

## アテ苗の栄養生理に関する研究

中野 敏夫

### I はじめに

優良苗木を育てるに当って、施肥は大切な問題である。施肥の合理化を進める上で、肥料成分(要素)の欠乏症を知り、その要素の欠除が、苗木の成育にどのような影響を及ぼすかと言うことを明らかにすることは重要なことと思う。スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ等の栄養生理については、芝本<sup>1)</sup>、大鹿<sup>3)</sup>、宮崎<sup>5)</sup>、堤<sup>4)</sup>らによって報告がなされている。ヒバについては、佐藤、武藤<sup>6)</sup>によって三要素の施肥時期に関する研究がなされているが、要素の欠乏症についての報告はみられない。また、アテについては、栄養生理学的な面からの研究報告はなされていない。

そこで、アテについて要素の欠除が、生育にどのように影響し、また、どのような症状を呈するかを知る目的で、昭和45年より51年まで、水耕法と水耕を併用した砂耕法で栽培実験をしてきたので報告する。

### II 実験 - 1 水耕によるチッソ、リンサン、カリの欠除栽培

#### 1. 材料と方法

図-1に示したように、板に孔をあけ、その孔にゴム栓(中をくりぬいたもの)と綿を用いて、44年4月に播種したマアテ2年生苗(0.5g)をとりつけ、 $1/5,000$ のプラスチック製ワグネルポットを使用して、チッソ、リン酸、カリの各要素の欠除栽培を行なった。1ポットで3本栽培し、栽培期間は45年4月から46年11月上旬までであるが、最初の一週間は根を水耕にならせるため、塩類を添加せず、水だけで行なった。ポットを設置した場所は当試験場内の渡廊下であり、晴天の日であれば、午前と午後あわせて3時間程度直射光を受けた。各試験区の水耕液の組成は表-1のとおりであるが、液の更新は週に1回、7月および8月は週に2回行なった。この水

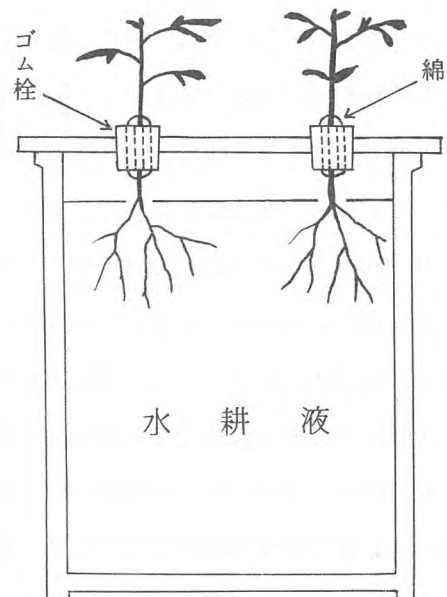


図-1 水耕栽培の様子

耕栽培に使用した水は、純水ではなく、簡易水道水(地下水)である。苗木体の各要素の分析は、全チッソはケルダール法、リン酸は光電光度計による比色法、カリは炎光光度計法によった。

表-1 水耕液の組成 (1ℓ 当り mg)

塩類	試験区	完全	-N	-P	-K	備考
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		71	0	71	63	ppm 濃度
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		0	0	0	24	N = 25
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		29	29	0	0	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 15
KCl		24	24	40	0	K <sub>2</sub> O = 25
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O		39	39	39	39	CaO = 15
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O		62	62	62	62	MgO = 10
FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O		痕跡量	痕跡量	痕跡量	痕跡量	

## 2. 結果と考察

### ① 要素の欠乏症

45年の生長期が終止した時点(10月下旬)では各要素の欠乏症状は、はっきりと認められなかったが、完全区と-K区の苗に比較して、-N区と-P区の苗は生長がかなり劣っていた。46年5月下旬になると、-N区の苗は緑色がうすくなり、時の経過とともに黄色が現われ、8月~9月になると黄褐色を呈した。

-P区の苗は36年4月下旬には濃緑色~紫色を滞び、時の経過とともに紫色が強まり、8月には暗紫色を示した。-K区の苗は、葉色、形態とも完全区の苗と同様に変化は認められなかった。

