

アカマツ 1—1 苗の時期別養分 吸収について

河 田 弘⁽¹⁾

1. はじめに

苗木の栄養生理を明らかにすることは、合理的な施肥および養苗方法を確立するための基本として、きわめて重要な問題である。苗木の栄養生理については、各養分の吸収量とともに、吸収された各養分相互間の量的なバランス、また、苗木の各部分ごとの吸収量についても、各時期別に変化を検討する必要がある。

今までに行なわれた主要造林樹種の苗木についてのこの方面の研究は、春から秋までの生育期に、また、地上部と地下部、または苗木全体の養分吸収について論じられたものが多かった。

著者は関西地方において林業上重要な位置を占めているアカマツを対象として、今までの研究ではほとんど空白となっていた晩秋～早春の成長休止期と考えられる期間も含めて、苗木の各部分ごとに、また時期によって養分がどのような吸収経過をたどるかを検討したので、その結果をここに報告する。

2. 試験方法

2—1. 養苗

1963年3月18～19日にアカマツ 1—0 苗を関西支場構内の火山灰性黒色土壌を客土した苗畑に床替えし、翌1964年3月6日までやく1か年間にわたって、以下に述べるような各時期に掘り取って、苗木の形質、および苗木の各部分ごとの養分含有量の調査を行なった。

施肥は1m²あたりオガクズ堆肥* 1kg、硫酸 100g、過石 40g、熔燐 40g、硫加 20g を基肥として施用し、追肥は行なわなかった。また、根切虫防除に BHC (1%) 10g/m² を施し、適時ボルドー液による消毒および除草を行なった。

オガクズ堆肥はオガクズに鶏ふん 15%、米ぬか 15% およびバウムフッド 0.1% を加えて醗酵熟成させたものを使用したが、その組織は第1表に示すとおりである。

第1表 オガクズ堆肥の組成 (乾物あたり %)
Table 1. Composition of sawdust compost (Per cent on dry basis).

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	容水量 Water holding capacity
1.37	2.49	0.81	0.95	0.27	294

* オガクズ堆肥は水を補給してほぼ飽水状態にして施用した。

(1) 関西支場土壌研究室長・農学博士

植栽は 1 plot (1 m²) 49 本の方形植とし、成長調査および分析用の苗木は各調査時期に任意に 3 plot を選んで掘り取り、周辺の 1 列を除いて中央の 25 本を供試した。

2—2. 分析方法

各時期別に成長調査を行なった 3 plot 計 75 本の苗木について、根、幹、2 年生葉および 1 年生葉の各部分に区分して、60°C で通風乾燥後、C, N, P, K, Ca および Mg 含有率の分析を行なった。

C は酸化滴定法²⁾、N は KJELDAHL 法を用いた。その他の成分は、試料を HNO₃—HClO₄—H₂SO₄ を用いて湿式灰化後⁴⁾、P はモリブデンブルーによる比色法¹⁾、K は焰光分析法、Ca および Mg は硫化アンモニウムを用いて Mn を除去した後、EDTA 法で定量した。

3. 結果 (1) —苗木の成長経過

この試験期間中 5 月はなが雨がつき晴天の日が少なく、気候は不順であったが、その他の季節は例年に比べてとくに異常はなかった。

苗木の掘り取りは春～秋は約 45 日ごとに、秋～冬は約 2 か月ごとに行ない、その結果をつぎのように 3 期、7 節に区分して示した。すなわち、

第 1 期……第 1 節 (床替～5 月 15 日) および第 2 節 (5 月 16 日～6 月 30 日)

第 2 期……第 3 節 (7 月 1 日～8 月 15 日)、第 4 節 (8 月 16 日～9 月 30 日) および第 5 節 (10 月 1 日～11 月 15 日)

第 3 期……第 6 節 (11 月 16 日～1 月 10 日) および第 7 節 (1 月 11 日～3 月 6 日)

苗木の成長経過は第 2 表および第 1 図に示すとおりである。

今回供試した苗木の生育はほぼ中苗に相当し、根系の発達も良好であった。

苗木は床替後の 4 月の初めから上長成長を開始した。第 1 節 (3 月 18 日～5 月 15 日) には上長成長はきわめて盛んで、年間全上長成長量の 49% に達したが、第 2 節 (5 月 16 日～6 月 30 日) には上長成長はおとろえ、年間上長成長量の 11% に過ぎなかった。肥大成長および乾物生産は第 1 節にはきわめてわずかであったが、第 2 節にはしだいに盛んになり、それぞれ年間全肥大成長量の 22% および年間全乾物生産量の 15% に達した。一部の苗木は 6 月中旬ごろから頂芽の形成が認められたが、6 月下旬までに全苗木が頂芽の形成を終わった。

このように、第 1 期 (3 月 18 日～6 月 30 日) は床替から頂芽の形成が行なわれるまでの期間で、上長成長を主とする第 1 次の成長期として特徴づけることができるであろう。

その後 7 月中旬ころから一部の苗木は頂芽の伸長が認められたが、全般的には 8 月の初めころから頂芽の伸長が開始され、11 月中旬ころまでに年間全上長成長を終わった。第 2 期における上長成長は第 1 期より少なく、年間全上長成長量の 40% に過ぎなかった。しかしながら肥大成長および乾物生産はきわめて大きく、それぞれ年間全成長量の 78% および年間全生産量の 72% に達した。第 2 期における上長および肥大成長、乾物生産量等については各節ごとにとくにいちじるしい相違は見られなかった。

このように第 2 期は夏の頂芽の伸長開始期から晩秋の地上部の成長停止期までの期間で、肥大成長および乾物生産を主とする第 2 次の成長期として特徴づけることができるであろう。

その後晩秋～翌早春までの期間は上長および肥大成長はほとんど停止した。しかしながら、根は引きつづいて成長が行なわれたことは興味ある事実であった。この期間における苗木全体の乾物重の増加は、主

第 2 表 苗木の成長経過

Table 2. Growing process of sample seedling.

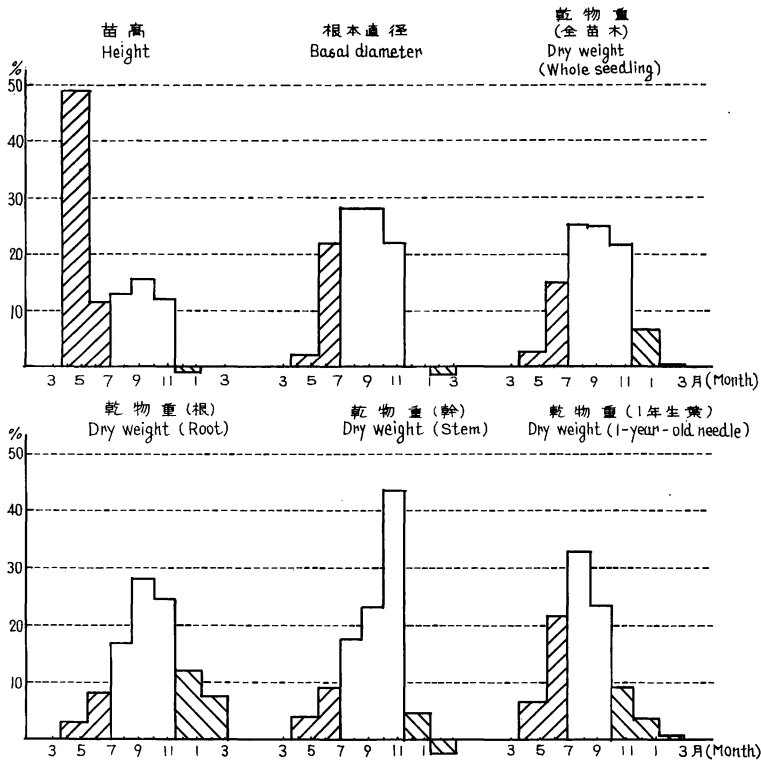
苗木 1 本あたり (Per 1 seedling)

試料採取時期 Date of sampling	3月18日 Mar. 18	5月15日 May 15	7月1日 July 1	8月15日 Aug. 15	10月1日 Oct. 1	11月15日 Nov. 15	1月10日 Jan. 10	3月6日 Mar. 6
苗高 Height (cm)	8.4	15.3	17.0	18.9	21.2	23.0	22.8	22.8
根元直径 Basal diameter (mm)	2.4	2.5	3.5	4.8	6.1	7.1	7.1	7.0
根 Root	生重量 fresh weight (g)	0.43	1.33	2.71	4.93	9.44	12.8	13.9
	乾物重量 dry weight (g)	0.16	0.29	0.65	1.38	2.59	3.65	4.49
	含水率 moisture content (%)	168	358	316	257	264	250	226
幹 Stem	生重量 fresh weight (g)	0.18	0.89	1.53	3.13	5.63	8.21	8.17
	乾物重量 dry weight (g)	0.08	0.20	0.46	0.95	1.60	2.82	2.95
	含水率 moisture content (%)	125	345	232	229	251	191	176
2年生葉 2-year-old needle	生重量 fresh weight (g)	0.52	0.50	0.71	0.67	0.60	—	—
	乾物重量 dry weight (g)	0.18	0.18	0.24	0.26	0.22	—	—
	含水率 moisture content (%)	188	177	195	157	172	—	—
1年生葉 1-year-old needle	生重量 fresh weight (g)	—	1.55	5.49	10.6	13.4	14.2	14.0
	乾物重量 dry weight (g)	—	0.34	1.43	3.21	4.38	4.83	5.01
	含水率 moisture content (%)	—	355	283	229	226	194	179
苗木全体 Whole seedling	生重量 fresh weight (g)	1.13	4.27	10.4	19.3	29.0	34.7	35.8
	乾物重量 dry weight (g)	0.42	1.01	2.78	5.80	8.79	11.3	12.1
	含水率 moisture content (%)	169	322	274	232	229	207	195
地上部/地下部 Top/Root	1.62	2.21	2.85	2.91	1.97	1.75	1.63	1.59
苗高/直径 Height/Diameter	33.3	61.2	48.5	41.0	34.8	32.4	32.1	32.5
苗高/地上部重量 Height/Top weight	11.4	5.2	2.2	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0

として根の成長によるものであった。この期における樹高および肥大成長が第2期に比べるとわずかながら減少していたことは、供試苗木の個体偏差にもとづくものであろう。

このように、第3期(11月16日~3月6日)は地上部の成長停止期として特徴づけることができるであらう。

苗木の各部分ごとの乾物生産の経過はそれぞれ異なった特徴を示した。すなわち、乾物生産の盛んな時期は、根および幹では第3~5節(7月1日~11月15日)で、それぞれ年間全生産量の69および84%に



第 1 図 苗高および直径成長，ならびに乾物生産の時期別変化（年間増加量に対する％）
 Fig. 1 Seasonal variation of height, basal diameter and dry weight (Per cent on annual increment).

