N_0	100	68	112	76
		N_1	100	152	214	235
		N_2	100	266	390	361

験からも、同様の傾向がかんさつされた。

McLEAN (1957)¹³⁾ は、いろいろの作物を水耕栽培して、窒素を多量にあたえると、作物の地上部は増加するが、根はその割合には増加しないで、あるばあいには逆に減少することがあるとのべているが、筆者の今回の試験では、カラマツの地下部の重量は磷酸が適当に供給されているかぎり、窒素の供給の増加にともなつて、地上部重量と同じようにいちじるしく増加した。

また GOEDEWAAGEN (1937)⁵⁾ は、磷酸の供給が、適量をこえて、過剰の状態になつたばあいは、根の重量が減じたりすることがある、と述べているが、今回の試験では、カラマツの地下部の重量は、窒素が適当に供給されているかぎり、磷酸の供給増加にともなつて、いちじるしく増加しており、根の重量が減少するという傾向はみることができなかつた。

苗木 1 本あたりの乾燥重量は、第 11 表のとおりであり、乾燥重量の傾向も、生重量の傾向とほとんどおなじである。

第 11 表 苗木の乾重量 (3 ポットの平均値)
Table 11. Dry weight of the seedlings (gram per a seedling, average of three pots)

N supply	P supply	地 上 部 Top (g)				地 下 部 Root (g)				苗木全体 Whole seedling (g)			
		P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃
	N ₀	0.07	0.06	0.10	0.07	0.05	0.04	0.05	0.04	0.12	0.10	0.15	0.11
	N ₁	0.13	0.21	0.32	0.32	0.08	0.11	0.16	0.16	0.21	0.32	0.48	0.48
	N ₂	0.09	0.26	0.35	0.35	0.06	0.12	0.17	0.17	0.15	0.38	0.52	0.52

以上は、苗木の高さあるいは重さに関しての測定値であるが、苗木生産の目標が、単なる苗高や苗重の大きなものの生産ではなく、多くの不良な環境にたいする抵抗力の強弱という点をも加味して考えねばならぬとすれば、単なる高さや、重さだけからの判定ではなく、もつと質的な意味をふくんだ数値で比較し、判定する必要がある。

四手井ら (1950)²⁰⁾ は、カラマツの立枯病にたいしては、窒素の施用が罹病率と最も関係があり、磷酸に欠乏したところで窒素を多量にあたえると、罹病率が高くなるとのべている。

この考えかたからするならば、筆者の今回の試験の N₂P₀ 区の苗木などは、成長も悪く、しかも病気にたいして感染する可能性の非常に高い苗木といわねばならない。

また芝本ら (1955)¹⁹⁾ は、スギ、ヒノキをつかつた水耕試験で、磷酸を欠除すると、これらの苗木の光合成作用がすくなくなり、吸収作用が大きくなるとのべているが、このような考え方からするならば、筆者の今回の試験の P₀ 系列の苗木は、生産作用である光合成作用がすくなく、消費作用である呼吸作用が大きい非常に不安定な不良な苗木であると考えざるをえない。

BAKER (1945)¹⁾ は、苗木の地上部の長さを、地上部の風乾重で除した数値を、苗木の諸害にたいする抵抗力の強弱をあらわす index としてとりあげ、index of slenderness と呼び、この数値が大きいほど弱い苗木であると考えた。

坂口 (1953)¹⁸⁾ は、この数値を弱さ度とよんでいるが、この数値を一応苗木の質的な面を測定する尺度としてとりあげ、計算してみると、第 12 表のようになる。ただし、筆者の計算した数値は、苗の地上部

の長さを、地上部の絶乾重量で割つたもので、風乾重量で割っている BAKER や坂口の数値とは、厳密にいうとちがうが、便宜上弱さ度とみなすことにする。

第 12 表からみると、弱さ度は P_0 系列および N_0 系列において大きく、 N_2P_2 区で最も小さく、ついで N_1P_2 , N_2P_3 , N_1P_3 区が小である。

以上の結果をまとめてみると、磷酸に不足している土壌にたいして、窒素のみを単独にほどこすことや、窒素の不足している土壌に磷酸のみを単独にほどこすことは、施用量の多少にかかわらず苗木の成長をうながすことにはならず、また苗の質的な面からも好ましい苗木を生産することにはならない。

磷酸の適当に供給された状態での窒素の施用、窒素の適当に供給された状態での磷酸の施用は、今回の試験では、いずれも施用量の増加にともなつて、苗木の成長が増大し、また弱さ度の点からも、一応好ま

第 12 表 苗木の弱さ度
Table 12. Index of slenderness* of seedlings

N supply	P supply			
	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	64.3	68.3	49.0	62.9
N_1	49.2	42.8	34.6	35.3
N_2	54.4	41.5	34.0	35.1

* 苗長/地上部乾重
Top length/Top dry weight

第 13 表 カラマツまきつけ苗の養分含有率 (%)
Table 13. Nutrients concentrations of Karamatsu 1—0 seedlings
(% of dry matter basis)

養 分 Nutrient	N supply	P supply	地 上 部 Top				地 下 部 Root				苗木全体 Whole seedling			
			P_0	P_1	P_2	P_3	P_0	P_1	P_2	P_3	P_0	P_1	P_2	P_3
N	{	N_0	1.55	1.38	1.71	1.34	1.44	1.50	1.62	1.47	1.50	1.40	1.67	1.36
		N_1	1.61	1.28	1.38	1.50	1.51	1.52	1.43	1.53	1.57	1.37	1.40	1.50
		N_2	1.67	1.49	1.66	1.32	1.67	1.51	1.42	1.55	1.67	1.50	1.57	1.38
P	{	N_0	0.10	0.13	0.20	0.18	0.10	0.14	0.22	0.19	0.10	0.14	0.21	0.19
		N_1	0.08	0.11	0.12	0.13	0.11	0.15	0.14	0.16	0.09	0.13	0.13	0.14
		N_2	0.10	0.10	0.12	0.15	0.10	0.14	0.14	0.15	0.10	0.11	0.13	0.13
K	{	N_0	0.71	0.59	0.73	0.63	0.71	0.74	0.89	0.73	0.71	0.65	0.86	0.66
		N_1	0.68	0.66	0.75	0.70	0.51	0.67	0.65	0.69	0.62	0.67	0.72	0.70
		N_2	0.72	0.64	0.80	0.70	0.66	0.62	0.72	0.69	0.69	0.63	0.78	0.70
Ca	{	N_0	0.57	0.47	0.49	0.51	0.41	0.39	0.46	0.52	0.51	0.44	0.48	0.52
		N_1	0.34	0.38	0.39	0.43	0.26	0.29	0.30	0.28	0.31	0.35	0.36	0.38
		N_2	0.34	0.35	0.45	0.51	0.19	0.28	0.25	0.27	0.28	0.33	0.39	0.43

第 14 表 カラマツまきつけ苗の養分の含有量 (1 本当 mg)
Table 15. Nutrients Contents of Karamatsu 1—0 seedlings (mg per seedling)

養 分 Nutrient	N supply	P supply	地 上 部 Top				地 下 部 Root				苗木全体 Whole seedling			
			P_0	P_1	P_2	P_3	P_0	P_1	P_2	P_3	P_0	P_1	P_2	P_3
N	{	N_0	1.08	0.82	1.71	0.93	0.72	0.60	0.81	0.59	1.80	1.42	2.52	1.52
		N_1	2.09	2.69	4.42	4.80	1.21	1.67	2.29	2.45	3.30	4.36	6.71	7.25
		N_2	1.50	3.87	5.81	4.62	1.00	1.81	2.41	2.64	2.50	5.68	8.22	7.26
P	{	N_0	0.07	0.08	0.20	0.13	0.05	0.06	0.11	0.08	0.12	0.14	0.31	0.21
		N_1	0.10	0.23	0.38	0.42	0.09	0.16	0.22	0.26	0.19	0.39	0.60	0.68
		N_2	0.09	0.26	0.42	0.39	0.06	0.17	0.24	0.26	0.15	0.43	0.66	0.65
K	{	N_0	0.50	0.35	0.73	0.44	0.35	0.30	0.45	0.29	0.85	0.65	1.28	0.73
		N_1	0.88	1.39	2.40	2.24	0.41	0.74	1.05	1.11	1.29	2.13	3.45	3.35
		N_2	0.65	1.66	2.80	2.45	0.39	0.74	1.22	1.17	1.04	2.40	4.02	3.62
Ca	{	N_0	0.40	0.28	0.49	0.36	0.21	0.16	0.23	0.21	0.61	0.44	0.72	0.57
		N_1	0.44	0.80	1.25	1.38	0.21	0.32	0.48	0.45	0.65	1.12	1.73	1.83
		N_2	0.31	0.91	1.58	1.79	0.11	0.34	0.43	0.46	0.42	1.25	2.01	2.25

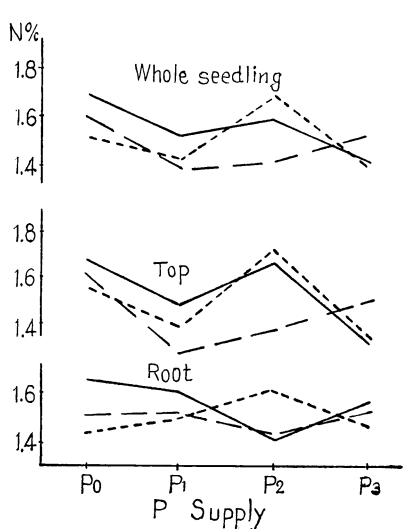
しい数値をしめす苗木が生産された。

3. 3 養分吸収

それぞれの苗木を地上部と地下部にわけ、 そのおのこの 養分含有率を測定した結果は第13表であり、さらにこれらの含有率を乾燥重量に乗じてもとめた養分の含有量は第14表である。

