

夏の土壤乾燥がスギ苗の生長、とくに秋伸びに及ぼす影響

助 教 授 渡 辺 章

Akira WATANABE

The Effect of Soil Moisture Deficiency in the Summer on the Growth of Sugi Seedlings (*Cryptomeria japonica*), with Special Reference to the Overgrowth in the Autumn.

I ま え が き

苗畑でスギ苗の秋伸びはかなり重要な問題であって、経験的には夏の土壤乾燥による養水分の吸収のカタヨリが原因と考えられている¹⁾。また、秋伸びの問題は育苗技術の上では根切り（根揚げ）の操作によって一応解決されているように見える。しかし、夏の土壤乾燥が苗の養水分吸収にどのように影響を及ぼし、それが秋伸びとどのような関連があるか未だ十分に検討されてないと考えられるので、この点を解明する目的で1・2実験を行なった。

本実験に当り、いろいろと御指導を賜わった大政正隆、佐藤大七郎両教授および御協力を頂いた樹芸研究所の職員に厚く御礼を申上げる。

II 実 験 1

まず、水分吸収の立場から苗が土壤の自然乾燥にどのような水分状態で対応するかしらべてみた。そのような問題をあつかった実験はかなり沢山ある^{2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)}。スギ苗についても佐藤⁴⁾の詳細な報告がある。しかし、これらの多くはマキツケ苗で行なったもので、ここでとりあつかおうとするスギの床替苗(1-1)のばあいについてはまだよくしらべられていない。たとえあつたにしても樹種がちがうし^{5), 7)}、またとりあつかった土壤もちがうわけだから、ここではまず今後の実験を計画するに当り、その基礎資料を得ることを目的とし、土壤の自然乾燥と床替苗(1-1)の水分関係の対応を明らかにせんとした。実験は次に述べるような方法で計画した。なおこの実験は前年(1956年)に予備試験を行なってほぼ同じ結果を得ている。

(1) 材料と方法

1957年の4月はじめ、直径7cm、深さ15cmの円筒形のベークライトのポット100箇に、小粒の砂利をポットの底から2cm程いれて、1分目の篩をとおした第1表に示したような組成をもった苗畑土壌*（砂質植壤土）を風乾重で465gずつ入れた。苗は前年の春苗畑にまきつけて育てた4~5gのほぼそろった苗を選び1ポット当り1本ずつ植えつけた。その後苗はガラス室で

* 約10年前苗畑としての使用を廃止して、現在は樹木園として使用

7月中旬までふつうの管理の下で育てたが、そのなかから生育のそろった78箇のポットを選び、7月15日から、毎日1日に3~5箇宛ずつ、ポットの底から水がしみ出るまで充分水を与えた後、土壌が自然に乾燥するにまかせた。ポットの土壌表面は厚紙で覆ったが密封はしなかった。残りのポットは日をおってそれぞれ順番がくるまで、土壌水分が50~35%のあいだにあるようにポットの重さを毎日にかけて水分の調整をした。かくしていろいろな段階の含水量をもったポットがそろった8月7日の晴天の日を選び、12時15分から14時10分までのおおよそ2時間のあいだに、いっせいに試料をとって蒸散量、含水率、透透価およびその時の土壌の含水量をポットの中ほどからじかに試料をとってしらべた。蒸散量は同時に含水量をしらべる必要からキリエダをすばやくはかる方法により、切枝葉の5分間の重さのへりをもってした。透透価は、蒸散量の測定の終わった苗から順次試料をガラス管につめ、煮沸処理をおこなった後冷蔵庫にそのまま貯えておいて、測定のつど冷蔵庫からとり出して庄搾液をしぼって WALTER¹¹⁾の方法でしらべた。また切枝葉の含水率は105°Cで恒量になるまで乾燥して求めた。ポットの土壌の含水率も常法で求めた。

この実験は土壌水分以外の外圍条件はなるべく同一になるように配慮し、一年中で最もひでりが続き、気象的にも安定した時期を選び行なわれた。第2表は8月7日の実験中のガラス室内の温度、湿度、ならびに白と黒のロシを使って平田式紙面蒸発計ではかった蒸発量を示した。

第1表 土 壌 の 組 成
Table 1. Soil texture

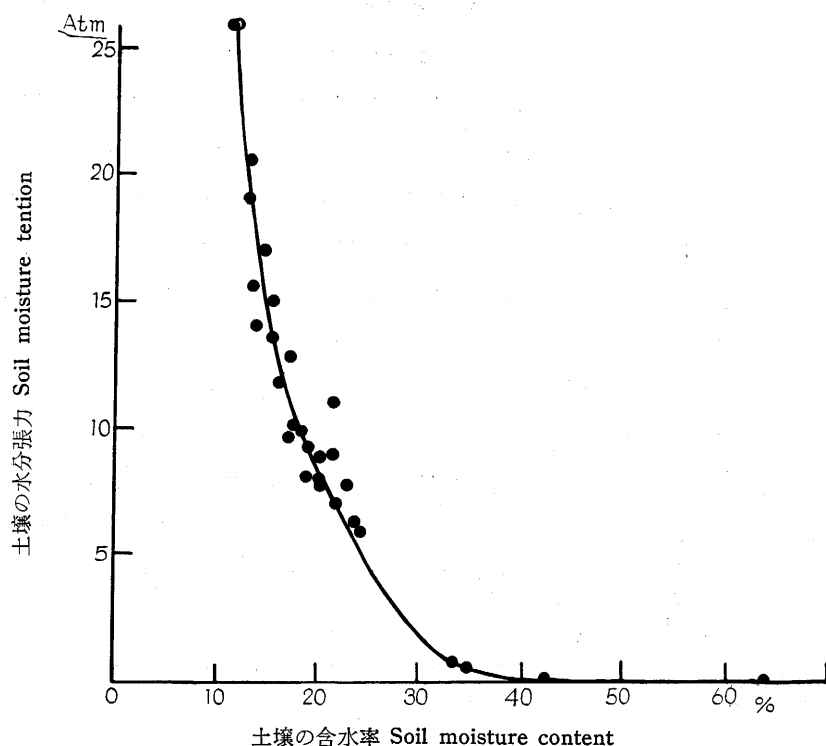
	石 礫 Gravel	粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	微 砂 Silt	粘 土 Clay
粒 径 Grain diameter(mm)	>2.0	2.0—0.25	0.25—0.02	0.02—0.002	0.002>
割 合 %	1.58	22.65	38.33	18.77	20.28

第2表 実験中の気温、関係湿度ならびに蒸発量
Table 2. Air temperature, relative humidity and evaporation
from HIRATA's evaporimeter during experiments.