達した。さらに、根では地上部の成長の停止した第 3 期にも、年間全生産量の 19% に達する乾物生産が行なわれたことは注目に値しよう。これに対して、1 年生葉における乾物生産の盛んな時期は根および幹に比べるとやや早期におとずれ、第 2～4 節（5 月 16 日～9 月 30 日）が大きく、年間全生産量の 80% に達した。ことに 1 年生葉の主体をなしていた第 1 期（3 月 18 日～6 月 30 日）に形成された針葉は 7～8 月に伸長量が大きく、外観上もいちじるしい充実を示していた。しかしながら、2 年生葉は床替後ほとんど乾物重の変化を示さず、10 月末に落葉した。このことは、2 年生葉がアカマツ苗の床替後の成長に対して重要性の少ないことを示すものといえよう。

苗木の各部分の含水率は、根および幹では床替後急激に増大して、やく 2 ないし 2.5 倍に達し、第 1 節末（5 月 15 日）には年間の最高値を示した。1 年生葉も同様に年間の最高値に達し、第 1 節末にはこの 3 者の含水率はほぼ同程度であった。その後は途中で多少の増減も見られたが、この 3 者の含水率は全般的には第 3 期末（翌年 3 月 6 日）まで順次減少を示した。

これに対して、2 年生葉では床替時には根および幹より高い含水率を示していたが、その後 10 月末の落葉期まで大きな変化を示さなかった。

T/R 率は床替後増大し、第 2～3 節末（6 月 30 日～8 月 15 日）に最大となり、その後第 6～7 節末（翌年 1 月 11 日～3 月 6 日）まで順次低下した。樹高/直径比は第 2 節末（6 月 30 日）に最大となり、その後順

次低下したが、第5～7節末(11月15日～翌年3月6日)における変化はきわめて小さかった。樹高/地上部重量比は床苔後順次減少し、第5～7節末には平衡に達した。これらの変化は上述の各成長経過から容易に裏付けられよう。

4. 結果(2) —養分含有率の時期別変化

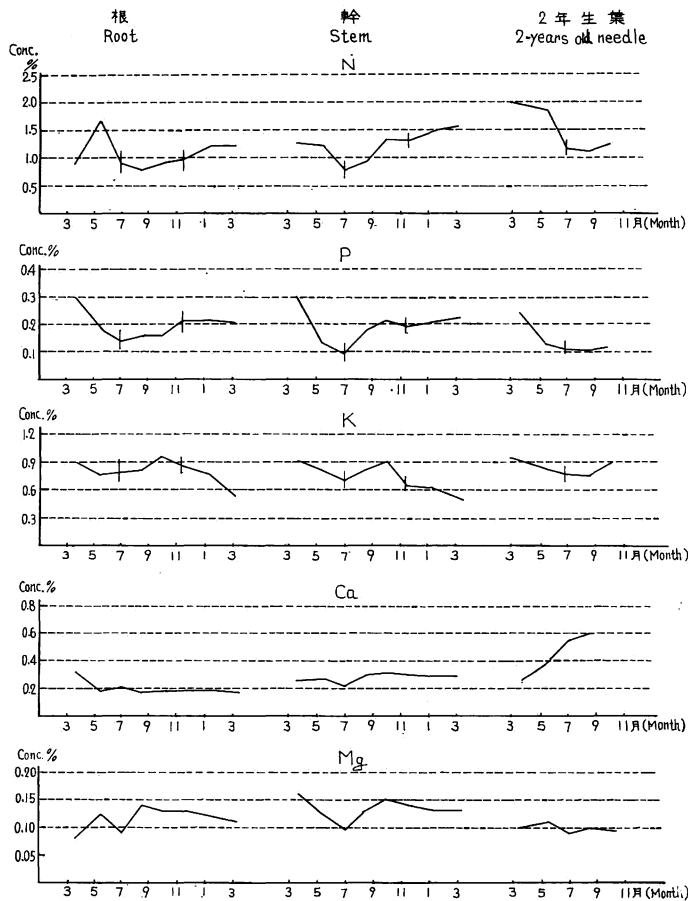
試験期間中の苗木の養分含有率の時期別の変化は第3表および第2図に示すごとくである。

第3表 C, N, P, K, Ca および Mg 含有率の時期別変化
Table 3. Seasonal variations of carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium concentrations.

試料採取時間 Date of sampling	乾物あたり % (Per cent on dry basis)							
	3月18日 Mar. 18	5月15日 May 15	7月1日 July 1	8月15日 Aug. 15	10月1日 Oct. 1	11月15日 Nov. 15	1月10日 Jan. 10	3月6日 Mar. 6
C								
根 Root	47.2	46.4	46.4	47.5	46.2	49.6	47.6	47.0
幹 Stem	53.4	51.4	50.7	51.7	50.6	50.1	54.0	53.8
2年生葉 2-year-old needle	52.8	53.3	53.4	53.7	51.4	—	—	—
1年生葉 1-year-old needle	—	50.8	51.5	53.0	50.9	54.3	55.4	54.1
苗木全体 Whole seedling	50.0	49.5	50.4	51.4	49.5	51.7	52.5	51.5
N								
根 Root	0.91	1.67	0.89	0.77	0.90	0.96	1.20	1.21
幹 Stem	1.24	1.19	0.73	0.89	1.30	1.28	1.47	1.53
2年生葉 2-year-old needle	1.97	1.84	1.18	1.12	1.24	—	—	—
1年生葉 1-year-old needle	—	2.34	1.15	1.53	1.75	2.13	2.10	2.21
苗木全体 Whole seedling	1.43	1.83	1.02	1.22	1.42	1.54	1.64	1.69
P								
根 Root	0.30	0.18	0.14	0.16	0.16	0.21	0.21	0.20
幹 Stem	0.30	0.13	0.096	0.17	0.21	0.19	0.20	0.22
2年生葉 2-year-old needle	0.24	0.13	0.11	0.11	0.12	—	—	—
1年生葉 1-year-old needle	—	0.23	0.13	0.15	0.15	0.20	0.21	0.21
苗木全体 Whole seedling	0.29	0.18	0.13	0.15	0.16	0.20	0.21	0.21
K								
根 Root	0.90	0.76	0.78	0.82	0.96	0.86	0.79	0.54
幹 Stem	0.92	0.80	0.70	0.80	0.89	0.65	0.62	0.52
2年生葉 2-year-old needle	0.95	0.84	0.79	0.77	0.89	—	—	—
1年生葉 1-year-old needle	—	1.17	1.06	1.02	0.97	0.91	0.88	0.73
苗木全体 Whole seedling	0.91	0.92	0.91	0.94	0.95	0.83	0.79	0.61

(第3表つづき)

試料採取時期 Date of sampling	3月18日 Mar. 18	5月15日 May 15	7月1日 July 1	8月15日 Aug. 15	10月1日 Oct. 1	11月15日 Nov. 15	1月10日 Jan. 10	3月6日 Mar. 6
Ca								
根 Root	0.32	0.18	0.21	0.17	0.18	0.18	0.18	0.17
幹 Stem	0.25	0.26	0.21	0.28	0.30	0.29	0.28	0.28
2年生葉 2-year-old needle	0.26	0.39	0.54	0.59	0.60	—	—	—
1年生葉 1-year-old needle	—	0.32	0.25	0.36	0.50	0.52	0.51	0.52
苗木全体 Whole seedling	0.29	0.28	0.26	0.31	0.37	0.35	0.34	0.34
Mg								
根 Root	0.082	0.12	0.090	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11
幹 Stem	0.16	0.12	0.096	0.13	0.15	0.14	0.13	0.13
2年生葉 2-year-old needle	0.10	0.11	0.089	0.098	0.096	—	—	—
1年生葉 1-year-old needle	—	0.12	0.095	0.10	0.092	0.12	0.11	0.11
苗木全体 Whole seedling	0.10	0.12	0.094	0.11	0.11	0.13	0.12	0.11



第2図(1) 根、幹および2年生葉の養分含有率の時期別変化(乾物あたり%)
Fig. 2(1) Seasonal variations of nutrient concentrations in root, stem and 2-year-old needle (Per cent on dry basis).

苗木の各部分の C 含有率はいずれも 50% 前後を示し、時期別に明りょうな変化を示さなかったが、その他の各成分はつぎに述べるようにそれぞれ特徴のある変化を示した。

N 含有率は、苗木全体および根では床替後第 1 節末 (5 月 15 日) に増大を示した後に減少を示したが、その他の部分では床替時ないし第 1 節末 (1 年生葉) 以後順次減少して、いずれも第 2 (6 月 30 日) ないし第 3 節末 (8 月 15 日) に年間の最小値を示した。その後いづれも全般的に順次増大を示したが、第 6 ~ 7 節 (11 月 16 日 ~ 翌年 3 月 6 日) における変化の幅は小さかった。

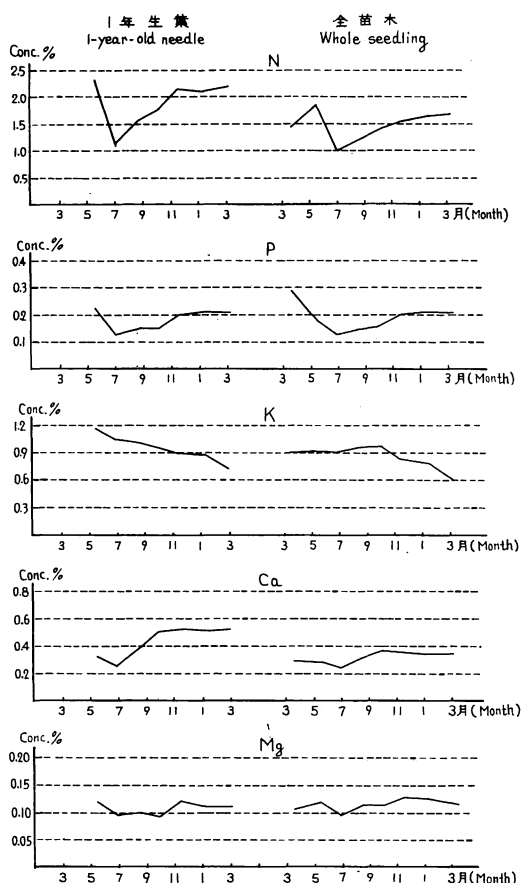
P 含有率は、苗木全体および各部分はいずれも床替ないし第 1 節末以後順次減少を示し、第 2 節末に年間の最小値を示した。その後は一部には平衡ないし一時的に多少低下のみられた場合もあったが、全般的には第 7 節末 (翌年 3 月 6 日) まで順次増大を示した。しかしながら、第 6 ~ 7 節における変化の幅は小さかった。