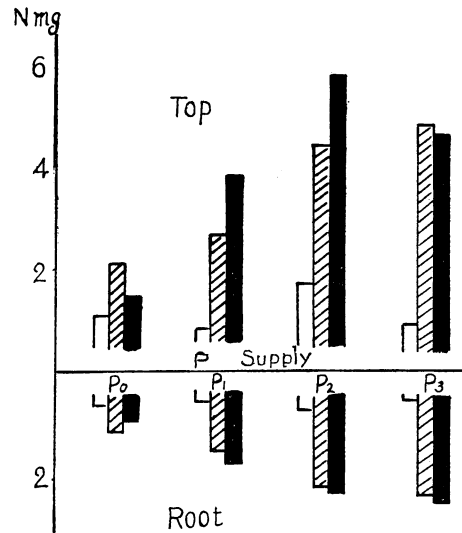
3. 3. 1 窒素の吸収

第13表および第14表の窒素の項をそれぞれ図示すると第7図および第8図となる。



Note: Dotted lines= N_0 series
Broken lines= N_1 series
Solid lines= N_2 series

第7図 カラマツ苗の窒素含有率
Fig. 7 Nitrogen concentration of Karamatsu 1-0 seedling



Note: Open bars= N_0 series
Hatched bars= N_1 series
Solid bars= N_2 series

第8図 カラマツ苗の窒素含有量
Fig. 8

Nitrogen content of Karamatsu 1-0 seedling

カラマツ苗の窒素の吸収を土壤中の窒素または磷酸の供給別に検討してみると、次のようになる。

土壤への窒素の供給と苗木の窒素吸収との関係

P_0 系列では、土壤中の窒素の状態が、 N_0 から N_2 と多くなるにともなつて、カラマツ苗の地上部、地下部ともに窒素の含有率は増加している。しかし P_1 系列では、 N_1 区の地上部の窒素の含有率は、 N_0 区のものよりすくなく、 P_2 系列では、地上部、地下部ともに N_0 区で最高の値をしめし、また P_3 系列の地上部では、 N_1 区で窒素の含有率が最高の値をしめしている。すなわち、土壤への窒素の供給増加にともなう、苗木体中の窒素の含有率の増加は、磷酸の供給のすくない状態においてのみかんさつされた。

しかし、苗木の窒素の含有量は、 P_0 系列では、 N_1 区で地上部、地下部ともに最高であり、 N_2 区になると、逆に窒素の含有量がすくなくなつていく。すなわち窒素の吸収量が低下している。これに対し、 P_1 、 P_2 系列では、土壤への窒素の供給が、 N_0 から N_1 、 N_2 と多くなるにともなつて、地上部、地下部ともに窒素の含有量が増加し、窒素の吸収量が多くなつていくことが認められる。また P_3 系列では、地上部の窒素の含有量は、 N_1 区の方が N_2 区より多くなつていくが、地下部の窒素の含有量では、 N_2 区の方が多く、そのため苗木全体の窒素の吸収量をくらべたばあいには、ほとんど大差がないようになつていく。

いま土壤中の窒素の状態が N_0 のときの、苗木の窒素の吸収量を 100 として、窒素の供給が N_1 , N_2 と増えていつたときの窒素の吸収量の増加を計算してみると、第 15 表のようになる。すなわち、窒素の供給増加にともなつて、苗木の窒素の吸収量は、 P_0 系列では 1.4~1.8 倍増加するにすぎないが、 P_1 系列では 3.1~4.0 倍、 P_3 系列では約 4.8 倍の増加をしていることがわかる。すなわち、土壤中への窒素の供給の増加にともなう、カラマツ苗木の窒素の吸収量の増加は、土壤中へ磷酸が適当に供給されている状態 (P_1 ~ P_3 系列) でいちじるしいことがかんさつされた。

土壌への磷酸の供給と苗木の窒素吸収との関係

N_0 系列では、地上部、地下部ともに苗木の窒素の含有率の最高は、 P_2 区で得られ、 N_2 系列では地上部、地下部ともに P_0 区でえられている。

筆者は前報¹⁰⁾で、スギ、カラマツのまきつけ苗および床替苗をつかつて、土壌への磷酸の供給を増加させたばあいの、苗木の窒素の含有率をしらべた結果、まきつけ苗ではスギ、カラマツともに一定の傾向をかんさつすることができなかつたが、今回の試験でも、土壤中の窒素の供給の多少にかかわらず、磷酸の供給増加にともなう、カラマツまきつけ苗の窒素の含有率の変化に、漸増あるいは漸減というような一定の傾向をみとめることができなかった。

しかし、苗木の窒素の含有量は、 N_1 系列では磷酸の供給増加にともなつて、地上部、地下部ともに増加している。

伊沢ら (1957)¹¹⁾ は、アンモニア態窒素を与えたときは、磷酸の供給は、水稻の窒素の吸収をうながすとのべているが、筆者のこの試験でも窒素 (硫酸) の供給された状態下では、磷酸の供給増加にともなつて、カラマツ苗の窒素の吸収が増加するということのみとめることができた。しかし、窒素の不足している状態 (N_0 系列) では、磷酸の供給増加にともなう苗木の窒素の含有量の増加はみとめることができず、 N_0P_1 , N_0P_3 区では、むしろ逆に含有量が減じている。 N_2 系列の苗木の地下部では、磷酸の供給増加にともなつて、窒素の含有量が増加しているが、地上部では P_2 区で最高の値をしめし、 P_3 区では P_2 区より減少している。すなわち、吸収量としてみたばあい、 N_2 系列では P_2 区で最高で、 P_3 区になると、 P_2 区より吸収量が減少している。

いま土壤中の磷酸の状態が、 P_0 のときの苗木の窒素の吸収量を 100 として、磷酸の供給が P_1 ~ P_3 とふえていつたときの、窒素の吸収量の増加を計算してみると、第 16 表のようになる。すなわち、磷酸の供給増加にともなつて、苗木の窒素の吸収量は、 N_0 系列では 0.8~1.4 倍増加するにすぎないが、 N_1 系列では 1.3~2.2 倍、 N_2 系列では 2.3~3.3 倍の増加をし

第 15 表 窒素の供給増加にともなうカラマツ苗の窒素の吸収量の増加

Table 15. Increase of nitrogen uptake by Karamatsu 1—0 seedling with increase of nitrogen supply

N supply \ P supply	P supply			
	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	100	100	100	100
N_1	183	307	267	477
N_2	139	400	326	478

第 16 表 磷酸の供給増加にともなうカラマツ苗の窒素の吸収量の増加

Table 16. Increase of nitrogen uptake by Karamatsu 1—0 seedling with increase of phosphorus supply

N supply \ P supply	P supply			
	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	100	79	140	85
N_1	100	132	203	220
N_2	100	227	329	290

ていることがわかる。すなわち、土壤中の磷酸の供給増加にともなう、カラマツ苗木の窒素の吸収量の増加は、土壤中の窒素が供給されている状態でいちじるしいことがかんさつされた。

土壌への窒素および磷酸の供給と、苗木の窒素吸収との関係

第14表および第8図から、苗木地上部の窒素の含有量の最高は、 N_2P_2 区でえられ、地下部の窒素含有量の最高は N_2P_3 区でえられていることがわかる。しかし、地上部と地下部の窒素含有量を合計した量、すなわち吸収量の最高は N_2P_2 区でえられており、この吸収量は N_0P_0 区の約 4.5 倍である。

土壤中の窒素が不足している状態での磷酸の供給増加、あるいは土壤中の磷酸が不足している状態での窒素の供給増加は、いずれも苗木の窒素の吸収量を増加させることにはならず、土壌中へ窒素あるいは磷酸が適当に供給されている状態での磷酸あるいは窒素の供給増加のばあいのみ、苗木の窒素の吸収量を増加させることができることがみとめられた。

RITTER (1956)¹⁶⁾ はモモで、望月ら (1956)¹⁴⁾ はリンゴの水耕で、それぞれ磷酸の供給を増加してやる第17表 カラマツ苗に吸収された窒素の乾物生産能率と、窒素の吸収量が増加することをのべている

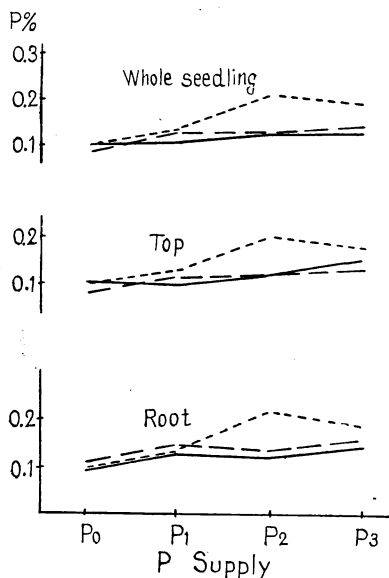
Table 17. Efficiency of nitrogen uptake by Karamatsu seedling for the yield of dry matter

N supply \ P supply	P supply			
	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	67	71	60	73
N_1	64	73	72	66
N_2	60	67	64	72

が、これらはいずれも窒素が適当に供給された

状態下での現象とみなされるべきであろう。

いま苗木の乾物量を、吸収した窒素の量で割つて、1gの窒素が生産する乾物量、すなわち、窒素の乾物生産能率を計算してみると、第17表のようになる。この表からみると、土壌