気 温 Air temperature			関 係 湿 度 Relative humidity			蒸 発 量 Evaporation	
平 均 Mean	最 大 Max.	最 小 Min.	平 均 Mean	最 大 Max.	最 小 Min.	白 White	黒 Black
34.5 °C	35.4 °C	33.3 °C	63 %	70 %	58 %	5.40 g	7.35 g

なおこの実験につかった土壌は、あらかじめその含水率と留水力との関係を HANSEN¹²⁾の方法でしらべておいて、土壌のかわきかたの尺度とした。しかしこの方法では約5気圧以下の部

分はうまくはかれないので、テンシオメータではかれる範囲の測定はテンシオメータを使ってはかり、その他の部分はこの2つの曲線をむすびつけることによって推定した。第1図はこのようにしてもとめた土壤が乾燥してゆく過程でとらえた含水率と水分張力の関係を示した。

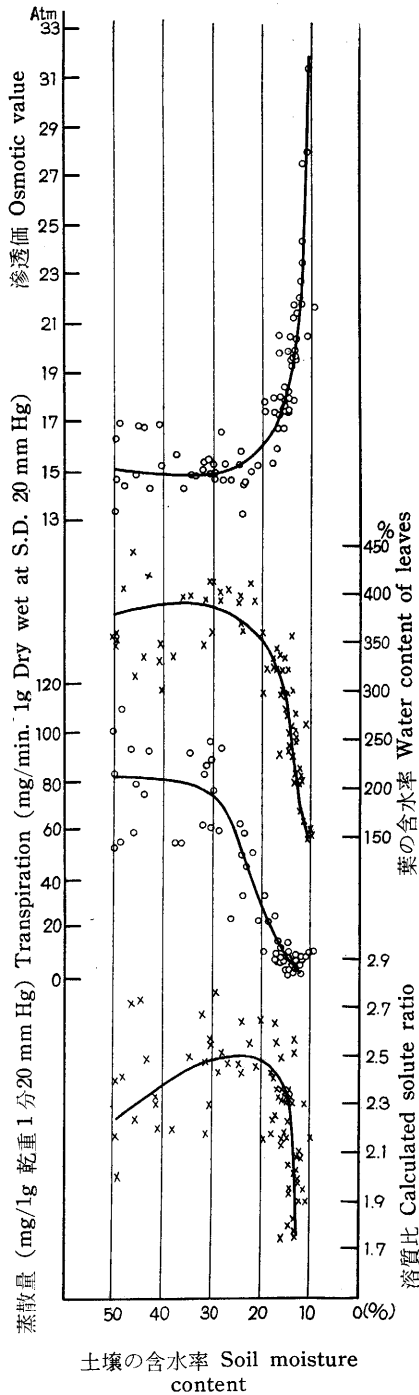


第1図 使った土壤の含水率と水分張力の関係
Fig. 1. Relation between soil moisture content and soil moisture tension of the soil used.

第1図によると水分張力が15気圧のとき土の含水率は14.5%でほぼこの点が永久凋萎含水率にひとしいと考えられている。また実験室でガラス管をつかってもとめた圃場容水量は42.1%で、圃場容水量を0.1気圧とみると第1図から42.7%となりよく一致する。しかし圃場容水量を0.3気圧とみなす¹⁴⁾と38.0%となり、また0.5気圧に相当する点は33.9%となっている。なお野外で一表土約20cm—直接10cmの部分から試料をとって調べた値はほぼ42.1~42.8%であった。一般に圃場容水量は真下¹⁵⁾が指摘しているように人々の間に異論があるようで、同氏はPF値2.0前後としているが筆者のこの実験でもほぼ一致している。従ってこの土壤の圃場容水量はおおよそ40%前後にあると考えられる。また円柱法による最大容水量は64.6であった。

(2) 結果および考察

上記の実験結果を総括的に示すと第2図のとおりである。土壤がかわいて根からの水の吸収が困難になると、まず蒸散量の低下が見られることはこれまでの実験結果とよく一致しているようだ。すなわちこの実験では土壤の含水率がほぼ30~28% (水分張力1.5~2.5気圧) までは蒸散



第2図 土壤の自然乾燥にともなう含水率、蒸散量、滲透価ならびに溶質比の変化
 Fig. 2. Change in transpiration, water content, osmotic value and calculated solute ratio of seedlings with decreasing soil moisture

量, 含水量, および滲透価などの苗の内部の動きはいずれもほとんど変化はみられなかったが, さらにこの点をすこしさがったあたりで蒸散量の急激な減少が始まった。含水量と滲透価はさらに土壤が 20% (水分張力 8.4 気圧) にさがるまではあまり変化はなかった。これはおそらく蒸散作用が抑制されたので水の吸収と蒸散量のあいだのツライイがとれているためと思われる。土壤含水率が 20% を過ぎるあたりから含水量が急に下り始めたが, ほとんど同時に滲透価の上昇が見られた。一方, 蒸散量は永久凋萎含水率 (14.5%, 15 気圧) のあたりから極めて低い安定した値を示している。

このような蒸散量と含水率の変化はこれまでスギ, ヒノキ, マツなどのマキツケ苗⁴⁾ のばあいとも, また筆者がさきと同じクチの土壤を使ってしらべたアカシヤモリシマのマキツケ苗⁸⁾ の場合とも質的にはかわらない。滲透価の変化も加藤⁵⁾ がカラマツの 1 回床替 3 年生の山出苗でしらべた結果と一致している。ただ, 岡崎¹⁶⁾ は凋萎状態で枯死寸前に滲透価の著るしい低下がみられるというが, この実験でも多少そのような傾向を示したものが 2, 3 あったが, はっきりしたことはいえない。おそらく枯死寸前の苗がなかったためかと思われる。

ところで植物の生活力の 1 指標とみなされている溶質比¹⁷⁾ (計算溶質量¹⁸⁾) を算出してみたが, この変化は第 2 図からわかるように, 上記蒸散量, 含水量あるいは滲透価のいずれとも異った変化を見せている。すなわち, 溶質比は土壤がかわくにつれて除々に上昇して土壤含水率が 20% あたりまで続き, 永久凋萎含水率 (14.5%, 15 気圧) をこえるあたりから急激に減少しているようだ。この溶質比の上昇は畠山¹⁸⁾ が指摘したように苗の水分欠乏に対する適応現象と見なすことができるだろう。また永久凋萎含水率のあたりから急に溶質比は減少しているが, この点も岡崎¹⁷⁾ の実験とも一致している。なお苗の枯死の限界についてはここではふれなかったが, 溶

質比が著るしく減少し始めるときはきわめて危険な状態にあるといえるだろう。

III 実 験 2

実験で1, 苗が土壌の自然乾燥にどのような水分状態に対応するか一応明らかにすることができた。そこで, こんどは夏の間の土壌乾燥と苗の生育, とくに秋の生長とどのような関係が見られるか, 苗高, 基部直径, 重量等の生長経過と, これらと関連して苗の内部の含水量, 滲透価, 貯蔵炭水化物含量および窒素含量等の動きをしらべてみた。