K 含有率は、根、幹および 2 年生葉では床替後順次低下し、それぞれ第 1, 2 ないし 3 節末まで減少を示した後、第 4 節末 (9 月 30

日) まで順次増大を示したが、その後は根および幹ではふたたび低下し、第 7 節末まで順次明りょうに減少を示した。これに対して、1 年生葉では第 1 節末から引きつづき第 7 節末まで順次減少を示し、苗木全体では床替後第 4 節末まではほとんど変化を示さなかったが、その後は第 7 節末まで順次減少を示した。

Ca 含有率は、根では第 1 節末に減少を示し、その後は多少の増減はみられたが、全般的に第 7 節末までとくに明りょうな変化を示さなかった。幹では第 2 節末に一時的に減少を示したが、全般的には第 4 節末まで順次増大を示し、2 年生葉では床替後第 4 節末まで順次増大し、1 年生葉では第 2 節末に減少を示した後、第 4 節末まで順次増大し、苗木全体でも床替後第 2 節末まで漸減した後、第 4 節末まで増大を示した。幹、1 年生葉および苗木全体ではその後はとくに明りょうな変化を示さなかった。

Mg 含有率は、根では床替後第 1 節末に増大した後、第 2 節末には減少を示し、第 3 節末にはふたたび増大を示し、幹では床替後第 2 節末まで引きつづき減少したのち、第 4 節末まで増大を示し、2 年生葉では第 3 節末までは根と同様の变化を示し、1 年生葉では第 2 ~ 4 節末 (6 月 30 日 ~ 9 月 30 日) にかけて減少を示したのち、第 5 節末 (11 月 15 日) に増大を示し、苗木全体では第 1 節末に増大したのち、第 2 節末には減少を示したが、そのご第 5 節末まで順次増大を示した。そののちはいずれの場合も第 7 節末ないし



第 2 図 (2) 同上 (1 年生葉および全苗木)
Fig. 2-(2) Ibid (1-year-old needle and whole seedling).

落葉期まで引きつづきゆるやかな減少を示した。

5. 結果 (3) — 養分吸収量*の時期別変化

4 で示した苗木全体および各部分の養分含有率にそれぞれの乾物重量をかけて求めた各時期別の養分含有量を第 4 表および第 3 図に、また各時期別の養分吸収量の年間全吸収量に対する百分率を第 4 図に示した。

第 4 表 C, N, P, K, Ca および Mg 含有量の時期別変化
Table 4. Seasonal variations of carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium contents.

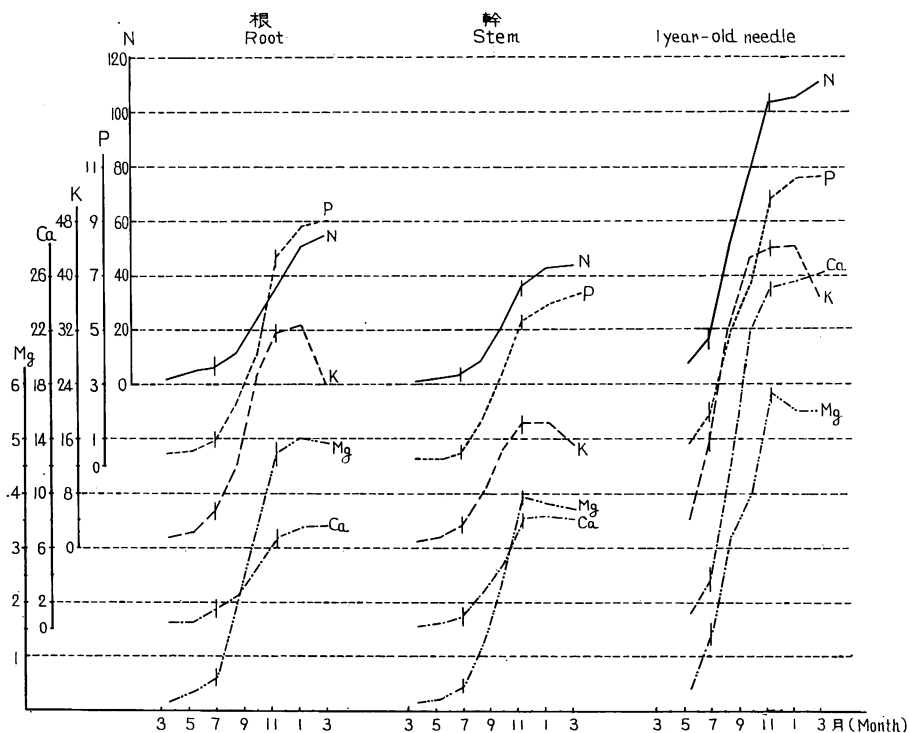
苗木 1 本あたり (Per one seedling)

試料採取時期 Date of sampling	3月18日 Mar. 18	5月15日 May 15	7月1日 July 1	8月15日 Aug. 15	10月1日 Oct. 1	11月15日 Nov. 15	1月10日 Jan. 10	3月6日 Mar. 6
C (g)								
根 Root	0.076	0.13	0.30	0.66	1.20	1.81	1.98	2.11
幹 Stem	0.043	0.10	0.23	0.49	0.81	1.41	1.59	1.55
2年 2-year-old	0.095	0.096	0.13	0.14	0.11	—	—	—
1年 1-year-old	—	0.17	0.74	1.70	2.23	2.62	2.78	2.73
苗木 Whole seedling	0.21	0.50	1.40	2.99	4.35	5.84	6.35	6.39
N (mg)								
根 Root	1.5	4.8	5.8	10.6	23.3	35.0	50.0	54.3
幹 Stem	0.99	2.4	3.4	8.5	20.8	36.0	43.4	44.1
2年 2-year-old	3.5	3.3	2.8	2.9	2.7	—	—	—
1年 1-year-old	—	8.0	16.4	49.1	76.7	103	105	111
苗木 Whole seedling	6.0	18.5	28.4	71.1	124	174	198	210
P (mg)								
根 Root	0.48	0.52	0.91	2.2	4.1	7.7	8.8	9.0
幹 Stem	0.24	0.26	0.44	1.6	3.4	5.3	5.9	6.3
2年 2-year-old	0.43	0.23	0.26	0.29	0.26	—	—	—
1年 1-year-old	—	0.78	1.9	4.8	6.6	9.7	10.5	10.6
苗木 Whole seedling	1.2	1.8	3.5	8.9	14.4	22.7	25.2	25.9
K (mg)								
根 Root	1.4	2.2	5.1	11.3	24.9	31.4	32.9	24.2
幹 Stem	0.74	1.6	3.2	7.6	14.2	18.3	18.3	15.0
2年 2-year-old	1.7	1.5	1.9	2.0	2.0	—	—	—
1年 1-year-old	—	4.0	15.2	32.7	42.5	44.0	44.1	36.8
苗木 Whole seedling	3.8	9.3	25.4	53.6	83.6	93.7	95.3	76.0

* 苗木の養分吸収、すなわち苗木の養分含有量の増大は、厳密に言えば苗木全体については“養分吸収”、苗木各部分については“吸収された養分の蓄積ないし配分”と表現すべきであろうが、この報告では煩雑をさけるために各部分についても“養分吸収”という表現を用いることにした。各節ごとの養分吸収量は各節末の養分含有量からその前節末の養分含有量を差し引いて求めた。

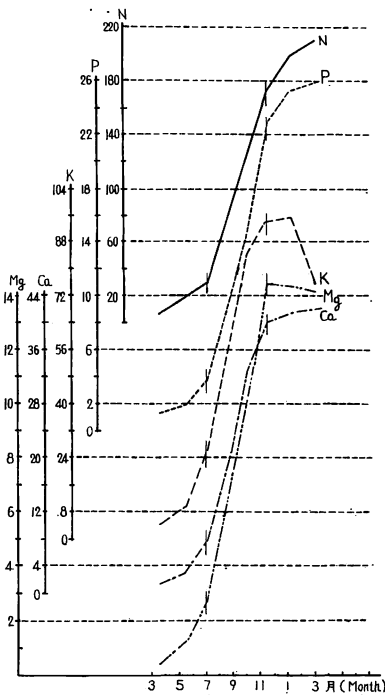
(第4表つづき)

試料採取時期 Date of sampling	3月18日 Mar. 18	5月15日 May 15	7月1日 July 1	8月15日 Aug. 15	10月1日 Oct. 1	11月15日 Nov. 15	1月10日 Jan. 10	3月6日 Mar. 6
Ca (mg)								
根 Root	0.51	0.52	1.4	2.3	4.7	6.6	7.5	7.6
幹 Stem	0.20	0.52	0.97	2.7	4.8	8.1	8.3	8.1
2年生葉 2-year-old needle	0.47	0.70	1.3	1.5	1.3	—	—	—
1年生葉 1-year-old needle	—	1.1	3.6	11.6	21.9	25.1	25.6	26.3
苗木全体 Whole seedling	1.2	2.8	7.3	18.1	32.7	39.8	41.4	41.9
Mg (mg)								
根 Root	0.13	0.35	0.59	1.9	3.4	4.7	5.0	4.9
幹 Stem	0.13	0.24	0.44	1.2	2.4	3.9	3.8	3.7
2年生葉 2-year-old needle	0.18	0.20	0.21	0.25	0.21	—	—	—
1年生葉 1-year-old needle	—	0.41	1.4	3.2	4.0	5.8	5.5	5.5
苗木全体 Whole seedling	0.44	1.2	2.6	6.6	10.0	14.4	14.3	14.1



第3図(1) 根、幹および1年生葉の N, P, K, Ca および Mg 含有量の時期別変化 (苗木1本あたり mg)

Fig. 3-(1) Seasonal variations of N, P, K, Ca and Mg contents in root, stem and 1 year old seedling (mg per one seedling).