Note: Dotted lines= N_0 series
Broken lines= N_1 series
Solid lines= N_2 series

第9図 カラマツ苗の磷酸含有率
Fig. 9 Phosphorus concentration of Karamatsu 1-0 seedling

への窒素あるいは磷酸の供給の多少は、苗木の窒素の乾物生産能率に、ほとんど影響をあたえていない。すなわち、このことは窒素の吸収量が増減するばあいでも、それにともなつて乾物量も同じような割合で増減することになり、けつきよく、窒素の供給が不足して乾物生産がすくないということは、窒素の乾物生産能率が低下しているのではなく、窒素の絶対量が不足しているために乾物生産量の絶対量が不足したためであり、また窒素および磷酸の供給が十分にあつて、乾物生産が多いということは、窒素の乾物生産能率が高まつたためではなく、窒素の絶対量が多くなつたために、それにともなつて乾物量が増加したためであると解釈される。

3. 3. 2 磷酸の吸収

第13表および第14表の磷酸の項を、それぞれ図示したのが、第9図および第10図である。カラマツ苗の磷酸の吸収を、土壌中の窒素または磷酸の供給別に検討してみると、次のようになる。

土壌への窒素の供給と、苗木の磷酸吸収との関係

P_0 系列では、土壌中の窒素の供給量が変化しても、カラマ

ツ苗の磷酸の含有率には大きな変化がみられない。しかし P_2 , P_3 系列では、土壌中の窒素が不足している状態 (N_0) では、土壌中に窒素が供給されている状態 (N_1 , N_2) よりも、カラマツ苗の磷酸の含有率が大きかった。磷酸の含有率の最高は、地上部、地下部ともに N_0P_2 区でえられている。

カラマツ苗の磷酸の含有量は、 P_0 系列および P_3 系列では、 N_1 区で最高であり、 N_2 区は N_1 区より磷酸含有量がやや少ない。すなわち、磷酸の吸収量がやや低下している。しかし、 P_1 , P_2 系列では窒素の供給の増加にともなうて、地上部、地下部とも磷酸の含有量が増加しており、磷酸の吸収量が増加していることがわかる。

VAN GOOR (1953)²⁵⁾ は、磷酸の多い土壌では、窒素を供給することにより、カラマツの磷酸の吸収が減じることを報告しており、筆者の今回の実験の結果では、 P_3 系列では N_2 区が N_1 区のものより磷酸の吸収量がやや低下してはいるが、VAN GOOR の結果を再確認しうだけの明りような傾向とはいいいきれない。

土壌中の窒素の状態が N_0 のときの苗木の磷酸の吸収量を 100 として、窒素の供給がふえていつた場合の磷酸の吸収量の増加を計算してみると第 18 表のようになる。

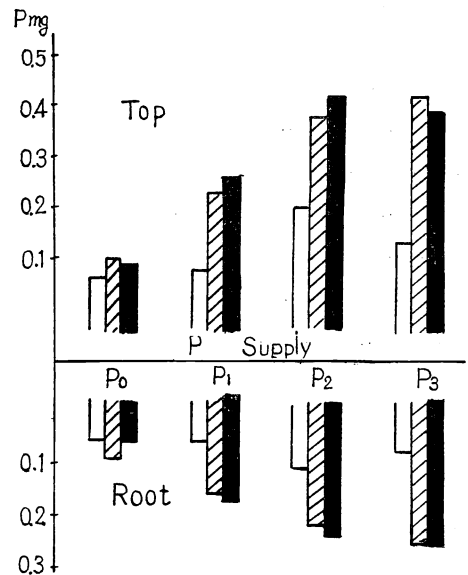
この表からみると、窒素の供給増加にともなうて、苗木の磷酸の吸収量は P_0 系列では 1.3～1.6 倍増加するにすぎないが、 P_1 系列では 2.8～3.1 倍、 P_2 系列では 1.9～2.1 倍、 P_3 系列では 3.1～3.2 倍の増加をしめしている。す

なわち、土壌中への窒素の供給増加にともなうカラマツ苗木の磷酸の吸収量の増加は、土壌中に磷酸が供給されている状態でいちじるしいことがかんさつされた。このことは、FINN (1955)⁴⁾ が、Oats や Lucerne でみとめた結果と同じである。

土壌への磷酸の供給と、苗木の磷酸吸収との関係

苗木の磷酸の含有率は、 N_0 系列では地上部、地下部ともに、土壌中への磷酸の供給が増加するにともなうて増加し、 P_2 区で最高となるが、 P_3 区ではふたたびやや減少している。そのため、苗木全体の磷酸の含有率についてみても同じ傾向がみられる。 N_1 , N_2 系列では、磷酸の供給が増加すると、わずかではあるが苗木体中の磷酸含有率が漸増する傾向がみられるが、 N_0 系列におけるほど明りような変化はしていない。

含有量についてみると、 N_0 , N_2 系列では、土壌中への磷酸の供給が P_0 から P_2 と増加するにともな



Note: Open bars= N_0 series
Hatched bars= N_1 series
Solid bars= N_2 series

第 10 図 カラマツ苗の磷酸含有率
Fig. 10. Phosphorus content of Karamatsu 1—0 seedling

第 18 表 窒素の供給増加にともなうカラマツ苗木の磷酸の吸収増加

Table 18. Increase of phosphorus uptake by Karamatsu 1—0 seedling with increase of nitrogen supply

N supply \ P supply	P supply			
	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	100	100	100	100
N_1	158	279	194	324
N_2	125	307	213	310

つて増加しているが、 P_3 区ではやや減じている。しかし、 N_1 系列では、土壤中への磷酸の供給が P_0 から P_3 へと増加するにともなつて、苗木の磷酸の含有量は地上部においても地下部においても増加している。すなわち吸収量が増加している。

土壤中の磷酸の状態が P_0 のときの苗木の磷酸の吸収量を 100 として、土壤中への磷酸の供給が増加したときの、苗木の磷酸の吸収増加を計算してみると、第 20 表のようになる。

この表からみると、磷酸の供給増加にともなつて、苗木の磷酸の吸収量は N_0 系列では 1.2~2.6 倍、 N_1 系列では 2.1~3.6 倍、 N_2 系列では 2.9~4.4 倍増加していることがわかる。

すなわち、土壤中への磷酸の供給増加にともなうカラマツ苗木の磷酸の吸収増加は、土壤中に窒素が供給されている状態では、 N_1P_3 区および N_2P_3 区で最大である。しかし、地上部、地下部の含有量の合計は N_1P_3 区および N_2P_2 区で最大である。

Table 19. Increase of phosphorus uptake by Karamatsu 1—0 seedling with increase of phosphorus supply

P supply N supply	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	100	117	258	175
N_1	100	205	316	358
N_2	100	287	440	433

る。すなわち磷酸の吸収量はこの両区で最大であり、 N_0P_0 区の吸収量の約 5.5 倍に達している。このことは、窒素または磷酸が適当に供給されている状態で、磷酸または窒素を供給してやると、カラマツ苗木の磷酸の吸収がいちじるしく増加することをしめしている。

いま苗木に吸収された磷酸の単位重が生産する乾物量、すなわち、磷酸の乾物生産能率を計算してみると第 21 表のようになる。

この表からみると、窒素の供給の多少にかかわらず、磷酸の供給増加は、磷酸の乾物生産能率を低下させる傾向がみとめられる。しかし、磷酸が適当に供給されている状態 ($P_1 \sim P_3$) での窒素の供給増加は、磷酸の乾物生産能率を増加させる傾向がみとめられる。

このことは、土壤へ磷酸を供給してやつて、カラマツ苗の乾物生産が増加したとしても、それは吸収された磷酸の乾物生産能率が高くなつたためではないが、磷酸が適当に供給された状態で窒素を供給してやつて、カラマツ苗の乾物生産が増加するということは、苗木に吸収された磷酸の乾物生産能率が高くなつ

たための現象であると解釈される。

3・3・3 加里の吸収

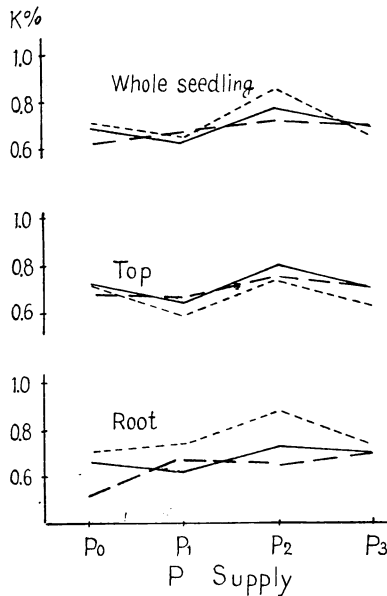
第 13 表および第 14 表の加里の項をそれぞれ図示したのが、第 11 図および第 12 図である。

カラマツ苗の加里の吸収を、土壤中への窒素または磷酸の供給別に検討してみると次のようになる。

土壤への窒素の供給と、苗木の加里吸収との関係

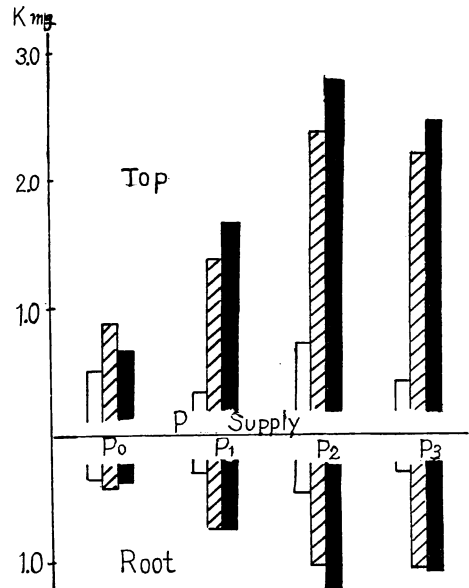
第 20 表 磷酸の乾物生産能率
Table 20. Efficiency of phosphorus uptake by Karamatsu seedling for the yield of dry matter

