

葉分析によるカラマツの栄養診断に関する研究

中 村 健

STUDIES ON NUTRITIONAL DIAGNOSIS BY LEAF ANALYSIS OF JAPANESE LARCH

By Takeshi NAKAMURA

目 次

第1章 総 説	378
第1節 本研究の必要性ならびにその意義および目的	378
第2節 過去の研究概要	378
第3節 実 験 方 法	380
第1項 試料および採取法	380
第2項 要素分析法	384
第2章 カラマツ葉の養分要素組成からみた特性およびその給源	384
第1節 カラマツ葉の養分元素組成	384
第2節 カラマツ葉の灰分中における養分組成	387
第3節 要 約	389
第3章 カラマツ葉の養分組成の諸因子による変動	391
第1節 カラマツ葉の養分要素の時期別変動および樹令ならびに地位との関係	391
第2節 採葉部位および方位による変動ならびに樹令および地位との関係	394
第3節 養分相互の拮抗作用による変動	397
第4節 立地条件による変動	400
第1項 pH ならびに光量の変化による養分吸収の相違	400
第2項 海拔高の変化による養分吸収の相違	400
第5節 要 約	401
第4章 カラマツの生長と葉中養分要素の量的関係	404
第1節 カラマツの生長と葉中養分含有率および養分間の相互関係	404
第2節 磷酸濃度の変化が生育ならびに葉中の養分含有量に及ぼす影響	410
第3節 要 約	411
第5章 葉分析による栄養診断への応用	412
第1節 土壤養分と葉中養分の関連性	412
第2節 カラマツの葉分析による栄養診断への応用	414
第3節 要 約	416
結 論	416
文 献	417
Résumé	419

第1章 総 説

第1節 本研究の必要性ならびにその意義および目的

集約な林業経営を行ない、森林資源の培養を期するためには、つねに森林の立地を科学的に明確にしながら林木を最も適正な環境のもとにおき、生育の最大の効果をあげることが必要である。森林の立地を科学的に解明する手段として、従来林木の生長と土壌との関係を明らかにするため、土壌の化学分析が行なわれていたが、土壌中には不可吸態の成分も含まれているので、土壌中にある種の成分が多く含まれている場合でも、それが全部林木に吸収されるとは限らないので、土壌を分析しただけでは森林の立地を解明することは困難なようである。また土壌を分析して成分の多少を論じても、それは林木が養分を吸収したなごりについてであつて、土壌の分析結果だけからただちに林木の養分の過不足を論ずることは早計であつて、樹体も分析したのちはじめに養分の過不足を論ずることが可能と考えられる。

このような見地から、林木をつねに適正な環境のもとにおく1つの手段としては、葉分析による栄養診断を行ない、養分要素の過不足を知るとともに、土壌中の有効態養分量を推定する方法が従来の土壌分析だけにたよる方法よりもすぐれた手段であると考えられる。

林木が正常な生育をなすためには、重要な生理作用を営む葉の構成成分が正常でなければならないはずである。そこで、正常な生育を示す葉の構成成分を、生育不良な葉の成分と比較することによつて、生育不良の葉の成分の過不足を知り、その栄養状態を推定することが可能であると考えられる。

本論文はカラマツを対象として葉分析を行ない、土壌を分析した場合との養分要素の量的関連性について比較検討しようとするものである。葉と土壌の化学成分の関連性が明らかとなれば、葉分析を林地および林木に対する栄養診断、さらに施肥効果の判定に応用することの可能性について検討するものである。

本研究を行なうにあたり、種々御懇切なる御指導と、有益なる御助言を賜わつた京都大学農学部岡崎文彬教授に対し、また現地調査、試料の収集をはじめ分析全般にわたつて終始御協力いただいた本学部村上浩二講師、高橋成直助手に対し深厚なる謝意を表する次第である。

第2節 過去の研究概要

農学の分野においては、作物あるいは果樹の栄養診断を行なう手段として葉分析がしばしば用いられている。これらの分野においては、種類および品種の異なることによつて、養分の最適濃度や欠乏症発現の程度が異なり、また果実の収量を多くするための最適濃度と、果実の品質を良くするための最適濃度との間に相違があるので、葉分析の結果だけでは、不確実な判断やあやまつた結論を導びく危険性が多いといわれている。しかしながら、林木の場合は農作物や果樹の場合と異なり、栄養生長だけを対象とすることが普通で、その点葉分析の適用が林木の場合にはかに単純化されるので、試料採取方法が適正に行なわれ、気象や土壌、あるいは植生などの条件を考慮して総合的に検討するならば葉分析による栄養診断も可能であるとの観点から近年諸外国においても、またわが国においても、葉分析を林業にとりいれ林木の栄養診断、林地土壌の診断、施肥効果の判定などに利用しようとする傾向が盛ん

になりつつある。⁶⁷⁻¹⁴⁾ 林木について MITCHELL¹⁶⁾ は林木の生長の経過による窒素, 磷酸, カリ, カルシウムの葉中における含有量の傾向について調べ, 樹木の栄養ならびにその化学的特性は葉分析によつて得られると主張した。CHAPMAN¹⁶⁾ はゴム樹について研究し, 葉における窒素, 磷酸, カリの含有率を樹体の養分要求の尺度として採用すべきことを主張した。WANDER¹⁷⁾ および BRODE¹⁷⁾ は土壤中における有効性カリの濃度の判定に spectrographic method による葉分析を用いた。WALKER¹⁸⁾ は葉分析によつて western red cedar の健全葉と欠乏葉について種々なる養分要素の含有量の相違点を見出すことが可能であるとし, 窒素および磷酸肥料に対する明確な反応が観察されたと述べている。WALKER¹⁹⁾ はカリ欠乏土壌における針葉樹の葉分析を行ない, 葉分析は土壌中のカリの欠乏を示すのに有効であるとしている。LEYTON²⁰⁾ はヨーロッパカラマツの葉の無機成分と生長との関係を調べ, 葉の窒素, 磷酸およびカリの含有量と樹高との間に明らかな相関関係があることを明らかにし, ヨーロッパカラマツの上長生長は窒素とカリの両者が欠乏すれば著しく悪くなると述べている。同氏はまたヨーロッパカラマツの上長生長に対する窒素施肥の効果は非常に大であるが, カリ施肥の効果はわずかであることを認めた。また樹葉の窒素含有率は窒素の施肥量を増加してやると直線的に増加するが, カリの施肥量では影響を受けないことを明らかにした。また同氏はヨーロッパカラマツの葉の生育と, その無機組成との関係を調べ, 葉の乾物量のなかで窒素とカリの含量と生長量の間に関連があることを認めた。LAHANAUkas²¹⁾ らは窒素, 磷酸, カリなどが葉の微量元素含量におよぼす影響を調べ, 窒素を多く与えると葉中の亜鉛, 銅, ホウ素が減じ, マンガン, 鉄が増加する。また磷酸を多く与えると, 亜鉛と銅が減じ, マンガンの含量が増加し, ホウ素はわずかに減少するが鉄には影響がない。カリを多く与えると, 銅が増加したがその他の要素には影響がないことなどを明らかにした。Mirov²²⁾ らはマツ類の肥料試験でその影響が最も明確にあらわれ, 信頼のおけるのは樹葉の分析によることで, ただしこの場合も樹冠内の位置, 年令によつて異なり, 時期としては生長の終期に試験すれば有効な指数が得られると述べている。

わが国における林木の葉分析に関する研究としては, 岡崎²⁵⁾ らはスギの1年葉と2年葉の生理的機能について調べ, 葉令によつて著しいちがいがあつたことを明らかにした。芝本²⁶⁻³⁰⁾ は樹木および稚苗の生理化学的研究を行ない, 無機成分の季節的变化について調べ栄養摂取の季節的变化を追求した。朝日³¹⁾³²⁾ は林地の肥沃性と関連する塩基供給者としての個体差を調べるため, また林地肥培効果のすぐれた樹種を見つけるため北海道に自生する林木の葉分析を行なつた。また同氏はトドマツ苗の生育期間中における窒素, 磷酸, カリの吸収経過について調べ, 生育に伴う養分の移動を追求した。安藤³³⁾ は苗木の合理的施肥量をきめるには樹種, 苗令および各生育段階における養分要求度を考慮しなければならないとしてスギ, ヒノキ稚苗について生育に伴う栄養要素含有量の変化を追求した。また同氏は施肥量の多少によつて苗の要素含有量とその季節的变化が如何なる影響を受けるかを知る目的でスギ苗を8月から11月まで各月に採取し窒素, 磷酸, カリ, カルシウムの4要素を定量した。原田³⁴⁾ は, 苗木の合理的施肥法を確立するためには, 異なる土壌養分のもとにおける苗木の養分吸収の状態を調べなければならないとして, 磷酸欠乏の土壌に種々の量の過磷酸石灰を施した培地でスギおよびカラマツ苗木の生長と養分の含有状態がどのように変つてくるかを調べた。また同氏は, カラマツのまきつけ苗について土壌中の磷酸と窒素の供給量をいろいろに変化させ, 葉色ならび

に生長に及ぼす影響を調べ、また、苗木を地上部と地下部にわけてそれぞれの養分含有率を測定した。

著者らは、カラマツ2代目造林地の生育不良林分と1代目カラマツ林分について葉分析を行ない、葉中の無機栄養素含有率の相違について検討し、また2代目造林地の生育不良の原因を、養分欠乏の面から検討することを目的として苗木について葉分析を行なつた。

柴田は、施肥量の変化が苗木の要素含有率に如何なる影響を及ぼすかについて調べるため、スギ、ヒノキ、アカマツおよびクロマツに対して、3要素適量試験を行ない、苗木を葉、幹、枝および根の3部にわけて窒素、リン酸、カリおよびカルシウムについて含有率の測定を行なつた。

芝本は、林木の葉中の無機成分含有量が、樹高あるいは土壤型との間にどのような関係があるかを調べるために、ヒノキの葉分析を行ない、葉中の窒素、リン酸、カルシウムの含有量と樹高あるいは土壤型との間にはきわめて密接な関係があり、また土壤の置換酸度(y_1)と樹高あるいは土壤型との間にも強い相関が認められ、また施肥木と無施肥木について、葉中の無機成分含有量を比較し、両者の間にかなり大きな差異があることを認めた。

以上のように、林木の生長を栄養素含有量の面から追求し、林地土壤の診断、林木の栄養診断、あるいは施肥効果の判定などに利用しようとする試みは次第に盛んになりつつあるが、一部を除き、苗木全体を分析の対象とし、いわゆる葉分析を行なっているものはきわめて少なく、またカラマツ属を対象として、上記のような目的で葉分析を行なつた例も外国における1、2の研究を除き見当たらないので、本研究は信州産カラマツ (*Larix leptolepis*) を対象として、養分吸収の特性および養分吸収と生長との関係を広い角度から検討し、これを林地土壤の診断、林木の栄養診断、あるいは施肥効果の判定などに応用することの可能性について考察を試みようとするものである。

第3節 実験方法

第1項 試料および採取法

[A] カラマツ樹葉の養分吸収の特性を調べる目的で、本学部付属演習林苗木畑の1部に、1m平方の区画を16作り、カラマツ、アカマツ、ヒノキ、スギの苗木をラテン方格に配列して、1960年5月1日植え付けを行なつた。

植え付けの間隔は各樹種とも縦横17cmとして1区画36本あて植え付けを行なつた。用いた苗木は、いずれも本学部付属演習林苗木畑で生産されたものであり、大きさをほぼ同じ程度にそろえるため、カラマツ、アカマツ、スギは当年生苗木を、ヒノキは1回床替苗木を用いた。採葉の時期については、葉中の養分含有率の消長が苗木の生長期と密接な関係があり、樹種によりその時期を異にするので、各樹種とも葉中の養分含有率が比較的安定したと思われる10月末日に採葉を行なつた。また、カラマツ、アカマツ、ヒノキ、スギの林木についても同様のことを調べる目的で、本学部構内の立地条件のほぼ同様な地点を選んで、10月中旬採葉を行なつた。採取した葉は水で手早く土砂だけ洗い落したのち風乾し、さらに60°Cで24時間乾燥してコーヒーミルで粉碎し分析に供した。

[B] 樹令、採葉時期および採葉部位ならびに方位による変動を調べるための試料は、立

地条件のなるべく同一の地点から選ぶ必要があるため、本学部構内に自生する10年生から50年生に至るカラマツ林木から採取した。ただし30年生の林木は他の樹令の林木にくらべやや地位が不良であつたが、他に同令のものが見当たらないためこれより採葉した。これらの試料は昭和35年6月から11月まで毎月採葉し、8月以降は新梢葉、古梢葉別に採葉した。

採葉後の処理は〔A〕と同様に行なつた。

〔C〕 養分要素の葉成分に及ぼす影響ならびに拮抗作用による変動を調べるため、1960年5月13日内径30cmの鉢に新鮮な土壤8.3kgを投入し、第1—1表による処理を行なつたのち、1鉢につきカラマツ種子を5g宛まきつけ、発芽後生育を均一にするため、毎月各鉢の本数を一定にしてまびきを行ない、10月未日に苗木を掘り取り、化学分析用として各ポットから土壤を採取した。掘り取つた苗木は水で手早く洗い (leaching のおそれがあるため)、そのうち50本を無作為に選び、伸長量、生体重量ならびに観察による葉色の変化を測定した。(第1—2表)。

第1—1表：カラマツまきつけ苗に対する要素施用一覽

記号	処 理	N g	P g	K g	Ca g	Mg g	N. P. K g
a ₁₋₃	無 処 理						
b //	P. K. Ca.		20.0	7.5	15.0		
c //	N. P. Ca.	28.5	20.0		15.0		
d //	N. K. Ca.	28.5		7.5	15.0		
e //	N. P. K.						50.0
f //	N. P. K. Ca.				15.0		50.0
g //	N. P.	28.5	20.0				
h //	N. K.	28.5		7.5			
i //	P. K.		20.0	7.5			
j //	N. Ca.	28.5			15.0		
k //	P. Ca.		20.0		15.0		
l //	K. Ca.			7.5	15.0		
m //	N.	28.5					
n //	P.		20.0				
o //	K.			7.5			
p //	Ca.				15.0		
q //	N. Mg.	28.5				1.0	
r //	P. Mg.		20.0			1.0	
s //	K. Mg.			7.5		1.0	
t //	Ca. Mg.				15.0	1.0	

N. 硫安 (N21.0%)

P. 過磷酸石灰 (P20%)

K. 塩化カリ (K47%)

Ca. 炭酸カルシウム (Ca40%)

Mg. 硫酸マグネシウム (試薬) N. P. K. 住友磷安カリ (N12%, P8%, K7%)

第1-2表: カラマツまぎつけ苗の生長量および葉の色調

記号	平均重量 g	平均伸長量 cm	色調		
			緑	黄褐色	赤褐色
a ₁₋₃	0.107	3.3	3	2	5
b //	0.164	4.1	2	7	1
c //	0.374	7.2	9	1	0
d //	0.170	4.3	1	2	7
e //	0.621	7.5	9	1	0
f //	0.588	8.3	8	1	1
g //	0.270	6.0	4	3	3
h //	0.126	4.1	0	2	8
i //	0.213	5.6	2	5	3
j //	0.098	4.8	1	3	6
k //	0.189	5.5	2	4	4
l //	0.105	3.9	1	3	6
m //	0.132	4.3	0	2	8
n //	0.160	5.0	4	5	1
o //	0.105	3.9	2	4	4
p //	0.103	4.2	1	3	6
q //	0.127	4.9	3	2	5
r //	0.221	5.4	1	6	3
s //	0.081	3.9	1	6	3
t //	0.091	4.5	3	4	3

第2-1表: カラマツまぎつけ苗に対する要素施用一覧

記号	番号	処 理	N g	P g	K g	N.P.K g	Fe g	Mn g	Cu g	Zn g	B g	Mg g
A ₁₋₃	480	自然状態										
B //	481	耕 転										
C //	482	殺菌殺虫										
Da ₁	483	N. P. K.				150.0						
Da ₂₋₃	484	"	85.7	60.0	22.4							
Db ₁₋₃	485	P. K.		60.0	22.4							
Dc //	486	N. P.	85.7	60.0								
Dd ₁	487	N. K. Mg.	85.7		22.4							1.0
Dd ₂₋₃	488	N. K.	85.7		22.4							
De ₁₋₃	489	N.P.K. 微	85.7	60.0	22.4		5.0	1.0	0.1	0.2	5.0	
Df //	490	微					5.0	1.0	0.1	0.2	5.0	

N. 硫安 (N21%) P. 過燐酸石灰 (P20%) K. 塩化カリ (K47%)

N. P. K. 住友燐安カリ (N12% P8% K7%) Fe. 硫酸第1鉄 (試薬)

Mn. 硫酸マンガン (試薬) Cu. 硫酸銅 (試薬) Zn. 硫酸亜鉛 (試薬) B. ホウ酸 (試薬)

Mg. 硫酸マグネシウム (試薬) 微. 微量要素 (Mn, B, Cu, Zn)

〔D〕 カラマツの生長と土壌および葉中養分含有量の関連性を明らかにするため、1959年4月22日長野県岡谷市塩尻峠付近のカラマツ林地の新鮮な土壌を採取し、内径27cmの鉢には6kg、30cmの鉢には9.5kg投入し、第2-1表に示す処理をしたのち5月4日2昼夜冷水浸漬処理した種子を27cm鉢には26g(浸水重)、30cm鉢には30g(浸水重)まきつけを行なった。発芽後の管理は〔C〕と同様に行ない、10月27日苗木を掘り取り、同時に各ポットから化学分析用の土壌を採取した。掘り取った苗木は、蒸留水で手早く洗い、そのうちから50本を無作為に選び、伸長量および根際直径を測定し、同時に葉色による要素欠乏状況を観察した。(第2-2表)。

