

埼玉県におけるスギ衰退に関する研究 (第3報)

松本 利恵 小川 和雄

要 旨

スギ苗を約3か月間水耕法で栽培し、培養液の肥料濃度、pH、Al濃度、通気の有無の影響を検討した。

pH2処理区と無通気区においては枯死等の可視被害がみられた。肥料濃度はスギ苗の生長や光合成および蒸散速度に有意に影響し、pH3処理区では蒸散速度に有意な影響がみられた。

Al濃度の影響については統計的有意差は認められなかったが、各処理区の平均値には差がみられ、より長期の栽培では影響が顕在化する可能性が示唆された。

1 はじめに

埼玉県においては、「関東地方のスギ枯れ」^{1) 2)}といわれるスギ平地林の衰退が進行しており、その原因究明が急がれている。

土壤酸性化とそれともなう栄養塩類の溶脱や有害イオンの溶出は、樹木衰退の原因として有力な説の一つとなっている。特に土壤酸性化により溶出するイオンの中でもAlは、好酸性あるいは耐酸性植物を除いて、その植物に対する毒性が重要視され、酸性障害の一因とみなされている³⁾。

前報⁴⁾で報告したとおり、土壤酸性化が単独で現在のスギ衰退の原因となっているとは考えられなかった

が、将来的な影響については否定できない。そこで、土壤酸性化のスギへの影響を調べるために、スギ苗を水耕法で栽培し、培養液の肥料やpH、Al濃度、通気の有無による影響について試験を行った。本報ではその結果について報告する。

2 調査方法

2・1 培養液の処理区分

肥料濃度、pH、Al濃度、通気の有無の影響について、表1に示した16区について試験を行った。

培養液は、齊藤⁵⁾の長期水耕栽培用培養液に近い分量となる大塚ハウス水耕液のA処方の1/5量を全

表1 水耕試験の処理区分

通気	Al濃度 (ppm)	肥量全量区			肥量半量区		
		水道水	pH3	pH2	水道水	pH3	pH2
有	0	○	○	○	○	○	○
	20	○	○	—	○	○	—
	60	○	○	—	○	○	—
無	20	○	○	—	—	—	—

pHはHClで、Al濃度は塩化アルミニウムで調整した。

表2 水耕液の肥料成分濃度

成分 (mg/l)	全量区	半量区
T-N	52.0	26.0
NH ₄ -N	4.6	2.3
NO ₃ -N	44.6	22.3
P ₂ O ₄	24.0	12.0
K ₂ O	72.0	36.0
CaO	46.0	23.0
MgO	15.0	7.5
MnO	0.30	0.15
B ₂ O ₃	0.30	0.15
Fe	0.54	0.27

量区, 1/10量を半量区とした。肥料成分濃度は表2のとおりである。

培養液のpHは, 水道水を対照として, 肥料効果の少ないHClを用いてpH2, pH3に調整した。

Al濃度は塩化アルミニウムを添加して, 0 ppm, 20ppm, 60ppmに調整した。

また, 無通気区を設けて, 通気の影響についても試験した。

2・2 栽培方法

2年生の実生苗約200本をあらかじめ培養液で40日間栽培し, 根を水耕用のものに更新させた。その中から比較的大きさのそろった苗を選んで, 1/5000aのポットに2本ずつ移し, 各処理区分6本ずつ, 裾を解放したビニールハウス内で栽培した。

栽培期間は, 1991年7月23日から同年11月6日までで, 原則として週1回培養液を交換し, 無通気区を除いてエアポンプを用いて通気を行った。夏期においては, ハウス内部の温度が上昇しすぎないようによじずで覆い直射日光を避けた。

2・3 調査項目

栽培期間中, スギ苗の可視被害について観察をおこなった。試験開始時と終了時に生重量, 体積(地上部, 地下部), 苗長(地上部)を, 加えて終了時には光合成および蒸散速度についても測定した。光合成, 蒸散速度は2年生葉について, 条件をそろえるために人工光を用いて携帯型光合成蒸散測定装置(LI-6200)で測定し, 葉の乾燥重量1g当たりの速度として示した。

2・4 データ処理

全体的に各処理区内の個体差がかなり大きかったため, 可視被害の観察以外は, 初期値や生長状態, 光合成量などどれかに著しくかけ離れた値を持つ苗を除き, 各処理区4株ずつとして以後の検討を行った。