P supply N supply	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	1000	714	484	524
N_1	1105	821	800	706
N_2	1000	884	788	800



Note: Dotted lines= N_0 series
Broken lines= N_1 series
Solid lines= N_2 series

第 11 図 カラムツ苗の加里含有率
Fig. 11 Potassium concentration of Karamatsu 1—0 seedling



Note: Open bars= N_0 series
Hatched bars= N_1 series
Solid bars= N_2 series

第 12 図 カラムツ苗の加里含有量
Fig. 12 Potassium content of Karamatsu 1—0 seedling

地上部の加里の含有率は、 P_0 , P_2 , P_3 系列では N_2 区で最大の値をしめし、 P_1 系列では N_1 区で最大の値をしめしている。しかし、地下部では、いずれの磷酸の系列においても、 N_0 区で最大の値をしめし、そのため苗木全体としてみたばあい、窒素の供給増加にともなう加里含有率の変動に一定の傾向をみることができない。

しかし加里の吸収量をみると、 P_0 系列では N_1 区で最大の値をしめし、 P_1 , P_2 , P_3 系列では、 N_2 区で最大の値をしめしている。

いま土壌中の窒素の状態が N_0 のときの苗木の加里の吸収量を 100 として、窒素の供給が N_1 , N_2 とふえていったときの、苗木の加里の吸収増加を計算してみると、第 21 表のようになる。すなわち、窒素の供給増加にともなつて、苗木の加里の吸収量は、 P_0 系列では約 1.2~1.5 倍、 P_1 系列では 3.3~3.7 倍、 P_2 系列では 2.7~3.1 倍、 P_3 系列では 4.6~5.0 倍増加する。このことは、土壌に磷酸が供給されている状態では、窒素の供給増加にともなつて、苗木の加里の吸収量がいちじるしく増加することをしめしている。

RITTER (1956)¹⁶⁾ は、窒素を施肥してやると、モモの木のカリ吸収が促進されると報告しているが、筆者の今回のカラムツ苗をつかつた試験では、土壌へ磷酸が供給されている状態

第 21 表 窒素の供給増加にともなうカラムツ苗の加里の吸収増加

Table 21. Increase of potassium uptake by Karamatsu 1—0 seedling with increase of nitrogen supply

N supply	P supply			
	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	100	100	100	100
N_1	152	328	270	459
N_2	122	369	314	496

下で、同様の傾向をみとめることができた。

土壌への磷酸の供給と、苗木の加里吸収との関係

苗木の加里の含有率は、地上部の場合、 N_0 系列では P_0 および P_2 区で大きい値をしめし、 N_1 および N_2 系列ではそれぞれ P_2 区で最高の値をしめしている。しかし全体的に明りような一定の傾向はみとめられない。地下部の場合、 N_0 系列では磷酸の供給増加にともなつて加里の含有率は増大し、 P_2 区で最高となるが、 P_3 区ではふたたびやや減じている。 N_1 、 N_2 系列では、磷酸の供給増加にともなつて加里の含有率は漸増する傾向をしめしてはいるが、 N_0 系列におけるほど明りような変動ではない。そのため、苗木全体としてみた場合も、明りような一定の傾向はみとめることができない。

苗木の加里の吸収量は、 N_0 系列では磷酸の供給増加にともなつて、一定の傾向をみとめることができ

第 22 表 磷酸の供給増加にともなうカラマツ苗の加里の吸収増加

Table 22. Increase of potassium uptaken by Karamatsu 1—0 seedling with increase of phosphorus supply

P supply N supply	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	100	76	151	86
N_1	100	165	267	260
N_2	100	231	387	348

るにすぎないが、 N_1 系列では 1.7~2.7 倍、 N_2 系列では 2.3~3.9 倍の増加をしめし、窒素が供給されている状態では、磷酸の供給増加にともなつて、苗木の加里の吸収量がいちじるしく増加することがわかる。

土壌への窒素および磷酸の供給と、苗木の加里吸収との関係

カラマツ苗の加里の吸収量は、窒素または磷酸が不足しがちな状態下で磷酸または窒素を供給してやつても増加しない。

しかし、窒素または磷酸が適当に供給されている状態での磷酸または窒素の供給は、加里の吸収量をいちじるしく増大し、今回の試験では、加里の吸収量の最大は、 N_2P_2 区で得られており、 N_2P_2 区の苗木は N_0P_0 区の苗木にくらべて約 5 倍の加里を吸収している。

いま苗木に吸収された加里の単位重が生産する乾物量、すなわち、加里の乾物生産能率を計算してみると第 23 表のようになる。この表からみると、土壌中への窒素または磷酸の供給の多少は、苗木の加里の乾物生産能率にあまりいちじるしい影響をあたえていない。すなわち、乾物量が大きな変動をしても、そ

第 23 表 加里の乾物生産能率

Table 23. Efficiency of potassium uptake by Karamatsu seedling for the yield of dry matter

P supply N supply	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	141	154	117	151
N_1	163	150	139	143
N_2	144	158	129	144

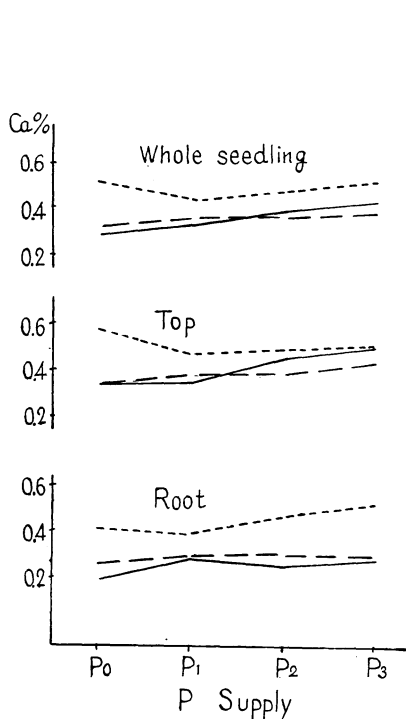
ないが、 N_1 および N_2 系列では、いずれも磷酸の供給増加にともなつて増大しており、 P_2 区で最高の値をしめしている。

いま土壌中の磷酸の状態が P_0 のときの苗木の加里の吸収量を 100 として、磷酸の供給が増えていつたときの加量吸収量の増加を計算してみると、第 22 表のようになる。すなわち、磷酸の供給増加にともなつて、苗木の加里の吸収量は、 N_0 系列ではわずか 0.8~1.5 倍増加す

れにともなつて加里の吸収量も、同じような割合で変動しているということになる。

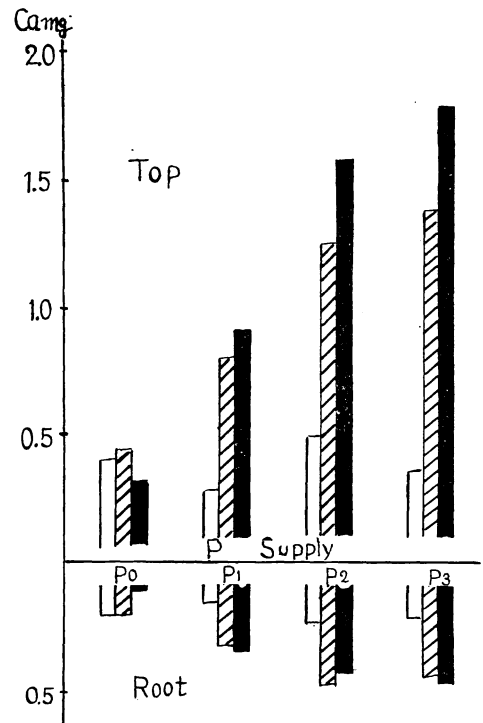
3. 3. 4 石灰の吸収

第 13 表および第 14 表の石灰の項を図示したのが第 13 図および第 14 図である。カラマツ苗の石灰の吸収を土壌中の窒素または磷酸の供給別に検討してみると、次のようになる。



Note: Dotted lines=N₀ series
 Broken lines=N₁ series
 Solid lines=N₂ series

第 13 図 カラマツ苗の石灰含有率
 Fig. 13 Calcium concentration of
 Karamatsu 1—0 seedling



Note: Open bars=N₀ series
 Hatched bars=N₁ series
 Solid bars=N₂ series

第 14 図 カラマツ苗の石灰含有量
 Fig. 14 Calcium content of Karamatsu
 1—0 seedling

土壤への窒素の供給と、苗木の石灰吸収との関係

カラマツ苗の石灰の含有率は、地上部、地下部とも、P₀およびP₁系列では窒素の供給が多くなるにともなつて減少している。しかし、P₂およびP₃系列の地上部の石灰含有率は、N₀、N₂、N₁区の順に減じている。すなわち、いずれのP系列においても、石灰の含有率はN₀区で最大であり、窒素の供給増加にともなつて含有率が減少していくが、この傾向は磷酸の供給のすくない状態で明りようであつた。

石灰の含有量は、P₀系列ではN₁区で最大、N₂区で最小の値をしめしているが、P₁、P₂、P₃の各系列では、それぞれN₀区で最小、N₂区で最大の値をしめしている。

いま土壤中の窒素の状態がN₀のときの苗木の石灰の吸収量を100として、窒素の供給が増加したときの石灰の吸収増加を計算してみると、第24表のようになる。

すなわち、窒素の供給増加にともなつて、P₀系列では、石灰の吸収量が減じているが、P₁系列では2.6~2.8倍、P₂系列では2.4~

第 24 表 窒素の供給増加にともなうカラマツ苗の石灰の吸収増加

Table 24. Increase of calcium uptake by Karamatsu 1—0 seedling with increase of nitrogen supply