第2-2表：まきつけ苗の養分要素施肥の相違による欠乏症発現状況および生長量

記号	番号	観 察	伸長量 cm	生体重量 g	直 径 mm
A ₁₋₃	480	伸長不良 P欠症状現われている	4.0	0.55	0.53
B //	481	" "	4.2	0.55	0.54
C //	482	" "	4.3	0.53	0.57
Da ₁	483	Mg欠症状現われていない	8.6	1.85	1.08
Da ₂₋₃	484	" 現われている	8.0	2.31	1.04
Db ₁₋₃	485	N, Mg欠症状現われている	7.1	1.27	0.90
Dc //	486	Mg欠症状相当顕著に現われている	8.0	1.71	0.97
Dd ₁	487	伸長不良 P欠症状一部に現われる	4.6	0.71	0.70
Dd ₂₋₃	488	" P欠症状全面的に現われる	4.0	0.41	0.47
De ₁₋₃	489	Mg欠症状現われている	8.1	1.75	1.08
Df //	490	伸長不良 P, Mg欠症状若干現われる	3.9	0.58	0.63

第3表：カラマツまきつけ苗の密度別施肥設計

記号	処 理	過磷酸 石灰 g	播種量 g
P10	5	10.0	5.0
P10	10	10.0	10.0
P10	20	10.0	20.0
P10	40	10.0	40.0
P20	5	20.0	5.0
P20	10	20.0	10.0
P20	20	20.0	20.0
P20	40	20.0	40.0
P40	5	40.0	5.0
P40	10	40.0	10.0
P40	20	40.0	20.0
P40	40	40.0	40.0

〔E〕 燐酸の濃度の変化が葉成分に及ぼす影響については、カラマツの生長と燐酸との間に、きわめて密接な関係があると思われ、これについては詳細に検討する必要があると考えられたので、本学浅田教授、赤井講師の好意により第3表のような濃度別および密度別の試料の提供を受け、さらに比較検討した。両氏の好意に対し謝意を表する次第である。

〔F〕 標高の差異が葉成分に及ぼす影響を及ぼすかを調べるため、1960年10月富士山ろくの標高920mの地点から5合目2400mまでの地点で試料を採取した。

〔G〕 pHならびに陽光の変化による養分吸収の影響を調べる目的で、硫黄華および炭酸カルシウムによりpHを5つの段階にわけ、よしず張りによる半日陰の区を設け葉内要素含有量を比較し

た。すなわち、硫黄華を100gおよび200g施用した区をそれぞれ S_I および S_{II} 区とし、炭酸カルシウムを250gおよび500g施用した区をそれぞれ Ca_I および Ca_{II} 区とし、また対照区および半日陰区を設けた。以上の各区に N:P:K を 30:20:10 の割で与えて生育させ、10月末日に掘り取り、生体重量および伸長量を測定し、採取した葉は[A]と同様の方法で処理したのち分析に供した。

第2項 要素分析法

[A] 葉分析は、あらかじめコーヒーマイルで粉碎した葉粉を、60°Cで24時間乾燥したのち2.5gをはかり取り、硝酸および過酸化水素水により湿式灰化を行なった。常法によりケイ酸の分離を行ない、ろ液を100mlとして、その中から適当量をとつて次の方法により磷酸、カリ、カルシウム、マグネシウム、鉄、アルミニウムの定量を行なった。

磷酸……………モリブデン青法(比色法)

カリ……………炎光分光分析法

カルシウム、マグネシウム……EDTA 滴定法

鉄……………O-phenanthroline法(比色法)

アルミニウム……………アルミノソ法(比色法)

なお、全窒素はケールダール法、ケイ酸は重量法によりそれぞれ定量した。

[B] 土壌分析は、0.2N HCl 可溶物中の磷酸、カリ、カルシウム、マグネシウム、鉄、アルミニウム、ケイ酸、ならびに全窒素を定量した。定量方法は葉分析の場合と同様な方法により定量した。また pH はガラス電極法により測定した。

第2章 カラマツ葉の養分要素組成から見た特性およびその給源

前述のように、最近の葉分析に関する研究の結果、林地林木の栄養診断ならびに施肥効果の判定には、葉分析が非常に有効であることが明らかになつてきたが、いうまでもなく葉中の養分要素は、樹種によりそれぞれ異なり同一樹種でも後述するように、種々なる条件により異なるので、本章ではまづ正常に生育したカラマツ苗葉について、その養分要素組成ないしは、灰分組成がどのようであるかを明らかにし、同時にカラマツ葉のこれら養分要素組成が他の樹種にくらべて、いかなる特性を持つているかを明らかにすることが必要と思われる。

またカラマツが正常な生長をなすためには、構成材料となる養分の供給が必要であるがその養分要素としては、C, O, H, のように炭酸ガスおよび水として空気中および根から吸収されるものもあるが、その他の生育に必要な元素はことごとく土壤から得られる鉱物質養分に由来しているのであつて、カラマツの生育を制限するものは、これら3元素以外の鉱物質養分であるといつても過言ではない。したがつて本論文においては、これら鉱物質養分を対象として検討することとした。

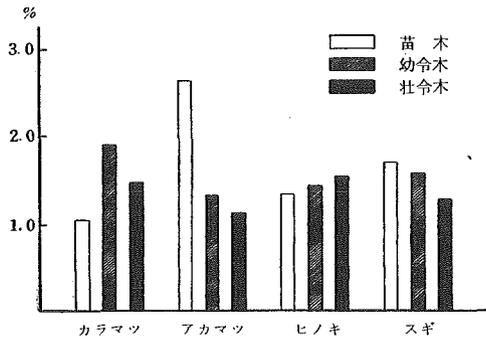
第1節 カラマツ葉の養分要素組成

カラマツ葉の化学成分は、これを元素分析すると普通成分として C, H, O, N, S, P, K,

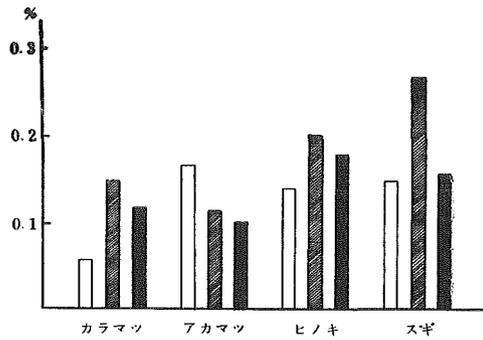
Ca, Mg, Fe, Cl, Si, Al, Na, Mn, などが含まれるが、さらに水耕および砂耕を行つて培養液中の元素を種々加減してみると、正常な生育を示す葉の成分としては C, H, O, N, S, P, K, Ca, Si, Mg, Fe, が欠くことのできない元素として含まれ、その他微量元素として Mn, B, Cu, Zn, などがきわめて少量であるが欠くことのできないものとして重要視されている。これらの養分元素のうち C, H, O, 以外の元素の量的関係について他の樹種と比較し検討すると第1図から第8図のようである。

第1図により明らかなように、Nは苗木の場合アカマツが含有率最も高く、スギ、ヒノキ、がこれに次ぎ、カラマツが最も低く、アカマツの $\frac{1}{2}$ 以下の含有率を示すにすぎないが、幼令および壮令の林木となると、カラマツが同令の他の林木にくらべ最も高い含有率を示した。

苗木においてアカマツのN含有率がスギ、ヒノキにくらべ高いことは、芝本⁴³⁾、津田⁴⁴⁾、柴田⁴⁰⁾、原田・岩崎⁴⁵⁾らの結果とよく一致しており、苗木の場合アカマツのN含有率は、立地に対する要求度の高いスギよりも高い値を示しているが、林木となるとその関係は一変し、幼令木、壮令木ともにカラマツが同令の他の樹種にくらべN含有率は最も高くなり、アカマツはヒノキとほぼ同じ程度で最も低い含有率を示している。



第1図 2, 3の針葉樹葉のN含有率(乾物)



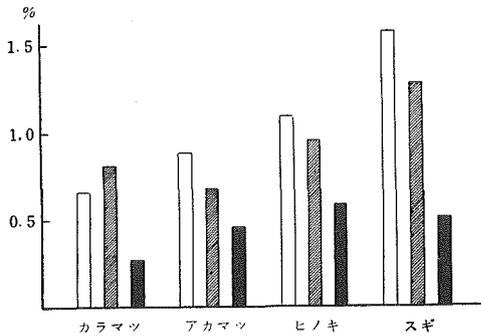
第2図 2, 3の針葉樹葉のP含有率(乾物)

次にPの含有率は、第2図のように苗木ではNの場合と同様アカマツが最も高く、スギ、ヒノキがこれに次ぎ、カラマツは最も低くアカマツの $\frac{1}{3}$ 以下であるが、林木の場合は幼令木ではスギ、壮令木ではヒノキが最も高く、カラマツがこれに次ぎアカマツは最も低い含有率を示しているがその差は苗木の場合ほど著しくないようである。なお苗木においてアカマツのP含有率がスギ、ヒノキより高いことは、柴田⁴⁰⁾も認めているが、林木になると他の樹種と比較して最も低くなることはNの場合と同様である。

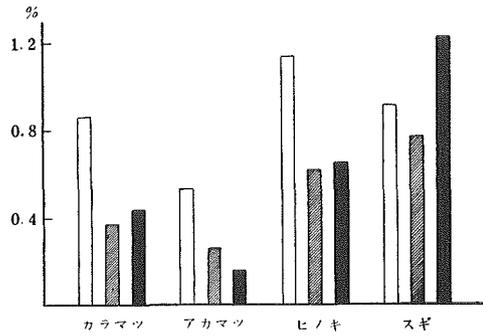
次にKは第3図によると苗木ではスギが最も高く、ヒノキ、アカマツがこれに次ぎ、カラマツが最も低くスギの $\frac{1}{2}$ 以下の含有率を示しているが、林木の場合は幼令木ではスギ、壮令木ではヒノキが最も高く、また幼令木ではアカマツ、壮令木ではカラマツが最低の含有率を示している。

次にCaは第4図に示すように苗木ではヒノキが最も高く、スギ、カラマツがこれに次ぎ、アカマツが最も低くヒノキの $\frac{1}{2}$ 以下の含有率を示したが、林木ではスギが幼、壮令木とも最

も高く、ヒノキがこれに次いで高く、カラマツがこれに次ぎ、アカマツが最も低い含有率を示した。苗木でヒノキが最も高い含有率を示すことは、津田⁴⁴⁾および明永⁶⁴⁾の実験結果ともよく一致し、アカマツ苗木が最も低い含有率を示すことも上述諸氏の実験結果ともよく一致しており、スギ、ヒノキは各樹令を通じてカラマツ、アカマツよりもCa含有率が高いものと推察される。



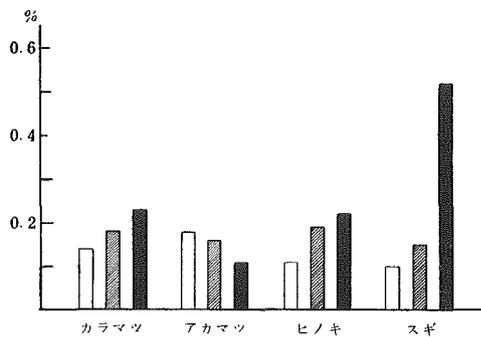
第3図 2, 3の針葉樹葉のK含有率 (乾物)



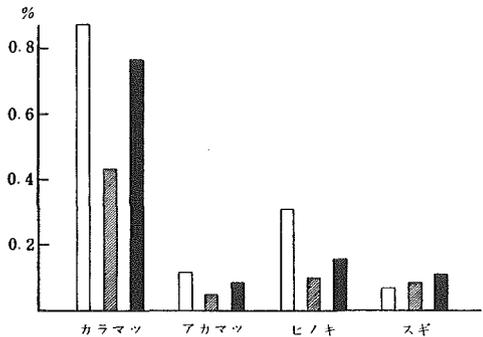
第4図 2, 3の針葉樹葉のCa含有率 (乾物)

Mg は第5図に示すように苗木および幼令木については、樹種によつて差が認められなかつたが壮令木ではスギが他の樹種よりも高い値を示した。

Siは第6図に示すように、カラマツ苗木の含有率は他の樹種にくらべてきわめて高く、ヒノキがこれに次いでやや高いがカラマツの1/3程度にすぎず、アカマツ、スギが最も低くスギはカラマツの1/10程度にすぎない。林木の場合でも、カラマツは幼令および壮令木を通じて他の樹種とくらべて含有率最も高く、ヒノキ、スギがこれに次ぎアカマツが最も低い。



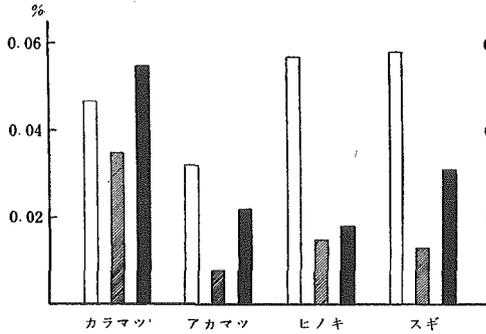
第5図 2, 3の針葉樹葉のMg含有率 (乾物)



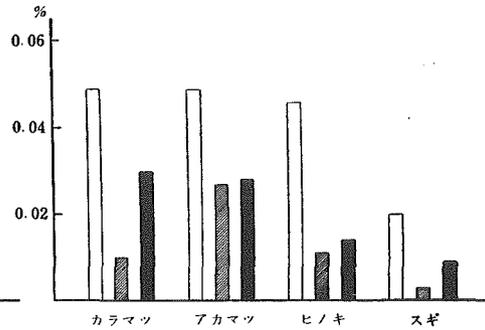
第6図 2, 3の針葉樹葉のSi含有率 (乾物)

Fe は第7図に示すように苗木については樹種の間には有意な差が認められなかつたが、林木についてはカラマツが他の樹種よりもかなり高い値を示した。

Alは第8図に示すように苗木、林木ともにスギが含有率最も低く、ヒノキがこれに次ぎ、カラマツはアカマツとともにやや高い含有率を示した。



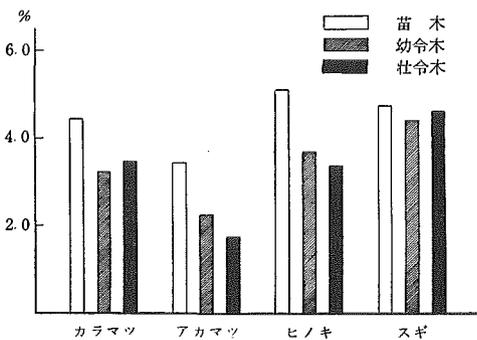
第7図 2, 3の針葉樹葉のFe含有率 (乾物)



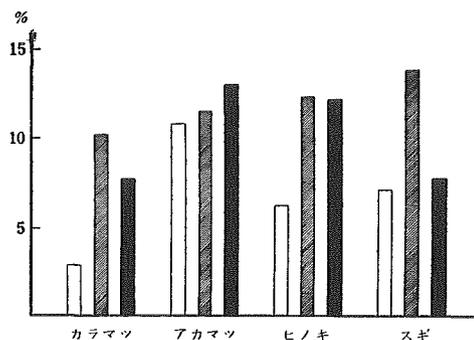
第8図 2, 3の針葉樹葉のAl含有率 (乾物)

第2節 カラマツ葉の灰分中の養分組成

第1節に述べたところは、葉中の乾物に対する養分元素組成であるが、それらの養分含有率は有機物の多少によつて変動することが考えられるので、さらに灰分中の各要素の含有率について検討してみると第9図から第16図のとおりである。これによると全灰分は第9図に示すように、苗木ではヒノキが含有率最も高く、スギ、カラマツがこれに次ぎ、アカマツが最も低い。苗木についての津田の実験結果も同様な傾向を示し、芝本もスギ、ヒノキにくらべアカマツが最も低いことを認めている。林木では幼令および壮令木を通じてスギが最も高く、ヒノキ、カラマツがこれに次ぎ、アカマツは林木でも最も低い含有率を示している。すなわち、無機成分に対する要求度は、全般を通じてスギが最も高く、ヒノキは稚樹から樹令が高くなるにしたがつて低くなり、カラマツはスギ、ヒノキのほぼ中間の要求度を示し、アカマツは各樹令を通じ要求度は最も低いようである。



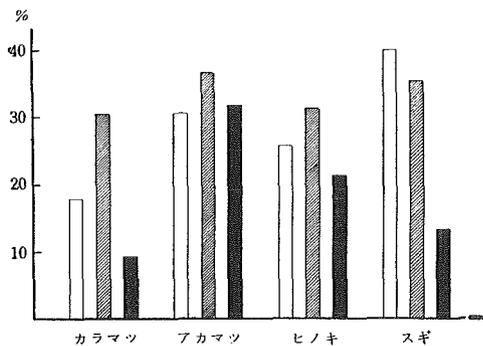
第9図 2, 3の針葉樹葉の全灰分含有率



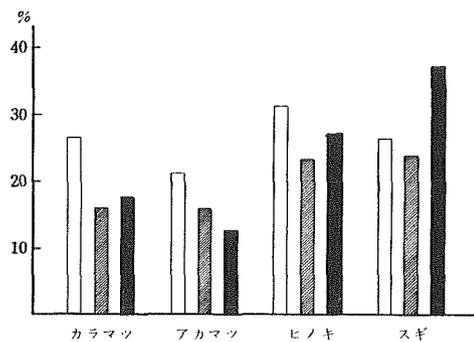
第10図 2, 3の針葉樹葉灰分中のP₂O₅含有率

磷酸の含有率は第10図に示すように、苗木では乾物中の養分元素組成と同様にアカマツが最も高く、スギ、ヒノキがこれに次ぎ、カラマツが最も低い。

林木の場合も乾物中における含有率とほぼ同様で、カラマツが幼令木、壮令木を通じて最も低く、アカマツは幼令木では他の樹種に比し低いが壮令木では最も高い含有率を示している。⁴⁴⁾津田も苗木についての灰分中の磷酸含有率は、アカマツが最も高いことを認めているが、本実験の結果によると、アカマツは幼令木ではやや低くなっているが、苗木および壮令木では他の樹種にくらべて最も高く、前述諸氏の実験結果からみてもアカマツは磷酸に対する要求度が他の樹種より高いものと推察される。これに対しカラマツは各樹令を通じて含有率は最も低く、磷酸に対する要求度は特に苗木における場合他の樹種にくらべて低いようである。カリの灰分中の含有率は第11図に示すように苗木では乾物中の養分元素組成とほぼ同様で、スギが最も高く、アカマツがこれに次ぎ、カラマツが最も低い含有率を示した。林木では幼令、壮令木ともアカマツが最も高く、カラマツが最も低い含有率を示している。津田の実験結果もカラマツの灰分中におけるカリの含有率は、他の樹種中最低であり、各樹令を通じてカラマツは他の樹種と比較してカリに対する要求度は低いものと推察される。