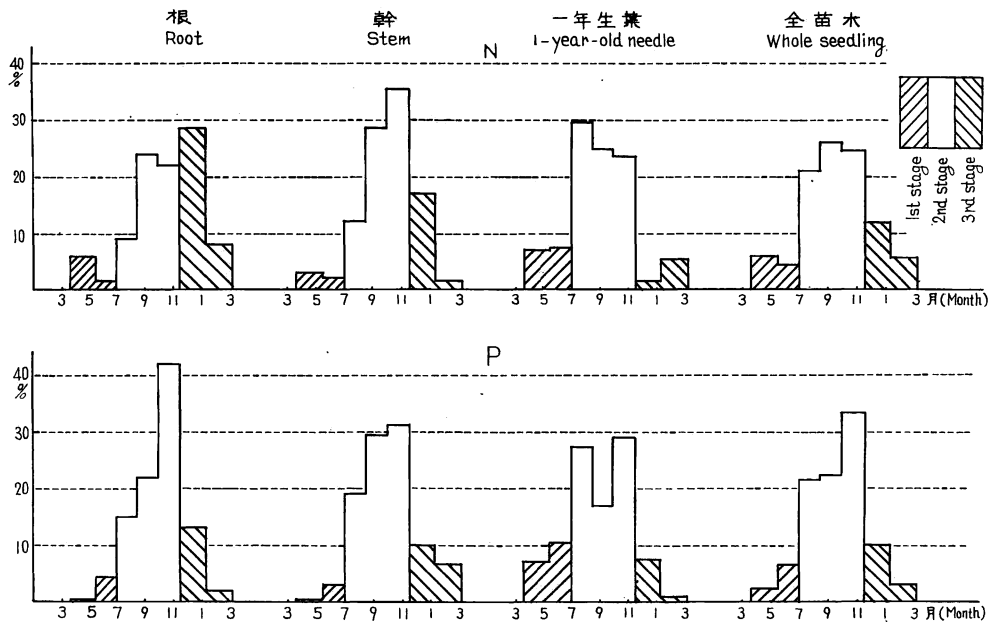
第3図(2) 同上(全苗木)
Fig.3-(2) Ibid. (Whole seedling).

2年生葉は乾物量が小さく、また、時期別の変化に乏しかったので、第3および4図では除外した。

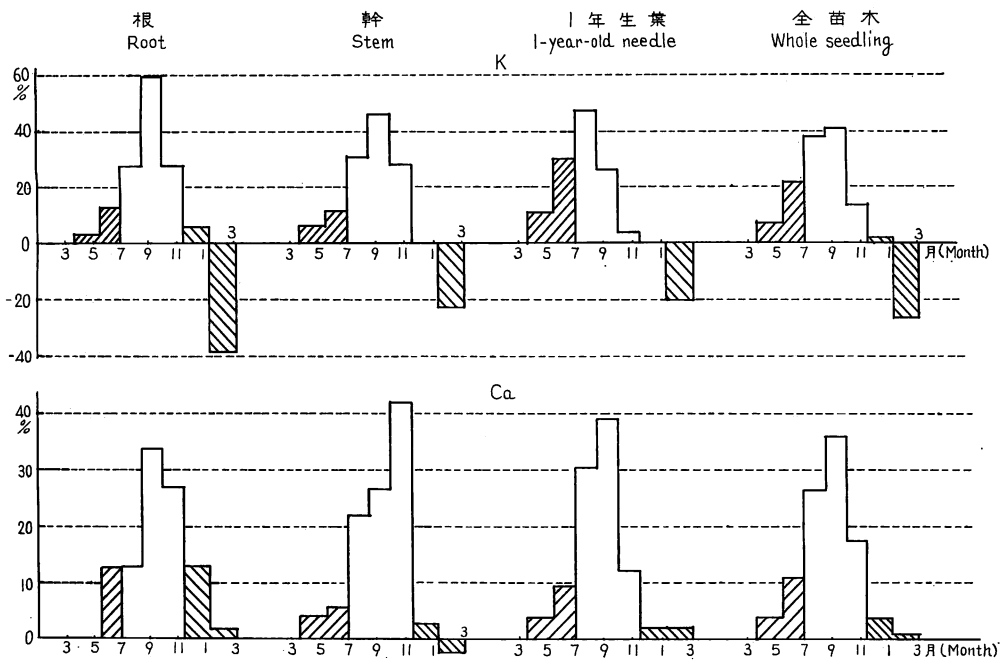
Kは後述(6)のように樹体から溶脱が行なわれるものと推定されたので、年間の全吸収量についての表示は困難であったが、第7節末(翌年3月6日)の含有量から床替時の含有量を差し引いた値を、便宜的に年間全吸収量とみなすことにした。Mgも同様に第3期(11月16日~翌年3月6日)に多少減少を示し、わずかではあるが溶脱の可能性も考えられたがKと同様に取り扱った。

苗木全体では、いずれの養分も第2期(7月1日~11月15日)の吸収量をもっとも大きく、年間吸収量の主要な部分がこの期間に集中していた。すなわち、Nは71%、Pは78%、Kは93%、Caは81%、Mgは86%に達した。

さらに、第2期を中心にして、NおよびPは第6節(11月16日~翌年1月10日)にそれぞれ年間全吸収量の12%および10%の吸収が行なわれたのに対して、CaおよびMgは第2節(5月16日~6月30日)にそれぞれ年間全吸収量の11%および10%の吸収が行なわれた。

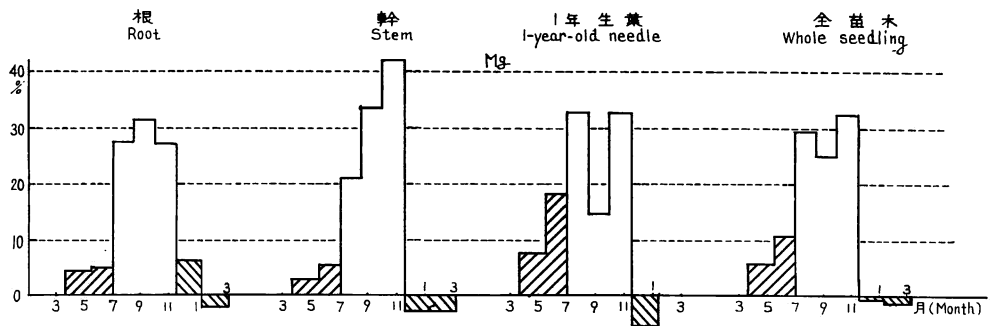


第4図(1) 養分吸収量の時期別変化(年間全吸収量に対する%)
Fig.4-(1) Seasonal variation of nutrient absorption (Per cent on annual one).



第4図(2) 同上

Fig. 4-(2) Ibid.



第4図(3) 同上

Fig. 4-(3) Ibid.

このように、第2期を中心にして、NおよびPの吸収は後半にかけて、Ca および Mg の吸収は前半にかけて大きく、それぞれ主な吸収時期の相違が認められた。これに対して、Kの吸収はこれらの成分よりさらに早期から、すなわち、第2節(5月16日~6月30日)から盛んな吸収が行なわれ、第2~5節(5月16日~11月15日)までの吸収量は上述のように便宜的に計算した年間全吸収量を越える値(115%)を示した。

また、これらの各養分の吸収経過は、苗木の各部分ごとにそれぞれ異なった特徴を示していた。

すなわち、Nの吸収量は、根および幹では第4~6節(8月16日~翌年1月10日)が大きく、それぞれ

年間全吸収量の 75% および 81% に達した。これに対して 1 年生葉では、第 3～5 節（7 月 1 日～11 月 15 日）に年間全吸収量の 78% に達し、N の吸収の盛んな時期は根および幹に比べると早期におとずれることを示していた。

P の吸収量は、根では第 4～5 節（8 月 16 日～11 月 15 日）を中心にして、さらにその前後を含めた第 3～6 節（7 月 1 日～翌年 1 月 10 日）が大きく、それぞれ年間全吸収量の 67% および 93% に達した。幹および 1 年生葉では、第 3～5 節（7 月 1 日～11 月 15 日）が大きく、年間全吸収量の 80% および 73% に達した。さらに、これらの時期を中心にして、幹は第 6～7 節（11 月 16 日～翌年 3 月 6 日）に 17% の吸収が行なわれ、1 年生葉では第 1～2 節（3 月 18 日～5 月 30 日）に 18% の吸収が行なわれた。このように、P の吸収の盛んな時期は 1 年生葉にもっとも早くおとずれ、ついで根および幹の順におとずれるといえよう。

K の吸収量は、根および幹では第 3～5 節（7 月 1 日～11 月 15 日）が、1 年生葉では第 2～4 節（5 月 16 日～9 月 30 日）が大きく、それぞれ上述のように便宜的に求めた年間全吸収量を上回る値（115%、105% および 105%）に達した。その後根および幹では第 6 節（11 月 15 日～翌年 1 月 10 日）から、1 年生葉は第 5 節（10 月 1 日～11 月 15 日）から順次吸収量が激減し、第 7 節（翌年 1 月 11 日～3 月 6 日）にはそれぞれ年間全吸収量の 38%、23% および 20% の減少を示した。この点は後述のように樹体から雨水による K の溶脱によるものではないかと推定される。

Ca の吸収量は、根では第 4～5 節（8 月 16 日～11 月 15 日）が大きく、年間全吸収量の 61% に達したが、第 1（3 月 18 日～5 月 15 日）および第 7 節（翌年 1 月 11 日～3 月 6 日）を除く他の時期も比較的大きかった。幹では第 3～5 節、1 年生葉では第 3～4 節（7 月 1 日～9 月 30 日）が大きく、それぞれ年間全吸収量の 90% および 70% に達した。

Mg の吸収量は、根および幹では第 3～5 節が大きく、それぞれ年間全吸収量の 86% および 97% に達した。1 年生葉では第 2～5 節（5 月 16 日～11 月 15 日）が大きく年間全吸収量の 98% に達した。