(1) 材料と方法

1957年の4月はじめに, 直径18 cm, 深さ18 cm のポットに風乾土壌 3.046 g を入れ, 実験1と同じクチの重さ4~5g の苗3本ずつを植えつけた。その後ガラス室内で7月上旬までふうの管理を行なって育てた。7月10日, 生育のほぼそろった65コのポットを選び, 下記のように4つの区に分けて, 8月30日まで約50日間土壌水分の調節をはかった。9月1日以降11月下旬実験を打ちきるまでの期間はふたたびもとの同じ管理(土壌水分50~30%)の下においた。

A区 50—40% (ほぼ圃場容水量の範囲)

B区 50—30% (圃場容水量を少しさがった点で1.5気圧の範囲)

C区 50—20% (土壌水分張力8.5気圧のあたりまで乾燥した)

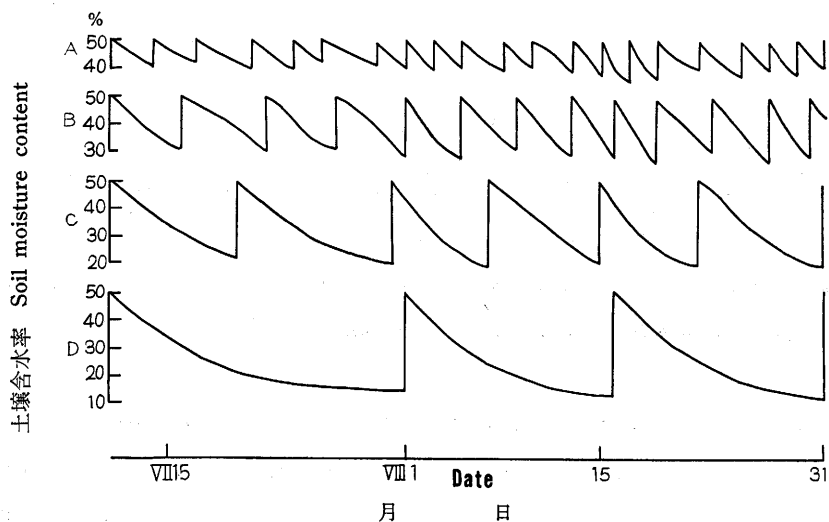
D区 50—14.5% (土壌水分を永久凋萎含水率まで乾燥した)

土壌水分含量が各区のそれぞれの下部限界に達した時水を補給した。水は土壌表面から給水したが, 一部はポットの底までさし込んだ2本のガラス管を通して行なった。またときどき苗の重さの増加量を他のポットでしらべて給水量の補正を行なった。なおこの実験では土壌の有効態植物養分の多少によって苗に及ぼす土壌水分の影響がかわってくるのが懸念されたので²¹⁾, ここでは地味をほぼ中程度を標準として, 7月5日にそれぞれ1ポットに $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1.35g, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 1.00g, K_2SO_4 0.37g を試薬品で与えた。またこれらを施肥する10日前に石灰3.0g を施した。各区ともに供試したポットの数10箇とし, そのうち5箇は9月5日に, 残りは11月28日に掘取って苗の生長調査, および分析試料に供した。窒素は KJELDAHL 法により, 全糖は SCHAFFER-SOMOGYI 法によった。澱粉は HCl で分解して求めた。

(2) 結 果

土壌水分の調節を行った夏のあいだの水をやった回数と土壌水分の変化の1例を示すと第3図のとおりである。同じ区でもポットにより土壌のかわきかたに多少の遅速があったが, 苗の個体差があるのでやむをえなかった。また同じポットでも苗の生長にともなって, あるいは気象条件のちがいによって変動するのをまぬがれない。

生長経過: 7月上旬, 土壌水分の調節を開始してから, 晩秋実験を打切るまでの苗高と基部直径の生長経過を第4・5図に示した。今, 水分調節を打切った9月5日を境として, それ以



第3図 土壤の含水率の変化の一例

Fig. 3. An example of changes in soil moisture

第3表 苗高生長量
Table 3. Increment in height

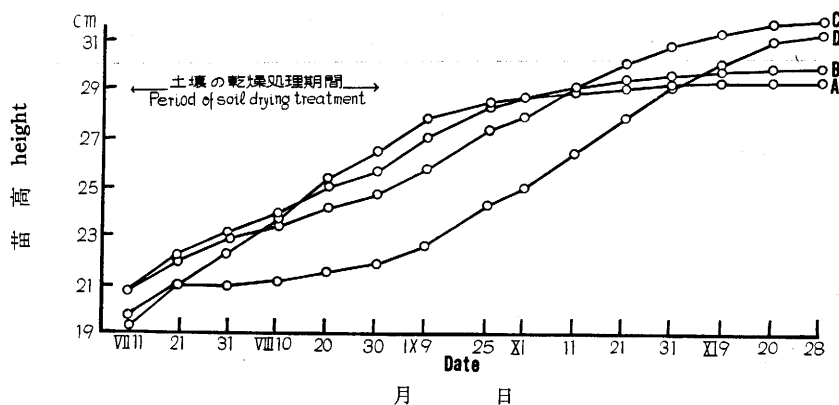
	A*	B	C	D
VII 11	19.3 cm	20.8 cm	20.7 cm	19.8 cm
差 (Increment)	(7.1)	(4.8)	(3.9)	(2.0)
IX 5	26.4	25.6	24.6	21.8
差 (Increment)	(2.9)	(4.3)	(7.2)	(9.4)
XI 28	29.3	29.9	31.8	31.2
總生長量 (Total increment)	(10.0)	(9.1)	(11.1)	(11.4)
比數 Expressed as percentage of the total increment of A.	100 %	91.0 %	111.0 %	114.0 %

* { A...最低含水率 40% Lower limit of soil moisture ; 40%
 B... " 30 " " ; 30
 C... " 20 " " ; 20
 D... " 14.5 " " ; 14.5

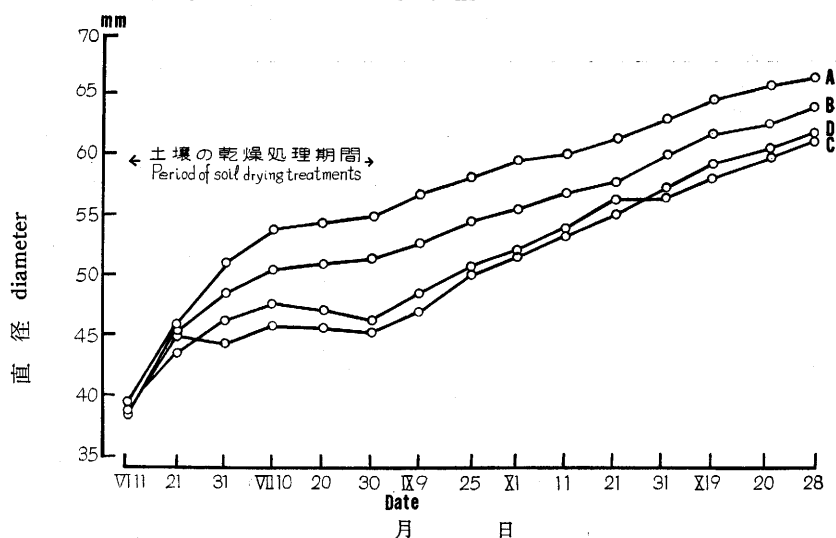
第4表 基部直径生長
Table 4. Increment in diameter