第11図 2, 3の針葉樹葉灰分中のK₂O含有率

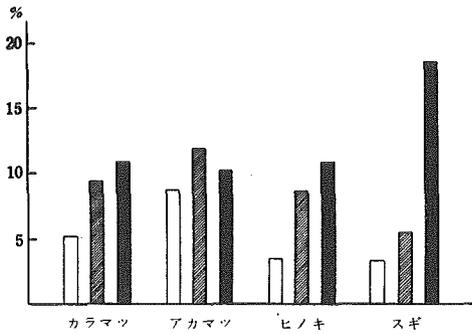


第12図 2, 3の針葉樹葉灰分中のCaO含有率

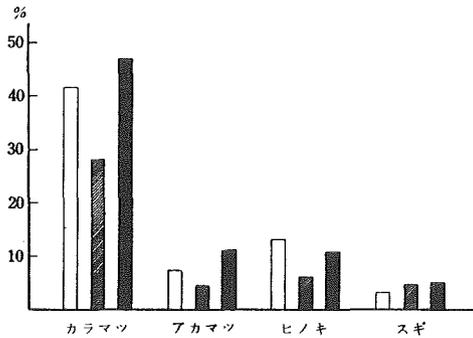
次にカルシウムの灰分中の含有率は第12図に示すように、苗木では乾物中の養分元素組成と同様で、ヒノキが最も高く、スギ、カラマツがこれに次ぎ、アカマツが最も低い含有率を示し、林木では幼令木および壮令木ともにスギの含有率が最も高く、ヒノキがこれに次ぎ、カラマツ、アカマツはほぼ同じ程度で最も低い含有率を示している。すなわちカラマツ、アカマツはスギ、ヒノキにくらべカルシウムに対する要求度低く、とくにアカマツは各樹令を通じカルシウムに対する要求度は、他の樹種に比較し最も低い。

マグネシウムは第13図に示すように苗木では樹種の間には有意の差が認められなかったが、幼令木ではアカマツ、壮令木ではスギが高い傾向を示した。

ケイ酸の灰分中の含有率は、第14図に示すように苗木では乾物中の養分元素組成と同様カラマツが圧倒的に高く、スギ、アカマツがとくに低い。林木の場合も同様で、カラマツが他の樹種にくらべ著しく高い値を示していることは、本樹種の葉成分の一特性とみられ、今後の育成上注目すべき問題の1つと考えられる。



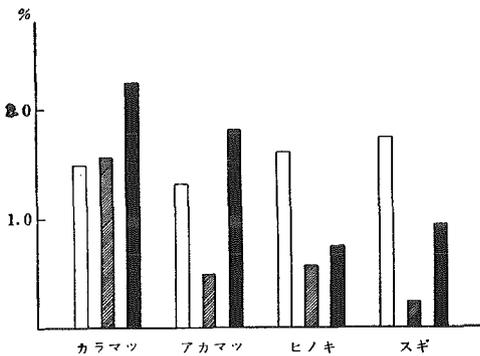
第13図 2, 3の針葉樹葉灰分中のMgO含有率



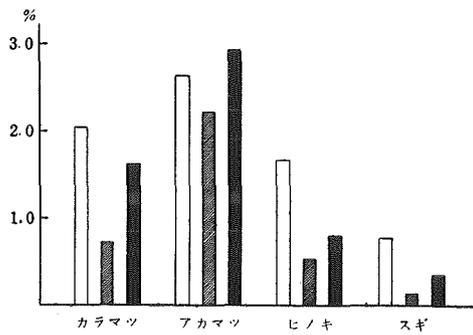
第14図 2, 3の針葉樹葉灰分中のSiO₂含有率

鉄は第15図に示すように苗木については樹種の間には差が認められなかつたが、林木では幼令および壮令木ともにカラマツが他の樹種に比べ高い含有率を示し、幼令木ではスギ、壮令木ではヒノキが最も低い値を示し、全般的にみて鉄に対する要求度はカラマツはスギ、ヒノキにくらべ高いようである。

アルミニウムは第16図に示すように苗木ではアカマツ、カラマツがヒノキ、スギにくらべて高いことは第6図と同様であり、林木についてもアカマツ、カラマツがスギ、ヒノキよりも含有率が高い。



第15図 2, 3の針葉樹葉灰分中のFe₂O₃含有率



第16図 2, 3の針葉樹葉灰分中のAl₂O₃含有率

第3節 要 約

本章では養分組成からみたカラマツ樹葉の特性を明らかにするため、苗木から壮令木にわたつて葉中の養分元素組成ならびに灰分組成を他の2, 3の主要林木と比較検討した。

I 養分元素組成について

1) Nは苗木の場合、カラマツの含有率は他の樹種に比較し最も低く、アカマツが最も高い含有率を示すが、林木となるとカラマツは幼令および壮令木を通じその含有率は他の樹種とくらべ最も高く、アカマツはきわめて低い値を示した。

2) Pも苗木の場合カラマツが最も低い含有率を示し、アカマツは最も高い値を示しているが、林木ではスギ、ヒノキの方がむしろ高く、アカマツはカラマツとともにきわめて低い含有率を示している。

3) Kは苗木から幼令木にかけて、スギが最も高く、ヒノキがこれに次いでいるが、壮令木ではむしろヒノキが高くなっている。カラマツ、アカマツは苗木から壮令木にいたるまで他の樹種に比較して最も低い含有率を示している。

4) Caは苗木ではヒノキ、次いでスギが高く、林木ではスギ、次いでヒノキで、両樹種のCaに対する要求度の高いことを示しているが、カラマツ、アカマツは各樹令を通じてCaの含有率は最も低い。

5) Mgは苗木および幼令木では、樹種間に有意な差が認められなかつたが、壮令木ではスギが他の樹種よりも高い値を示した。

6) Siはカラマツが各樹令を通じて、他の樹種に比較して著しく高い値を示している。

7) Feは苗木については樹種間に差が認められなかつたが、林木についてはカラマツが他の樹種と比較して高い含有率を示した。

8) Alは各樹令を通じてカラマツ、アカマツがやや高く、スギが最も低い含有率を示した。

II 灰分組成について

1) 全灰分は灰分の主要成分であるカルシウムとほぼ同様の傾向を示し、スギ、ヒノキがアカマツ、カラマツよりも高く、無機成分に対する要求度は全般を通じてスギが最も高く、アカマツが各樹令を通じて最も低い。

2) 燐酸の灰分中における含有率は、アカマツが苗木および壮令木で最も高く、ヒノキ、スギも各樹令を通じてかなり高い値を示しているが、カラマツは各樹令を通じて他の樹種に比較しその含有率は最も低い。

3) カリも燐酸の場合とほぼ同様で、カラマツが各樹令を通じて同令の他の林木にくらべ最も低い含有率を示した。

4) カルシウムは苗木ではヒノキ、林木ではスギが含有率高く、アカマツ、カラマツは各樹令を通じて低く、特にアカマツは他の樹種にくらべ最も低い含有率を示している。

5) マグネシウムの含有率は苗木では樹種間に有意な差が認められなかつたが、幼令木ではアカマツ、壮令木ではスギが高い傾向を示した。

6) ケイ酸の灰分中の含有率も乾物中の含有率と同じく、カラマツが各樹令を通じて他の樹種に比較し圧倒的に高い値を示している。

7) 鉄は苗木については樹種間に差が認められなかつたが、林木では全般を通じカラマツはスギ、ヒノキよりも高い値を示した。

8) アルミニウムの含有率はアカマツ、カラマツが高く、ヒノキ、スギが低い傾向を示し、各樹令を通じてアカマツが最も高く、スギが最も低い値を示した。

III カラマツ葉の養分元素組成ならびに灰分組成の特性

カラマツ葉の組成成分の特性として、まず養分元素組成のうち、苗木のN, P, K, の含有率は他の樹種に比較して最低であるが、Siは圧倒的に高い値を示し、林木でもPおよびKはアカマツと大差なく、含有率はきわめて低いが、NおよびSiは、幼令木および壮令木を通じて他の

樹種に比較して最も高い含有率を示している。次に灰分中の含有率も苗木ではリン酸およびカリは他の樹種に比較して最も低い、ケイ酸は著しく高く、林木の場合も同様で、幼令および壮令木ともにリン酸およびカリの含有率は最低であるが、ケイ酸は圧倒的に高い値を示している。

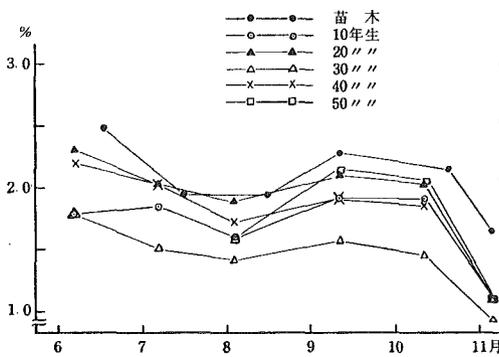
第3章 カラマツ葉の養分組成の諸因子による変動

カラマツの葉分析によつて、葉中養分要素の含有量を求め、これをもととして林地、林木の栄養診断ならびに施肥効果の判定などに応用することの可否を論ずるに当つては、まず養分組成の変動について検討しなければならない。すなわち、樹葉の養分組成は樹種により異なり、同一樹種でも時期、樹令、葉令、採取部位、立地など種々な条件により異なるといわれているので、本章ではこれらの点について検討を加えることにする。

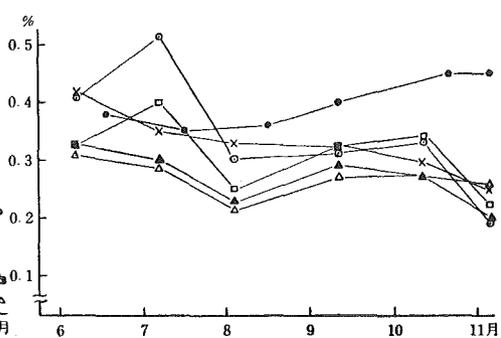
第1節 カラマツ葉の養分要素の時期別変動および樹令ならびに地位との関係

主要成分である窒素、リン酸、カリ、カルシウム、マグネシウム、ケイ酸、鉄、アルミニウムの季節的変動について樹令別に比較すると第17図から第25図のとおりである。

これによるとまず窒素の時期別含有率の特徴としては第17図に示すように各樹令とも7月から8月に減少し、9月にふたたび上昇し、以後減少して11月に最低の含有率を示している。苗木の窒素含有率は7月を除き他の樹令のものより高くなつている。10年生以上の林木では樹令による変動はみられず、その含有率は地位の相違によつて影響されるようである。すなわち、地位のほぼ等しい10年および50年生は窒素含有率にあまりちがいがなが、やや凹地で有機物の供給を受けやすい20年生が苗木に次いで高く、最も地位の不良な30年生が窒素含有率最も低い。後述する³⁴⁾ように葉中の窒素含有率は、地位により大きく変動するので地位判定の有力な資料となる。安藤のスギ、ヒノキの実験結果によると、窒素は8月最高で、10月最低になるというが、カラマツでは8月はむしろ低く、また9月に上昇して11月に最低となり各樹令を通じてその傾向がみられることはカラマツの1つの特性といえよう。



第17図 葉中Nの時期別含有率

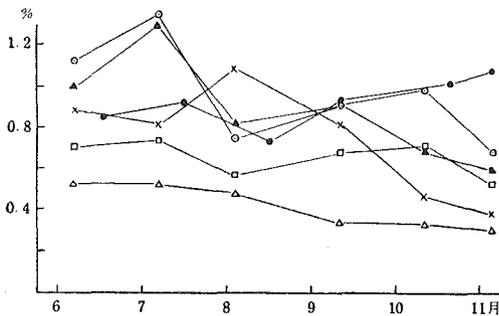


第18図 葉中P₂O₅の時期別含有率

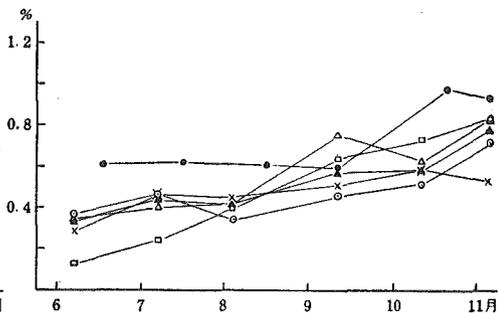
磷酸の時期別含有率は第18図に示すように窒素ほど明確でないが、これとほぼ同様の傾向を示し、7月(苗木)から8月(林木)に減少し、9月から10月にかけて上昇し、以後ふたたび減少して11月に最低となる。苗木の含有率は一般に高く、また林木に比し特異のカーブを描き、10月まで上昇し11月になつてもほとんど含有率は低下しない。樹令による磷酸の含有率の相違は窒素の場合と同様一定の傾向が認められず、樹令よりもむしろ地位と密接な関係があるように思われ、地位の同じ10年および50年生はほぼ同様な傾向を示し、地位の不良な30年生は窒素の場合と同様最も低い含有率を示した。

カリの時期別含有率は苗木では第19図に示すように8月に減少し以後次第に増加する。

林木のうち10, 20, 50年生は8月に最低で9月から10月に最高となり以後減少するが、30および40年生は8月にかえつて増加しており、カリの時期別変化については判然とした傾向を認め難いが樹令および地位との関係としては樹令の高いものおよび地位の不良のものに低く、樹令の低いものに高い傾向がある。



第19図 葉中 K_2O の時期別含有率



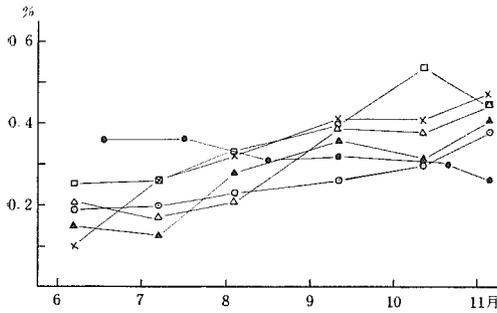
第20図 葉中 CaO の時期別含有率

カルシウムの時期別含有率は第20図に示すように苗木では一般に林木より高く、また9月までほとんど変化なく10月に急激に増加するが、林木の場合は全般的に6月から時期の経過にしたがつて徐々に増加する傾向がみられる。カルシウム含有率の樹令および地位との関係は認められない。

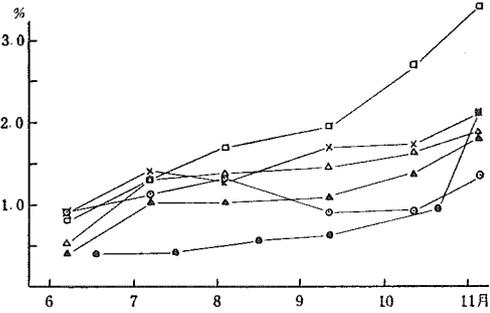
マグネシウムは第21図に示すように苗木では8月にやや減少し、9月にやや増加したが、全般的に6月から11月にわたつて減少する傾向がある。これに対して林木では6月から11月にわたつて全般的に増加の傾向を示した。地位と含有率との間には一定の関係はないが、樹令との関係として10月以降は苗木から樹令が高くなるにしたがつて含有率が高くなっている。富士産カラマツの調査でも樹令の高いものに高い傾向が認められた。

ケイ酸は第22図に示すように苗木の含有率が最も低く、その変動は6月から徐々に上昇し、特に10月以降は急激に上昇する。林木も多少不規則な変動を示すものもあるが、全般的にみて苗木の場合と同様で時期の経過に伴つて徐々に上昇する傾向を示している。樹令との関係は9月までは不規則で樹令との間に一定の傾向がみられないが、9月以降は苗木から50年生に至るまで樹令が高くなるにしたがつてその含有率も高くなっている。

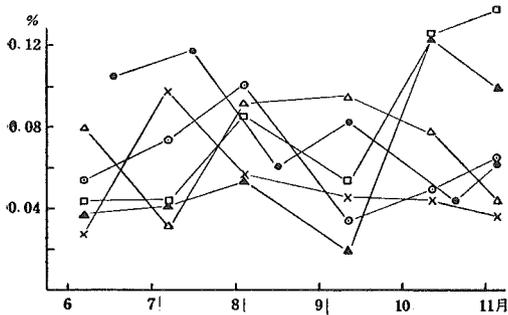
鉄の含有率の時期別変化については第23図に示すように苗木、林木ともに一定の傾向は認められなかつた。