なお、他樹種と比較する意味で、スギ2年生苗(2.5g)を用いて、46年4月より、同年11月上旬までアテと同じ方法(異なることは1日5時間程度太陽の直射光を受けた)で水耕栽培したので、その概要を述べる。スギの欠乏症の発現は、アテよりずっと早く、-N区と-P区にアテと同じような初期症状が7月下旬にみられだし、10月には、-N区の苗は黄褐色を呈し、-P区の苗は紫色を呈した。また、-K区の苗は、淡緑色となり、下枝がたれ下った(写真-1)。

アテの要素欠乏症がスギより遅れて現われたのは、表-2・3からうかがえるとおり、生長速度がスギに比較して非常に緩慢なため苗木体の要素濃度の低下が徐々に進行したためと考えられる。

なお、46年7月頃から、アテおよびスギの根に淡褐色の膜状物がつきはじめ(-N区、-P区は比較的軽い)、根の生育が健全でないため、農林省林業試験場の小林享夫樹病研究室長に調べていただいたところ、リゾクトニア菌による根ぐされ症状<sup>9)10)</sup>であることがわかった。そのため、デクソン 20 ppmの投与を数回行なうことによって、根の生育はほぼ正常になった。小林室長に御礼申し上げる。

### ② 苗木の生育と要素の含有量

46年11月上旬に水耕を中止し、重量測定とチッソ、リン酸、カリの分析を行なったので、その結果を表-2・3に示した。

アテ苗の水耕終了時の生重量は、完全区の24gに対し、-N区 5.3g、-P区 3.2g と非常に大きな差

表-2 アテ苗の生育と要素含有量

区分 試験区	生重量	風乾重量			要素含有量(乾物中)		
		全体	根	T/R	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
完全	24.0 <sup>g</sup>	9.2 <sup>g</sup>	1.8 <sup>g</sup>	4.1	0.88 <sup>%</sup>	0.20 <sup>%</sup>	0.50 <sup>%</sup>
-N	5.3	1.9	0.56	2.4	0.57	0.30	0.68
-P	3.2	1.2	0.4	2.0	1.50	0.13	0.37
-K	26.0	10.1	1.8	4.6	0.83	0.19	0.40

注) 苗木の重量は1本当りの平均重量である。

表-3 スギ苗の生育と要素含有量

区分 試験区	生重量	風乾重量			要素含有量(乾物中)		
		全体	根	T/R	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
完全	54.0 <sup>g</sup>	20.8 <sup>g</sup>	4.0 <sup>g</sup>	4.2	0.80 <sup>%</sup>	0.21 <sup>%</sup>	0.53 <sup>%</sup>
-N	7.3	2.6	0.8	2.3	0.34	0.73	1.01
-P	22.4	8.0	2.6	2.1	1.34	0.10	0.53
-K	55.6	21.0	3.9	4.4	0.75	0.26	0.31

注) 苗木の重量は1本当りの平均重量である。

がみられたが、-K区については差はみられない(むしろ-K区の方が少し大きい)。根の生育状態は-N区と-P区は、他の区(完全区と-K区)に比較して旺盛であり、細長く発達した。

次に、要素含有量については、要素欠除区は、欠除した要素の含有率が低くなるのは当然のことと考えられるが、-N区についてはリン酸とカリの含有率が高くなっており、-P区については、チッソの含有率が高い。

これらのことは、スギについてもほぼ同じ傾向がみられる。

### Ⅲ 実験-2 砂耕(水耕併用)によるチッソ、リン酸、カリ、カルシウム、マグネシウムの欠除栽培

#### 1. 材料と方法

供試苗は、土を入れた木製の魚箱に、昭和46年4月に播種して、養成していた3年生のオオバアテのうちから、大きさのそろったものを掘り起し(1.5~2.0g)、網目2×4cmの金網にさしこんで、水耕にならせるためと根についている土を洗い落とすため、根部を10日間浸水しておいた。この苗を、石英砂を入れた1/5,000の下口付ワグネルポットに、48年4月中旬に植えつけた。このポットを図-2のようにポリバケツに入れ、ポリバケツには上端から2cmの高さまで、水耕液を常時入れておいた。また、ポリバケツには、ゴミやホコリの侵入を防ぐため、アルミ箔で覆をした。