	A	B	C	D
VIII 11	3.93 mm	3.86 mm	3.90 mm	3.82 mm
差 (Increment)	(1.53)	(1.27)	(0.64)	(0.69)
IX 5.	5.46	5.13	4.54	4.51
差 (Increment)	(1.20)	(1.29)	(1.59)	(1.69)
XI 28	6.66	6.42	6.13	6.38
續生長量 (Total increment)	(2.73)	(2.56)	(2.23)	(2.38)
比數 Expressed as percentage of the total increment of A.	100 %	93.8 %	81.7 %	87.2 %

A. B. C. D. 第3表を参照 (See the explanation of Table 3)



第4図 いろいろな土壌水分条件のもとにおける苗高生長
 Fig. 4. The course of growth in height of seedlings under the various soil moisture conditions.



第5図 いろいろな土壌水分条件のもとにおける直径生長
 Fig. 5. The course of growth in diameter of seedlings under the various soil moisture conditions, (see the explanation of Fig 4)

前とその後の生長量を示すと第3・4表のようになる。

これらの図および表によると、夏の乾燥の度合にほぼ比例してその間の生長は抑制されている。しかしその後水分条件の好転によって秋の生長は著しく回復し、苗高においては夏のあいだに生じた生長量の差は、ほとんど最終の段階ではみられなくなった。むしろ乾燥につよくあわせたD、C区がかえって大きくなっている。直径生長においてもほぼ同じことがいえるが、この場合は夏の生長の差は秋期なおうめきれずに残った。

同様に、実質的な生長を示す重量生長においても第5・6表に示すとおりで、地上部、地下部ともに夏の土壌の乾燥の度合に比例して生長は明らかに減少している。その差は晩秋生長の著しい回復にかかわらずそのまま残った。なお、これら第3～6表により7月上旬、水分調節を開

第5表 地上部乾物生長量
Table 5. Increment in dry weight of top

	A	B	C	D
VII 11	3.13 g	3.13 g	3.13 g	3.13 g
差 (Increment)	(6.34)	(5.98)	(2.25)	(4.25)
IX 5	9.47	9.11	7.38	7.38
差 (Increment)	(7.82)	(6.44)	(7.34)	(7.34)
XI 28	17.29	15.55	14.72	14.72
総生長量 (Total increment)	(14.06)	(12.42)	(11.59)	(9.84)
比 数 Expressed as percentage of the total increment of A.	100 %	88.3 %	82.8 %	70.0 %

A. B. C. D.……第3表を参照 (See the explanation of Table 3)

第6表 地下部乾物生長量
Table 6. Increment in dry weight of root

	A	B	C	D
VII 11	1.10 g	1.10 g	1.10 g	1.10 g
差 (Increment)	(1.09)	(1.30)	(0.89)	(0.60)
IX 5	2.19	2.41	1.99	1.70
差 (Increment)	(3.81)	(3.55)	(2.90)	(3.26)
XI 28	6.00	5.96	4.89	4.96
総生長量 (Total increment)	(4.90)	(4.86)	(3.79)	(3.86)
比 数 Expressed as percentage of the total increment of A.	100 %	99.2 %	77.3 %	78.7 %

A. B. C. D.……第3表を参照 (See the explanation of Table 3)

始してから晩秋実験を打切るまでの苗の乾物生長量に対する苗高の生長量の割合と秋の乾物重の増加量に対する苗高の秋の増加量の割合を示すと第7表のとおりである。これらはいずれも苗の充実度をあらわすと思われるが、夏土壌乾燥につよくあわせた苗ほど単位乾物重当りの苗高が大きくなって徒長型を示すことがわかる。また第8表には T/R 率を示しておいたが、9月上旬にはD, C区の値が明かに小さいが、晩秋にはほとんど差がなくなった。

第7表 実験期間中の苗高生長量に対する乾物生長量の割合 (R_T) と秋の苗高生長の増加量に対する乾物増加量の割合 (R_A)

Table 7. Ratios of the increment of height of seedlings to that of dry weight (R_T), and the ratios of height increment in autumn to that of dry weight. (R_A)

	A	B	C	D
R _T	0.52	0.53	0.68	0.83
R _A	0.52	0.43	0.70	0.89

A. B. C. D.……第3表を参照 (See the explanation of Table 3)

第8表 T-R 率
Table 8. Top-root ratios

	A	B	C	D
IX 5	4.32	3.74	3.65	3.33
XI 28	2.88	2.61	3.01	2.61

A. B. C. D.……第3表を参照 (See the explanation of Table 3)

含水率、滲透価および溶算比：土壤水分の調節を開始する直前の7月上旬と、9月上旬、11月下旬の3回にわたってしらべた苗の滲透価、含水率およびこれらより算出した溶質比を第9表に示した。

第9表 枝葉の含水率、滲透価ならびに溶質比
Table 9. Water content, Osmotic value and Solute ratio

	処 理 区 Treatment	含 水 率 Water content	滲 透 価 Osmotic value	溶 質 比 Solute ratio
VIII 11		77.2 %	12.09 atm	1.78
IX 5	A	76.5	11.13	1.51
	B	76.1	11.78	1.60
	C	74.6	13.46	1.64
	D	75.6	13.24	1.71
XI 28	A	63.6	18.16	1.34
	B	65.4	18.68	1.47
	C	66.4	17.36	1.44
	D	67.7	17.37	1.59

滲透価は夏の乾燥にあわせた直後の9月上旬には明らかに土壤乾燥の度合のおおきい区ほど高くなっているが、晩秋にはこの関係は逆になっている。一方、含水率は滲透価とは反対に9月上旬には乾燥にあわせた苗で低く、晩秋には高くなっている。溶質比は9月上旬、11月下旬ともに乾燥にあわせた区で高くなっている。

貯蔵炭水化物含量と全窒素含量：地上部と地下部とに分けて全糖、澱粉等の貯蔵炭水化物と全窒素含量の分析結果を示すと第10表のとおりである。全体に対する値は計算で求めた。

水分の調節を打切った直後の9月上旬の分析値は全糖、澱粉ともに統計的に差があるとはいえない。晩秋においても全糖には差があるとはいえないが、澱粉含有率はA、B区がわずかであるがD、C区に比べておおきい。