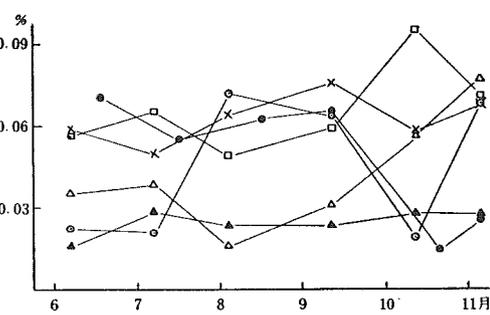
第21図 葉中MgOの時期別含有率



第22図 葉中SiO₂の時期別含有率

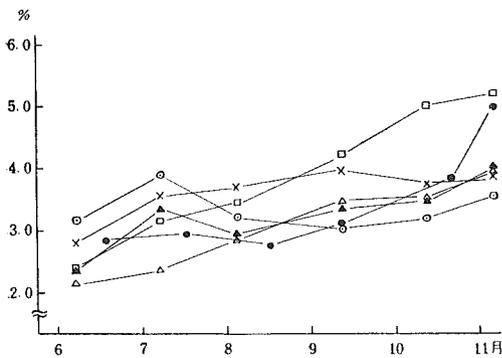


第23図 葉中Fe₂O₃の時期別含有率



第24図 葉中Al₂O₃の時期別含有率

アルミニウムの含有率は第24図のとおり不規則でその時期別変化をとらえにくいですが、マグネシウムとほぼ同様、苗木では全般的に6月から11月にかけて減少し、林木では逆に増加の傾向を示している。10月以降は樹令の高くなるにしたがって含有率が高くなっていることもマグネシウムと同様である。



第25図 葉中全灰分の時期別含有率

灰分含有率の時期別変化は第25図に示すように全般的傾向として、苗木、林木ともに6月から11月にかけて徐々に増加し、また9月以降は樹令が高くなるにしたがい灰分の含有率も高くなっている。

上述のように窒素、リン酸、カリなどの含有率が7月から8月に一たん減少する事実は、カラマツが6月と9月頃の2期に著しく伸長することと関連して興味あることである。

第2節 採葉部位および方位による変動ならびに樹令および地位との関係

林木について8月に樹令別に上, 中, 下の3部につき東から南, 西から北の方位別に採葉し, また8月から11月にわたつて各樹令につき新梢および古梢別に採葉し, 採葉部位および方位による変動と同時にこれらと樹令との関係を比較検討した。まず新梢葉および古梢葉の養分含有率を樹令別に比較すると第4表のとおりで, 各樹令を通じて養分要素は全般的に古梢葉が新梢葉よりも高い含有率を示した。次に採葉部位(上, 中, 下)および方位による変動を各要素別に比較してみると第5表のとおりで各樹令を通じて上部が含有率最も低く, 中部から下部に至るにしたがつて高くなる傾向がある。方位による含有率の差は認められない。またこの結果からは樹令による変動については一定の傾向が認められず, 樹令よりも地位に左右されるものようで, 地位の不良な30年生は各採葉部位および方位を通じて最低の含有率を示している。樹令による変動を明らかにするため富士産カラマツについて調査した結果は第6表に示すように同一地点では樹令の低いものは高いものより窒素含有率は高い値を示した。

磷酸の採葉部位による含有率の変動は認められないが, 方位による変動は各樹令を通じ東から南が多い傾向を示している。また樹令による変動は一定の傾向が認められなかつたが, 同一地位の10年生と50年生と比較すると上の全部および中の一部では若木に多い傾向を示している。すなわち樹令による変動は上部と下部では含有率は逆の傾向を示しているようである。樹令との関係を明らかにするため, 富士産カラマツ上部葉について調査した結果は同一地点ではいずれも若木に多く, したがつて磷酸の含有率については上部葉が中および下部葉よりも安定しているように思われる。なお地位の不良な30年生林木では上, 中, 下の各部において他の樹令のものにくらべて最低の含有率を示した。

カリも磷酸と同様, 採葉部位による変動は同一樹令の間では認められないが方位による変動は東から南が多い傾向を示している。樹令による変動は同一地位の10年生と50年生を比較するといずれも10年生に多く, 富士産カラマツも同様な傾向を示した。また地位不良の30年生は各採葉部位において最も低い含有率を示した。

カルシウムも採葉部位による変動は10年および20年生では上部に高く, 30年生以上では下部に高く全般的には一定の傾向が認められない。方位による変動は東から南が多い傾向がある。樹令による変動は同一地位の10年および50年生を比較すると上および中部では10年生に多く, 下部では50年生に多い。富士産カラマツの調査で上部の葉と比較すると幼木の方に多い傾向があり, 上部葉と下部葉では磷酸と同じく, 樹令とカルシウム含有率の関係は逆になるようである。

マグネシウムも採葉部位による変動は10年から30年生までの林木では下部が高いが, 40年生以上ではその傾向はなく, 全般的には一定の傾向は認められないようである。方位別では概して東から南が多く, 樹令による変動では同一地位の10年および50年生をくらべると中および下部の一部を除き老木が多く, 富士産カラマツの調査で上部葉を比較した場合も概して老木に多いことから考えて, 磷酸, カリ, カルシウムなどと同じく上部葉は中および下部葉に比較して安定しているように思われる。

鉄は全般的に採葉部位による相違はみられない。方位の関係では全般的に東から南に多い傾向がみられる。樹令との関係は, 樹令の変化により規則的には変動しなかつたが, 同一地

第4表 新梢葉および古梢葉の養分含有率

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	%	%	%	%	%	%	%	%
苗木								
8月	1.95	0.36	0.73	0.61	0.31	0.57	0.061	0.062
9月	2.29	0.40	0.93	0.60	0.32	0.63	0.083	0.065
10月	2.15	0.45	1.01	0.98	0.30	0.95	0.044	0.015
11月	1.65	0.45	1.07	0.94	0.26	2.12	0.062	0.025
10年生								
8月 新古	1.60	0.30	0.75	0.34	0.23	1.32	0.101	0.072
8月 新古	1.74	0.34	0.68	0.35	0.28	1.91	0.098	0.072
9月 新古	1.91	0.31	0.92	0.46	0.26	0.90	0.034	0.064
9月 新古	2.23	0.40	1.19	0.56	0.77	1.31	0.056	0.053
10月 新古	1.91	0.33	0.99	0.52	0.30	0.91	0.050	0.019
10月 新古	2.32	0.38	1.04	0.76	0.34	1.59	0.097	0.029
11月 新古	1.08	0.19	0.68	0.72	0.38	1.35	0.065	0.069
11月 新古	1.23	0.16	0.83	1.02	0.38	2.04	0.190	0.113
20年生								
8月 新古	1.91	0.23	0.82	0.43	0.28	1.02	0.053	0.024
8月 新古	2.18	0.30	0.86	0.31	0.24	1.35	0.031	0.030
9月 新古	2.11	0.29	0.91	0.57	0.36	1.10	0.020	0.024
9月 新古	2.26	0.28	1.00	0.48	0.21	1.13	0.033	0.030
10月 新古	2.03	0.27	0.68	0.58	0.31	1.39	0.124	0.028
10月 新古	1.95	0.28	0.88	0.50	0.26	1.71	0.161	0.043
11月 新古	1.12	0.19	0.59	0.80	0.41	1.80	0.099	0.028
11月 新古	1.10	0.21	0.73	0.64	0.30	2.02	0.113	0.057
30年生								
8月 新古	1.45	0.21	0.48	0.41	0.21	1.36	0.092	0.017
8月 新古	1.74	0.28	0.42	0.52	0.20	1.68	0.151	0.020
9月 新古	1.58	0.27	0.34	0.76	0.39	1.49	0.095	0.031
9月 新古	1.75	0.27	0.36	0.79	0.31	1.66	0.123	0.038
10月 新古	1.47	0.27	0.33	0.62	0.38	1.65	0.078	0.057
10月 新古	1.67	0.29	0.38	0.68	0.33	1.99	0.118	0.033
11月 新古	0.92	0.26	0.30	0.83	0.45	1.88	0.043	0.078
11月 新古	1.06	0.37	0.39	1.11	0.38	2.00	0.046	0.095
40年生								
8月 新古	1.73	0.33	1.09	0.45	0.32	1.26	0.056	0.064
8月 新古	2.06	0.35	0.95	0.43	0.36	1.59	0.056	0.068
9月 新古	1.90	0.32	0.81	0.51	0.41	1.70	0.054	0.076
9月 新古	2.22	0.36	0.86	0.65	0.37	2.00	0.048	0.054
10月 新古	1.85	0.29	0.46	0.59	0.41	1.74	0.044	0.058
10月 新古	—	0.34	0.53	0.36	0.42	1.60	0.080	0.060
11月 新古	—	0.25	0.38	0.53	0.34	2.13	0.035	0.069
11月 新古	1.43	0.28	0.46	0.64	0.42	1.78	0.040	0.079
50年生								
8月 新古	1.56	0.25	0.57	0.40	0.33	1.71	0.086	0.049
8月 新古	1.71	0.32	0.88	0.47	0.33	2.31	0.087	0.097
9月 新古	2.11	0.32	0.68	0.64	0.40	1.99	0.053	0.060
9月 新古	2.22	0.34	0.83	0.69	0.42	2.56	0.082	0.083
10月 新古	2.02	0.34	0.71	0.73	0.54	2.71	0.126	0.095
10月 新古	2.23	0.35	0.88	0.88	0.51	3.21	0.120	0.063
11月 新古	1.07	0.22	0.30	0.84	0.45	3.44	0.139	0.072
11月 新古	1.32	0.25	0.52	1.09	0.52	4.10	0.117	0.101

第5表 葉中養分の部位および方位別含有率

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃		
	%	%	%	%	%	%	%	%		
10年生	上	E~S	1.85	0.52	1.35	0.49	0.20	1.14	0.074	0.021
		W~N	1.80	0.50	1.36	0.48	0.18	1.35	0.079	0.027
	中	E~S	1.94	0.46	1.12	0.37	0.28	1.12	0.069	0.027
		W~N	1.90	0.26	0.88	0.31	0.26	0.96	0.034	0.055
	下	E~S	1.96	0.27	1.32	0.31	0.40	1.40	0.081	0.073
		W~N	1.83	0.30	1.06	0.37	0.30	1.60	0.043	0.070
20年生	上	E~S	2.04	0.30	1.30	0.45	0.11	1.03	0.046	0.030
		W~N	2.12	0.29	1.26	0.41	0.17	1.05	0.033	0.033
	中	E~S	2.30	0.30	0.89	0.38	0.20	0.86	0.025	0.021
		*W~N	2.36	0.31	0.82	0.33	0.19	0.74	0.025	0.025
	下	E~S	2.34	0.34	0.85	0.37	0.20	0.92	0.032	0.019
		W~N	2.19	0.29	0.95	0.37	0.23	0.90	0.028	0.029
30年生	上	E~S	1.52	0.29	0.53	0.43	0.17	0.84	0.033	0.029
		W~N	1.49	0.27	0.51	0.35	0.25	0.88	0.057	0.054
	中	E~S	1.78	0.28	0.41	0.39	0.27	0.91	0.123	0.035
		W~N	—	—	—	—	—	—	—	—
	下	E~S	1.70	0.30	0.55	0.46	0.28	0.79	0.057	0.018
		W~N	1.83	0.27	0.39	0.46	0.23	1.13	0.088	0.048
40年生	上	E~S	2.03	0.35	0.81	0.47	0.26	1.41	0.098	0.051
		W~N	2.07	0.37	0.91	0.30	0.34	1.30	0.053	0.075
	中	E~S	2.18	0.38	1.05	0.39	0.38	1.24	0.041	0.055
		W~N	2.18	0.39	1.11	0.47	0.37	1.37	0.032	0.048
	下	E~S	2.28	0.37	0.81	0.49	0.33	1.22	0.038	0.056
		W~N	2.20	0.37	0.94	0.45	0.30	1.49	0.048	0.051
50年生	上	E~S	—	0.43	0.75	0.27	0.34	1.51	0.047	0.070
		W~N	—	0.35	0.63	0.26	0.22	1.24	0.034	0.059
	中	E~S	—	0.35	0.68	0.31	0.27	1.35	0.043	0.071
		W~N	—	0.28	0.58	0.26	0.23	1.10	0.038	0.068
	下	E~S	—	0.41	1.14	0.36	0.31	1.95	0.072	0.127
		W~N	2.09	0.37	0.88	0.42	0.33	1.79	0.072	0.086

(注) * は北のみ。

第6表 富士産老令および幼令カラマツ葉の養分含有率

標高 m	樹令 年	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %
2400	100	1.25	0.25	0.68	0.79	0.37
〃	20	1.71	0.29	0.92	1.01	0.23
1480	40	1.38	0.30	0.36	0.92	0.39
〃	12	1.93	0.41	0.49	1.52	0.45
960	10	1.62	0.27	0.32	0.68	0.53
〃	6	2.14	0.38	0.54	0.81	0.47

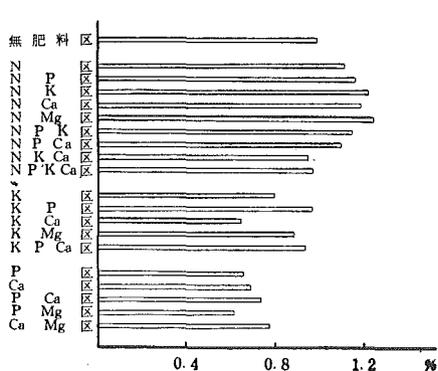
位の10年生と50年生を比較すると10年生で上部葉において高く、中および下部ではその傾向がやや不明瞭であつて、富士産カラマツの上部葉でも幼木に高く、他の養分要素の場合と同様に上部葉の含有率は中および下部に比較して最も安定している。

アルミニウムは採葉部位による変動は全体を通じて上部から下部に至るにしたがつて増加する傾向があるが、方位による変動は認められない。樹令による変動は上および中部では老木に多い傾向がみられるが下部ではやや不明瞭である。

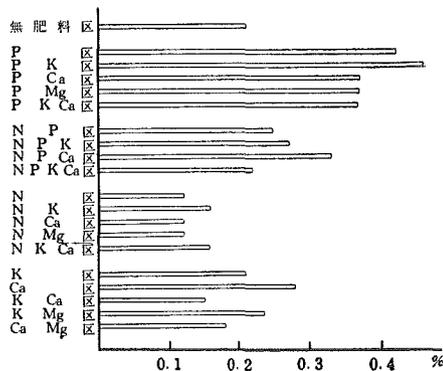
第3節 養分相互の拮抗作用による変動

カラマツ葉中の養分要素は以上述べた諸因子により変動するほか、さらに養分相互の拮抗作用によつて変動するといわれているのでまきつけ苗について第1—1表のような施肥設計のもとに生育させ、これを葉分析し養分相互の影響が葉にどのように現われるかを検討した。その結果は第26図から第32図に示すとおりである。これによると、窒素についてはこれを与えた場合は、葉中の窒素含有率が与えない場合にくらべ著しく高くなつてゐることが明らかであるが、あらかじめ窒素を与えない場合でも他の特定の養分要素の存在によつて影響される傾向がある。すなわち、窒素を与えない場合はいずれも無肥料区よりも葉中の窒素含有率は低くなつてゐる。

LEYTON はヨーロッパカラマツ樹葉の窒素の含有率は窒素の施肥量を増加してやると直線的に増加するが、カリの施肥量では影響を受けないと述べている。本実験の結果でも葉中の窒素含有率は窒素の施用によつて著しく増加したが、窒素以外の施用ではいずれも葉中の窒素含有率は無肥料区よりも低下する傾向を示した。



第26図 葉中N含有率と肥料要素との関係

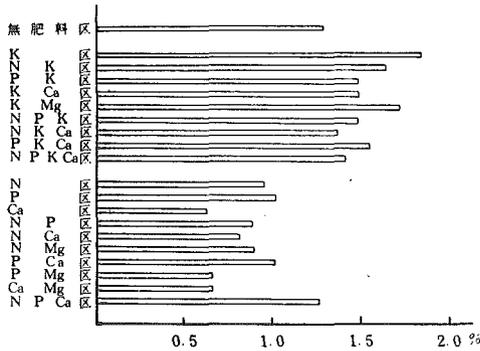


第27図 葉中P₂O₅含有率と肥料要素との関係

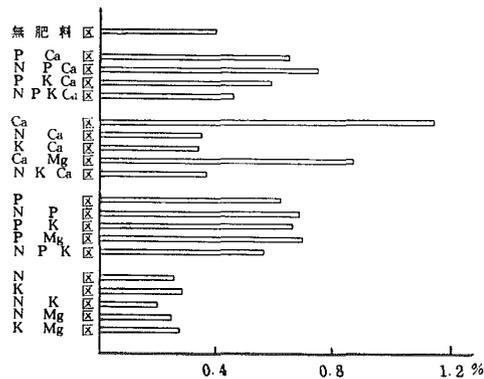
次に葉中のリン酸含有率については第27図に示すようにリン酸を施用した場合はリン酸を施用しなかつた場合にくらべ著しく増大している。またあらかじめリン酸を与えた場合でも葉中のリン酸含有率は、リン酸と窒素以外の要素の組合せのものに高く、リン酸と窒素を含んだ区はそれよりも低い。また、あらかじめリン酸を与えない場合でも窒素区のリン酸含有率は著しく低く、窒素の施用によつてリン酸含有率が低下する傾向が認められた。またカリの施用によるリン酸含有

率の影響は認められず、カルシウムの施用により磷酸含有率が增大することが認められた。
 LEYTON²¹⁾もヨーロッパカラマツのイオンアンタゴニズムについて研究し、樹葉の磷酸含有率は窒素の施肥量増加で減少することを明らかにし、VAN GOOR⁶¹⁾も磷酸欠乏の土壌におけるカラマツの生長は窒素の供給で減少すると述べ、原田³⁶⁾もカラマツまきつけ苗について、磷酸の含有率を調べ、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瞭であり、ま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と報告している。本実験の結果も窒素については上記諸氏の結果と同様の傾向がみられ、またそのほかカリおよびカルシウム、マグネシウムについても上述の傾向が認められた。