水耕液の組成は表-4に示すとおりで、チッソ、リン酸、カリ、カルシウム、マグネシウムの単独欠除のものと、欠除しないもの（完全区）の7試験区設けた。1ポットに2本植栽し、各試験区に2ポット使用した。水耕液の更新は2週間に1回とし、その間水位が下がったときは純水を補給した。

使用した石英砂は40%の塩酸に2昼夜浸漬したのち、水道水で良く洗い、最後に純水で洗滌し、塩素反応のなくなることを確認した。

栽培場所はガラス室のトロッコ上で、晴天の日は室外にトロッコを運び出し、雨天の日は室内にそのまま置き、曇天の場合はその状況によって、室内または室外に置いた。また、5月から9月の間は陽光が強いので、クレモナ寒冷しゃで日蔭を作り、9時から15時までは直射日光をさけた。栽培期間は48年4月13日から49年11月上旬までである。実験終了後に行なった苗木体のチッソ、リン酸、カリの分析は、実験-1と同法である。

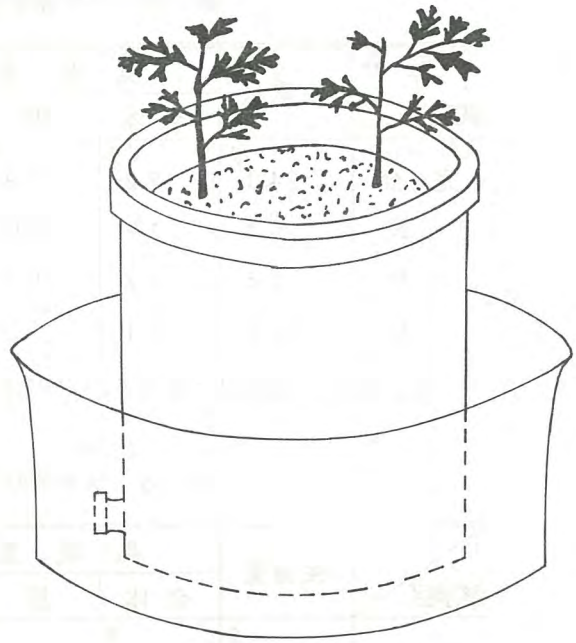


図-2 水耕液の入ったポリバケツにポットを入れた様子

表-4 水耕液の組成（純水1ℓ当りmg）

塩類	試験区	完全	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	備考
$\text{NH}_4\text{NO}_3$		86	0	86	74	86	86	ppm 濃度
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$		0	0	0	33	0	0	N = 30
$\text{KH}_2\text{PO}_4$		38	38	0	0	38	38	$\text{P}_2\text{O}_5$ = 20
KCl		11	11	32	0	11	11	$\text{K}_2\text{O}$ = 20
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		39	39	39	39	0	39	CaO = 15
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		43	43	43	43	43	0	MgO = 7
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		7	7	7	7	7	7	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ = 2
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		3	3	3	3	3	3	$\text{Mn}_2\text{O}_3$ = 1

## 2. 結果と考察

### ① 要素の欠乏症

2年間にわたって観察した各要素の欠乏症状は次のとおりである。

1) -N区の苗は、48年6月下旬になると、他の区に比較して生長に衰えがみえはじめ、葉色は緑色か

らうすい黄緑色へと変り、8月には黄褐色を滞び、10月～11月になると赤褐色を呈した。49年は同じ症状を呈したままで、生長はほとんどみられなかった。

ロ) -P区の苗は、48年6月下旬には、-N区の苗と同じように生長に衰えがみえはじめ、葉色は濃緑色となり、8月には紫色を滞び、さらに10月～11月になると全体が暗紫色を呈した。49年5月になると、新梢部に少し黄緑色がみえはじめたが、症状の進んだ部分(葉の中央)は古銅色となった。以後生長はほとんどみられなかったが、8月になると、枝葉の先に緑色の回復したものもあり、この場合、それ以外の部分は古銅色～赤紫色となり対照が鮮明となった。また、全体が暗紫色～古銅色のままで緑の回復しないものもあった。