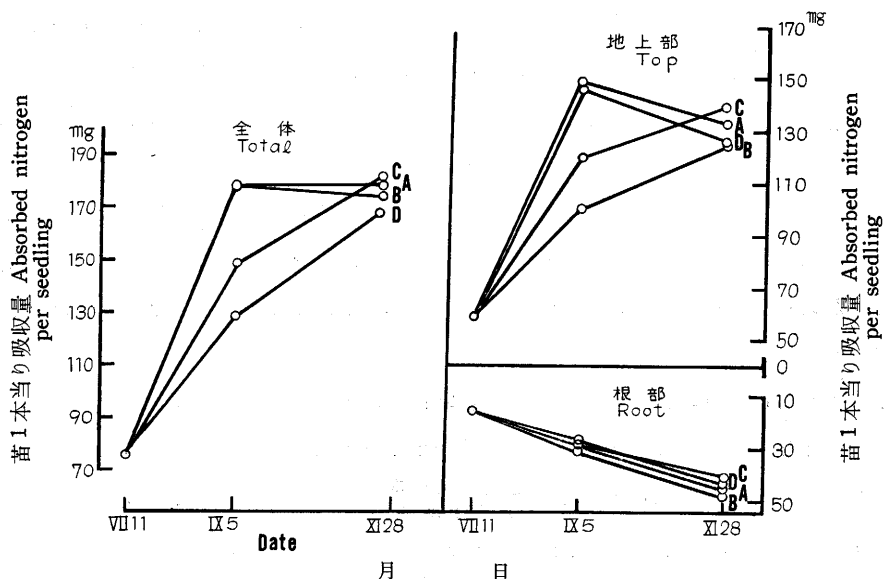
一方、窒素含有率は9月上旬には最もつよく乾燥にあわせたD区で明らかに高く、C区はやや高いように見えたが、A、B、C区間では差は認められなかった。しかし11月下旬にはC、D区でA、B区より高い含有率を示している。なお貯蔵炭水化物含量と全窒素含量からC/N率を算出

第10表 炭水化物と窒素含量の変化
Table 10. Changes in the amount of carbohydrate and nitrogen

		全 糖 Total sugars	澱 粉 Starch	全貯蔵炭水化物 Total carbo- hydrate	全 -N Nitrogen	C/N C/N ratio	
VII 11	地 上 部 Top	5.10 %	12.21 %	18.66	1.88	9.93	
	地 下 部 Root	1.06	10.15	12.35	1.58	7.82	
	全 体 Total	4.06	11.67	17.04	1.80	9.47	
IX 5	A	地 上 部 Top	3.34	11.85	16.50	1.58	10.44
		地 下 部 Root	0.71	11.80	13.82	1.32	10.47
		全 体 Total	2.85	11.84	16.00	1.53	10.46
	B	地 上 部 Top	3.32	11.97	16.62	1.61	10.32
		地 下 部 Root	0.79	11.95	14.07	1.33	10.58
		全 体 Total	2.80	11.96	16.09	1.55	10.38
C	地 上 部 Top	3.30	12.67	17.37	1.61	10.79	
	地 下 部 Root	0.64	11.93	13.90	1.46	9.52	
	全 体 Total	2.74	12.51	16.63	1.56	10.53	
D	地 上 部 Top	3.31	12.30	16.77	1.75	9.58	
	地 下 部 Root	0.58	12.06	12.64	1.64	7.71	
	全 体 Total	2.69	12.26	15.83	1.73	9.15	
XI 28	A	地 上 部 Top	4.50	20.87	27.69	0.76	36.43
		地 下 部 Root	1.84	16.62	20.30	0.77	26.36
		全 体 Total	3.39	19.77	25.79	0.76	33.93
	B	地 上 部 Top	4.41	19.98	26.60	0.81	32.84
		地 下 部 Root	1.94	17.28	21.14	0.83	25.46
		全 体 Total	3.25	18.42	25.09	0.81	30.96
	C	地 上 部 Top	4.67	18.13	24.81	0.95	26.12
		地 下 部 Root	1.83	16.84	20.54	0.87	23.61
		全 体 Total	3.54	17.71	23.62	0.92	25.67
	D	地 上 部 Top	4.86	18.22	24.89	0.95	26.20
		地 下 部 Root	2.02	16.63	20.50	0.89	23.03
		全 体 Total	3.57	17.79	23.67	0.94	25.18

A. B. C. D. 第3表を参照 (See the explanation of Table 3)

した値を第10表にかかげておいた。C/N率は9月上旬には差はなかったが、晩秋には差が明らかに認められる。また窒素の含有率と乾物重から苗1本当りの窒素の吸収量の変化を求めると第6図のとおりである。窒素の吸収は乾燥によって著るしく抑えられるが、秋の吸収量が増大する。



第6図 窒素吸収量の変化
Fig. 6. Changes of nitrogen absorption in the seedlings under various soil moisture conditions (see the explanation of Fig 4)

(3) 考 察

これまで苗の水分関係と生長との関係を取りあつた研究はきわめておおい。わが国のスギに限定しても芝本²¹⁾、岡崎²²⁾、佐藤⁴⁾、その他多数の研究報告がみられる。しかし直接秋伸びと夏の乾燥との関係を追及したものはないようだ。

ここでは夏の乾燥とスギ床替苗の生長ことにその後の秋の生長とのあいだにどのような関係がみられるか、またそれらの生長と貯蔵炭水化物、全窒素含量等の苗の内部の生理的な動きとどのような関連があるか調べてみた。

まず、夏の土壤乾燥にあわせた直後9月上旬の苗の生長を見るに、土壤含水率を30% (1.5気圧) までかわかして育てたB区の苗は圃場溶水量の範囲で育てたA区の苗にくらべていくぶんおとっているが、その差はわずかである。しかし土壤水分を20% (8.4気圧) まで乾燥したC区では明らかに前2者にくらべ生長が抑制されている。さらに永久凋萎含水率 (14.5%, 15気圧) までかわかした苗ではその生長の減退は一層著るしくなっている。このような結果は実験1で得られた苗の水分関係の動きからも予測されるように、葉の水分欠乏の程度にほぼ比例しているようにみえる。なおこの実験においては水分の調節を開始する直前に無機肥料の追肥を行なったの

で、げんみつにえば溶液濃度による滲透圧の影響を受けることになるが、その影響はわずかで、ここで得られた相対的な関係にはさほど影響はなかったものと考え²⁸⁾。

このような実験結果に対し従来土壤水分が永久凋萎含水率にさがるまでは生長には影響はないという主張があるが^{24), 25)}、一方ここで得られた結果と同じような実験結果^{23), 26, 27)}もかなり沢山あって、まったく相反する考え方が対立している。もっとも現在では有効水分の均一性については否定する考え方が優勢であるように思われる。この問題についてはすでに佐藤⁴⁾が詳しく論じているところだし、ここではこの問題を論ずることが目的でない。ただ筆者の得た結果は佐藤⁴⁾のスギおよびヒノキのマキツケ苗での実験結果と一致しているといえる。