生重量などの生長量は, 生長倍率(終了時の測定値/開始時の測定値)として表した。

3 結果

3・1 可視被害

pH2処理区(Al 0ppm)は肥量全量区, 半量区ともに地上部は1週間で下位葉が褐色となり, 以後下位葉から枯れ上がり20日間で全株が乾燥状態で枯死した。地下部は, 水道水処理区, pH3処理区の水耕用の根は白く張りがあるのに対して, pH2処理区のもの1週間で腐ったような状態となった。

無通気のpH3処理区(Al 20ppm)では, 20日目で下位葉が枯れはじめ, 1か月で6株中5株が枯死した。無通気の水道水処理区では, 試験終了時に1株を除きマイナス生長となった。

その他の処理区においては, 可視被害はみられなかった。

3・2 生重量に及ぼす影響

図1にAl濃度と各処理区の生重量の平均生長倍率の関係を示した。生重量は, 肥量全量のpH3処理区の生長倍率が最も大きく, 次いで肥量全量の水道水区和肥料半量の水道水区がほぼ同様の値となり, 肥料半

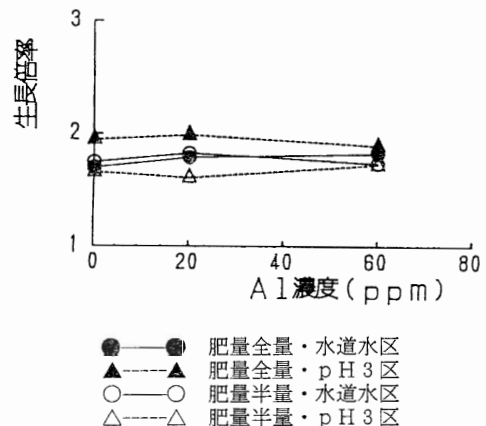


図1 Al濃度と各処理区の生重量の平均生長倍率の関係

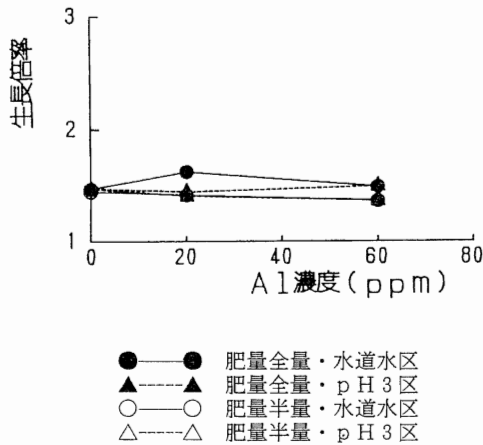


図2 Al濃度と各処理区の苗長の平均生長倍率の関係

量のpH3処理区が最も小さかった。Al濃度の影響は各処理区ともほとんどみられなかった。

各処理区間で2つの母平均の差に関する検定を行ったところ、1%有意水準で有意差を示すものではなかった。

3・3 苗長に及ぼす影響

図2にAl濃度と各処理区の苗長の平均生長倍率の関係を示した。苗長の生長倍率は、各処理区間で大きな違いはみられず、Al濃度の影響もみられなかった。

各処理区間で2つの母平均の差に関する検定を行ったところ、1%有意水準で有意差を示すものはなかった。

3・4 体積に及ぼす影響

図3にAl濃度と各処理区の体積の平均生長倍率の関係を示した。

地上部体積の生長倍率は肥料全量区が半量区より大きく、肥量全量区においてはAl濃度の増加にしたがって低下した。このAlによる低下傾向は、わずかではあるがpH3処理区が水道水区を上回った。

地下部体積の生長倍率は、肥料全量の水道水区が最も大きく、Al濃度の増加により低下した。他の処理区は肥料全量の水道水区と比べて低い生長倍率で推移しAl濃度の影響も小さかった。全体的にみると肥量半量区が全量区より、pH3処理区が水道水区より小さくなる傾向がみられた。