ハ) -K区の苗は、-N区、-P区の苗ほど生長は悪くないが、48年10月になると、下枝がたれ下り、その葉先は白色を呈したのも現われ、また葉全体としては緑色があせてきた。49年5月になると、緑褐色を呈し、時の経過とともに褐色～褐赤色へと移った。

ニ) -Ca区の苗は、49年5月には黒ずんだ緑色を滞びたが、はっきりした症状は現われなかった。

ホ) -Mg区の苗は、49年4月には緑色がうすくなり、下葉の先が黄色になるものも現われた。苗全体としては、時の経過とともに黄緑色が現われ、7月には、葉先の部分は黄赤色～赤褐色に変化した。この葉先の症状は時が進むにつれて葉の中央部へと移行した。

以上、アテについて述べたチッソ、リン酸、カリ、マグネシウム(カルシウムについては、はっきりした欠乏症が現われなかったので何とも言えない)の欠乏症状を、宮崎<sup>5)</sup>、大鹿糠<sup>3)</sup>、堤<sup>4)</sup>らによって報告されたスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツの要素欠乏症状と比較すると、樹種によって差異はあるものの、ほぼ同じ症状であることが確認された。

## ② 苗木の生育と要素の含有量

49年11月上旬に栽培を中止し、苗木の重量測定とチッソ、リン酸、カリについて、苗木体の分析をしたので、その結果を表-5に示す。

表-5 苗木の生育と要素含有量

試験区	生重量	風 乾 量 (g)				要素含有量 (乾物中)		
		全 体	地上部	根 部	T/R	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
完 全	20.3	7.8	6.1	1.7	3.6	0.86%	0.46%	0.76%
- N	3.1	1.3	0.8	0.5	1.6	0.43	0.52	1.22
- P	3.6	1.5	0.9	0.6	1.5	2.28	0.11	0.64
- K	10.6	4.4	3.5	0.9	3.9	1.54	0.61	0.13
- Ca	18.9	7.7	6.2	1.5	4.1	1.11	0.60	0.82
- Mg	11.6	4.9	3.5	1.4	2.5	1.44	0.71	0.70

この表から、生長に対する各要素の欠除の影響は、カルシウムを除いて、はっきりと表われている。

言い換えれば、チッソおよびリン酸が生長に最も大きな影響を及ぼしていることになり、次いでカリ、マグネシウムの順である。カルシウムの欠除区の苗木については、堤<sup>4)</sup>はスギ、ヒノキ、アカマツなどで実験し、苗全体の成長は完全区とほとんど差のないことを指摘している。今回の実験についても、Caの欠除が、重量成長に影響したとは思われない。

次に根の成育は、実験-1でも述べたとおり、-N区、-P区の苗は旺盛で、非常に長く発達したことが、今回の実験でも確認された。これについては、宮崎<sup>2)</sup>らが指摘しているところである。

要素の含有量については、チッソ、リン酸、カリだけしか分析できなかったが、それらの欠除の影響は、はっきり現われており、また-N区にはカリの含有率が高く、-P区、-K区にはチッソの含有率が高く現われている。これについても、実験-1で似かよった傾向の現われたことは、すでに述べた。

#### IV 実験-3 砂耕(水耕併用)による鉄、マンガンの欠除栽培

##### 1. 材料と方法

表-6の水耕液を用いて、鉄、マンガンの単独欠除および鉄、マンガンの同時欠除栽培を行なった。栽培期間は昭和50年4月10日から51年10月下旬で、栽培の方法及び場所は実験-2と全く同じであるが、使用した苗は、49年4月に土を入れた木製の箱に播種した2年生のエソアテ(0.3g)である。石英砂は、実験-2で使用した鉄、マンガンを除去するため、濃塩酸に3昼夜浸漬したのち、水道水で洗い、最後に純水で塩素反応のなくなるまで洗滌した。アテ苗の植つけに当っては、実験-2と同様に、根部を10日間浸水しておいた。