N supply	P supply			
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃
N ₀	100	100	100	100
N ₁	94	255	240	321
N ₂	69	284	279	395

2.8 倍, P_3 系列では 3.2~4.0 倍の増加をしめしている。このことは、土壌中の磷酸が不足した状態では、窒素の供給は苗木の石灰の吸収を減少させるが、磷酸が供給された状態では、窒素の供給増加にともなつて、石灰の吸収量がいちじるしく増加することをしめしている。

土壌への磷酸の供給と、苗木の石灰吸収との関係

石灰の含有率は、 N_0 系列の地下部では、磷酸の供給増加にともなつて、やや増加の傾向をしめしているが、地上部では逆に減少の傾向をしめしている。そのため苗木全体としてみた場合に、明りような増加あるいは減少の傾向はみとめられない。しかし、 N_1 および N_2 系列では、地上部、地下部とも、わずかなではあるが土壌中の磷酸の供給増加にともなつて、石灰の含有率が増加する傾向をしめしている。

石灰の吸収量についてみると、 N_0 系列では P_1 区で最低、 P_2 区で最高の値をしめしているが、全体的に磷酸の供給増加にともなう一定の傾向はみとめられない。

しかし、 N_1 および N_2 系列では、地上部、地下部ともに磷酸の供給増加にともなつて、含有量が増加

第 25 表 磷酸の供給増加にともなうカラマツ苗の石灰の吸収増加

Table 25. Increase of calcium uptake by Karamatsu 1—0 seedling with increase of phosphorus supply

P supply N supply	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	100	72	118	93
N_1	100	172	266	282
N_2	100	298	479	536

している。すなわち吸収量が増加をしめしている。

第 25 表は、土壌の磷酸の状態が、 P_0 のときの苗木の石灰の吸収量を 100 として、磷酸の供給が増加したときの、石灰の吸収増加を計算したものであるが、この表からもわかるように N_0 系列では磷酸の供給増加にともなつて石灰の吸収量は 0.7~1.2 倍増加するにすぎないが、 N_1 系列では 1.7~2.8 倍、 N_2 系列では 3.0~

5.4 倍もの増加をしめしている。

BINGHAM ら (1956)²⁾ は磷酸を多量に供給すると Orange の葉の石灰量が増加すると報告しているが、筆者の今回の試験では、窒素が供給されている状態下 (N_1, N_2) では、磷酸の供給増加によりカラマツ苗の地上部および地下部の石灰含有量が増加する、すなわち、石灰の吸収量が増加することがみとめられた。

土壌への窒素および磷酸供給と、苗木の石灰吸収との関係

石灰の吸収量の最高は N_2P_3 区でえられ、最低は N_2P_0 区でえられている。

一般に、窒素または磷酸の供給が不十分な状態での磷酸または窒素の供給増加は、石灰の吸収量を増加させないばかりでなく、あるばあいには、むしろ吸収量を減少させている。

しかし、窒素または磷酸が適当に供給された状態での、磷酸または窒素の供給は、苗木の石灰の吸収量

をいちじるしく増加させている。

第 26 表 石灰の乾物生産能率

Table 26. Efficiency of calcium uptake by Karamatsu seedling for the yield of dry matter

P supply N supply	P_0	P_1	P_2	P_3
N_0	197	227	208	193
N_1	323	286	277	262
N_2	357	304	259	231

いま苗木に吸収された石灰の単位重が生産する乾物重、すなわち石灰の乾物生産能率を計算してみると、第 26 表のようになる。すなわち、磷酸の供給増加は、苗木の石灰の乾物生産能率を低め、窒素の供給増加は、逆に石灰の乾物生産能率を高めていることがわかる。

3. 3. 5 苗木体内における窒素と磷酸の比率

カラマツ苗に吸収された窒素と磷酸の比率 (N/P) を計算してみると、第 27 表のようになる、すなわち N/P の値は、地上部の含有量から計算したばあい、7~21、苗木全体の吸収量から計算したばあいは 7~17 の範囲で変動し、窒素および磷酸が土壌中に適当量供給されている状態では、地上部の含有量から計算したばあいは 11~15、苗木全体の吸収量から計算したばあいは 11~13 の範囲で変動している。

ATTERBERG (1888), GODLEWSKI (1901),

SCHRÖDER (1904) らの初期の研究者たちは、作物の窒素あるいは磷酸の栄養状態をしる 1 つの指標として、作物に吸収された窒素と磷酸の比率に考慮をはらい⁷⁾、この考え方は現在においても、植物栄養の研究に採用されている。しかし、筆者の今回の試験結果では、N/P の値がどの範囲であればカラマツ苗の栄養状態は良好であるか、という明確な判定をくだすまでにはいたらなかった。

一般に土壌中の窒素の供給が増加すると、苗木体内の N/P の値は増加し、磷酸の供給が増加すると、苗木体内の N/P の値は減少する傾向をしめす。

しかし、土壌中の磷酸が不足している状態 (P₀) では、窒素の供給が増加しても、N/P の値は明りような変化をしめさない。これは、第 15 表および第 18 表の P₀ 系列における苗木の、窒素および磷酸の吸収増加の割合と対比して考察してみると、窒素の供給量が増加することにより、窒素の吸収量は 1.4~1.8 倍と増加するが、磷酸の吸収量もほぼ窒素の場合と同じ割合 (1.3~1.6 倍) で増加するためであることがわかる。

4. 総 合 考 察

土壌中における養分の相対的な比率は、土壌養分の有効化に影響し、そこに生育する植物の養分吸収に大きな影響をあたえるということは、制限因子の法則という基本的な考え方と組みあわせて、現在の植物栄養を研究してゆく上に、注意をはらわねばならない問題の 1 つになっている。

筆者はこの報告で、カラマツのまきつけ苗をつかつて、窒素と磷酸の供給量をいろいろに変えて、素焼鉢による土耕試験をおこない、葉にあらわれる症状、成長、養分の吸収状態についてしらべ、そのおのについて 2, 3 の考察をおこなったが、ここでは今までに述べてきた結果および考察をまとめて総合考察をこころみることとする。

4. 1 葉の症状と成長の関係

この試験で窒素を供給しなかつた系列、すなわち N₀ 系列では、磷酸の供給の多少にかかわらず、7 月中旬ごろから葉が黄緑色化して下部の葉は枯れはじめ、いわゆる窒素欠乏のような症状をあらわした。これらの苗木は成長も非常に悪かつた。

これに反し、窒素を供給した系列、すなわち N₁, N₂ 系列ではいわゆる窒素欠乏のような症状はみられず、磷酸の供給の増加にともなつて成長は増加した。

磷酸を施用しなかつた系列、すなわち P₀ 系列では、6 月下旬から苗木の下部の葉に滯紫色の磷酸欠乏

第 27 表 苗木内における窒素と磷酸の比率
Table 27. Variations in nitrogen and phosphorus content of seedlings (N/P) as affected by their soil nutrients supply

	P supply	地 上 部 Top				苗木全体 Whole seedling			
		P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃
N supply									
N ₀		15	10	9	7	15	10	8	7
N ₁		21	12	12	11	17	11	11	11
N ₂		17	15	14	12	16	13	12	11

の症状があらわれ、 N_0P_0 区よりは N_1P_0 区で、 N_1P_0 区よりは N_2P_0 区で磷酸欠乏の症状が明りようであつた。すなわち磷酸欠乏の症状は、窒素の供給の多いほど明りようにあらわれた。これらの区の苗木の成長は、いずれも不良であつたが、成長の状態は必ずしも症状の明りようさの順位とは一致せず、苗長は N_1P_0 区、 N_2P_0 区、 N_0P_0 区の順に減少していた。

磷酸を少量供給した系列、すなわち P_1 系列では、窒素を多量に供給した区、すなわち N_2P_1 区でやや磷酸欠乏の症状があらわれたが成長は低下していない。その他の区ではこのような磷酸欠乏の症状はみられず、窒素の供給増加にともなつて、成長は増加した。

4. 2 葉の症状と養分吸収の関係

窒素を供給しなかつた土壤に生育した苗木は、磷酸の供給の多少にかかわらず窒素欠乏の症状があらわれた。磷酸を供給しなかつた土壤に生育した苗木には磷酸欠乏の症状があらわれ、この磷酸欠乏の症状は窒素の供給が多いほど明りようであつた。また磷酸も少量供給した系列 (P_1) でも、窒素を多量に供給してやると、磷酸欠乏の症状があらわれた。しかし窒素および磷酸をそれぞれ適当に供給した区の苗木には、いずれの症状もみられなかつた。

これら各区の苗木の掘取りの際の養分吸収の状態をしらべてみると、窒素を供給しなかつた区の苗木は、窒素を供給した区の苗木にくらべて、窒素で $1/1.4 \sim 1/5$ 、磷酸で $1/1.3 \sim 1/3$ 、加里で $1/1.2 \sim 1/5$ 、石灰で $1 \sim 1/4$ とそれぞれ吸収量が減少している。すなわち、苗木の症状は、いわゆる窒素欠乏のような症状をしめしてはいるが、窒素にかぎらず他の成分の吸収量も極端に減少していることがわかる。また N_0 系列の苗木の窒素の含有率は、地上部、地下部ともに必ずしも N_1 、 N_2 系列のものより低いとはかぎらない。このことは、苗木が窒素に欠乏しているか、あるいは十分に吸収されているかを収穫時の窒素の含有率だけから判定することはできず、吸収量あるいは成長状態をしらべた上で、その総合考察においてしか判定しえないことをしめしていると思われる。