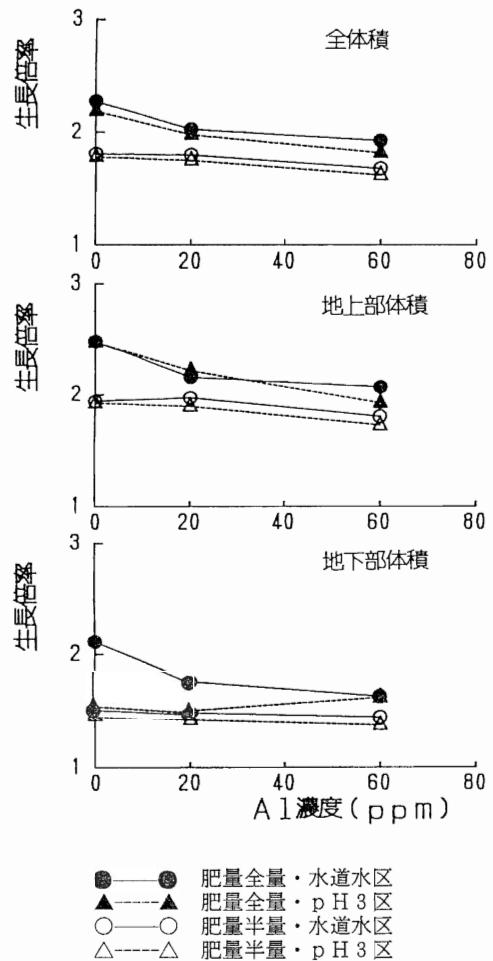


図3 Al濃度と各処理区の体積の平均生長倍率の関係

全体積の生長倍率は、地上部体積と類似の傾向を示した。

図4に体積増加量の地上部(T)と地下部(R)の比(R/T)を示した。一般的には乾重量によるT/R比が用いられるが、開始時の乾重量が量れず、地下部の増加が無いサンプルが存在するため体積のR/T比を求めた。その結果、pH3処理区の方が水道水区より若干低くなる傾向がみられた。

しかし各処理区間で2つの母平均の差に関する検定を行った結果では、全体積、地上部体積、地下部体積、増加体積のR/T比のすべてにおいて1%有意水準で有意差を示すものではなかった。

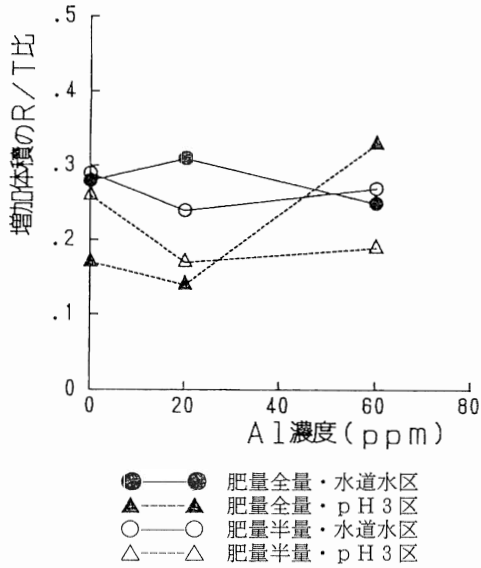


図4 Al濃度と各処理区の増加体積の平均R/T比の関係

3・5 光合成に及ぼす影響

図5にAl濃度と各処理区の試験終了時における平均光合成速度の関係を示した。光合成速度は、肥料半量区より全量区が高く、肥料全量区ではpH3処理区より水道水区が高くなった。Al濃度の影響はほとんどみられなかった。

各処理区間で2つの母平均の差に関する検定を行ったところ、「肥量全量・水道水・Al 20ppm処理区」と「肥量半量・pH3・Al 20ppm処理区」の間で1%有意水準で有意差がみられた。

3・6 蒸散速度に及ぼす影響

図6にAl濃度と各処理区の試験終了時における平均飽和蒸散速度（以下、蒸散速度という）の関係を示した。蒸散速度は、肥料半量区より全量区、pH3処理区より水道水区が高くなった。pH3処理区ではAl濃度60ppmで低下する傾向がみられた。

各処理区間で2つの母平均の差に関する検定を行ったところ「肥量半量・pH3・Al 20ppm処理区」が「肥量全量・水道水・Al 0ppmおよび20ppm処理区」と「肥量全量・pH3・Al 20ppm処理区」の間に、「肥量半量・pH3・Al 60ppm処理区」が「肥量全量・水道水・Al 0ppmおよび20ppm処理区」との間にそれぞれ1%有意水準で有意差を示した。