なお、鉄、マンガンの分析は、硝酸-過塩素酸によって湿式灰化した試料を石川県農業試験場の原子吸光分光光度計で行なった。分析に快く援助して下さった農試の森正技師及び丸山科長に御礼申し上げる。

表-6 水耕液の組成(純水1ℓ当りmg)

塩類	試験区				ppm 濃度
	完全	-Fe	-Mn	-Fe -Mn	
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	86	86	86	86	N = 30
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	38	38	38	38	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 20
KCl	11	11	11	11	K <sub>2</sub> O = 20
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	39	39	39	39	CaO = 15
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	43	43	43	43	MgO = 7
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	7	0	7	0	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 2
MnSO <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	3	3	0	0	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 1

##### 2. 結果および考察

###### ① 要素の欠乏症

完全区を除いた他の3区、すなわち、-Fe区、-Mn区、-Fe・Mn区の欠乏症は区別がつかず、同じような症状が進行したので、一括して述べる。50年9月には、完全区に比較して生長差はほとんどみられなかったが、上葉は緑色がうすくなり、白褐色を滞びた。51年4月上旬には完全区の苗が淡緑色の新芽をだし、正常な生長を開始したのに対し、他の3区の苗は白褐色が強まり、4月下旬から5月上旬にかけて、ようやく新芽の生長がみられたが、その後の生長は完全区に比較して頗る緩慢であった。さらに7月下旬から8月上旬になると、下葉など早く形成された部分を除いて、白色～白褐色を呈し、生長は停止した。9月に入ると、芯(幹)や枝葉の頂芽に茶褐色の組織ができたものも現われ、この組織は枯死していた。

堤<sup>4)</sup>は鉄およびマンガンを欠除すると、スギ、ヒノキ等では頂端部が白色～黄白色を呈すると述べている。また、山崎<sup>7)</sup>は鉄は植物体内を移動しにくい要素であるため、その欠乏は上葉から発現するのが常であり、黄白色～白色化を呈することを指摘し、さらに、そ菜のマンガン欠乏は鉄欠乏と甚だよく似ており、若い葉のクロロシスから始まり、その部分が褐変壊死をおこす、と述べている。

このことから、アテに現われた症状は、次に述べる苗木の生育と要素の含有量を併せて考えると、鉄、マンガンの欠乏症と考えてまちがいないものと思う。

## ② 苗木の生育と要素の含有量

栽培終了時に行なった苗木の重量測定と鉄、マンガンの分析結果を表-7に示す。生育に対する鉄、マンガン欠除の影響は、はっきり現われており、しかも、それは二要素の同時欠除区において、最も大きく現われている。

要素の含有量についても、欠除の影響がみられるが、鉄についてはマンガンの単独欠除区においても、鉄欠除区と同じような低い値を示している。また、マンガンの含有量は鉄が欠除することによって、相対的に高い値が示されている。

表-7 苗の生育と要素含有量

試験区	生重量	風 乾 重 (g)				要素含有量 (乾物中)	
		全 体	地上部	根 部	T/R	Fe	Mn
完 全	8.8 <sup>g</sup>	3.56	2.81	0.75	3.7	402 <sup>ppm</sup>	113 <sup>ppm</sup>
- Fe	4.5	2.10	1.75	0.35	5.0	166	211
- Mn	4.1	1.87	1.55	0.32	4.8	150	37
- Fe・Mn	3.0	1.38	1.16	0.22	5.3	170	79

## V 摘 要

3段階に分けて、水耕実験を行なったのであるが、最初は水耕栽培がうまくできるかどうか、わからなかったため、水道水を使用して予備的な考えで行なったものである。そこで、水耕では根ぐされ症状

の現われる危険があり、また、純水を用いて、ポットを増やして実験すると、多量の純水を必要とするため、48年から、水耕を併用した砂耕に切りかえた。47年春にはガラス室が完成したため、栽培場所はガラス室へ移した。