葉中のカリ含有率については、あらかじめカリを施用した区はカリ欠区ならびに無肥料区にくらべいづれも高く、またカリ以外の要素を与えた区はいづれも無肥料区よりもカリの含有率が低く、とくにカルシウム区は最低の含有率を示した。しかし、第1章、第3節、[D]による実験の結果(第35図)においてNK区はカリの施用にもかかわらず窒素の施用によって無肥料区(A, B, C)よりもカリの含有率が低下した。LEYTON²¹⁾もカラマツ樹葉中のカリ含有率は窒素の施用で減少すると述べ、NEFF⁷²⁾らもキリ葉中のカリ含有量はカリの供給増加で増大するが、窒素の供給を増加すると逆に減少すると述べている。本実験の結果では、拮抗作用は窒素にもわずかに認められたが、その他程度の差はあるが他のいずれの要素とも関係しており、とくにカルシウムとカリとの間には拮抗作用があるように思われる。



第28図 葉中K₂O含有率と肥料要素との関係



第29図 葉中CaO含有率と肥料要素との関係

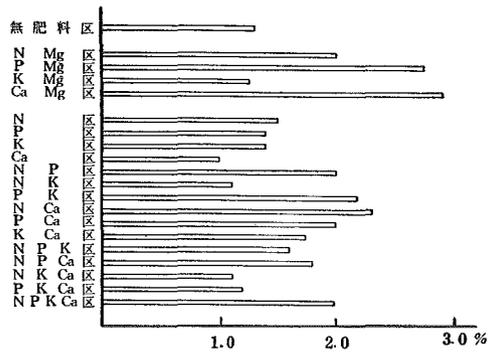
葉中のカルシウム含有率については第29図に示すようにカルシウムを単独に施用した区は葉中のカルシウム含有率が著しく高く、カルシウムと他の要素の混用区ではこれよりいづれも低く、とくにN・Ca区 K・Ca区およびN・K・Ca区はカルシウムの施用にもかかわらず無肥料区より低い含有率を示した。またカルシウムを施用しない場合でも、磷酸(過磷酸石灰)を与えた区はカルシウム含有率が高く、N区, K区, MK区, NMg区 KMg³⁵⁾区など窒素, カリ, マグネシウム施用区は無肥料区よりも低い含有率を示している。原田もカラマツまきつけ苗, 床替苗ともに土壌磷酸量(過磷酸石灰)⁴⁰⁾の増加によりカルシウム含有率は増加したことを報告している。また柴田はスギについてカリ欠区にカルシウム含有率が高く、スギで

はカリとカルシウムとの間に拮抗現象があることを認めているが、カラマツについても同様の傾向がみられた。すなわち、本実験の結果では葉中のカルシウム含有率は窒素、カリおよびマグネシウムによつて減少し、カルシウム、燐酸（過燐酸石灰）によつて増加する傾向を示している。

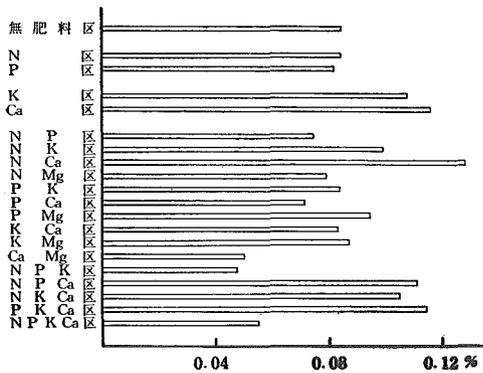
マグネシウムの含有率は第30図に示すようにあらかじめマグネシウムを与えた場合は、N、P、Caを混用してもいずれも高い含有率を示したが、KMg区の含有率の低下は著しく無肥料区よりも低くなる。マグネシウムを与えない場合は窒素および燐酸によつて増大し、カルシウム、カリによつて減少する傾向がみられる。中沢もスギ苗について実験し、マグネシウムはカルシウムによつて減少すると述べているが本実験の結果ではカルシウムおよびカリによつて減少し、窒素、燐酸ならびにマグネシウムによつて増大した。

葉中のアルミニウムの含有率については前述のようにアルミニウムは変動しやすく不安定で、その変動の傾向をとらえることは困難であるが苗木の葉分析の結果によると第32図に示すようにアルミニウムは窒素およびカリによつて増大し、燐酸およびカルシウムによつて減少する。従つてその増減の傾向は燐酸およびカルシウムの変動とほぼ逆の関係を示している。

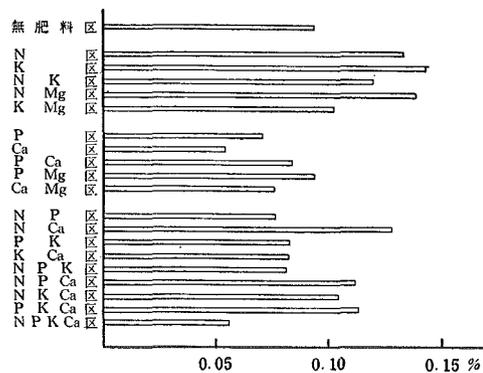
葉中の鉄の含有率に及ぼす他の養分要素の影響は第31図に示すようにK区およびCa区に含有率高く、N区およびP区ならびにNP区は無肥料区とほぼ同じかそれよりやや低い。なお後述するように鉄はカリ濃度の増大により含有率も増大し、燐酸濃度の増大により含有率は低下している。葉中の鉄はカリおよびカルシウムにより増加し、窒素および燐酸によつて減少するものと思われる。



第30図 葉中 MgO 含有率と肥料要素との関係



第31図 葉中 Fe₂O₃ 含有率と肥料要素との関係



第32図 葉中 Al₂O₃ 含有率と肥料要素との関係

第4節 立地条件による変動

第1項 pHならびに光量の変化による養分の吸収の相違

第7表に示すように pH を5段階にわけ、よしず張りによる半日陰の区を設けて葉中要素含有率を測定した。

これによると窒素は pH の変動に伴う規則的な変化はみられないが pH が変化することにより生育状態に相違をきたし、それが窒素の含有率に影響を及ぼすものと考えられる。すなわち生体重量、伸長量ともにすぐれている Si および S_{II} 区は、これらよりやや劣る Ca_I および Ca_{II} 区より窒素の含有率高く、生育の最も劣る半日陰区は最低の含有率を示している。

第7表：葉中養分含有率と pH および光量との関係

	pH (INKCl) 1:2	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %
Ca _{II}	6.3	1.61	0.28	1.07	1.16	0.31	1.66	0.040	0.075
Ca _I	6.0	1.53	0.26	1.12	1.08	0.31	1.98	0.053	0.085
Cont.	4.8	1.72	0.29	1.15	1.15	0.35	1.32	0.054	0.040
SI	4.7	1.62	0.28	1.50	0.98	0.30	1.64	0.034	0.056
SII	4.0	1.72	0.28	1.14	0.88	0.30	1.83	0.064	0.087
半日陰	4.8	1.48	0.36	1.01	1.34	0.33	2.40	0.116	0.123

磷酸の pH の変化による変動は一定の傾向を示さず、またこの場合生長の良否とも一定の関係を示さなかつた。すなわち pH の変動による含有率の相違は各区ともあまり大差なく、半日陰区だけが高い値を示している。

カリの含有率も pH の変化によつて規則的には変動しないが Si および S_{II} 区に高く、Ca_I および Ca_{II} 区に低い傾向を示した。また窒素の場合と同様 pH の変化によつて生育に相違を来たし、それが葉中のカリ含有率に影響を及ぼすものと考えられ、生育良好な S 区に高く、Ca 区これに次ぎ、生育最も不良の半日陰区は最低の含有率を示した。

カルシウムの含有率は窒素およびカリと逆の傾向を示し、pH の低い Si, S_{II} 区が低く、pH の高い Ca_I, Ca_{II} 区に高い値を示し、生育との関係も最も良好な生育を示す Si, S_{II} 区が最も低く、Ca_I, Ca_{II} 区がこれに次いで高く生育の最も不良な半日陰区が最も高い値を示した。

マグネシウム、ケイ酸、鉄およびアルミニウムと pH ならびに生育との関係は磷酸と同様にいずれも一定の傾向が認められなかつたが、いずれも半日陰区が高い含有率を示した。

第2項 海拔高の変化による養分吸収の相違

海拔高の変化によつて樹葉の灰分量が変化するといわれているが、WEBER⁶⁷⁾が海拔高の変化によるヨーロッパカラマツおよびヨーロッパブナの樹葉の灰分含有量を調べた結果は第8表のとおりで、生育地点の海拔高を増すにしたがつて次第に灰分量が減少している。

本研究において、海拔高の変化による樹葉の灰分組成の変動を調べるため、富士産カラマ

ツについて調査した結果は第9表のとおりであり、これによると灰分含有率は海拔高を増すにしたがって減少し、WEBER⁶⁷⁾の結果と同様な傾向を示した。海拔高を増すにしたがって灰分量が減少する主な原因は、本表から明らかのようにケイ酸含有量が減少するためであると考えられる。磷酸およびカリは海拔高を増すにしたがって増加する傾向を示し、カルシウム、マグネシウム、鉄、アルミニウムについては一定の傾向が認められなかつた。

第8表：海拔高別樹葉内灰分含有量

樹種	海拔高 m	灰分含有率 %	樹種	海拔高 m	灰分含有率 %
ヨーロッパカラマツ	117	6.02	ヨーロッパブナ	500	4.99
〃	476	3.57	〃	1043	2.84
〃	880	2.77	〃	1334	3.94
〃	1068	2.49	〃		

(注) WEBER⁶⁷⁾ R の調査による。

第9表：富士産カラマツ葉灰分中含有率と海拔高との関係

標高 m	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	TotalAsh %
2400	8.01	25.41	27.90	6.35	27.62	1.38	0.30	3.62
1720	11.40	17.95	23.08	12.82	27.64	2.74	1.51	3.51
1600	7.03	11.65	20.88	9.01	45.71	2.20	0.53	4.55
1480	7.62	9.11	28.25	8.36	40.33	2.25	1.13	5.38
920	5.91	12.38	19.41	9.80	48.06	0.96	0.54	5.41

第5節 要 約

カラマツ樹葉の養分組成がいかなる因子によつて変動するかについて検討して次の結果を得た。

I カラマツ樹葉の養分組成の時期別変動ならびに地位との関係について

1) 窒素は各樹令とも8月に下降し、9月に上昇し、10月以降ふたたび下降し11月に最低となる。苗木の含有率は一般に高いが、林木では樹令と窒素含有率との間には一定の傾向がみられず、その含有率は生育地点の立地条件により左右される傾向を示している。

2) 磷酸の時期別含有率は窒素ほど明確でないが、これとほぼ同様の傾向を示した。7月(苗木)から8月(林木)に下降し9月から10月にかけてふたたび上昇し、以後減少して11月に最低となる。苗木の含有率は窒素と同様に林木よりも一般に高く、7月から10月まで上昇し、11月になつてもほとんど含有率は低下しない。林木の磷酸含有率は窒素の場合と同様樹令との間には一定の傾向はなく、立地条件により左右される傾向がある。

3) カリの時期別含有率の変動については判然とした傾向を認め難いが、樹令および地位との関係としては一般に樹令の低いものに高く、樹令の高いものおよび地位の不良のものに低い傾向を示した。

4) カルシウムの時期別含有率は苗木では全般的に林木より高く、また各樹令を通じて時期の経過にしたがって増大する傾向を示した。カルシウム含有率と樹令および地位との関係は認められない。

5) マグネシウムおよびアルミニウムの時期別含有率の変動は全般的傾向として、苗木では徐々に低下し、林木は上昇した。樹令との関係では両者とも10月までは不規則で、樹令との間に一定の傾向を示さないが10月以降は苗木から50年生に至るまで樹令が高くなるにしたがってその含有率は高くなる傾向を示している。地位との間には一定の傾向はみられない。

6) ケイ酸含有率の時期別変動は、苗木、林木ともに全般的にみて時期の経過に伴って徐々に上昇する傾向を示している。樹令との関係は9月までは不規則で一定の傾向がみられないが、9月以降はマグネシウムおよびアルミニウムと同様に樹令が高くなるにしたがいその含有率は増加している。地位との間には一定の傾向はみられない。

7) 鉄の時期別含有率の変動については、苗木、林木ともに一定の傾向は認められず、また樹令および地位との間にも一定の傾向はみられなかつた。

II 採葉部位および方位による変動ならびに樹令および地位との関係について

採葉部位として各樹令の林木につき上、中、下の3部から方位別に8月に採葉し、また8月から11月にわたって新梢葉および古梢葉を樹令別に採葉し、採葉部位および方位ならびに梢別の養分含有率の変動と同時にこれらと樹令および地位との関係を比較検討して次の結果を得た。

1) 窒素については採葉部位(上、下)による変動は各樹令を通じて上部が含有率最も低く、下部に至るにしたがって高くなる傾向があるが、東から南と、西から北の方位による差はみられない。富士産カラマツについて樹令と窒素含有率との関係を調べた結果は、同一地点では樹令の低いものは高いものより窒素含有率は高い値を示した。

2) 各樹令を通じて磷酸の採葉部位による含有率の変動は一定の傾向が認められたいが、方位による変動は東から南が高い値を示している。樹令と採葉部位の関係は上部と下部とで逆の傾向を示し、上部では幼令木、下部では老令木が高い含有率を示した。さらに富士産カラマツについて樹令との関係を調べてみると同一地点では幼令木が老令木よりいずれも高い含有率を示した。

3) カリの採葉部位および方位による含有率の変動は、磷酸の場合と同様の傾向を示した。樹令と採葉部位との関係は上部の全部および中部、下部の一部では幼令木に含有率高く、その他の部はややその傾向が不明瞭であつた。富士産カラマツについての樹令との関係も同一地点では幼令木が高い値を示した。なお窒素、磷酸、カリともに地位の不良の30年生は各採葉部位において他の樹令にくらべ最低の含有率を示した。

4) カルシウムの採葉部位による含有率の変動も一定の傾向を示さず、方位による変動も窒素および磷酸と同様に東から南が高い値を示した。樹令と採葉部位の関係は磷酸の場合と同様に上部と下部とで逆の傾向を示し、上部では幼令木が含有率高く、下部では老令木が高くなっている。富士産カラマツの樹令と含有率との関係も幼令木が高い値を示している。地位の良否とカルシウム含有率との間には一定の傾向は認められない。

5) マグネシウムの採葉部位および方位による含有率の変動もカルシウムの場合と同様で、樹令との関係は中部および下部の一部をのぞき老令木に高く、富士産カラマツの上部葉

で比較した場合も老令木に高い値を示した。

6) アルミニウムの採葉部位による含有率の変動は全般的にみて上部に低く、下部に高い傾向を示しているが、方位による変動は認められない。樹令と採葉部位との関係は、上部および中部では老令木に高く、下部ではその傾向がやや不明瞭であつた。しかし富士産カラマツはむしろ幼令木に高い傾向を示し、樹令との関係は明らかでない。

7) 鉄も全般を通じて採葉部位による相違はみられず、方位の関係としては東から南が多い傾向がみられた。樹令と採葉部位との関係としては、上部葉において幼令木に高い値を示した。なおマグネシウム、アルミニウムおよび鉄の含有率と地位との関係については、一定の傾向がみられなかつた。

III 養分相互の拮抗作用による変動について

土壤に施用された養分に対して、増減した葉中の養分含有率を無肥料区と対照し一括して表示すると第10表のとおりでこれによると、

第10表：カラマツ葉中分と土壤養分との拮抗作用

葉 土壤	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
N	+	-	-	-	+	+	-
P ₂ O ₅	-	+	-	+	+	-	-
K ₂ O	-	*	+	-	-	+	+
CaO	-	+	-	+	-	-	+
MgO	-	+	-	-	+	-	-

* ほとんど影響が認められない。

1) 窒素とカリはそれぞれ同種の養分要素を施用した場合のみ葉中養分含有率は増加するが、他種の要素のみが施用された場合はいずれも無肥料区よりも含有率は低下する。

2) 葉中の磷酸およびカルシウムはほぼ同様の傾向を示し、磷酸およびカルシウムの施用によつて含有率は高まり、窒素の施用によつて低下する。また葉中のカルシウムはカリおよびマグネシウムにより低下するが葉中の磷酸はカリの施用によつてもほとんど影響がなく、マグネシウムの施用により増加する。

3) マグネシウムは窒素、磷酸およびマグネシウムの施用により増加するが、カリおよびカルシウムの施用により減少する。

4) アルミニウムの拮抗作用はカルシウムの場合とほぼ逆の関係を示し、窒素およびカリによつて増加し、磷酸およびカルシウムによつて減少した。

5) 鉄の拮抗作用はマグネシウムの場合とほぼ逆の関係を示し、カリおよびマグネシウムにより増加し、窒素および磷酸によつて減少した。

IV 立地条件による変動について

A pH の変化ならびに光量の変化による養分吸収の相違

1) 窒素およびカリの葉中含有率については、pH の変動に伴う規則的な変化は示さないが pH の低い Sr および Su 区がいずれも高く、pH の高い Car および Can 区が低い値を示した。またこれら要素の葉中の含有率は、生育と密接な関係があり pH または光量が変化することにより、生育状態に相違を招き、それに基づいて葉中含有率も変化するものと思

われる。すなわち、生育状態の最も良好な Si および Sn 区はこれら要素の含有率が最も高く、生育のやや劣る Cai および Can 区がこれに次ぎ、生育最も劣る半日陰区は最低の含有率を示している。