また磷酸を供給しなかつた土壤に生育した苗木は、磷酸を供給した土壤に生育した苗木にくらべ、窒素は $1 \sim 1/3$ 、磷酸は $1 \sim 1/4$ 、加里は $1 \sim 1/4$ 、石灰は $1 \sim 1/5$ とそれぞれ吸収量が減少しており、苗木はいわゆる磷酸欠乏の症状をしめしてはいるが、磷酸にかぎらず、その他の成分の吸収も極端に減少していることがわかる。また P_0 系列の苗木の磷酸の含有率は、地上部ではいずれも 0.10% 以下であり、磷酸欠乏症状があらわれた N_2P_1 区の苗木も、地上部で 0.10% をしめしている。すなわち、この試験では一応地上部の磷酸含有率が 0.10% 以下の苗木で磷酸欠乏の症状があらわれてはいるが、欠乏症状のあらわれなかつた苗木、たとえば N_1P_1 区の苗木は 0.11% 、 N_1P_2 区、 N_2P_2 区の苗木は 0.12% であり、その差は非常にわずかである。そこで磷酸欠乏のおこりうる限界の含有率を、この試験から決定することは困難のようである。

磷酸欠乏の症状が、窒素の供給が多いほど明りようにあらわれたことについて、今回の実験で分析しえた数値の範囲内で検討をくわえてみたが、窒素、磷酸、加里の吸収量は N_1P_0 、 N_2P_0 、 N_0P_0 の順に減じており、石灰の吸収量は N_1P_0 、 N_0P_0 、 N_2P_0 の順に減じており、この減少の順位は、磷酸欠乏の症状の明りようさの順位と必ずしも一致しない。また苗木に吸収された窒素と磷酸の比率を計算してみても N_2P_0 区で磷酸欠乏の症状が明りようにあらわれたことを説明しうるだけの傾向はみられなかつた。

N_2P_0 区は、窒素と加里が一応十分に供給された区であり、成長阻害の limiting factor としては、一応磷酸だけが考えられる。これに対し N_0P_0 区では、窒素と磷酸という 2 つのものが limiting factor

となっており、このようなことが磷酸欠乏の症状の明りようさ、不明りようさを説明する1つの理由になるとも考えられるが、この点についてはさらに多くの事例をかんさつする必要がある。

また磷酸欠乏のために苗木の葉が紫色化するのには、アントシアン系色素のためである。無機養分がこれらの色素の生成過程に、どのような直接的な役割を演ずるかは不明であるが、植物の生理現象は、無機養分の作用のみにかぎらず、有機化合物と無機養分との相互反応の作用においても支配されると考えられる。

そうであるなら、養分の欠乏症状と養分吸収との関係をより密接にもとめようとすれば、収穫時の無機養分の吸収量をしらべるのみではなく、季節的に養分の吸収状態をしらべたり、欠乏症状のあらわれる季節の養分の吸収状態をしらべ、さらに有機代謝の実験をもあわせて行う必要があるように考える。

4. 3 成長と養分吸収

窒素を供給しなかつた区では、磷酸を供給してやつても、また磷酸を供給しなかつた区では、窒素を供給してやつても、成長は増加せず、ある場合にはむしろ減少しており、養分の吸収量も増加していない。

GOODALL (1947)⁷⁾ は、たとえば窒素欠乏で植物の成長が低下した場合でも、他の成分たとえば磷酸や加里の吸収は低下しないので、含有率は比較的高くなっている、と述べているが、筆者の今回の試験では窒素欠乏のカラマツの苗木では、磷酸および石灰の含有率が高くなっており、加里の含有率は地下部にいてのみ高くなっているが、たとえ含有率が高くとも成長が非常に低下しているので、吸収量は低下している。

窒素または磷酸の供給された状態で、磷酸または窒素の供給の増加は、成長をいちじるしく増大し、養分の吸収量も増加した。

磷酸の供給された状態では、窒素の供給の増加にともなつて、苗長は 2.2~2.8 倍、生重量は 2.9~4.8 倍の増加をしめし、窒素の吸収量は 2.7~4.8 倍、磷酸の吸収量は 1.9~3.2 倍、加里の吸収量は 2.7~5.0 倍、石灰の吸収量は 2.4~4.0 倍に増加した。

また窒素の供給された状態では磷酸の供給増加にともない、苗長は 1.4~2.5 倍、生重量は 1.5~3.9 倍の増加をしめし、窒素の吸収量は 1.3~3.3 倍、磷酸の吸収量は 2.1~4.4 倍、加里の吸収量は 2.7~5.0 倍、石灰の吸収量は 1.7~5.4 倍に増加した。

すなわち、窒素または磷酸の供給された状態での磷酸または窒素の供給の増加は、苗長成長よりも生重量成長をいちじるしく増加し、窒素の供給を増加していくばあいには、加里および窒素の吸収量が、また磷酸の供給を増加していくばあいには、石灰および加里の吸収量がことにいちじるしく増加している。

4. 4 肥培管理への応用

われわれはしばしば苗畑において、苗木が生育に必要な栄養分を十分に吸収しているか、あるいは不十分な吸収しかしていないかをしらべる1つの目安として、地上部、ことに葉の部分にあらわれる症状を注意してかんさつする。しかし、このようなかんさつだけでは、苗木が栄養分を十分に吸収しているかどうかを判定する最良の方法にはならない。なぜなら、筆者の今回の実験結果からみても、同じように磷酸に欠乏した土壤に生育し、磷酸の吸収量のすくなかつた苗木でも、窒素の供給が多い土壤に生育した苗木は、いわゆる磷酸欠乏の症状が明りようにあらわれたが、窒素の供給のすくない土壤に生育した苗木では不明りようであつた。すなわち、欠乏症状の明りようさのみで、苗木の養分吸収量の多少を判定することが困難だからである。

またわれわれは、苗畑においてしばしば窒素を多量に供給しすぎたために、苗木が徒長している例をみ

ることがある。このような現象からのみ考えると、成長不良の苗木には窒素を供給してやればよいと考えがちである。しかし、筆者の今回の実験結果からみても、磷酸の供給の不足した状態では、窒素の供給を増加してやつても、成長はけつして増加しない。この場合、成長を増加させるためには、窒素と磷酸の両者を供給してやる必要がある。すなわち、ある苗畑において、成長不良の苗木の成長を増加させるためには、苗木が生育している土壌の養分状態をまずしらべ、なにが limiting factor になっているのかをしなければならない。

苗畑の土壌は、毎年耕耘、施肥などの操作が加わるため、土壌中の養分の含有状態や、有効度はたえず変化している。土壌中の養分の状態が変化すれば、とうぜんそこに生育する苗木の成長や養分吸収の状態は変化してくる。

苗木の養分吸収は、成長状態と関係があり、成長が良好な苗木は成長不良の苗木よりも多くの養分を吸収している。

しかし、葉にあらわれる養分の欠乏症状や、土壌中の養分の含有状態と、収穫時の養分の吸収量との間には、必ずしも相関的な関係があるとはいえない。ことに limiting factor が存在する場合は、すべての養分の吸収はこの limiting factor により左右されるようである。

今回の実験結果からみても、磷酸を供給しなかつた土壌に生育した苗木は、窒素の供給を増加しても窒素の吸収量は増加しないし、また窒素を供給しなかつた土壌に生育した苗木は、磷酸の供給を増加しても、磷酸の吸収量は増加しない。さらに、磷酸を供給しなかつた土壌に生育した苗木は、磷酸を供給した土壌に生育した苗木にくらべ、磷酸のみでなく窒素も、加里も石灰もともに吸収低下をしめし、また窒素を供給しなかつた土壌に生育した苗木は、窒素を供給した土壌に生育した苗木にくらべ、窒素のみでなく、磷酸も、加里も、石灰も、ともに吸収低下をしめしている。これとは逆に窒素の供給された状態での磷酸の供給増加、あるいは磷酸の供給された状態での窒素の供給増加は、苗木の養分吸収をいちじるしく増大し、窒素や磷酸にかぎらず、加里も石灰も吸収増加されている。

苗畑の土壌を合理的に肥培管理していくためには、土壌中の有効養分がたえず変化しており、その変化の方向は、土壌中の他の養分の相対的な比率で支配されるという考えかたを基にして、土壌中の養分状態をしらべ、苗木がしめす養分の過不足の症状をかんさつし、さらに苗木が吸収している養分量をしらべ、それらの総合された結果から、施肥の方向を決定することが必要であると考ええる。

要 約

1. カラムツのまきつけ苗をつかつて、窒素と磷酸の供給量をいろいろに変えて素地鉢による土耕試験をおこない、葉にあらわれる症状、成長状態、養分の吸収状態についてしらべた。

2. 窒素を供給しなかつた区では、磷酸の供給の多少にかかわらず苗木に窒素欠乏の症状があらわれた。磷酸を供給しなかつた区では苗木に磷酸欠乏の症状があらわれ、この症状は、窒素の供給が多いほど明りようであつた。磷酸を少量供給した区でも窒素を多量に供給すると、苗木に磷酸欠乏の症状があらわれた。

3. 窒素または磷酸の不足した状態での、磷酸または窒素の供給増加は、けつして苗木の成長を増加させることにはならず、むしろ逆に減少するばあいもある。しかし、窒素または磷酸が供給された状態での磷酸または窒素の供給増加は、苗木の成長をいちじるしく増大し、BAKER の index of slenderness の