以上のように、全般的に 1 年生葉では、根および幹に比べると各養分の吸収の盛んな時期が早期におとずれる場合が多かった。このことは前述のように、1 年生葉では乾物生産の盛んな時期が根および幹よりも早期におとずれることに、もっとも大きく影響されているといえよう。さらに、いわゆる成長停止期と考えられていた第 3 期（11 月 16 日～翌年 3 月 6 日）—とくに第 6 節（11 月 16 日～翌年 1 月 10 日）、晩秋～初冬—に、根および幹では N および P の吸収量がかなり大きかったことは、すこぶる興味深い事実であった。

6. 論 議

6-1. 今までの研究

アカマツ苗木の時期別の養分吸収については、芝本および中沢⁶⁾の 1-0 苗の N, P, K, Ca および Mg, 中塚⁷⁾の 1-0 および 1-1 苗を一貫した 2 年余にわたる N および P, 芝本⁵⁾の 1-1 苗の N, P, K および Ca, 柴田⁷⁾の 1-1 苗の P, 塘および道仙⁹⁾の 1-1 苗の N, 塘⁹⁾の 1-1 苗の N, P, K および Ca についての研究が行なわれている。

これらの研究者および今回の筆者の結果を通覧すると、養分含有率および吸収の時期別変化は、1-0 苗と 1-1 苗では養分の要求度が異なる⁵⁾ために、吸収経過も異なり³⁾⁵⁾、両者を一括して比較することは困

難であるが、1—1 苗についても一定の傾向を認めることは困難であった。これらの点は、地域的ないし試験年度の気候条件、その他試験方法—施肥方法、試料採取時期等—の相違によるものか？ またはその他の理由によるものか？ 判然としない。これらの点の解明には、なお今後の多くの詳細な研究結果にまたなければならぬと思われる。

6—2. 苗木の生育経過

アカマツ 1—1 苗の上長成長は4～5月ごろがもっとも大きく、肥大成長および乾物生産は主としてその後11月ごろまでに行なわれることは、一般に認められている事実であるが、筆者の結果も同様の経過を示した。

今回の結果では、前述のように苗木の各部分の乾物生産の盛んな時期に相違がみられ、同化器官である1年生葉における乾物生産の盛んな時期が、根および幹より早期におとずれたことは、成長の初期には同化生産物がまず1年生葉に最も多く配分され、ついで根および幹に配分されるが、中期から後期にかけてしだいに根および幹に配分される量が增大することを示すものといえよう。

さらに、第3期、すなわち、地上部の成長が停止した晩秋～冬期間にも根の成長が行なわれていたことは注目に値しよう。もっとも寒冷な第7節には第6節より根の乾物生産量は低下していたが、第3期には年間全生産量の約20%に相当する乾物生産が行なわれた。

今までの研究では、地上部の成長が停止しているこの期間については、ほとんど調査研究が行なわれていない。気候条件の相違にともなって、晩秋～冬の期間におけるアカマツの根の活動は、当然地方ごとに相違が生ずるであろうと考えられるが、京都と同程度ないし、さらに温暖な地方においては、この期間にも根の活動が行なわれることが予想される。後述のように、この期間に主としてNおよびP—とくにN—の吸収がかなり大きいことは、苗木の栄養生理の面からも、また養苗技術の面からも見逃すことのできない重要性を有しているのではないかと思われる。

6—3. N, P, Ca および Mg の吸収経過

今回の筆者の結果では、前述(5)のように2年生葉は、苗木の他の部分に比べると重要性が少ないと考えられるので除外し、苗木全体および根、幹および1年生葉における吸収経過について論議を進めることにした。また、Kは前述(5)のように苗木からの溶脱が推定されたので別個に取り扱うことにした。

各養分の吸収経過およびそれらの相互関係をさらに明らかにするために、各時期ごとに吸収された養分量(mg)をCarbonの増加量*(g)で割って、苗木全体および各部分がCarbon1gを蓄積するのにともなう各養分の吸収量の変化を第5表に示した。

苗木全体および各部分の各養分の含有率は、根のN, Ca および Mg 含有率以外はいずれも床替時(3月18日)ないし第1節末(5月15日)に比べると第1期末(6月30日)には明りょうに減少を示し、その後第2期末(11月15日)にかけて増大を示した。このような経過は、苗木全体および各部分では上述の一部の例外を除いて乾物生産が養分吸収を上回ったために各養分濃度の減少をもたらしたが、第2期(7月1日～11月15日)には養分吸収が乾物生産を上回ったために各養分濃度の増大、すなわち養分の蓄積が行なわれたことを示すものといえよう。

これらの点はCarbon1gを蓄積するにともなう各養分の吸収量が、第1期(3月18日～6月30日)に

* 苗木の有機物の生産を量的にあらわすために、各時期別Carbon含有量の増大、すなわちCarbonの蓄積を用いた。

第 5 表 Carbon 1 g を蓄積するに要する養分量 (mg)
 Table 5. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium requirements (mg) for accumulation of 1 g of carbon.

養 分 Nutrient	苗 木 の 部 分 Part of seedling	第 1 期 1st stage	第 2 期 2nd stage	第 3 期 3rd stage	平 均 Average
N	根 Root	19.5	19.4	64.3	26.0
	幹 Stem	12.6	27.6	57.9	28.5
	1 年 生 葉 1-year-old needle	22.2	46.1	72.7	40.7
	苗 木 全 体 Whole seedling	18.8	32.9	65.5	32.9
P	根 Root	2.0	4.5	4.3	4.2
	幹 Stem	1.1	4.1	7.1	4.0
	1 年 生 葉 1-year-old needle	2.6	4.1	8.2	3.9
	苗 木 全 体 Whole seedling	1.9	4.3	5.8	4.0
K	根 Root	16.8	17.3	-24.0	11.2
	幹 Stem	12.9	12.8	-23.6	9.5
	1 年 生 葉 1-year-old needle	20.5	15.3	-65.6	13.5
	苗 木 全 体 Whole seedling	18.2	15.4	-32.2	11.9
Ca	根 Root	4.0	3.4	3.3	3.5
	幹 Stem	4.1	6.0	0	5.2
	1 年 生 葉 1-year-old needle	4.9	11.4	10.0	9.6
	苗 木 全 体 Whole seedling	5.1	7.3	3.8	6.6
Mg	根 Root	2.1	2.7	0.67	2.3
	幹 Stem	1.6	2.9	-1.4	2.4
	1 年 生 葉 1-year-old needle	1.6	3.7	-2.7	2.0
	苗 木 全 体 Whole seedling	1.8	2.7	-0.54	2.2

比べて第 2 期 (7 月 1 日~11 月 15 日) には明りょうに増加していたことから明らかであろう。

根の N 含有率は前述のように第 3 節末 (8 月 15 日) には最低となり、その後引きつづき第 6 節 (翌年 1 月 10 日) まで上昇に転じた。したがって、第 1 (6 月 30 日) および第 2 期末 (11 月 15 日) は低下ないし上昇過程の中間にあたるために同程度の含有率を示し、また Carbon 1 g を蓄積するにともなう N の吸収量もほぼ同じ値を示した。これらの点は根の N も幹および 1 年生葉と同様の吸収と乾物生産の相対的な変化の傾向を示すが、その変化の過程は幹および 1 年生葉に比べると期間が長く、したがって時期的にはいずれもさらに後期にずれていると見なすべきであろう。

根の Ca 含有率は床替時に比べて第 1 期末 (6 月 30 日) に減少を示したのち、第 2 期末 (11 月 15 日) にはさらにゆるやかな減少を示し、Mg 含有率は第 1 期末に多少増大し、その後第 2 期末にはさらに増大を示した。Carbon 1 g を蓄積するにともなう Ca および Mg の吸収量は、第 1 期 (3 月 18 日~6 月 30 日) に比べて第 2 期 (7 月 1 日~11 月 15 日) には前者では減少を示したが、後者では他の養分と同様増大を示した。

根の Ca および Mg の吸収と乾物生産の相対的な関係は、上述の他の場合と異なり、Ca は床替後、第1期、第2期の順に吸収が乾物生産を下回ったが、Mg は上述の順に吸収が乾物生産を上回ったといえよう。

塘⁹⁾ は床替時～春および夏～秋の苗木全体のN含有率の変化について、筆者と類似の傾向の認められることを明らかにしたが、筆者の苗木全体の結果とは時期的に多少のずれが見られる。さらに、同氏⁹⁾は10～11月にかけて苗木全体のN、P、K および Ca 含有率の増大することを指摘した。Kを除く他の養分については筆者の結果も同様の傾向が認められたが、Kについては後述のように一致しなかった。

今回の筆者の結果では、根および苗木全体のN含有率が第1節末(6月30日)に明りょうに増大し、第1期(3月18日～6月30日)におけるN含有率の変化はけんちよな凸型を示した。このような経過は一時的なものであるとしても、前述の養分吸収と乾物生産の相対的な関係についての考え方とは一致し難い。翌1964年に同様の方法を用いて、沖積土を客土した支場苗畑において再試験を行なったが、第6表に示すように前年度ほど明りょうではなかったが、同様の傾向を再確認した。

第6表 N含有率の時期別変化(1964年、補足)

Table 6. Seasonal variations of N concentration (1964, supplement).
(乾物あたり %) (Per cent on dry matter)

試料採取時期 Date of sampling	3月20日 Mar. 20	5月15日 May 15	6月30日 June 30
根 Root	1.18	1.58	0.99
幹 Stem	1.57	1.15	0.79
2年生葉 2-year-old needle	2.03	1.89	1.23
1年生葉 1-year-old needle	—	2.19	1.11
苗木全体 Whole seedling	1.62	1.78	1.05

さらに、根および苗木全体の Mg 含有率についても、N の場合に比べると程度は弱いと同様の傾向が認められた。これらの諸点についての理由の解明、および栄養生理的な意義についての検討は今後にゆずりたい。

第3期(11月16日～翌年3月6日)には第1～2期(3月18日～11月15日)に比べると、全般に各養分含有率はいずれも変化の幅が小さく、平衡に近づいていたといえよう。Carbon 1gを蓄積するにともなうNおよびPの吸収量は、第2期(7月1日～11月15日)に比べると、根のPが平衡を保った以外は、苗木全体および各部分ではいずれもさらに増大したが、Ca および Mg の吸収量は、根および1年生葉のCaが平衡ないしわずかな減少にとどまった以外は、苗木全体ないし各部分では第1(3月18日～6月30日)および第2期(7月1日～11月15日)より減少を示し、年間の最低値に達した。