実験-1では、チッソ、リン酸の欠乏症が実験-2より遅れて現われ、また、カリの欠乏症が現われなかったのは、実験-1には純水を使用しなかったため、水道水に含まれていたチッソ、リン酸、カリが影響したものであろう。特にカリについては、生長の遅いアテには、ほぼ十分な供給がなされたものと思われる。

水耕液に使用した塩類とその濃度は、芝本<sup>1)</sup>、石塚<sup>8)</sup>、宮崎<sup>2)</sup>、堤<sup>4)</sup>らの使用した水耕液を参考にし、アテの生長速度を考えに入れて、定めたものである。

最後に、アテ苗の要素欠乏症の概要を初期、中期、後期に分けて表-8に示す。

表-8 アテ苗の養分欠乏症の概要

欠除養分	初 期	中 期	後 期
窒 素 (N)	苗全体が黄緑色を呈し、生長におとろえがみえる。	黄褐色を呈し、生長はほとんどしない。	赤褐色を呈する。
リ ン 酸 (P)	苗全体が濃緑色から紫色を滞び、生長におとろえがみえる。	暗紫色を呈し、生長はほとんどしない。	芯や枝葉の先には緑色が回復するも、それ以外は古銅色となる。緑色の回復しないものもある。
カ リ (K)	下葉がたれ下り、緑色があせる。葉先に白色を呈するものもある。	緑褐色を呈し、生長はおとろえる。葉先に白色から褐色を呈するものもある。	褐色から褐赤色を呈す。
カルシウム (Ca)	黒ずんだ緑色を滞びていたが、確実な症状は認められなかった。		
マグネシウム (Mg)	苗全体としては緑色があせる。下葉の先に黄色が現われるものもある。	全体に黄緑色となり、下葉の先は黄赤色となる。生長はおとろえる。	全体が褐色を呈し枯 <sup>死</sup> する。
鉄・マンガン (Fe・Mn)	上葉の緑色がうすれ、白褐色を滞び、生長はおとろえる。	下葉を除いて、白色~白褐色を呈し、生長は止まる。	芯や枝葉の頂芽は褐色に変わり枯死するものもある。



## 引用文献

- 1) 芝本武夫 : スギ, ヒノキ, アカマツの栄養並びに森林土壌の肥沃度に関する研究 林野庁 昭和27年
- 2) 宮崎榊, 佐藤亨, 及川恵司 : 窒素, 燐酸, 加里の給与および欠除時期がスギ稚苗の生育に及ぼす影響について 林業試験場研究報告第88号 昭和31年
- 3) 大鹿糖春蔵, 斉藤勝郎 : 林木稚苗の栄養・生理に関する研究( I ), スギ稚苗の要素欠乏に関する実験 第70回日林会講演集 昭和35年
- 4) 塘隆男 : わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究 林業試験場研究報告第137号 昭和37年
- 5) 宮崎榊 : 苗木育成法 高陽書院 昭和39年
- 6) 佐藤義夫, 武藤憲由 : カラマツ及びビバに関する栄養生理学的基礎研究 北海道大学演習林研究報告15巻1号 昭和26年
- 7) 山崎伝 : 微量要素と多量要素 博友社 昭和41年
- 8) 植物栄養学実験編集委員会 : 植物栄養学実験 朝倉書店 昭和34年
- 9) 小林享夫, 佐々木克彦 : スギ大型水耕樹の根ぐされ症状 森林防疫20巻3号 昭和46年
- 10) 小林享夫, 佐々木克彦 : マツ水耕苗の根ぐされ症状 森林防疫20巻8号 昭和46年



完全区            -N区            -P区            -K区

写真-1 スギの要素欠除栽培



写真-2 完全栽培



写真-3 チッソ欠除栽培



写真-4 リン酸欠除栽培



写真-5 カリ欠除栽培



写真-6 マグネシウム欠除栽培



写真-7 鉄欠除栽培



写真-8 マンガン欠除栽培



写真-9 鉄およびマンガン同時欠除栽培