その後、秋の苗の生長は土壤水分条件の好転によって、著るしくその生長を回復し、苗高生長にあっては乾燥に強くあわせた苗でむしろ逆におおきくなったが、直径生長においては夏の生長の差は晩秋なおうめきれず、また地上部ならびに地下部重量生長においてはその差はほとんどそのまま残った。

このように苗は秋には乾物重であらわされた実質的な生長量にはほとんど差がなかったにかかわらず、苗高生長においては乾燥にあわせた苗の生長は著るしくおおきく、夏の生長量の差をうめてなお余りがあった。その結果は先に $\frac{\text{苗高の生長量}}{\text{乾物生長量}}$ 比で示したように夏乾燥に強くあわせた苗では秋生長の Pattern が著るしく変わって徒長型を示すにいたった。

根岸と佐藤²⁸⁾は、アカマツ苗では夏乾燥にあわせると直径生長はへるが、秋にはその生長量は逆に大きくなることを認めている。しかし苗高生長ではほとんど影響は見られなかったというが、これはマツでは1年間の苗高生長の大部分を初夏のあいだにしおわるからと考えられている²⁹⁾。すなわちマツの苗高生長は前年の貯蔵養分により決定される部分が大きく、一方直径生長はその年に生産された養分に依存するところが大きいといわれているから³⁰⁾、アカマツでは苗高生長より直径生長が土壤水分の影響を強くうけたものと解される。しかしスギ苗では一般には伸長生長、肥大生長ともに年に2回の生長の山があることが認められている³¹⁾。そしてほとんど全生育期間を通じてだらだらと養分をなしくずしに消耗しながら生長を続けるのである。従ってスギ苗の生長はその時とぎの環境条件の影響を大きく受けやすいことが考えられる。またスギ苗がとくに徒長しやすいという性質はその生長週期にみられる生長の特質のなかに本質的な起因をもっているといえる³⁰⁾。

しかし、一般にはたとえ形態的には徒長型を示していても、早くから内容が充実して結霜間際まで伸長生長をしていなければ徒長とはいわないのである。ところで第4図からわかるように夏著しく乾燥にあわせた苗ほどおそくまで生長活動を続けているのである。従ってこのような苗は早霜の害を受けやすいことが懸念されるが、滲透価および含水率にも見られるように苗の硬化がおくれていることがうかがわれる。またここで注目されることは、乾燥にあわせた直後の T/R 率は乾燥のひどい区ほど明らかに小さい値を示し、地上部に対し相対的に根の発育が促されてい

るが、晩秋にはほとんど差がみられなくなった。これは第6表からわかるように根の生長はその大部分が秋に行なわれるからであろう。

次に、以上のような苗の生長と関連して窒素や炭水化物等の苗の内面的な動きを見るに、まず水分の調節を打ち切った直後の9月上旬の分析値は、全糖、澱粉いずれもはっきりした差および傾向は認められない。一般には乾燥にあわせると葉や茎でペントザンの増加および澱粉の減少がみられ、糖類のうごきははっきりした傾向を示さないといわれている³⁸⁾。この点、この実験でははっきりしたことはいえない。もっとも筆者の実験では土壤が乾燥してゆく過程でしらべられたものでなく、土壤がある段階までかわいたとき水をやり、そのようなくりかえしを何回か行なって育てたものである。しかも水分の調節を打切ってから5日目に試料をとっているから、その間に乾燥の効果がうすらいだことも考えられる。なぜなら WADLEIGH²⁸⁾らはインゲン豆で行なった実験で、乾燥にあわせると澱粉はへるが、給水するとふたたび24時間内に差が見られなくなるという。また VASSILIEV³²⁾はコムギを永久凋萎の状態まで乾燥にあわせて硬化せしめた後、ふたたび給水し回復せしめ、その直後の単糖ならびに蔗糖をしらべているが、これらは充分に水を与えて育てたものより低い値を示した。この点筆者の9月上旬の全糖は類似の傾向を示しているといえるが統計的にはっきり差があるとはいえなかった。また根岸と佐藤³⁸⁾は筆者の実験と同じような方法で夏乾燥にあわせたアカマツ苗では、根および全体で貯蔵炭水化物含量が多くなることを認めているが、筆者の実験ではとくにそのような傾向はみられなかった。しかし乾燥にあわせた苗は相対的に地上部に比べ根の乾物量がおおくなっているから、含有率は同じでも含有量は相対的に根で増加していえるとも知れない。一方、和田³⁴⁾はスギ稚苗が水分欠乏を起こして凋萎してゆく過程における炭水化物の消長は決して単純なものではなく、そこには明らかな傾向は認められなかったという。

このように苗の貯蔵炭水化物に余り差がないということほどどのように解釈したらよいだろうか。この実験では光合成および呼吸についてはしらべなかったが、生長とは光合成作用による乾物の生産量と呼吸による消費量との差に外ならないとすれば、根岸と佐藤³⁸⁾が述べているように苗の生長とつなげて考えることが最も合理的だといえる。すなわち、乾燥にあわせると炭水化物の生産量はへると考えられるが、一方、糖類の粗繊維への重合などの炭水化物の変化がむずかしくなり、また生長がさまたげられるので含有率はあまり変わらないものと考えられる。しかし晩秋には夏のあいだ充分水を与えて育てた苗で澱粉の集積が多くなっている点は、休眠期を前にして苗の生長活動と関連すると考えられるが、注目されている。

一方、全窒素含量の動きは、9月上旬の分析結果を見るに、最もひどく永久凋萎含水率まで土壤をかかわした苗ではわずかであるが明らかに他より高い窒素含有率を示している。この実験結果は WADLEIGH²⁸⁾らがいろいろの moisture stress 下で栽培したインゲン豆で得た結果と一致している。しかし戸塚と門司³⁸⁾は水耕液につかっている根のワリアイをかげんして葉に水分欠乏

を生ぜしめたタバコ幼植物では全窒素含量にはなんら変化は見られなかったという。しかし一般には土壤を使った実験では乾燥によって生長が抑制されるときには窒素含有率は高い値を示すことが認められている⁸⁵⁾。

ところで WADLEIGH²⁸⁾らの実験では土壤の乾燥の度合いが大きいほど各態の窒素含量が高くなることを認めているが、窒素成分中何が最も重要であるか明らかでないという。また、一般には低水分処理が窒素代謝に影響することは明らかであるが、窒素代謝が生長の制限因子となるまで阻害されるという証明はないという⁸⁶⁾。従って少なくとも筆者の実験では窒素が夏のあいだの苗の生長を抑制した直接の原因とは考えられない。