このような結果は、第3期(11月16日～翌年3月6日)には苗木全体および各部分では、NおよびPの吸収は第2期(7月1日～11月15日)と同等ないしさらに乾物生産を上回っていたといえるが、Ca および Mg の吸収は1年生葉のCa 以外はいずれも乾物生産を下回っていたと考えられる。

以上の年間を通じての養分吸収と乾物生産との相対的な関係は、第5表に示すように、幹および1年生葉では変化の程度に相違は見られたが、全般的には同様の傾向を示したのに対して、根はMgを除くとい

ずれも幹および1年生葉とは異なった傾向を示したといえよう。このように、養分の蓄積経過が地上部と地下部では異なった傾向を示していたことは、苗木の栄養生理上興味ある事実であろう。

さらに、Mgの吸収は、苗木全体および各部分では、第2期に比べると第3期(11月16日～翌年3月6日)にはわずかではあるが含有量の減少を示していた。このような結果は、後述のKと同様に第3期にはMgの吸収がおとろえて、これらを上回る溶脱が行なわれたためか、または、吸収量がいちじるしく低下したために、供試験苗木の個体偏差によるものかは、その差が僅少なために判断し難かった。

以上のように、苗木の各部分ごとにとみると多少の相違はあるが、全般的に苗木全体についてみると、NおよびPとCaおよびMgとの間に明りょうな吸収経過の相違がみられた。第3期(11月16日～翌年3月6日)—晩秋～冬期間、とくに第6節(11月15日～翌年1月10日)—晩秋～初冬—にはNおよびPは相当量の吸収が行なわれたが、CaおよびMgの吸収はいちじるしく低下した。さらに、NとPではPの方が、CaとMgではMgの方が吸収の低下がはげしかった。

6-4. Kの吸収経過

Kの吸収経過については、苗木からKの溶脱があったものと推定できるような経過を示したことは注目に値しよう。前述のように、第5節以後はKの含有率および吸収量は、苗木全体および各部分では順次明りょうな低下を示したが、第7節(翌年1月11日～3月6日)にはいずれもK含有量はいちじるしい減少を示した。このことは、雨水によって樹体からKの溶脱が行なわれることを示すものと筆者は考えたい。

第1～4節(3月18日～9月30日)までは、その初期〔第1～2節(3月18日～6月30日)〕には根および幹では他の成分と同様に乾物生産がKの吸収を上回ったために、含有率の低下をもたらしたが、後期〔第3～4節(7月1日～9月30日)〕には吸収が乾物生産を上回ったために含有率の増大をもたらしたものと考えられる。1年生葉では、Kの吸収がたえず乾物生産を下回ったために、順次含有率のゆるやかな減少をもたらしたものであろう。さらに、樹体からのKの溶脱は常時行なわれるものと仮定すれば、この期間はいずれもKの吸収が溶脱を上回ったために、Kの蓄積は順次明りょうな増大をつづけたものと考えられる。しかしながら、第5節(10月1日～11月15日)以降は順次Kの吸収が低下し、溶脱が相対的に順次増大して、第7節には溶脱が吸収をいちじるしく上回ったために、苗木全体および各部分からのKの蓄積の減少をもたらしたものと考えられる。

つぎの6-5で示したようにCarbon 1gを蓄積するにもなるKの吸収量は、第1～2期(3月18日～11月15日)には根および幹ではいずれも明りょうな低下を示さなかったが、1年生葉および苗木全体では第2期(7月1日～11月15日)には低下を示した。その後第3期(11月16日～翌年3月6日)には苗木の全体および各部分では、いずれも明りょうなマイナスの値を示したことは、Kの溶脱を裏書していたといえよう。

6-5. 養分吸収量およびその相互関係

第5表に示した苗木の各部分のCarbon 1gを蓄積するにもなる養分吸収量を年平均で比較すると、苗木の各部分ごとにつぎのようなそれぞれ特徴のある相違を示していたことが注目された。根および幹の相違は比較的小さかったが、この両者と1年生葉ではけんちよな相違が見られた。すなわち、1年生葉では、根および幹に比べるとPおよびMgの吸収量は多少低く、N、KおよびCa—とくにNおよびCaの吸収量が大きかった。また、根と幹を比較すると、根は幹よりもPおよびKの吸収量が多少大きく、NおよびCaの吸収量が多少小さかった。

各養分の時期別の吸収量の相互の関係を明らかにするために、吸収量のもっとも大きいNを基準として他の各養分の各時期別の吸収量のNに対する百分率を示すと第7表のとおりである。

第7表 各時期別の養分吸収量比
Table 7. Seasonal variations of ratio of absorbed nutrient.
(N に対する %, Per cent on N)

養分 Nutrient	苗木の部分 Part of seedling	第1期 1st stage	第2期 2nd stage	第3期 3rd stage	平均 Average
P	根 Root	10	23	6.7	16
	幹 Stem	8.3	15	12	14
	1年生葉 1-year-old needle	12	9.0	11	9.4
	苗木全体 Whole seedling	10	13	8.9	12
K	根 Root	86	90	-37	43
	幹 Stem	103	46	-41	33
	1年生葉 1-year-old needle	93	33	-90	33
	苗木全体 Whole seedling	96	47	-49	35
Ca	根 Root	21	18	5.2	13
	幹 Stem	32	22	0	18
	1年生葉 1-year-old needle	22	25	14	24
	苗木全体 Whole seedling	27	22	5.8	20
Mg	根 Root	11	14	1.0	9.1
	幹 Stem	13	11	-2.5	8.4
	1年生葉 1-year-old needle	8.5	5.1	-3.8	5.0
	苗木全体 Whole seedling	9.8	8.1	-0.83	6.7

年平均で比べると、PおよびMgのNに対する比率は、根および幹では1年生葉よりいちじるしく高く、Kの比率は根は幹および1年生葉より高かったが、Caの比率は根>幹>1年生葉の順に増大を示した。

これらの吸収量比の時期別の変化はつぎのとおりであった。苗木全体の吸収量比は第1期(3月18日～6月30日)に比べると第2期(7月1日～11月15日)にはPの比率が増大したが、Kの比率はいちじるしい減少を示し、CaおよびMgの比率も減少を示した。第3期(11月16日～翌年3月6日)には各成分の比率はいずれも第2期より減少を示したが、Pの減少は比較的小さかったのに対して、K、CaおよびMgはいちじるしい減少を示した。苗木の各部分ごとにもみると、多くの場合に苗木全体と同様の傾向の変化を示したが、Pの比率は1年生葉では第2期に減少して凹型の変化を示し、根および幹では第2期に急激に増大し、第3期には減少して凸型の変化を示したが、根では第3期における減少はきわめて顕著であった。また、Kの比率は根では第1～2期に明りょうな変化を示さず、Caの比率は1年生葉で、Mgの比率は根で第2期(7月1日～11月15日)には第1期(3月18日～6月30日)より多少の増大を示したが、これらの諸点に多少の相違が認められた。

以上の結果から全般的な傾向としてつぎのことがいえるであろう。NおよびPの吸収に比べると、Kの吸収は第1期（3月18日～6月30日）>第2期（7月1日～11月15日）>第3期（11月16日～翌年3月6日）の順にいちじるしく低下し、CaおよびMgは第1および2期に比べると第3期にはいちじるしい低下を示したこと、さらにNとPを比較すると、Pの吸収は第3期には減少を示したことが注目された。これらの諸点は、前述の各養分の吸収の時期別の相違をさらに明りょうに裏付けるものといえよう。

7. ま と め

- 1) この報文はアカマツ 1—1 苗の養分吸収の時期別の変化について報告したものである。
- 2) 1963年3月の床替時から翌年3月までの1か年間の経過を、45日ないし2か月ごとに、計3期、7節に区分して、各時期ごとに、苗木の形質および根、幹、2年生葉および1年生葉の各部分のC、N、P、K、CaおよびMgの分析を行なった。
- 3) 苗木の各部分の成長の最盛期は、1年生葉では根および幹より早期におとずれること、地上部の成長が停止した晩秋～冬の期間にも根はかなりの成長量を示すことが認められた。
- 4) 苗木全体および各部分ごとの、N、P、CaおよびMgの吸収についてはつぎの諸点が認められた。
 - i) 根のN、CaおよびMgを除くと、各養分の含有率は床替時（3月18日）ないし第1節末（5月15日）に比べると第1期末（6月30日）には減少を示し、その後第2期末（11月15日）には増大を示した。この点は養分の吸収および蓄積が乾物生産を第1期（3月18日～6月30日）には下回るが、第2期（7月1日～11月15日）には上回って養分の蓄積が行なわれることを示すものといえよう。
 - ii) 根のNも全般的には同様の養分の蓄積と乾物生産の相対的な変化を示したが、そのおのおの各期間が幹および1年生葉の場合より長く、したがってさらに後期にまでずれることが認められた。
 - iii) 根のCaは床替後第1期（3月18日～6月30日）、第2期（7月1日～11月15日）の順に蓄積が乾物生産を下回ったが、Mgは上記の順に上回ることが認められた。
 - iv) 第3期（11月16日～翌年3月6日）にはいずれもNおよびPは第2期と同等ないしそれ以上に吸収が乾物生産を上回ったのに対して、CaおよびMgの吸収は1年生葉のCaを除くといずれも乾物生産を下回った。
 - v) 苗木全体では各養分の吸収量は第2期がもっとも大きく、これを中心にしてNおよびPは後半にかけて、CaおよびMgはむしろ前半にかけて大きかった。
 - vi) 苗木の各部位別にみると、各養分の吸収量の大きい時期は1年生葉では根および幹よりも早期におとずれた。
- 5) Kの吸収についてはつぎの諸点が認められた。
 - i) Kは第5節（10月1日～11月15日）以後はしだいに吸収がおとろえ、第3期（11月16日～翌年3月6日）には苗木の各部分はいずれもK含有率が低下し、雨水による溶脱が推定された。
 - ii) Kの吸収は他の成分よりもさらに早期—第2節（5月16日～6月30日）ごろ—から盛んに行なわれることが認められた。
- 6) 苗木の各部分のCarbon 1gを蓄積するにともなう各養分の吸収についてはつぎの諸点が認められた。
 - i) 1年生葉は根および幹に比べると、N、KおよびCa—とくにNおよびCa—の蓄積量が多かった。

ii) 根と幹を比べると、根はK、幹はNおよびCaの吸収量が多少高かったが、PおよびMgは明りよ
うな相違が認められなかった。

7) 苗木各部分の各養分の吸収量を相互に比較すると、根および幹は1年生葉よりもPおよびMgのN
に対する相対的な比率、およびMgのCaに対する相対的な比率が高かった。