値も好ましい数値をしめした。

4. 窒素または磷酸の不足した状態での磷酸または窒素の供給増加は、収穫時の苗木の養分の吸収量を増加させることにはならず、窒素や磷酸の吸収量ばかりではなく、加里や石灰の吸収量も増加していない。しかし、窒素または磷酸の供給された状態での磷酸または窒素の供給増加は、収穫時の苗木の養分の吸収量をいちじるしく増大し、窒素や磷酸のみにかぎらず、加里も石灰も吸収量は増加している。

5. 以上の結果にそれぞれ考察を加え、また苗畑を肥培管理してゆく立場からも、2, 3の考察をくわえた。

文 献

- 1) BAKER F. S.: Effects of shade upon coniferous seedlings grown in nutrient solutions. Jour. of For. 43, (1945) p. 428~435
- 2) 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
- 3) 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
- 4) FINN L. O.: The influence of nitrogen and potassium on the availability of fertilizer phosphorus. S. Dak. Agri. Exp. Sta. Bull. 453, (1955) pp. 22
- 5) GOEDEWAAGEN M. A. J.: The relation 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, (1937) p. 185
- 6) GOODALL D. W., A. E. GRANTLIPP and W. G. SLATER: Nutrient interactions and deficiency diagnosis in the lettuce. I. Nutrient interaction and growth. Aust. J. Biol. Sci. 8 (3), (1955) p. 301~329
- 7) GOODALL D. W. and F. G. GREGORY: Chemical composition of plants as an index of their nutritional status. (1947) pp. 167
- 8) GRUNES D. L., F. G. VIETS and S. H. SHIH: Proportionate uptake of soil and fertilizer phosphorus by plants as affected by nitrogen fertilization: I. Growth chamber experiment. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22 (1), (1958) p. 43~48
- 9) GRUNES D. L., H. R. HAISE and L. O. FINE: Proportionate uptake of soil and fertilizer phosphorus by plants as affected by nitrogen fertilization. II. Field experiments with sugar beets and potatoes. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22 (1), (1958) p. 49~52
- 10) 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磷酸含量の影響, 林試研報 103, (1957) p. 69~83
- 11) 伊沢悟郎・名武昌人: 水稻の窒素吸収に関する研究 アンモニア栄養と硝酸栄養下における各種イオンの相互作用, 日土肥, 28 (1), (1957) p. 31~34
- 12) LÜDERS R.: Beziehungen zwischen Stickstoff oder NPK Düngung und dem Phosphor-

- saure und Schwermetall gehalt von Pflanzen. Z. Pflanzenernährung Düng. Bodenk. 68, (1955) s. 56~65
- 13) McLEAN E. O.: Plant growth and uptake of nutrients as influenced by levels of nitrogen. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21, (1957) p. 219~222
- 14) 望月武雄・花田 慧: りんご樹の磷酸栄養に関する研究, 第 1 報, 磷の給与量と窒素代謝との関係, 日土肥講, 2, (1956) p. 38
- 15) NEMEC A.: The effect of a one-sided N fertilization upon the growth of spruce in forest nurseries. Amm. Acad. tchecosl. Agr. 12 (1937) p. 32~47. c. f. For. fertilization (1956) p. 156
- 16) RITTER C. M.: Effects of varying rates of nitrogen fertilization on young elberta peach trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 68, (1956) p. 48~55
- 17) RUSSELL J. S., C. W. BOURG and M. F. RHOADES: Effect of nitrogen fertilizer on the nitrogen, phosphorus and cation contents of brome grass. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18, (1954) p. 292~296
- 18) 坂口勝美: 育苗 (1953) p. 128
- 19) 芝本武夫・川名 明・高橋光枝・丹下 勲: 磷酸欠除がスギ, ヒノキの水耕稚苗の光合成および呼吸作用におよぼす影響について (予報), 64 回日林講, (1955) p. 175~176
- 20) 四手井綱英・塩田 勇: カラマツ苗の立枯病罹病度に及ぼす施肥料の影響 (予報), 日林誌, 32, (1950) p. 195~197
- 21) 高橋治助・柳沢宗男・河野通佳: 作物の養分吸収に関する研究, 第 3 報, 窒素及び磷酸栄養の状態が養分吸収に及ぼす影響 (水稻), 日土肥, 23 (2), (1953) p. 156
- 22) 高橋治助・柳沢宗男・河野通佳: 作物の養分吸収に関する研究, 第 4 報, 窒素の施用量が他の無機養分の吸収に及ぼす影響 (水稻), 日土肥, 23 (2), (1953) p. 156
- 23) 高橋達郎・吉田大輔: タバコ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, 培養液のアンモニア態, 硝酸態窒素と磷酸との関係, 日土肥, 26 (4), (1955) p. 11~14
- 24) THOMPSON L. M.: Soils and soil fertility. (1957) p. 307~309
- 25) VAN GOOR C. P.: The influence of nitrogen on the growth of japanese larch. Plant and Soil. 5, (1953) p. 29~35 c. f. For. fertilization. (1956) p. 267~268
- 26) WALLACE A. and R. T. ASHCROFT: Preliminary comparisons of the effects of urea and other nitrogen sources on the mineral composition of Rough lemon. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 68. (1956) p. 227~233
- 27) WITTWER S. H, R. A. SCHROEDER and W. A. ALBRECHT: Interrelationships of calcium, nitrogen and phosphorus in vegetable crops. Plant Physiol. 22, (1947) p. 244~256

図版説明 Explanation of plates

Phot. 1~6

窒素と磷酸の供給のちがいによつて、カラマツ苗の針葉の長さに差がみられる(7月中旬さつえい)。すなわち窒素と磷酸の両者を供給した鉢(Phot. 4, 6)の苗木は、他の鉢の苗木にくらべて針葉が長い。

Effect of nitrogen and phosphorus supply on the needle length of Karamatsu 1—0 seedling (mid—July).

Both supply of nitrogen and phosphorus increased the needle length of seedling (Phot. 4, 6).

Phot. 7

10月下旬のカラマツ苗の成長。窒素と磷酸の両者を供給した苗木は成長が増加している。

Karamatsu 1—0 seedling in late-October.

Both supply of nitrogen and phosphorus increased the growth of seedling.

Effects of Soil Nutrient Levels on the Growth and Nutrient Uptake by Forest Seedlings (II)

Interaction effects of nitrogen and phosphorus supply on the growth and nutrient uptake by Karamatsu (*Larix Kaempferi* SARG.) 1-0 seedling

Hiroshi HARADA

(Résumé)

An adequate supply of plant nutrient elements is necessary to good growth of seedling. One may usually expect some increase from the use of nitrogen, phosphorus, or potassium alone on a seedling where the elements are deficient.

This is not always borne out in practice, however, as sometimes growth is retarded by the application of only one of the numerous nutrient elements.

Sometimes the addition of two or more elements is necessary before a substantial increase in seedling growth is realized.

This factorial experiment is based on the idea mentioned above.

The design of simple factorial experiment in 1957 is shown in Table 3.

N₀ or P₀ indicate no nitrogen (ammonium sulphate) or phosphorus (superphosphate) supply; N₁ or P₁ indicate adequate nitrogen or phosphorus supply; N₂ or P₂ indicate high nitrogen or phosphorus supply; P₃ indicates very high phosphorus supply.

The pots used were of unglazed earthenware, and each of them contained 7.5 kg of the treated soil. Each pot also received 4 g of potassium sulphate. The pots were placed outdoors.

Karamatsu (*Larix Kaempferi* SARG.) seeds were sown in April of 1957 at about 1 g per pot.

The visual symptoms of the foliage of seedlings were observed throughout the growing season.

The seedlings were removed from the pots in late-October by flushing the root with tap water. After measuring top length and top and root fresh weights, the seedlings were oven-dried at a temperature of 60°C., Weighed, milled, and finally analyzed for their concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium.

I Visual symptoms

In mid-June, green color in the leaves appeared with the increase of nitrogen supply, but nitrogen deficiency symptoms in the leaves of the seedling grown in N₀ series soil did not yet appear. The leaves of the seedling grown in P₀ series soil became indistinctly dark green in color.

In late-June, green color in the leaves of the seedlings grown in N₂P₁, N₂P₂ and N₂P₃ soil appeared more distinctly than in N₀ series soil, and the growth of seedlings grown in N₂P₁, N₂P₂ and N₂P₃ soil increased distinctly as compared with that in N₀ series soil. The lower leaves of the seedlings grown in P₀ series soil and N₂P₁ soil became dark green in color.

In mid-July, dwarf growth appeared distinctly in the seedlings grown in N₀ series

soil, and the color of the leaves became yellowish owing to nitrogen deficiency irrespective of phosphorus supply. Purple color, due to phosphorus deficiency, appeared distinctly in the leaves of the seedlings grown in P_0 series soil with the increase of nitrogen supply.

In late-July, purple color or dark green color, caused by phosphorus deficiency, became indistinct in the leaves of the seedlings grown in N_0P_0 and N_1P_0 soils, but these symptoms still appeared distinctly in the lower leaves of the seedlings grown in N_2P_0 soil.

In late-October, phosphorus deficiency symptoms still appeared in the lower leaves of seedlings grown in N_2P_0 soil.

The summary of the facts mentioned above are as follows: Nitrogen deficiency symptom appeared in the leaves of the seedlings grown in N_0 series soil irrespective of phosphorus supply; phosphorus deficiency symptom appeared distinctly in the lower leaves of the seedlings grown in P_0 series soil with increase of nitrogen supply.

II Growth

In late-July, the seedlings grown in N_2P_3 soil showed good growth in length, whereas those in N_0 series soil (N_0P_0 , N_0P_1 , N_0P_2 , N_0P_3) and P_0 series soil (N_0P_0 , N_1P_0 , N_2P_0) showed poor length growth (Fig. 1).

In late-August, there were marked differences between the seedlings growth grown in N_0 and P_0 series soils and those grown in the other soils.