そこで窒素含有率と乾物重とから苗1本当りの窒素含有量を求め、苗の窒素吸収の状態を比較して見るに、充分水を与えて育てた苗の窒素吸収は9月上旬にはその吸収量のほとんど全部を吸収し終わっており、一方乾燥にあわせた苗では夏の吸収が抑えられ、秋の窒素吸収の割合が著しく増大し、最終の段階では吸収量の差はほとんどわずかになった。このような窒素吸収の差異は、夏乾燥による生長の抑制、すなわち葉における水分欠乏による同化量の減少が原因と考えられるが、その後の秋の土壤条件の好転により生長が回復するとともに、これに窒素吸収の著しい増大がともなったと思われる。植物の生長は窒素と極めて重要な関係があることはもちろんで、苗が夏の乾燥によりむしろ高い含有率を示すことと、晩夏土壤中になお吸収されずに残っている養分、ことに窒素が上述の苗の秋伸びを促したといえる。すなわち、この秋に吸収された窒素が前述のような単位乾物生長量を樹高生長におおくつかう原因となったと考えられる。

ところで夏に充分水を与えて育てた苗では秋に窒素吸収量はほとんど0に近い値を示しているにかかわらず秋の乾物生産量はむしろ大きい値を示しており、これは苗がすでに晩夏までに吸収した窒素含量により充分な秋の生長をなしとげることができることを示すもので、秋の苗の生長は晩夏の苗の窒素含量とその時の苗の大きさ、厳密には葉量により決まるといえる。この点は水耕法による肥料養分欠除試験^{36), 37)}で窒素は初めに充分与えれば秋期窒素を欠除しても生長に余り影響しないといわれていることとよく一致する。なお最終段階で夏乾燥にあわせた苗で高い窒素含有率を示しているのは、生活活動の休止期を前にして生長を十分に増加させる時間のないままにその含有率が高く止まったものと考えられる。一方このことは乾燥にあわせた苗でおそくまで生長活動を持続せしめ秋伸びの原因となる。晩秋の C/N 率は夏乾燥にあわせた苗で小さい値を示し、従って C/N 率は苗の充実度をよく表わし秋伸びの判定の1つの規準になると考えられる。

IV む す び

夏の土壤乾燥がスギ床替苗の生長、ことに秋伸びにどのように影響するかしらべてみた。土壤水分が植物の生長に重要な因子であることは論をまたないところであるが、植物が有効に利用で

きる範囲の水分は圃場容水量より永久凋萎含有率までの水分だとされている。まず、実験1では苗が土壤水分の自然乾燥に対しどのような水分関係で対応するかしらべてみた。スギの床替苗の土壤乾燥に対する蒸散作用、含水量等の動きはこれまでマキツケ苗で得られた結果と質的にはほとんど同じであった。また浸透価の土壤乾燥に対する対応もこれまでの結果と一致し含水量の動きと対照的に増大しているが、溶質比は順次増加しよく乾燥に適応しているように見える、しかし永久凋萎含水率のあたりから急に減少し始め苗は枯死に追いこまれてゆく。

実験2では実験1の結果にもとづいて夏のあいだいろいろな程度の乾燥に苗をあわせて生長、ことに秋伸びと、それに関連して苗の内部の生理的な動きについてしらべてみた。すなわち、苗高、直径、重量生長、ならびにそれから計算で得られる T/R 率など苗の外部的な面と、さらに細胞液の浸透価、含水量、糖類、澱粉、全窒素含量等の苗の内部の栄養生理的な面を多少追及した。実験結果から概括的にいえることは、スギ苗のように水分および養分を吸収して生育期間中ほとんどなしくずしにその生産された炭水化物を消耗しながら生長をつづける性質をもったものでは、内因的にはその生長週期に見られる生長の特質の中にすでに秋伸びの原因があると考えられた。しかし外因的には土壤の乾燥により夏に吸収されなかった窒素が秋に多く吸収される結果となり、これが秋伸びの誘因となったと考えられる。なおこの実験では、糖類、澱粉等の動きには土壤乾燥との間にはっきりした関連を見出せなかったが、晩秋、秋伸びの傾向を示した苗で澱粉の集積が少なかったことが注目された。また窒素は土壤乾燥によりその含有率はむしろ増大する傾向がみられた。晩秋の C/N 率は秋伸びの判定の規準となりうるといえる。また浸透価も苗の秋の充実度を示す indicator となりうる。なおこの実験から、晩夏の苗の窒素含有率とそのときの苗の大きさ——厳密には葉量——をしらべることにより秋の生長量ならびに秋伸びをほぼ予測できるのではないかと考えるが、この点については今後の研究にまきたい。

文 献

- 1) 宮崎 穉：育苗に就いて。育苗研究会記録（日林東北支部），29-66（1951）。
- 2) 田崎忠良：防潮林の生態学的研究（V）。クロマツ当年生稚苗の生育について，東大立研報 7, 20-25（1951）。
- 3) 佐藤大七郎，名村二郎：土がかわくにつれてのマキツケ苗の水分関係はどうかわるか。日林誌 35, 71-73（1953）。
- 4) 佐藤大七郎：スギ，ヒノキ，アカマツのアキツケナエの耐乾性，とくに樹種のあいだのチガイについて，東大演報 51, 1-108（1956）。
- 5) 加藤亮助：土の乾燥がカラマツの水分生理におよぼす影響（予報）。林試北海道支場業務報告，特別報告 2, 75-80（1954）。
- 6) 大山保志：土が乾燥するにつれてモクマオウ層（6樹種）のマキツケ苗の水分関係はどうかわるか。琉球大学農家政学部学術報告 3, 183-192（1956）。
- 7) 渡辺資伸：クスの造林学的基础研究（第10報）。土の乾燥が苗木の生育におよぼす影響，東大演報 54, 51-61（1958）。
- 8) 渡辺 章：土の乾燥がアカシヤモリシマのタネの発芽およびマキツケ苗の生育に及びす影響。東大演報 55, 161-169（1959）。