この研究を行なうにあたって、関西支場長徳本孝彦技官には多大のご配慮をいただいた。また、土壌研
究室員衣笠忠司技官には苗畑の試験に、河田明子さんには測定および分析に多くのご協力をお願いした。
筆者は稿を終るにあたって、これらの諸氏に心からの感謝を捧げるしだいである。

文 献

- 1) 池田長生：日化，72，pp. 23~26，(1951)
- 2) 河田 弘：林野土調報，8，pp. 67~80，(1957)
- 3) 中塚友一郎：日林誌，40，pp. 383~390，(1958)
- 4) PIPER, C. S.: "Soil and plant analysis", (New York), (1950)
- 5) 芝本武夫：“スギ，ヒノキ，アカマツの栄養ならびに森林土壌の肥沃度に関する研究”，林野庁，
pp. 1~253，(1952)
- 6) 芝本武夫・中沢春治：日林誌，40，pp. 383~390，(1958)
- 7) 柴田信男：京大演報，29，pp. 181~206，(1960)
- 8) 塘 隆男・道仙喜一：69回日林講集，pp. 184~186，(1959)
- 9) 塘 隆男：林試研報，137，pp. 1~153，(1962)

A Study on Seasonal Variation of Nutrient Absorption of Two-year-old *Pinus densiflora* (Akamatsu) Seedling.

Hiroshi KAWADA

(Résumé)

In this study, the author arranged to carry out an annually successive investigation upon the seasonal variation of growth and nutrient absorption of two-year-old *Pinus densiflora* (Akamatsu) seedling, knowing that it would be useful for throwing light upon the detailed nutrient physiology and the improvement of nursery fertilization practice.

Experimental method.

The nursery bed, transposed with black soil originated from volcanic ash, in Kansai Branch, Government Forest Experiment Station, Kyoto, was employed for this experiment. The 49 one-year-old seedlings were transplanted on March, 18th, in individual plots, 1 m² and treated with 100 g of ammonium sulfate, 40 g of calcium superphosphate, 40 g of fused magnesium phosphate, 20 g of potassium sulfate and 1 kg of sawdust compost (fully moistened) in each plot. No additional fertilizer was employed. The composition of the sawdust compost is shown in Table 1.

The sample seedlings were removed from 3 plots selected at random 7 times as under-

mentioned during the experimental period. Excluding the extreme outside seedlings, the residual 25, one in each plot, were measured and analysed. They were measured for their height diameter, weight and moisture contents of root, stem, new and old needles. Their carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium contents were analysed by the following methods.

Carbon was determined by the chromic titration method and nitrogen by KJELDAHL's method. After wet ashing by $\text{HClO}_4\text{-HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ mixture, potassium was determined by flame photometer, phosphorus by molybden blue method, colorimetrically, and calcium and magnesium by EDTA method, removing manganese by ammonium sulfide.

Results (1).....The growing process of the sample seedling.

The growing processes of sample seedlings are shown in Table 2 and Fig. 1. They were divided into 3 stages, 7 periods, as follows :

The 1st stage.....The 1st period, from March 18th till May 15th, and the 2nd period, from May 16th till June 30th.

The 2nd stage.....The 3rd period, from July 1st till August 15th, the 4th period, from August 16th till September 30th, and the 5th period, from October 1st till November 15th.

The 3rd stage.....The 6th period, from November 16th till January 10th, and the 7th period, from January 11th till March 6th.

1-1) The 1st stage.

After the transplantation, the sample seedlings began their height growth at the beginning of April. It was very vigorous in the 1st period and reached 49% of their annual growth. However, it decreased remarkably in the 2nd period. Their diameter growth and increment of dry matter weight were very little in the 1st period. But they increased in the 2nd period and reached 22 and 15% of their annual growth, respectively.

A part of the sample seedlings began their bud formation in the middle of June and the all of them finished it at the end of the same month.

As a whole, the 1st stage, the period from the transplantation in the early spring till the bud formation in the early summer, was characterised as the first growing period in that the sample seedlings proceeded mainly with their height growth.

1-2) The 2nd stage.

A part of the sample seedling began their elongation of bud in the middle of July and all of them in the beginning of August. They finished their whole height and diameter growth in the middle of November. In this stage, their height growth was less than that in the 1st stage, and reached only 40% of their annual growth. However, their diameter growth and increment of dry matter weight were very excellent, and reached 78% and 72% of their annual one, respectively. The differences of their height and diameter growth and increment of dry matter weight among the periods of this stage were not distinguished.

As a whole, the 2nd stage, the period from the beginning of bud elongation in the summer till the cessation of their growth of top in the late autumn, was characterised as the secondary growing period in that the sample seedlings proceeded to develop their diameter growth and increment of dry matter weight mainly.

1-3) The 3rd stage.

This stage was characterised as the resting period of the top. The growth of the top

ceased during the late autumn and winter; nevertheless the root continued its growth successively. The increment of the dry matter weight of the whole seedlings was induced by the growth of root.

The differences of the vigorous growing periods of the root, stem and new needle (1-year-old needle) were clearly recognized. The dominant increments of dry matter weight of root and stem proceeded during the 3rd, 4th and 5th periods and reached 69% and 84% of their annual one, respectively. But that of the new needle was done during the 2nd, 3rd and 4th periods and it reached 80% of its annual one. It was very interesting that the dominant growth of the new needle, the assimilating organ of the seedling, proceeded more during the earlier periods than that of the root and stem. The accumulation of the assimilated organic matter was done in the following order as new needle→stem and root.

The old needle (2-year-old needle) fallen at the end of October showed no clear seasonal variations of its subsequent dry matter weight from the transplantation till its defoliation. This fact suggested that the old needle was of little or no importance to the seedling.

The moisture contents of the root and stem remarkably increased at the end of the 1st period, and ran up to their annual maximum. The contents of the new needle reached the same stage at the same period, too. After that they decreased by degrees down to the end of the 7th period. The moisture content of the old needle was higher than the content of the root and stem at the transplantation, but it was changeless during the following periods till its defoliation.

The seasonal variations of the T/R ratio, Height/Diameter ratio and Height/Top weight ratio, shown in Table 2, were useful for understanding the foregoing information on the growing processes of the sample seedlings.

Results (2).....The seasonal variations of nutrient absorption.

2-1) The nutrient concentrations.

The seasonal variations of nutrient concentrations are shown in Table 3 and Fig. 2.

The carbon concentrations of the whole seedling and the parts of it were about 50% in all the periods, and they were changeless during this experimental season. However, the seasonal variations of the other nutrient concentrations were dissimilar and characteristic, respectively, as undermentioned.

The nitrogen and phosphorus concentrations of the whole seedling and the parts of it decreased by degrees after the transplantation, except the nitrogen concentrations of whole seedling and root, and they reached the annual minimum at the ends of the 2nd or 3rd periods. Afterwards they increased by degrees till the ends of the 7th period, but their variations during the 3rd stage were confined to within a narrow limit. The nitrogen concentrations of the whole seedling and root increased clearly at the end of the 1st period, and after that they decreased sharply at the end of the 2nd period.

The concentrations of the potassium of the root, stem and old needle decreased after the transplantation until the ends of 1st, 2nd or 3rd periods, respectively, and then they increased until the end of the 4th period. After that they decreased by degrees until the end of the 7th period. That of the new needle decreased successively from the end of the 1st period till the end of the 7th period. That of the whole seedling was changeless from the transplantation till the end of the 4th period, and after that it decreased successively until the end of the 7th period.

The calcium concentration of root decreased at the end of the 1st period and after that

it was changeless until the end of the 7th period. That of the stem decreased at the end of the 1st period, then it increased by degrees until the end of the 4th period. In the old needle the concentration increased successively from the transplantation till the end of the 4th period. That of the new needle and the whole seedling decreased until the end of the 2nd period and after that it increased until the end of the 4th period. From then on the concentration of all cases except the root was changeless until the end of the 7th period.

The magnesium concentration of root increased from the transplantation until the end of the 3rd period with the temporary decrease at the end of the 2nd period. In the stem it decreased until the end of the 2nd period and thereafter increased until the end of the 4th period. Concentration of the old needle showed similar variation to that of the root. In the new needle it decreased at the ends of the 2nd-4th periods and at the end of the 5th period it increased. As to the whole seedling, the concentration increased by degrees until the end of the 5th period with the temporary decrease at the end of the 2nd period. Afterwards in all cases it was changeless until the end of the 7th period.

Results (3).....The seasonal variations of the nutrient contents and their absorbing processes.

The seasonal variations of the nutrient contents are shown in Table 4 and Fig. 3. The percentages of the absorbed nutrients in each period for the annually absorbed one are shown in Fig. 4.

The weights of the old needle were much less than those of the other parts, and they were changeless during all periods until the defoliation. Therefore, the data on them were omitted from Fig. 3 and 4.

The information on the potassium contents, as undermentioned, suggested the leaching of it from seedling. Therefore, its annually absorbed amount was undeterminable exactly. The author estimated the potassium content at the end of the 7th period by subtracting the one at the transplantation as the annually absorbed one for the sake of convenience.

On the whole seedling, the absorptions of all nutrients except potassium proceeded most vigorously in the 2nd stage. The absorbed amounts of nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium in this stage reached 71%, 78%, 81% and 86% of annual on, respectively. Furthermore, 12% of nitrogen and 10% of phosphorus were absorbed in the 6th period, and 11% of calcium and 10% of magnesium in the 2nd period. These facts showed that the vigorous absorptions of nitrogen and phosphorus proceeded from the summer till the early winter, and that of calcium and magnesium from the late spring till the late autumn. The absorption of potassium proceeded more vigorously from the earlier period (the 2nd period) than that of the other nutrients, and the rate of its absorbed amounts during the 2nd-5th periods was 115% of the annual one.