In late-October, the length of seedlings grown in N_2P_3 soil was the highest, and those grown in N_1P_2 , N_1P_3 , N_2P_1 and N_2P_2 soils also showed good growth. But seedlings grown in N_0 and P_0 series soils showed poor growth (Fig. 4, Table 6).

The fresh weight (variously top, root and whole seedling) of the seedlings grown in N_0 and P_0 series soils showed poor growth, the same as in length growth of the seedlings; those in N_2P_2 soil, however, showed the highest.

Nitrogen supply without phosphorus supply did not increase the growth, and phosphorus supply without nitrogen supply did not increase the growth. The supply of both nitrogen and phosphorus increased the growth markedly (Fig. 4—5, Table 6—11). This extra increase is designated positive interaction of nitrogen and phosphorus in this experiment.

The above are the facts on the size growth of the seedlings. However, we have need of attaching importance to the improving of the seedling health, now that the healthy seedling yield is the end of seedling culture in forest nursery.

In this connection, the author carried out a trial calculation of the top length/top dry weight, BAKER's index of slenderness, as materials for the test of seedling health. The index of slenderness of the seedlings grown in the supply of both nitrogen and phosphorus are better than those on the supply of nitrogen without phosphorus and phosphorus without nitrogen (Table 12).

III Nutrient uptake

The seedlings were removed from the pots in late-October, and analyzed for their concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium.

Nitrogen was determined by the Kjeldahl method. Phosphorus was determined colorimetrically using ammonium molybdate, potassium by the photometric method using Parkin elmer flame photometer, calcium by titration method using potassium permanganate, after wet digestion with nitric and perchloric acids.

The nutrient uptake by seedlings detected by chemical analysis (Table 13, 14). The nutrient uptake by seedlings fertilized differentially with nitrogen and phosphorus are as follows:

Nitrogen

Nitrogen supply without phosphorus supply increased the nitrogen percentage of the seedlings, but did not affect the nitrogen content of seedlings. Nitrogen supply with phosphorus supply did indistinctly affect the nitrogen percentage of seedlings, but increased distinctly nitrogen content of seedlings.

Phosphorus supply irrespective of nitrogen supply did not affect the nitrogen percentage of the seedlings. Phosphorus supply without nitrogen supply also did not affect the nitrogen content of seedlings, but phosphorus supply with nitrogen supply increased distinctly the nitrogen content of seedlings.

The summary of the facts mentioned above are as follows: Nitrogen supply without phosphorus supply and phosphorus supply without nitrogen supply did not increase the nitrogen uptake by seedlings. The supply of both nitrogen and phosphorus, however, increased distinctly the nitrogen uptake by seedlings (Fig. 7—8, Table 15—17).

Phosphorus

Nitrogen supply without phosphorus supply did not affect the phosphorus percentage of the seedlings, and phosphorus content of seedlings.

Nitrogen supply with phosphorus supply decreased the phosphorus percentage of the seedlings, but increased distinctly the phosphorus content of seedlings.

Phosphorus supply without nitrogen supply increased the phosphorus percentage of the seedlings, but did not increase the phosphorus content of seedlings.

Phosphorus supply with nitrogen supply slightly increased the phosphorus percentage of the seedlings, and, moreover, increased distinctly the phosphorus content of seedlings.

The supply of both nitrogen and phosphorus increased distinctly the phosphorus uptake by seedlings.

Efficiency of phosphorus uptaken by Karamatsu seedlings for the dry matter yield decreased with phosphorus supply, but increased with nitrogen supply except P₀ series seedlings (Fig. 9—10, Table 18—20).

Potassium

Both the nitrogen and the phosphorus supply did not affect the potassium percentage of the seedlings. However, nitrogen with phosphorus supply and phosphorus with nitrogen supply increased distinctly the potassium uptake by seedlings.

Efficiency of potassium uptaken by Karamatsu seedlings for the dry matter yield was not affected with nitrogen or phosphorus supply (Fig. 11—12, Table 21—23).

Calcium

Nitrogen supply without phosphorus supply distinctly decreased the calcium concentration and content of the seedlings. Nitrogen supply with phosphorus supply did not affect the calcium percentage of the seedlings, but increased distinctly the calcium content of seedlings.

Phosphorus supply without nitrogen supply did not affect the calcium concentration and content of the seedlings, but phosphorus supply with nitrogen supply increased both the calcium concentration and content of the seedlings.

The supply of both nitrogen and phosphorus increased distinctly the calcium uptake by seedlings (Fig. 13—14, Table 24—26).

N/P ratio

N/P ratios in seedlings as affected by their nutrients supply in soils are shown in Table 27. These wide variations are influenced by the differences in soil nitrogen and phosphorus supply. N/P ratios increased with nitrogen supply except P_0 series, and these decreased with phosphorus supply irrespective of nitrogen supply on the whole.

IV Conclusions

The visual symptoms of the leaves, the growth and the nutrient absorption of Karatsu 1—0 seedlings to various nitrogen and phosphorus combinations in the soil were studied.

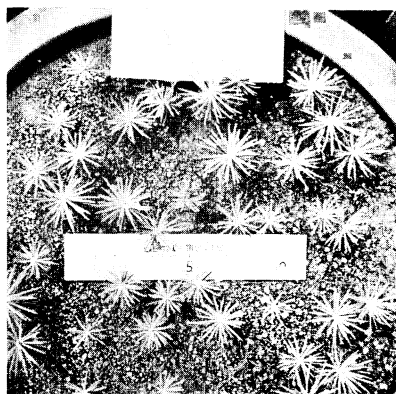
Nitrogen deficiency symptoms were observed in seedling leaves without nitrogen supply irrespective of phosphorus supply, and phosphorus deficiency symptoms were observed in seedling leaves without phosphorus supply. The phosphorus deficiency symptoms appeared distinctly with increase of nitrogen supply; it is difficult, however, to explain with this limited data.

The order of the clearness of the phosphorus deficiency symptoms are as followed; $N_2P_0 > N_1P_0 > N_0P_0 > N_2P_1$

The seedlings grown in N_0 or P_0 series soils decreased in growth and in nutrient absorption irrespective of phosphorus or nitrogen supply.

The relationship between the nutrient deficiency symptoms of the seedlings grown in N_0 or P_0 series soil and the poor growth of the seedlings grown in there was poor, and the relationship between nutrients absorption of the seedlings grown in N_0 or P_0 series soils and nutrients content in those soils was also poor.

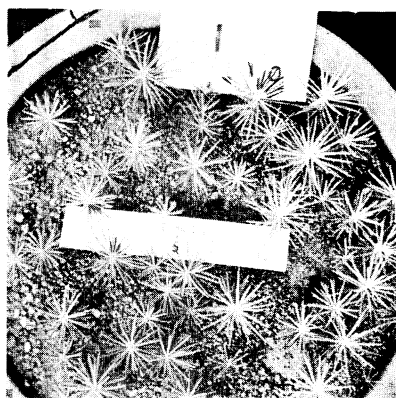
The seedlings grown in the soil with supply of both nitrogen and phosphorus increased in growth and in nutrient absorption, and these seedlings has also good index of slenderness.



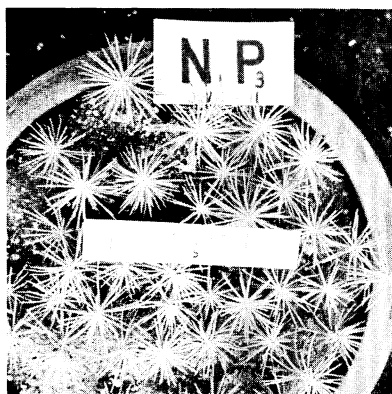
Phot. 1



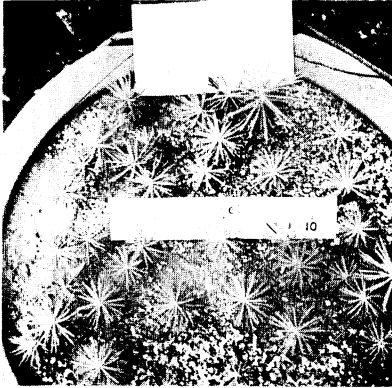
Phot. 2



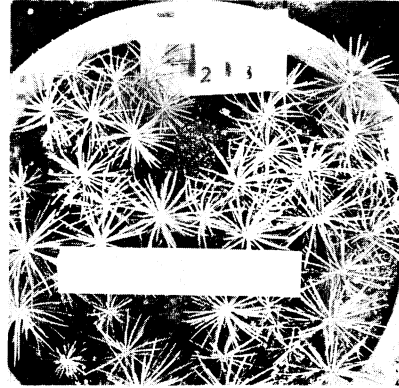
Phot. 3



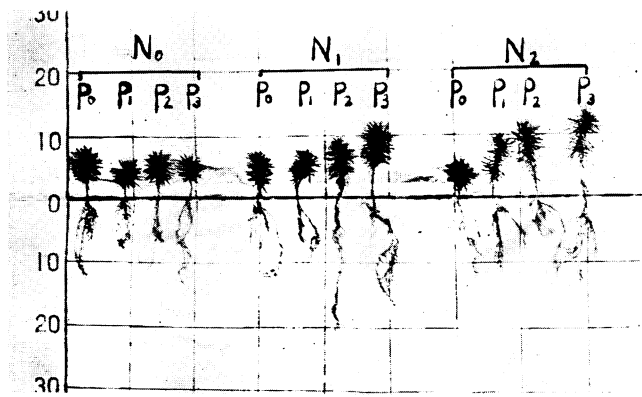
Phot. 4



Phot. 5



Phot. 6



Phot. 7