- 9) 門田正他: クロマツの蒸散量に就いて. 東大立研報 **4**, 41-48 (1950).
- 10) 山岡義人: 森林の全通気量測定の研究 (その 5). 通気率測定の意味, 林試報 **91**, 49-76 (1956).
- 11) WALTER, H.: Die Hydratur der Pflanzen. Jena (1931).
- 12) HANSEN, H.C.: The water retaining power of the soil. J. Ecol. **14**, 111-119 (1926).
- 13) 長谷川新, 中川恭二郎: 土壤水分張力の測定, 農業及園芸 **32**, 1441-1446 (1957).
- 14) RICHARD, L.A. and WEAVER, L.A.: Moisture retention by some irrigated soils as related to soil-moisture tension. Jour. Agr. Res., **69**, 215-235 (1944).
- 15) 真下育久: 森林土壤の水湿状態 (PF 価). 林野土壤調査報告, 第 8 号 41-66 (1957).
- 16) 岡崎文彬, 柴田信男, 和田茂彦: 稚樹の耐乾性に関する研究 (第 III 報). 日林講 **64**, 179-180 (1955).
- 17) 岡崎文彬: スギの水分生理 (佐藤弥太郎編). スギの研究 326-337 (1950).
- 18) 畠山伊佐男: 植物水分経済の研究 (第 1 報). 特に耐乾性に就いて, 生理生態 **1**, 15-30 (1947).
- 21) 芝本武夫: スギ及びヒノキ苗木の生長と土壤水分に関する研究. 育苗研究会記録 (日林東北支部) 1-22 (1951).
- 22) 岡崎文彬: 土壤水分がスギ及びヒノキの稚苗の育成ならびに体内水分生理に及ぼす影響. 日林誌 **33**, 323-325 (1951).
- 23) WADLEIGH, C.H. and AYERS, A.D.: Growth and biochemical composition of beat plant as conditioned by soil moisture and salt concentration. Plant Physiol. **20**, 106-132 (1945).
- 24) DAUBENMIRE, R.F. and CHARTER, H.E.: Behavior of woody desert legumes at the wilting percentage of the soil. Bot. Gaz. **103**, 762-770 (1942).
- 25) VEIHMAYER, F.J. and HENDRICKSON, A.H.: Soil moisture in relation to plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol. **1**, 285-304 (1950).
- 26) WADLEIGH, C.H.: The integrated soil moisture stress upon a root system in a large container of saline soil. Soil Sci. **61**, 225-239 (1946).
- 27) WADLEIGH, C.H. and GAUCH, H.G.: Rate of leaf elongation as affected by the intensity of total soil moisture stress. Plant Physiol. **23**: 485-495 (1948).
- 28) 根岸賢一郎, 佐藤大七郎: 土のカワキがアカマツのナエの同化, 蒸散, 貯蔵炭水化物, 生長にあたる影響. 日林誌 **36**, 66-71 (1954).
- 29) 森川均一: 赤松及黒松茂条ノ伸長生長ト肥大生長トノ関係ニ就テノ概説. 林学会誌 **15**, 48-52 (1926).
- 30) KOZLOWSKI, T.T.: Tree growth, action and interaction of soil and other factors. Jour. Forestry **53**, 508-512 (1955).
- 31) 佐多一至: 苗木の上長生長と気象との関係に就て. 林学会誌 **10**, 598-618 (1900).
- 32) VASSILIEV, I.M. and VASSILIEV, M.G.: Change in carbohydrate content of wheat plants during the process of hardening for drought resistance. Plant Physiol. **11**, 115-125 (1936).
- 33) 稲田勝美: 旱魃が生理作用に及ぼす影響. 農及園 **28**, 1486-1491 (1953).
- 34) 和田茂彦: 土壤の乾燥がスギ稚苗の炭水化物含量に及ぼす影響. 日林講 **65**, 192-193 (1956).
- 35) CANNELL, G.H., BINGHAM, F.T. and GARBER, M.J.: Effect of irrigation and phosphorus on vegetative growth and nutrient composition of Tomato leaves. Soil Sci. **89**, 53-60 (1960).
- 36) 芝本武夫: スギ, ヒノキ, アカマツの栄養並びに森林土壤の肥沃度に関する研究. (1952).
- 37) 宮崎 楠, 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. 林試研報 No. 88, 21-36 (1956).
- 38) TOTSUKA, T. and MONSI, M.: Effect of water economy on plant growth I. Influence of water level lowering on the growth of water-cultured tobacco plants. Bot Mag. Tokyo **72**, 367-374 (1959).

Résumé

In the nursery practice of Sugi seedlings (*Cryptomeria japonica*), the overgrowth of the seedlings in autumn is one of the most important problems. Generally speaking, it is induced characteristically under such climatic conditions as dry summer followed by warm and humid autumn.

The effect of soil moisture deficiency in summer on the growth of seedlings was studied under green house conditions, related to the overgrowth in the autumn.

Experiment 1. Water content, osmotic value and transpiration of the seedlings which were subjected to various degrees of soil dryness in containers were determined simultaneously.

With decreasing soil moisture content (Fig. 1), transpiration was influenced first, that is, the rate of transpiration began to diminish suddenly when the soil moisture lowered just below 30 per cent (1.5 atm. in soil moisture tension) and then showed a nearly constant value when the soil moisture decreased to and below 14.5 per cent (15 atm. in soil moisture tension). The water content and osmotic value were not affected by the soil moisture content until it came closely to 20 per cent (8.5 atm. in soil moisture tension). However, the water content of leaves began to diminish suddenly beyond this point, and almost simultaneously the osmotic value began to increase. On the other hand, the solute ratio calculated from water content and osmotic value increased gradually with the decrease of soil moisture content, and began to decrease suddenly when the soil dried beyond 14.5 per cent (15 atm. in soil moisture tension) (Fig. 2).

Experiment 2. The response of growth, such as the height, diameter, and weight of tops and roots, to the soil dryness in summer was pursued in relation to their internal reactions such as accumulation of carbohydrate, total nitrogen content, water content and osmotic value.

Soil moisture in containers was regulated by modifying its lower limit, soil was allowed to dry out to various limits and when it was reached water was supplied again to a little above the field capacity (Fig. 3). These water regulations were carried out between the beginning of July and the end of August, and after then they were kept well watered.

The growth of seedlings was inhibited in proportion to the lower limit of the soil moisture (Table 3~6, Fig. 4, 5). It was affected by a slight decrease of soil moisture below the field capacity, and these effects increased with increasing soil moisture deficiency. But these decline of growth in summer were conspicuously recovered under the adequate soil moisture conditions in autumn (Table 3~6). Especially, the height of the seedlings grown under the severe soil dryness in summer became rather larger in autumn than that of the seedlings under the well watered conditions around field capacity, because the severer the dryness of soil

in summer, the larger the increment of height in autumn was. However, these decline in diameter and weight of seedlings in summer could not be recovered enough in autumn. Therefore the height-weight ratio, which is considered to be useful as the indicator of the overgrowth of seedlings, showed the smaller value in autumn in the seedlings grown under the severe soil dryness (Table 7).

Carbohydrate reserve showed no difference in late summer immediately after the regulation of watering was stopped, but the accumulation of starch in the seedlings grown under the severe soil dryness showed slightly lesser value in autumn (Table 10). Furthermore, no depression of nitrogen content was detected in the late summer, though it was slightly higher only in seedlings subjected to the most severe dryness of soil that was allowed to dry out to the permanent wilting percentage. However, as the absorption of nitrogen was depressed by the drying of soil in proportion to the decrease of dry weight of seedlings, the absorption increased relatively in autumn by the seedlings (Fig. 6).

From the above findings, it may be said that the overgrowth of Sugi seedlings was induced by the relatively luxurious absorption of nitrogen in autumn. Then, it seems that the carbohydrate-nitrogen ratio and osmotic value were useful as the indicator of hardling of seedlings in autumn.