2) カルシウムの葉中含有率は窒素およびカリと逆の傾向を示し、pH の低い Si および Sn 区が低く、pH の高い Cai および Can 区が高い値を示した。生育との関係も前二者と全く逆で、生育最も良好な Si および Sn 区が最も低く、Cai および Can 区がこれに次ぎ、生育最も不良な半日陰区が最も高い値を示している。

3) 燐酸、ケイ酸、マグネシウム、アルミニウムおよび鉄については、pH ならびに生育との関係は、いずれも一定の傾向は認められなかつたが、生育最も不良の半日陰区が高い値を示した。

B 海拔高の変化による養分吸収の相違

海拔高の変化によつてカラマツ樹葉の灰分量が変化するといわれているので、灰分含有量およびその組成が海拔高の変化によりどのように変動するかを富士産カラマツについて調べた。

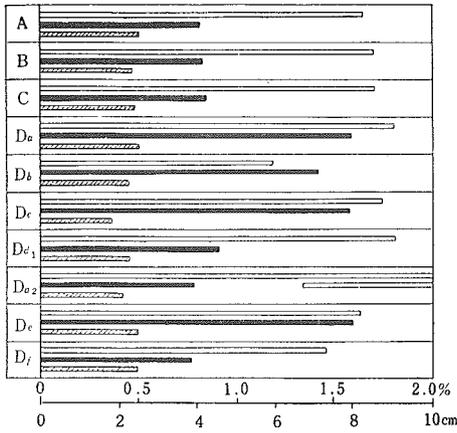
- 1) 全灰分およびケイ酸含有率は海拔高が高くなるにしたがつて減少した。灰分含有率の減少する主な原因はケイ酸含有率の低下に基づくものである。
- 2) 燐酸およびカリは海拔高を増すにしたがい増加する傾向を示した。
- 3) その他の要素については一定の傾向が認められなかつた。

第4章 カラマツの生長と葉中養分要素の量的関係

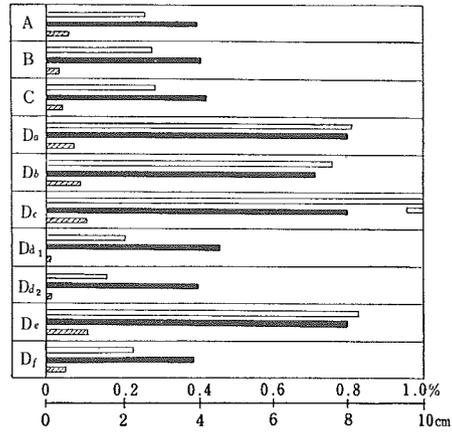
第1節 カラマツの生長と葉中養分含有率および養分間の相互関係

カラマツの葉中養分は前章で述べたようにいろいろの因子によつて変動するが、まず苗木について土壤養分をいろいろに変化させ、その他の条件をすべて一定にして生育させた場合に、生長と養分含有率および養分相互の比率との間にどのような関係があるかを調べるため、第2—1表に示す処理を行なつたものについて葉分析を行なつた結果は第33図から第38図のとおりで、また伸長量および根元直径を測定した結果は第39図および第40図のとおりである。これによると、窒素については生長状態の良好な Da, Db, Dc, De 区は生長不良な A, B, C, Dd₁, Dd_{2,3} 区に比較して必ずしも含有率は高くない。すなわちN欠区 (Db) は無肥料区 (A, B, C) より含有率は低いにもかかわらず生長良好であり、3要素および微量元素区 (De) も生長不良な無肥料区より低い。また生長不良な無肥料区の窒素含有率は生長良好な区にくらべて特に低い傾向も示さず、生長の良否と窒素含有率とは一定の関係を示さないようである。これは前述のように苗木の場合はカラマツの窒素に対する要求度が著しく低いにもかかわらず土壤中には第33図に示すように天然供給として、カラマツが必要とするだけの窒素はじゅうぶん含まれており、稚苗については窒素は制限因子とならないものと考えられる。

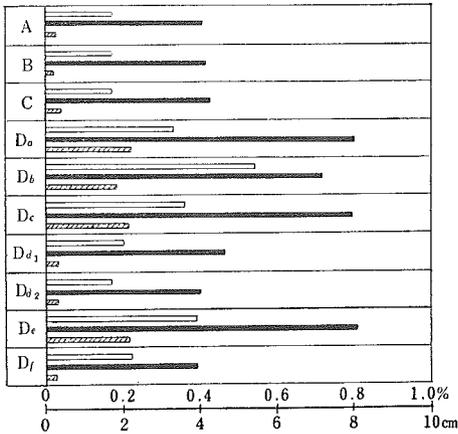
次に燐酸では生長状態の良好な区は0.33~0.54%であるのに対し、不良区は0.17~0.22%にすぎず、生育良好な区は不良区に比較して葉中の燐酸含有率はいずれも高い値を示した。



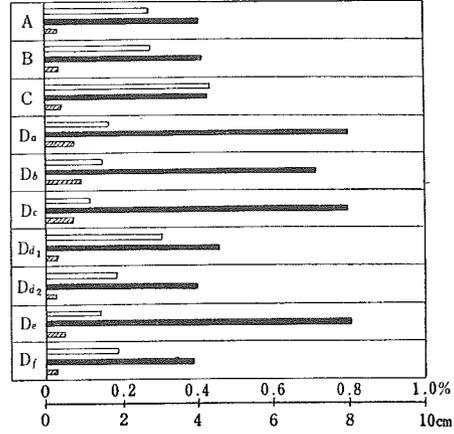
第33図 葉中および土壌中のN



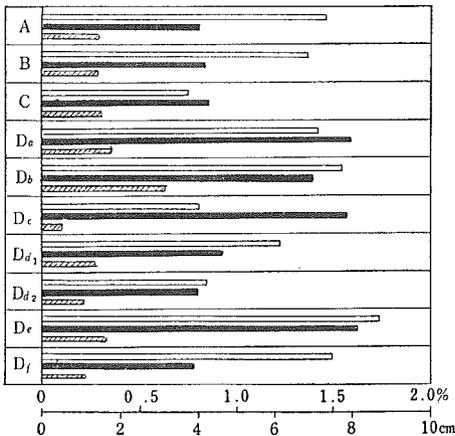
第36図 葉中および土壌中のCaO



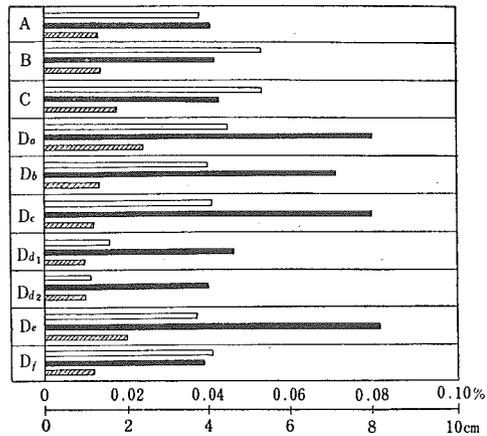
第34図 葉中および土壌中のP₂O₅



第37図 葉中および土壌中のMgO

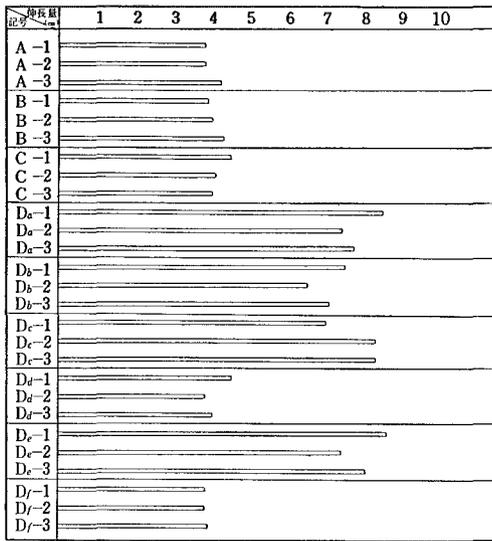


第35図 葉中および土壌中のK₂O

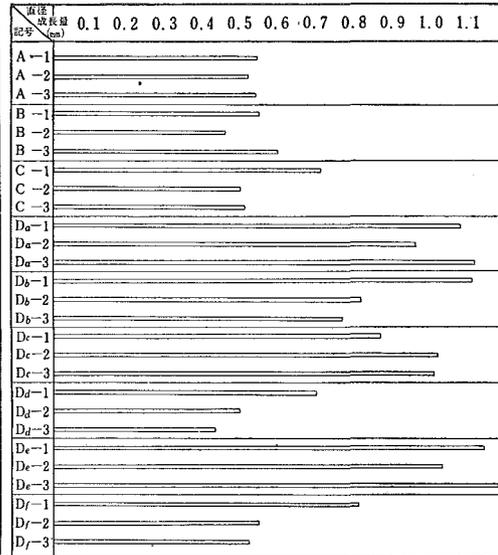


第38図 葉中および土壌中のNa₂O

(注) 白線; 葉の含有率(%), 黒線; 伸長量(cm), 斜線入り; 土壌の含有率(%)



第39図 カラマツまきつけ苗の養分要素施用による伸長量



第40図 カラマツまきつけ苗の養分要素施用による肥大生長量

磷酸施用区はいずれも良好な生育をしているのにP欠区だけが生育不良であることから稚苗の生育と磷酸の含有率との間にはきわめて密接な関係があるものと推察される。

カリも窒素とほぼ同様な傾向を示し、K欠区(Dc)は無肥料区(A, B, C)よりカリ含有率は低いにもかかわらず生育良好であり、3要素区(Da)も自然状態の無肥料区(A)より低く、カリは稚苗では生長に対して窒素と同様に一定の傾向を示さない。多くの稚苗についての試験結果によると、カリ欠乏は生長にほとんど影響を及ぼしていないようであるが、本実験の結果も生長に対してカリの影響はほとんどない。これは前述のようにカラマツ稚苗のカリに対する要求度がきわめて低い(第3図)のに対し、土壌中のカリ含有率が後述するように0.20~0.28%というかなり高い値(わが国土壌のカリ含有率は0.10~0.29%といわれている)を示しているためであると考えられる。

カルシウムも磷酸と同様に生長良好な区は0.81~1.05%に対し、不良区は0.21~0.29%にすぎず、生育良好な区は不良区にくらべ葉中のカルシウム含有率はいずれも高い値を示している。カラマツ稚苗のカルシウム含有率は、スギと大差なくかなり高い値を示し(第4図)、カラマツ稚苗のカルシウムに対する要求度は比較的大きいものと思われ、磷酸と同様それを多く吸収したものが生育良好となる傾向を示している。

次に葉中の各成分間の相互関係をあらわすのにN/P, N/K, K/P, N/Caなどが用いられるが、稚苗についてそれらの比を求めてみる(第11表)と、まずN/Pは生長不良区(A, B, C, Dd, Df)が良好な区(Da, Db, Dc, De)に比較していずれも高い。これらの値から稚苗の生育に好適と思われるN/Pは5.0~13.0でそれ以上の過大の比率は、窒素が過大か磷酸が過小のため養分要素間の不均衡を招き、生育に悪影響を及ぼすものと思われる。LEYTONは8年生のヨーロッパカラマツについて葉分析を行ない、N/Pの適値は12.6であると述べて

いる。本実験の結果はやや広い幅を示しているが同氏の実験結果とおおむね一致している。

N/Kは前述のように稚苗の窒素およびカリに対する要求度が低いのにに対して天然供給量がじゆうぶんなため、その比が極端に過大あるいは過小に傾かない限り生長にはあまり影響を及ぼさない。本実験の結果、適値の範囲は約1.0~2.7にわたっているが、不良区の大部分もそのなかに含まれ、この比率と生長との関係は明瞭でない。なお TEYTON はこの比の適値は2.4であると述べている。

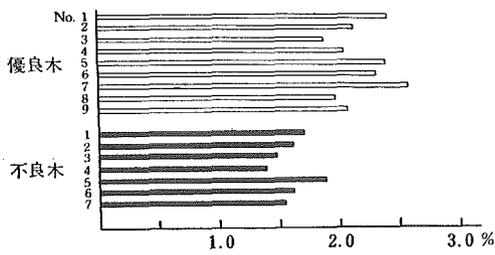
次にK/P は N/P と同様、生長不良区は良好区と比較していずれも高く、その適値と思われる比率の範囲は約4.0~9.0で、それより過大の比率となるにしたがつてカリが過大またはリン酸が過小となり、養分の不均衡を招くばかりでなく、前述のように稚苗の生長と最も密接な関係にあるリン酸の欠乏のため、生長に悪影響を及ぼすものと思われる。LEYTON はK/P の適値が5.4であると述べており、本実験の結果もやや幅があるがほぼ一致している。

N/Ca も生長不良区は良好区よりいずれも高く、適値は約2.0~3.0であつた。これに対し不良区は約8.0~24.0という比率で、N/Ca も稚苗の生長と密接な関係があるように思われる。この比率が高くなる原因と思われる窒素の増大は、前述のカラマツ稚苗葉の特性からみて、これを肥料として過大に与えることは意味がなく、時として有害でもある。これに対してカルシウムの減少は、カラマツ稚苗葉がスギに匹敵するほど高いことからみても(第4図)、この比率が増大することはカラマツ稚苗の生育上好ましくない現象であると思われる。

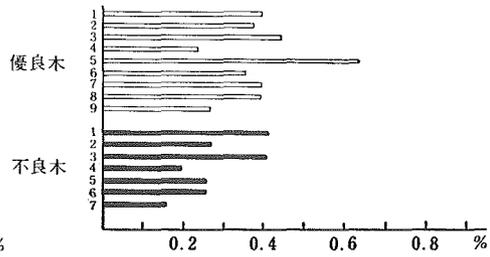
次に林木であるが、前述のようにカラマツは稚苗の間は窒素、リン酸、カリに対する要求度が他の樹種にくらべ最も低いが、林木では窒素などは他の樹種中最も高くなる(第1図)という傾向があらわれていることから明らかなように、林木では稚樹の場合に比較して養分要素に対する要求度が異なってくるようである。ただし林木の場合林分生産量の良否は、単位面積当りの立木密度によつて左右される⁶⁵⁾といわれているので単位面積当りの本数のほぼ等しい地点を選び、そのなかの標準木について生長の良否と養分含有率を比較した。その結果は第41図から第48図および第12表に示

第11表：カラマツ葉中養分の比率

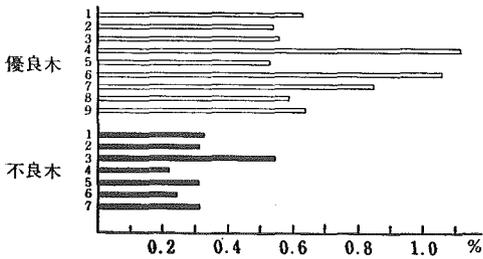
記号	N/P	同平均	N/K	同平均	K/P	同平均	N/Ca	同平均
A	22.2	23.5	1.4	1.9	16.5	12.4	8.7	11.9
B	23.1		1.5		15.4		8.6	
C	23.1		1.9		8.4		8.1	
Dd ₁	20.9		1.8		11.7		12.1	
Dd _{2,3}	36.1		3.8		9.6		24.3	
Df	15.4		1.2		12.9		9.3	
Da	12.6	9.6	1.5	1.6	8.3	6.6	3.1	2.6
Db	5.0		0.9		5.5		2.2	
Dc	11.2		2.7		5.2		2.3	
De	9.7		1.1		8.5		2.8	
1	13.7	13.8	6.0	6.6	2.3	2.3	3.3	4.0
2	8.3		3.0		2.8		5.1	
3	16.1		7.9		2.1		4.0	
4	16.7		7.0		2.4		3.2	
4'	10.4		8.8		1.2		2.5	
5	14.2		7.7		1.8		2.8	
8	9.3		6.3		1.5		2.8	
9	22.0		5.7		3.9		8.1	
1	13.0		13.6		4.8		3.9	
2	9.6	4.1		2.4	5.5			
3	19.7	2.2		8.9	8.5			
4	8.6	5.5		1.6	6.7			
5	11.3	4.0		2.8	3.9			
5'	17.8	4.0		4.5	2.6			
6	14.8	2.6		5.6	5.3			
7	14.8	3.7		4.1	7.2			
8	13.1	4.6	3.0	4.2				