However, in detail, the absorbing processes of these nutrients in the parts of the seedling were dissimilar and characteristic in each other as follows :

The vigorous absorptions of nitrogen of the root and stem proceeded during the 4th-6th periods, and the absorbed amounts of it reached 75% and 81%, respectively. The new needle absorbed 78% of the annually absorbed nitrogen during the 3rd-5th periods, and, furthermore, it absorbed 15% during the 1st-2nd periods. These facts show that the vigorous nitrogen absorbing periods of the new needle were earlier than those of the root and stem.

Phosphorus was vigorously absorbed during the 3rd-6th periods by the root, during the

3rd-5th periods by the stem and new needle. The amount of it absorbed reached 93%, 80% and 73%, respectively. Furthermore, 17% of the annually absorbed phosphorus was absorbed by stem during the 6th-7th periods, and 18% by new needle during 1st-2nd periods. These facts show a similar tendency on the differences of the vigorously absorbing periods among the parts of the seedling to that of nitrogen.

The vigorous absorptions of the potassium of the root and stem proceeded during the 3rd-5th periods, and that of the new needle during the 2nd-4th periods. The amounts of it absorbed during these periods reached 115%, 105% and 105%, respectively. After that, the potassium absorptions were clearly decreased by degrees and 38%, 23% and 20% of it were lost in the 7th period, respectively.

The vigorous absorption of calcium by the root proceeded during the 4th-5th periods and the amount of it absorbed during these periods reached 61% of the annually absorbed one. Furthermore, in the other periods except the 1st and 7th periods, the root absorbed a relatively large amount of it. The vigorous calcium absorption of the stem proceeded during the 3rd-5th periods, and that of the new needle during the 3rd-4th periods, the amounts of it absorbed during these periods reaching 90% and 70%, respectively.

The vigorous magnesium absorptions of the root and stem proceeded during the 3rd-5th periods, but that of the new needle during the 2nd-5th periods. The amounts of it absorbed during these periods reached 86%, 97% and 98%, respectively.

As mentioned above, the vigorous nutrient absorbing periods of the new needle were earlier than those of the root and stem, as a whole.

These facts related to the differences of their growing processes, especially the increments of the dry matter weight. Furthermore, it is noteworthy that the root and stem assimilated relatively large amounts of nitrogen and phosphorus during the periods from the late autumn till the early winter which are regarded as the resting season of the seedling.

Discussion.

1) The growing process of the sample seedling.

The sample seedlings were medium sized with well developed root systems.

As aforementioned, the vigorously growing periods of the root, stem and new needle were dissimilar. It was very interesting that the dominant growth of the new needle, the assimilating organ of the seedling, proceeded during the earlier periods more than that of the root and stem. The assimilated organic matter was used for the production of the new needle and there after for the root and stem. Furthermore, it is worthy of notice that the growth of the root proceeded successively during the periods from the late autumn till the winter, the resting season of the top.

2) The nutrient absorption.

More detailed information on the interrelations of the nutrients absorbing processes and the amounts of the nutrients required for the assimilation of the 1 g of organic carbon in each stage are shown in Table 5.

As the leaching of the potassium from the seedling was suggested, the author discussed its absorbing process separately from the other nutrients.

2-1) The nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium absorbing processes.

The amounts of nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium required for the production of 1 g of the organic carbon of the whole seedling and the parts of it were clearly more

increased in the 2nd stage then in the 1st one, except the nitrogen and calcium of the root that equilibrated or slightly decreased. These amounts of nitrogen and phosphorus increased remarkably in the 3rd stage in comparison with the 2nd one except the phosphorus of the root but those of the calcium and magnesium decreased sharply except in the case of the calcium of the root and new needle that equilibrated or slightly decreased. These facts suggested the following implication.

The rates of the nutrients absorptions of the whole seedling and the parts of it were less than those of the dry matter production in the 1st stage, but the former exceeded the latter in the 2nd stage with a few exceptions. Furthermore, the predominances of the rates of nitrogen and phosphorus absorptions to the rate of the dry matter production increased remarkably to a high degree in the 3rd stage. But the rates of calcium and magnesium compared to the rate of the dry matter production decreased sharply in this stage and were lower than those of the 1st and 2nd stages with a few exceptions. The aforementioned seasonal variations of the nutrient concentrations back up the above opinion. However, on the nitrogen absorption of the root, following facts are worthy of note :

The nitrogen concentrations of root reached the annual minimum at the end of the 3rd period. Later on it increased by degrees till the end of the 7th period. The nitrogen concentrations at the ends of the 1st and 2nd stages were the intermediates of the decreasing or increasing processes, respectively. So they were almost similar mutually. Therefore, the interrelation between the nitrogen absorption and the dry matter production of the root was similar to the one of the stem and new needle, but the periods of both processes were more long and lagged behind.

In detail, the variations of the nitrogen concentrations of the root and whole seedling during the 1st stage showed the convex process, increasing sharply at the end of the 1st stage. These were inconsistent with the above-mentioned opinion. The similar processes were observed on the magnesium concentrations of them in this stage too; but they were not so distinguished as the one of the nitrogen. The author reexamined the seasonal variations of the nitrogen concentrations in the next year, 1964, and as shown in Table 6, the similar results were obtained again. The elucidation of the cause of these facts is left for future investigation.

As already stated, the seasonal variations of the rates of the nitrogen and phosphorus absorptions for the dry matter production clearly contrasted with the one of the calcium and magnesium absorptions as a whole. The former were remarkably increased during the periods from the late autumn till the winter, but the latter were remarkably decreased with a few exceptions.

As shown in Table 7, the rate of absorption of the nitrogen was more abundant than the one of the phosphorus, and that of magnesium less than that of calcium in these periods.

As previously mentioned, the increments of the dry matter weight of the stem and new needle were very little in the 3rd stage, so the remarkably increased nitrogen and phosphorus absorptions for the dry matter production were ineffective on the accumulations of these nutrients in these parts. However, as the increment of the dry matter weight of the root in this stage was fairly abundant and reached 20% of the annual one, the nitrogen and phosphorus accumulations— especially nitrogen— were very abundant, the amount reaching 37% and 18% of the annually absorbed one, respectively.

The variations of the interrelations between the rates of the nutrients absorptions and

the dry matter productions of the stem and new needle had some similarity as a whole; nevertheless, more or less differences on their extents of the variations were often observed. But they contrasted with the one of the root except on the magnesium absorption.

These differences of the absorbing processes of these nutrients between the top and root, those among the nutrients in each parts of the seedling and the fairly abundant nitrogen absorption of the root during the period from the late autumn till winter are worthy of notice in regard to the nutritive physiology of the seedling, and are helpful nursery practice.

Furthermore, on the magnesium absorption, the slight losses in the stem, new needle and whole seedling in the 3rd stage as compared with those in the 2nd one were observed. Whether these results were induced by the leaching of it from seedling similar to the case of the potassium as described hereunder or by the individual variances among the sample seedlings because of the slight differences of the contents between the both stages is a point left for future clarification.

3-2) The potassium absorbing process.

On the potassium absorption, the leaching of it from the seedling was very important and interesting. The potassium concentrations and the absorbed amounts of it in the whole seedling and the parts of it were clearly decreased by degrees on and after the 5th period. Furthermore, the potassium contents decreased sharply in the 7th period compared with that in the 6th. These facts suggested clearly the leaching of the potassium from the sample seedlings by the rainfall during these periods. The data on potassium in Table 5 and 7 supported the same opinion more certainly as described below.

In the author's opinion, the above mentioned facts would be explainable as follows :

The amounts of potassium absorbed would be more abundant than the one leached out from the seedling during the periods from the spring till autumn (from the 1st till 4th period). However, the amount of potassium accumulated in the whole seedling and the parts of it would be decreased by degrees on and after the periods from the late autumn till the winter (from the 5th till the 7th periods) by the leaching of the potassium and the decrease of its absorption. In the 7th period, the amount of potassium leached out would exceed the one absorbed.

As shown in Table 3 and Fig. 2, the variations of the rate of potassium absorption to the one of the dry matter production during the periods from the 1st till the 4th one in the root and stem were similar to the one of the other nutrients. But the rate of the potassium to the dry matter production decreased successively in these periods in the new needle and equilibrated in the whole seedling. The leaching of the potassium and the successive decreases of its absorption would support the findings that appeared later, namely, decreases of the potassium concentrations and contents in the following periods.

3-3) The nutrient requirements for dry matter production and their interrelations.

Comparing the nutrient absorptions for their dry matter production of the root, stem and new needle with their annual averages, the following information was obtained (see Table 5). The new needle absorbed more abundant nitrogen, potassium and calcium—especially nitrogen and calcium—, slightly less phosphorus and considerably less magnesium than was absorbed by the root and stem. Furthermore, the root absorbed fairly abundant phosphorus and potassium and less nitrogen and calcium than did the stem.

To throw light on the seasonal variations of the more detailed interrelations among the amounts of the absorbed nutrients, the ratio of the phosphorus, potassium, calcium and

magnesium to the nitrogen are given in Table 7.

On the seasonal variations of the absorption ratios of these nutrients, the following information was obtained.

On the whole seedling, the increments of the rates of phosphorus, the distinguished decrease of the one of potassium and slight decreases of the one of calcium and magnesium in the 2nd stage compared with the 1st stage were observed. The ratios of these nutrients to the nitrogen in the 3rd stage were less than that in the 2nd one. The rates of the decrease were appreciable on phosphorus but remarkable on potassium, calcium and magnesium.

On the parts of the seedling, their tendencies of the variations of the rates of the nutrient absorption were similar to those of the whole seedling with the following few exceptions. The rates of phosphorus of the new needle showed the concaved curve, decreasing in the 2nd stage, and the one of the root a remarkable decrease in the 3rd stage. The rate of the potassium of the root was changeless between the 1st and 2nd stages, and the one of the new needle and that of the magnesium of the root somewhat increased in the 2nd stage.

Summarising the above-mentioned facts, the remarkable decreases of the rate of potassium absorption by degrees in and after the 1st till the 3rd stage and the one of calcium and magnesium in the 3rd are worthy of notice as a whole. These facts support the aforementioned seasonal variations of the absorbing processes among these nutrients more clearly.

Acknowledgement

The author wishes to express his gratitude to Mr. T. Tokumoto, Director of Kansai Branch, Government Forest Experiment Station, for his encouragement, and to Mr. T. Kinugasa and Mrs. A. Kawada for their cooperation in carrying out this work.