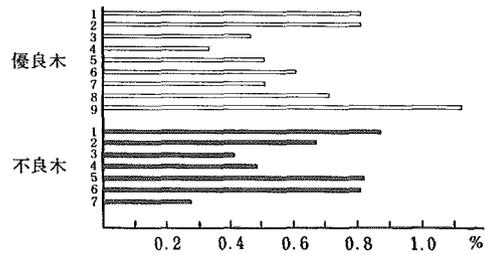
第41図 林木の生長状態の相違による葉中N含有率



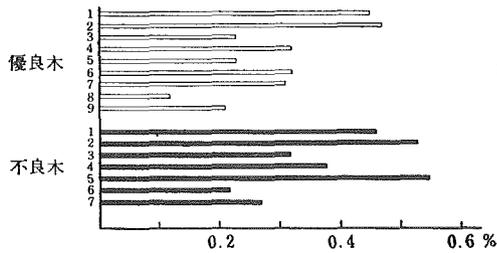
第42図 林木の生長状態の相違による葉中P₂O₅含有率



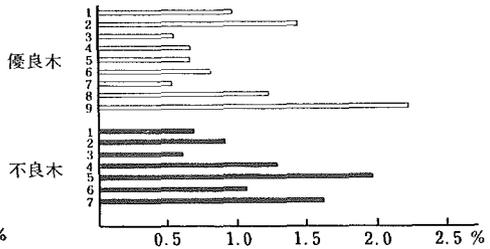
第43図 林木の生長状態の相違による葉中K₂O含有率



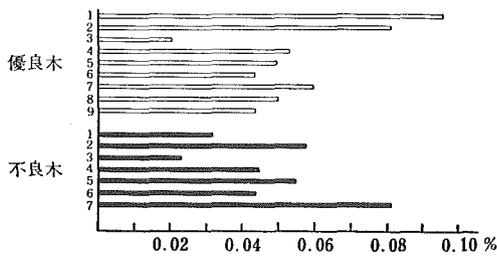
第44図 林木の生長状態の相違による葉中CaO含有率



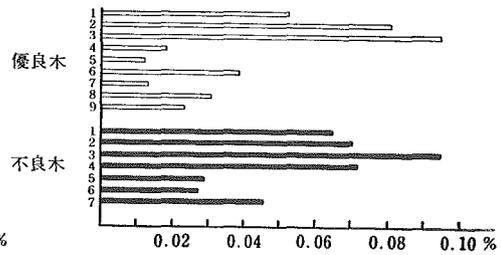
第45図 林木の生長状態の相違による葉中MgO含有率



第46図 林木の生長状態の相違による葉中SiO₂含有率



第47図 林木の生長状態の相違による葉中Fe₂O₃含有率



第48図 林木の生長状態の相違による葉中Al₂O₃含有率

第12表：カラマツの生長と葉中養分要素の含有率および成分間の相互関係

試料	生長	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %
苗木	良好区	1.19~2.67	0.33~0.54	0.80~1.75	0.81~1.05
	不良区	*{1.48~1.71	0.17~0.22	*{0.15~1.50	0.21~0.29
林木	優良木	1.97~2.58 (2.8)	0.24~0.64	0.53~1.12	0.24~0.81
	不良木	1.40~1.90	*{0.16~0.42	0.19~0.62	*{0.19~0.62
試料	生長	N/P	N/K	K/P	N/Ca
苗木	良好区	5.0~12.6 (12.6)	0.9~2.7 (2.4)	4.2~8.5 (5.4)	2.2~3.1
	不良区	22.2~36.1	*{1.4~3.8	8.4~16.5	8.1~24.3
林木	優良木	8.6~19.7	2.2~5.5	1.6~8.9	2.6~8.5
	不良木	*{8.3~22.0	2.9~8.8	*{1.2~3.9	*{2.5~8.1

(注) () ; LEYTON²²⁾ の実験値。

* ; 生長の良否と一定の関係が認められない。

すとおりでである。これによると窒素は優良木では1.97~2.58%を示したのに対し、不良木は1.40~1.90%の範囲に止まり、優良木と不良木との間に窒素の含有率にかなり著しい差があることが認められた。LEYTON はカラマツの林木を対象として葉分析を行ない、葉の窒素、リン酸、カリの含有率と樹高との間に明らかな直線関係が認められたが、これら養分の濃度と樹高との関係において窒素とカリについては有意な関係が認められたがカルシウムについては多少問題があつたと述べている。また同氏はこの実験の結果、窒素が乾物量の約2.8%を占めているとき生育良好で窒素を過剰に施すとむしろ悪くなると述べている。本実験の結果は優良木でも同氏の実験した値よりもかなり低かつたことやまたカラマツの葉中の窒素は苗木の場合きわめて低いが林木では他の樹種に比較してもきわめて高く(第1図)窒素の要求度が苗木から林木にかけて高くなる傾向があることなどから、カラマツの林木に対する窒素の施用はさらに生長を増加させることができるであろう。

次にリン酸は優良木0.24~0.64%に対し、不良木0.16~0.42%で生育良好なものは不良なものに比較して全般的にやや高い傾向を示しているが、例外として不良木にもリン酸含有率のかなり高いものもあり、前述のLEYTONの実験結果と同様窒素および次に述べるカリほどはつきりした傾向はみられなかつた。

カリは優良木では0.53~1.12%に対し、不良木は0.19~0.62%にすぎず、両者の間に含有率に著しい差が認められ、LEYTONの結果ともよく一致した。カリは林木の場合稚苗の2倍以上の含有率となつており(第3図)、カリに対する要求度はかなり高いものと思われその吸収量の少ないものは生長も劣つている。

カルシウムは林木の場合両者の間に含有率に差が認められなかつた。LEYTONもカルシウムと樹高との関係については有意の関係が認められなかつたと述べている。

次に養分相互の関係についてその比率を検討してみると、まずN/Pは優良木8.6~19.7、

不良木8.3~22.0で両者の間に差が認められなかった。

N/Kは苗木の場合両者の間に差が認められなかったが、林木では優良木2.2~5.5に対して不良木は2.9~8.8を示し、その比は不良葉に高いことを示している。LEYTONは、カラマツ林木の樹高生長と窒素およびカリはきわめて密接な関係があり、その比は2.4が適値であるといっている。カラマツ林木の特性として窒素およびカリは、稚苗では要求度が少ないうえ天然給与でじゆうぶん供給されるが、林木では要求度が稚苗にくらべてかなり大となるのでその含有率および相互の比率が生長ときわめて密接な関係をもつのではないかと推察される。本実験の結果、不良木は優良木よりその比率が大であるが、これは第43図からも明らかのように不良木は優良木にくらべてカリがきわめて少ないことに基づくものである。

K/Pは優良木1.6~8.9に対し、不良木1.2~3.9で、N/Pと同様両者の間に差が認められなかった。これは磷酸の含有率が両者の間に差が認められなかったためと考えられる。

第2節 磷酸の濃度の変化が生育ならびに葉中の養分含有率に及ぼす影響

前節に述べたように、カラマツ稚苗の生育と磷酸含有率との間にはきわめて密接な関係があると認められ磷酸濃度の変化が生育ならびに葉中の養分含有率に及ぼす影響についてさらに検討を加える必要があると思われたので、第3表に示すような処理を行なったものについて実験した結果は第13表および第14表に示すとおりである。

第13表：カラマツ葉中養分含有率および生長量の磷酸施肥による影響

磷酸施肥量 g	播種量 g	伸長量 cm	葉中の養分含有率				
			N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %
P10	5	5.0	1.34	0.31	1.35	1.06	0.27
P10	10	5.1	1.57	0.37	1.25	1.17	0.24
P10	20	5.7	1.24	0.35	1.30	0.96	0.28
P10	40	5.2	1.18	0.34	1.33	1.05	0.23
平均		5.3	1.33	0.34	1.31	1.06	0.26
P20	5	5.5	2.00	0.42	1.28	1.22	0.24
P20	10	5.5	1.79	0.39	1.26	1.17	0.24
P20	20	5.6	1.60	0.36	1.24	1.21	0.23
P20	40	5.5	1.44	0.37	1.26	1.15	0.28
平均		5.5	1.71	0.39	1.26	1.19	0.25
P40	5	5.7	1.83	0.44	1.28	1.20	0.21
P40	10	5.8	1.69	0.40	1.26	1.22	0.26
P40	20	5.8	1.71	0.43	1.21	1.27	0.25
P40	40	6.4	1.48	0.36	1.26	1.25	0.25
平均		5.9	1.68	0.41	1.25	1.24	0.24

第14表：磷酸の濃度の変化が生育ならびに葉中の養分含有率に及ぼす影響

	伸長量	生体量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
磷酸の濃度増大による全般的傾向	+	+	*	+	-	+
磷酸の同一濃度区で密度の増大による変動	(+)	-	-	-	なし	なし
同一密度区で磷酸の濃度の増大による変動	+	+	*	+	(-)	+

(注) * 増加するが拮抗作用で磷酸の一定濃度で減少する

() 傾向やや不明瞭

これによると、リン酸の濃度の増大により、伸長量、生体重量ともに増加する傾向が認められ、リン酸の同一濃度区では密度（まきつけ量）の増大により生体重量は減少したが、伸長量はある程度増大する傾向がみられた。また同一密度区ではリン酸の濃度の増大により伸長量および生体重量はともに増加した。

葉中の養分含有率については、窒素はリン酸濃度の増大により増加するが、リン酸がある濃度以上になるとかえって減少した。これはリン酸濃度の増大に伴い窒素との間に拮抗作用を生じたものと思われる。同一密度区でリン酸の濃度変化に伴い直線的に増加する場合とある程度以上のリン酸濃度で低下する場合があつたが、この窒素含有率の低下するものやはり密度の少ない区ではリン酸濃度の増大により拮抗作用の結果減少したものと考えられる。

次に葉中のリン酸は、全般的に施用濃度が高くなるにしたがつて含有率も高くなる傾向を示し、リン酸の同一濃度区においては、窒素の場合と同様に全般的にみて密度の増大により低下する傾向を示している。また同一密度区ではリン酸の濃度の増大に伴つて葉中の含有率も増加した。

次にカリは全般的傾向として、リン酸の濃度が高くなるにしたがつて葉中の含有率は低下したが、これはリン酸との間の拮抗作用に基づくものである。リン酸の同一濃度区において密度の増大に伴う変化は、一定の傾向が認められなかつた。また同一密度区ではリン酸の濃度の増大によりカリの含有率はやや低下する傾向がみられた。

カルシウムは全般的傾向としてリン酸濃度の増大に伴つて、葉中の含有率も増加し、前章で述べたカルシウムの吸収と同様の傾向を示した。リン酸の同一濃度区において密度の増大に伴う変化は、カリの場合と同様に一定の傾向がみられなかつた。また同一密度区ではリン酸濃度の増大に伴つて葉中のカルシウム含有率も増大した。

第3節 要 約

本章では、カラマツの生長の良否が葉中養分要素の含有率および各成分間の相互関係に、いかなる影響を及ぼすかについて検討するため、苗木について養分をいろいろ変化させ、他の因子をすべて同一条件のもとにおき、生長の良否と葉中養分およびその相互関係について調べ、林木については単位面積当りの本数のほぼ等しい地点を選びそのなかの標準木について同様のことを調べた。その結果は第33図から第38図および第12表のとおりである。まず苗木については葉中窒素の含有率はN欠区では低いにもかかわらず生長良好であり、また生長良好な完全区でも生長不良な無肥料区より低く、生長の良否と窒素含有率は一定の関係を示さない。

カリも同様で、カリ欠区は無肥料区よりカリ含有率が低いにもかかわらず生長良好であり、3要素区は無肥料区より低く、生長の良否とカリ含有率の間にも窒素と同様に一定の傾向を示さない。これに対してリン酸およびカルシウムは生育良好区ではそれぞれ0.33~0.54%、0.81~1.05%ときわめて高い含有率を示したのに対し、不良区は0.17~0.22%、0.21~0.29%にとどまり両者の含有率に著しい相違が認められた。窒素およびカリについて生育の良否による明らかな相違がみられなかつたのは前章で述べたように、苗木のこれらの養分に対する要求度がきわめて低いにもかかわらず天然給与量がじゅうぶんあるためである。

次にこれら養分の相互関係をみるために、これらの比率を求めてみると、N/P および K/P

は生育良好区ではそれぞれ5.0~12.6, 4.2~8.5に対し不良区はそれぞれ22.2~36.1, 8.4~16.5に達し生育不良区は良好区に比較して著しく高くなっている。このように不良区が大きい値を示しているのは本実験の結果からみて磷酸欠乏によることが明らかである。

N/K は稚苗の窒素およびカリに対する要求度が低い反面、天然給与がじゆうぶんなためその比率の多少の変動は稚苗の生長に影響を及ぼすことはほとんどない。

N/Ca も不良区はいずれも良好区より高く、N/Ca も稚苗の生長と密接な関係がある。すなわち、稚苗の窒素に対する要求度はきわめて低い反面、カルシウムに対する要求度はスギに匹敵するほど高いことからみても、この値の高いことはカルシウム欠乏によることは明らかである。

次に林木について生長の良否と葉中養分含有率との関係をみると、稚苗の場合と全く逆で窒素およびカリが生長ときわめて密接な関係があり、磷酸およびカルシウムは生長の良否とは一定の関係がなかつたことはきわめて興味ある事実である。これは苗木から林木へかけての養分要求度の相違に基づくものであろう。

養分相互の関係も、稚苗の場合に生長と全く無関係であつた N/K だけが林木の場合には生長の良否と密接な関係があり、稚苗に対して生長ときわめて密接な関係にあつた N/P, K/P, N/Ca は林木の場合には生長の良否と全く無関係であつたこともきわめて興味深い事実である。

次にカラマツ稚苗の生長と磷酸含有率の間にはきわめて密接な関係が認められたので、その濃度が変化した場合に生育ならびに葉中の養分含有率にいかなる影響を及ぼすかについてさらに追求した。それについての結果を一括して表示すると第14表のとおりである。

この表に示すように、磷酸の濃度の増大によつて生長量および生体重量はともに増加したが、それに伴い葉中の磷酸およびカルシウムも増加した。窒素およびカリは、拮抗作用によりやや減少した。磷酸の同一濃度で密度の増大に伴い生体重量は減少し、それに伴ない葉中の磷酸も減少した。またその場合伸長量はある程度増加し、カルシウムは一定の傾向を示さなかつた。同一密度区では磷酸の濃度の増大により伸長量、生体重量、磷酸およびカルシウム含有率は増加したが、窒素は拮抗作用により密度の低い区では磷酸の一定濃度以上の場合に減少した。

第5章 葉分析による栄養診断への応用

前章でカラマツの葉中養分およびその比率が生長との間にきわめて密接な関係があることが明らかとなつたので、本章においてはさらに土壤養分と葉中養分を比較してその関連性を検討し、この関連性が明らかとなれば土壤養分と葉中養分のいずれが生長との関係においてより高い関連性を示しているかについて検討を加えようとするものである。

第1節 土壤養分と葉中養分の関連性

苗木について前述の生長良好区および不良区の土壤分析ならびに葉分析を行ない各要素別に地上部、地下部の養分含有率と伸長量を一括表示すると第33図から第38図のとおりである。またこれによつて土壤養分と葉中養分の関連性について、施用した養分とそれによりあ

らわれた生長状態と関連して検討すると、まず窒素は図に示すように地上部（葉）、地下部（土壌）ともに生長の良否による養分含有率の差は認められず、窒素含有率は葉においてもまた土壌においても生長との関連性は認められなかつた。また土壌中の養分が等しい場合（A, B, C）は、葉中のその含有率もほぼ等しくあらわれているが、他の要素を与えた区と比較すると土壌ではその変動がきわめて少ないが、葉の含有率にはそれが明瞭にあらわれている。例えばN欠区（Db）では土壌および葉中の窒素含有率は低いが、これをN施用区（Dc, Dd₁, Dd₂）と比較すると、土壌の場合はその差がきわめて不明瞭であるが、葉中含有率で比較するとN施用区とN欠区との関係は明瞭にあらわれている。すなわち土壌と葉の関連性は一応認められるが、土壌の場合はそのなかの養分が流亡したり、吸収されるため要素施用の影響が分析値として明瞭にあらわれないが、葉分析の結果は要素施用の影響がきわめて明瞭にあらわれた。

次にリン酸については、土壌も葉もともにP欠区（A, B, C, Dd₁, Dd₂, Df）は、P施用区（Da, Db, Dc, De）より含有率著しく低く、土壌と葉との間にきわめて密接な関連性が認められた。しかしその精度は同じ無肥料区（A, B, C）でも土壌の場合は含有率にかなり大きい差が認められたのに対し、葉中養分含有率は3者ほとんど同様であることや、土壌中のリン酸含有率はきわめて低く、本実験の結果もその実測値はグラフに示した値の $\frac{1}{10}$ にすぎないことから、養分の施用と生長との関係を養分の面から検討しようとするにはリン酸の場合は葉分析によつてじゆうぶんその目的を達することができるように思われる。

次にカリについても、カリ欠区（Dc）はカリ施用区（Da, Db, Dd₁, Dd₂, De）より葉中および土壌中の含有率低く、その他全般的にみて土壌中のカリの多少は葉によくあらわれており、カリについても土壌と葉との間に密接な関連性があるように思われる。しかしカリもリン酸の場合と同様、グラフの値は実測値の $\frac{1}{10}$ でその増減の傾向は土壌よりも葉における方が敏感にあらわれているように思われる。

カルシウムはリン酸施用区（Da, Db, Dc, De）がP欠区（Dd₁, Dd₂, Df）および無肥料区（A, B, C）より高い傾向が土壌および葉に明瞭にあらわれ、またカルシウムの含有率が伸長量とも密接な関係を持ち、生育良好区（Da, Db, Dc, De）は不良区（Dd₁, Dd₂, Df, A, B, C）に比較して土壌中および葉中の含有率が高いことが示されている。このように土壌および葉のカルシウム含有率はカラマツ稚苗の生長と密接な関係があるが、この場合もその変動の傾向は土壌よりも葉における方が、より明確に示されているように思われる。

マグネシウムは葉と土壌で特異な関連性を示し、土壌中にその含有率が低い区（A, B, C, Dd₁, Dd₂, Df）は葉中に高く、土壌中に高い区（Da, Db, Dc）は葉中含有率低く、土壌中および葉中のマグネシウム含有率は両者の間に関連性はあるが他の養分要素の場合と異なり全く逆の関係を示している。これは葉中および土壌中のマグネシウム含有率が無肥料区の場合と肥料要素を与えた場合とで全く関係が逆になつていることからDa, Db, Dcのように、3要素、PK, NPなどを与えると生長量は増加するが、土壌中のマグネシウムが不可吸態化して苗木に吸収されなくなるものと考えられる。事実土壌中のマグネシウム含有率はこれら施用区では無肥料区よりも高くなつている。

第2節 カラマツの葉分析による栄養診断への応用

前節で述べたようにカラマツ葉中の養分は土壌中の養分と密接な関連性があり養分の多少は葉にきわめて敏感にあらわれ、また特定の養分要素の含有率ならびにその比率は生長ともきわめて密接な関係があるので、葉分析によつて栄養診断を行なうことが可能であると考えられる。ただし、しばしば述べたように苗木と林木とで養分要求の特性がおのおの異なるので、苗木と林木とでは栄養診断の着眼点がおのずから異なってくる。すなわち生長良好区および不良区の土壌中および葉中の養分含有率ならびにその比率は前章で述べたように、苗木では窒素およびカリの含有率は生長と無関係であり、磷酸、カルシウムが生長と密接な関連性があるが、林木では逆に磷酸、カルシウムは生長と無関係であり窒素およびカリが密接な関連性をもつようになる。また養分の相互の比率は、苗木では N/P, K/P および N/Ca が生長と密接な関係をもち、N/K は生長の良否と関連性を示さないのに対し、林木では N/K のみが生長の良否と密接な関連性をもち、N/P, K/P, N/Ca は生長と無関係である。カラマツの葉分析によつてこのような傾向が認められたが、土壌ではどのような関係があり葉中の含有率といかなる関係にあるかを検討してみると第15表のとおりである。まず窒素およびカリについては葉の場合と同様両区の間に含有率について関連性は認められなかつた。磷酸およびカルシウムについては、これも葉の場合と同様両区の間に含有率に著しい差が認められ、その含有率ならびに比率は生長ともきわめて密接な関係があることが認められた。すなわち土壌中の磷酸は良好区 0.0178~0.0217% に対し、不良区では 0.0018~0.0040% と良好区の 1/5~1/10 程度の含有率にすぎない。また土壌中のカルシウムも良好区 0.073~0.114% に対し、不良区 0.012~0.060% ときわめて低い値を示している。窒素およびカリの無肥料区と施用区を比較しても含有率に大差なく、それぞれの要素を施用しない場合でも天然給与でじゅうぶ

第15表：生育を異にする苗木および林木の葉分析および土壌分析とその関連性

			N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	N/P	N/K	K/P	N/Ca
苗	葉分析	良好区	*	0.33~0.54	*	0.81~1.05	5.0~12.6	*	4.2~8.5	2~3
		不良区		0.17~0.22		0.21~0.29	22.2~36.1		8.4~16.5	8.1~24.3
木	土壌分析	良好区	*	0.0178~0.0217	*	0.073~0.114	40~59	*	1~7	5~10
		不良区		0.0018~0.0040		0.012~0.060	274~608		10~29	12~51
			N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	N/P	N/K	K/P	N/Ca
林	葉分析	優良木	*	1.97~2.58	*	0.53~1.12	*	*	2.2~5.5	*
		不良木		1.40~1.90		0.19~0.62			2.9~8.8	
木	土壌分析	優良木	*	*	*	*	*	*	*	*
		不良木								

(注) *は関連性なし

ん土壤中に含まれており、その反面苗木の特性としてこれらの要素に対する要求が少ないため両区の間には生長に関して含有率との間に明らかな関連性が認められないのは当然のことと思われる。このように窒素とカリはその含有率だけでは苗木の生長の良否と全く関連性がないが、他の要素との相互関係においては生長の良否ときわめて密接な関連性を示していることも葉の場合と同様である。すなわち、まず土壤中の N/P は生長良好区40~59に対し、不良区274~608ときわめて高い値を示している。N/P の差が両区においてこのように明らかにあらわれるのは、いうまでもなく土壤中の磷酸含有率の相違にもとづくもので、したがって N/P は土壤の磷酸含有率の過不足を判定する有力な資料となると考えられる。

土壤の K/P も同様で、カリ含有率そのものは両区のちがいは認められないが、磷酸との比率は生育良好区で1~7に対し、不良区は10~29で両者の間に顕著な相違がみられたが、この原因もやはり土壤中の磷酸含有率の相違にもとづくもので K/P も N/P と同様土壤中の磷酸含有率の適否判定の指針となる。

土壤の N/Ca も不良区がいずれも高く、葉分析の結果と全く同様の傾向を示している。すなわち、生育良好区5~10に対し、不良区12~15を示しているが、不良区が大きい値を示しているのは分析の結果からカルシウム含有率の低下に基づくことが明らかであり、N/Ca は土壤中のカルシウム含有率の過不足を判定する有力な資料となつている。

N/K については生長と何の関連性も示さなかつたことも葉の場合と同様である。

以上のように土壤養分と葉中養分は苗木についてはきわめて高い関連性を示し、要素含有率のうち窒素、カリはともに生長と無関係であつたが、磷酸とカルシウムは葉においても土壤においても生長と密接な関係を示した。さらに相互の比率では窒素、カリともに密接な関係をもち、特に N/P および K/P は葉分析においても、土壤分析においても生長不良区は高い値を示したが、この原因は土壤分析および葉分析の結果、磷酸欠乏に基因することが明らかで N/P は苗木および土壤の栄養診断、特に磷酸欠乏診断の有力な指針となることが明らかとなつた。またこの実験の経過に伴う観察結果から磷酸は葉中の含有率0.2%以下で欠乏症があらわれ0.20~0.25%で若干あらわれ、0.3%以上では欠乏症状はあらわれてこなかつた。

またマグネシウムについても、葉中の含有率0.17%以下で欠乏症状があらわれ、0.18~0.19%で若干あらわれ、0.2%以上は欠乏症状があらわれなかつた。

このように磷酸、マグネシウムなどの欠乏症状の観察結果は葉分析の結果ともよく併行関係を示しているので、葉分析はこれら要素の苗木の欠乏診断に役立つ、さらに土壤の養分ともきわめて密接な関連性があるので、葉中の含有率から帰納的に土壤中の養分含有率の過不足を類推することも可能である。

次に林木においては、生長の良否と葉中養分含有率は前述のように苗木の場合と全く逆の傾向が認められ、葉中の窒素およびカリならびに両者の比が生長と密接な関係にあり、それらの含有率ならびに比率が林木の栄養診断の上に重要な意義をもつていることが明らかとなつたが、この関係は土壤については明らかな関連性は認められなかつた。これは長期間に林地土壤が有機的の分解、養分の流亡および種々な理化学的变化を受けたため、葉分析の結果との間に明確な関係がえられなかつたものと思われ、林木の場合は少なくとも樹体の栄養診断には役立つが、土壤の診断は葉分析の結果からただちに類推することは困難であつて、土

壤分析を葉分析と 併行して行なうことにより一層明確にこれを行ないうるものと考えられる。

第3節 要 約

本章において土壤養分と葉中養分の間 にどのような関連性があるかについて調べたところ、両者の間にきわめて密接な関連性があり、土壤に加えられた要素の反応は土壤および葉に明瞭にあらわれたが、なかでも要素施用の影響は土壤にくらべて葉の方にきわめて明瞭にあらわれた。すなわち、土壤中の各要素の含有率は葉中含量にくらべるときわめて少ないのでその変動の様相が土壤ではあまり明確でないが、葉ではこれがきわめて明瞭にあらわれ、しかもその傾向が土壤と葉とよく似ている（マグネシウムだけは逆の関連性を示す）ので葉分析を行なつてその養分の過不足を調べる（樹体の栄養診断を行なう）ことにより土壤中の養分の多少を推定することが可能である。また葉中のある特定の養分は生長ときわめて密接な関係があることが判明した。すなわち苗木では磷酸およびカルシウムが生長ときわめて密接な関係があり、不良区はこの含有率が良好区にくらべ著しく低い、また窒素、カリは含有率では両区の間には差が認められないが、N/P、N/K、K/P、N/Caのうち、とくに N/P 及び K/P については不良区は良好区にくらべその値が著しく大きく、このことは磷酸欠乏に基づくことが明らかとなつたので、N/P、K/P は苗木の磷酸欠乏診断のめやすとして重要な意義をもつことが明らかとなつた。また N/Ca も不良区は良好区にくらべ4~8倍の大きい値を示したが、これはカルシウム欠乏に基づくことが明らかとなつたのでこの比率はカルシウム欠乏診断上重要なものである。窒素およびカリは含有率そのものは生長と関係ないが、今まで検討した苗木の特性からみて過量の施用は無益であるばかりでなく、この比の値を増大させる結果となり生育上好ましくない。

次に林木の生長と葉中養分の関係は、苗木の場合と全く傾向が逆で、磷酸および石灰含有率は生長と関係なく、窒素およびカリが生長と密接な関係があることが判明した。したがつて要素の比率も苗木の場合関係がなかつた N/K が林木の場合密接な関係がある。したがつて林木の場合、窒素およびカリの含有率ならびに両者の比率が林木の栄養診断上重要な意義をもつことが明らかとなつた。なお林木の葉分析の結果と土壤養分の関係については苗木の場合のように明らかな関連性がみられなかつたが、これは長期間にわたる林地土壤養分の流亡と、反面林地に有機物が供給され、また種々の理化学的変化をうけるため葉分析の結果との間に明確な関連が得られなかつたものと思われる。すなわち、林木の場合は少なくとも樹体の栄養診断には役立つが、林地土壤の診断は直接葉分析の結果から類推することは困難であつて、土壤分析と併行して行なうことにより一層明確な診断が可能となるものである。

結 論

林木の養分要素と生長との関係は、現在までいろいろ研究されているが、これまでの報告は必要とする養分の一成分だけを取り出して林木の生長との関係を論じたものが多く、特にカラマツを対象として葉分析を行ない、これを栄養診断に応用するため養分要素と生長との関係を広い角度から総合的に検討した報告は現在まで外国の1、2の研究を除き見当たらない

ので、本研究を行ない次の結論を得た。

1) 葉分析の結果カラマツの生長は主として葉内における窒素、リン酸、カリおよびカルシウムの含有率に支配されることが判明し、養分の好適含有率およびその範囲を確立することができ、それ以下では生長の制限が必ずおこることが明らかとなった。

2) 養分に対する要求度は苗木と林木とでそれぞれ異なることが葉分析の結果明らかとなった。すなわち、苗木ではリン酸およびカルシウムに対する要求度が著しく大きい、窒素およびカリはあまり必要としない、これに対し林木ではリン酸およびカルシウムより窒素およびカリに対する要求度が大きくなる。

3) 葉中の養分含有率と生長との関係も、苗木と林木でそれぞれ異なり、苗木ではリン酸およびカルシウムが生長と密接な関係があるのに対し、林木では窒素およびカリが密接な関係をもち、養分相互の関係としては、苗木では N/P、K/P、N/Ca が生長の良否と至大の関係をもつが林木では N/K が大いに関係する。

葉中および土壌中の養分含有率および相互の比率は、苗木についてはきわめて密接な関連性が認められ、肥料要素施用の影響は同様の傾向（マグネシウムだけは反対の傾向）をもつて土壌および葉中養分にあらわれる。ただしその変動の傾向は特に葉において明確にあらわれ、またその含有率は生長の良否、要素欠乏症状発現時の濃度ともきわめて密接な関連性があるので、葉中の養分含有率およびその比率を、苗木の栄養診断、要素欠乏診断に適用することができ、またその時の葉中の含有率から土壌の養分状態を推定することもある程度可能である。林木の生長と養分要素との関係は、窒素とカリが密接な関係をもち、N/K が林木の栄養診断上有効であることが判明した。林木と土壌の養分要素の関連性は、土壌に変動因子が多く入りすぎたため一定の関係が見出せなかつた。

4) 葉中養分は、樹令、採葉時期、採葉部位、方位、立地条件、養分相互の拮抗作用など種々な因子により変動するので、その適用に当たってはそれらの点に注意を要する。

文 献

- 1) LUNDEGARDH, H. : Leaf Analysis 1951 Hilger & Watts LTD.
- 2) CHILDERS, N. F. : Fruit Nutrition 1954 Somerset Press
- 3) ULRICH, A. : Ann. Rev. Plant Physiol. 3. 207. 1952
- 4) 小林章：果樹の栄養生理 1958
- 5) PLICE, M. J. : Soil Sci. Soc. Amer. Proc, 8. 408. 1944
- 6) WALKER, L. C: Forest Sci 2. 1956
- 7) BARD, G. E: Soil Sci, Soc. Amer. Proc, 10. 419. 1945
- 8) HEIBERG, S. O and WHITE, D. P: Soil Sci. Soc. Amer. Proc, 15. 369. 1951
- 9) HOBBS, C. H: Plant Physiol. 19. 590. 1944
- 10) STONE, E. L: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17. 297. 1953
- 11) THOMAS, W: Soil Sci. 59. 353. 1945
- 12) WALKER, L. C: Soil Sci. Soc. Amer. Proc, 19. 233. 1955
- 13) WHITE, D. P: Soil Sci. Soc. Amer. Proc, 18. 326. 1954
- 14) WOOD, L. K: Soil Sci. 63. 305. 1947

- 15) MITCHELL, H. L: Black Rock Forest Papers, 1. 30. 1936
- 16) CHAPMAN, G. W: Soil Sci. 52. 63. 1941
- 17) WANDER, J. W and BRODE, W. R: Journ. Opt. Soc. Amer, 31. 402. 1941
- 18) WALKER, L. C: Forest Sci. 1. 1955
- 19) " : Better Crops with Plant Food 37. 10. 1953
- 20) LEYTON, L: Plant and Soil. 7. 167. 1956
- 21) " : Plant analysis and fertiliger poblems 143. 1956
- 22) " : Plant and Soil 9. 31. 1957
- 23) LAHANAUKAS, C. K, EMBLETON, J. W. and JONES, W. W: Amer. Coc Hort. Sci. 71. 285. 1958
- 24) MIROV, N. T and STANLEY, R. G: Plant Physiol. 10. 223. 1959
- 25) 佐藤弥太郎, 岡崎文彬, 柴田信男: 日林誌 24. 1942
- 26) 芝本武夫: 日林誌 25. 521. 1943
- 27) " : 同上 26. 110. 1944
- 28) " : 同上 31. 121. 1949
- 29) " : 同上 34. 326. 1952
- 30) 芝本武夫, 中沢春治: 同上 40. 383. 1958
- 31) 朝日正美: 日林北海支講 6. 23. 1957
- 32) " : 日林誌 41. 225, 1959
- 33) 安藤愛次: 東大演報 42. 151. 1952
- 34) " : 同上 43. 91. 1953
- 35) 原田 洸: 林試報 103. 69. 1957
- 36) 原田 洸: 林試報 108. 83. 1958
- 37) 高橋成直, 中村健, 浅田節夫, 赤井竜男: 70回, 日林講 136. 1960
- 38) " " " " : 70回日林講 1960
- 39) 柴田信男: 69回, 日林講 196. 1959
- 40) " : 京大演報 29. 181. 1960
- 41) 中村健, 高橋成直: 長野林友 7. 1960
- 42) 浅田節夫, 赤井竜男: 同上 抜刷 1960
- 43) 芝本武夫: 林野庁 1952
- 44) 津田重政: 林試報 7. 1909
- 45) 原田洸, 岩崎美代: 69回, 日林講 189. 1959
- 46) LEAF, A. L: For. Sci. 2. 121. 1956
- 47) INGESTAD, F: Physiol. Plant 10. 418. 1957
- 48) FOWELL, H: For. Sci. 5. 95. 1959
- 49) LEYTON, L: The Physiology of Forest. 1957 P. 323 The Ronald Press Company
- 50) MCVIKAR : Soil Sci. 68. 317. 1949
- 51) VAN GOOR, C. P: Plant and Soil 5. 29. 1953
- 52) GESEL, S. P & WAIKER, R. B: Soil Sci. Soc, Amer. Proc 20. 97. 1956
- 53) ZAHNER, R: JONT. For 57. 812. 1959
- 54) MC HARGNE, J. S: Bot Gaz 94. 381. 1932
- 55) 中塚友一郎: 日林誌 25. 521. 1943

- 56) " : 同上 26. 110. 1944
 57) " : 同上 31. 121. 1949
 58) WHITE, D. P: Soil Sci Soc Amer Proc. 18. 526. 1954
 59) TAMM, C. O: Medd. Statens skogsforskningsinst. 45. 5. 1955
 60) 朝日正美：日林誌 40. 135. 198
 61) 塘隆男, 原田洗, 及川伸夫：69回, 日林講 182. 1959
 62) WEHRMAN, J: Forst. Wiss. Centlb 78. 77. 129. 1959
 63) 四手井綱英：林解シリーズ 86. 1956
 64) 明永久次郎, 芝本武夫：日林誌 15. 1933
 65) 川島録郎：日土肥誌 10 1937
 66) 中沢春治：日林誌 42. 321. 1960
 67) 宇野昌一：林産製造学 P.23 1935
 68) 宮崎榊：図説苗木育成法 1957
 69) 塘隆男：林業技術シリーズ24. 林野庁 1951
 70) 佐藤清左エ門：日林誌 42. 298. 1960
 71) 芝本武夫, 田島俊雄：日林誌 43. 55. 1961
 72) NEFF, M. S. e't: Amer. Soc. Hort. Sci. 71. 237. 1958

Résumé

Using the Japanese larch, the relationship between nutrient elements of leaves and growth is observed for the purpose of applying a leafanalysis to nutritive diagnosis. The results are summarized as follows:

(1) It is found in leafanalysis that growth depends on contents of some nutrient elements such as nitrogen, phosphorus, potassium and calcium. Thus the proper contents of these nutrient elements for rapid growth are obtained.

(2) It is found that the seedlings and the adult trees have respectively different requirement of nutrient elements:

the seedlings require phosphorus and calcium rather than nitrogen and potassium, while the adult trees require nitrogen and potassium rather than phosphorus and calcium.

(3) The relationship between nutrient elements contents of leaves and growth of seedlings differs from that of adult trees:

in seedlings phosphorus and calcium contents have close relation to growth, on the other hand in trees nitrogen and potassium have close relation to growth. Thus in seedlings the ratio of N:P, K:P, and N:Ca has close relation to growth, while in trees the ratio of N:K plays an important role.

(4) Since the nutrient element contents in leaves varied by tree ages, seasons, parts, site conditions and other factors, the application of leafanalysis to nutritive diagnosis should not be carried out without taking account of the case.