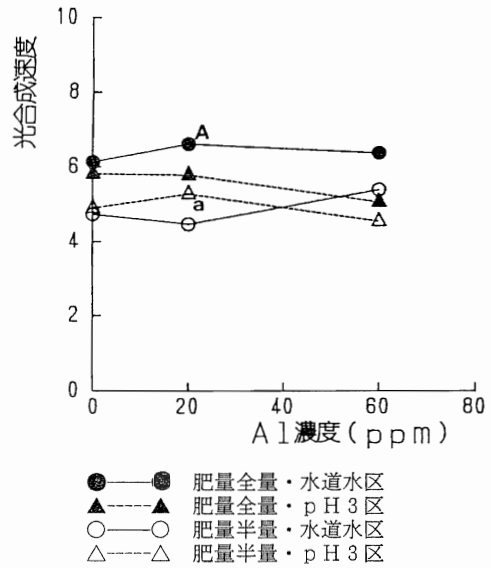


図5 Al濃度と各処理区の試験終了時の平均光合成速度の関係
光合成速度：mgCO₂/g乾量/h
A - a：2つの母平均の差の検定で1%有意水準で有意差のある処理区

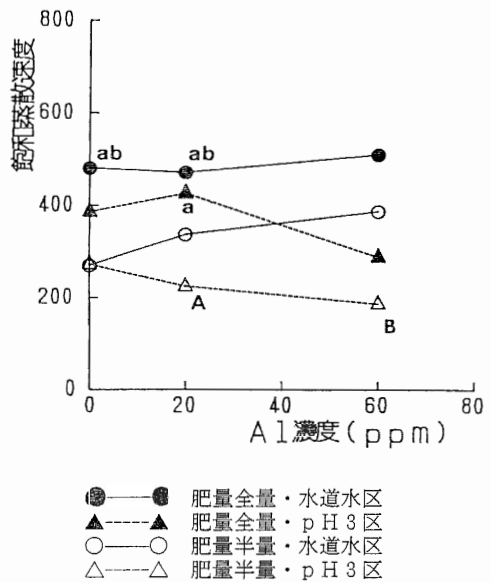


図6 Al濃度と各処理区の試験終了時の平均飽和蒸散速度の関係
飽和蒸散速度：mgH₂O/g乾量/h
A - a, B - b：2つの母平均の差の検定で1%有意水準で有意差のある処理区

表3 三元配置の分散分析結果

	A	B	C	A × B	B × C	A × C	A × B × C
成長倍率							
生重量	*			*			
苗長				**			
全体積	**						
地上部体積	*						
地下部体積							
光合成速度	**						
蒸散速度	**	**					

要因 A：肥料濃度（全量，半量） **：1%有意水準で有意
 B：pH（水道水，pH3） *：5%有意水準で有意
 C：Al濃度（0，20，60ppm）

3・7 三元配置の分散分析

表3に繰り返しのある三元配置の分散分析（n=4）を行った結果を示す。その結果、今回の水耕試験では肥料濃度の影響が最もよく現われた。培養液のpHは蒸散速度に影響を与えたが、Al濃度の有意な影響は認められなかった。

4 考 察

無通気区で枯死等の可視被害やマイナス生長が生じたことから、踏圧などによる土壌堅密化も土壌中の空気を減少させるためスギに悪影響を与えることが示唆された。なかでもpH3処理区の方が水道水区よりも被害の程度が大きかったことから、その影響は土壌酸性化により拡大する可能性が示された。

スギ苗への生長影響については同一処理区内でも個体差が大きかったので、ここで各要因の影響を結論づけるのは難しいが、各処理区の平均値等から大まかな傾向を探ってみた。

肥料濃度の影響は、生長倍率、光合成速度、蒸散速度のほとんどにみられ、分散分析で統計的な有意差も示された。スギ苗の生育には本試験の全量区程度の養分が必要と考えられた。したがって、今後、土壌中の栄養塩類とスギ衰退の関係についてもフィールド調査が必要である。

培養液のpHがスギ苗に及ぼす影響については、塘⁶⁾はpH4-pH5でスギの生長が最高になったと報告しており、八木ら⁷⁾はスギの2年間の平均樹高成長率は、pH3.5では硝酸の肥量効果で対照区を上回った

が、pH4.5および4.0で対照区より低くなり、pH2.5では枯死したと報告している。

本試験でも、pH2処理区では短期間で枯死等の明らかな可視被害が観察された。しかし、pH2処理区の下位葉から枯れ上がる現象は、寺社スギ林などで多く観察される「先枯れ」の状態のスギとは異なっている。さらに前報の寺社スギ林の調査で、土壌pH（H₂O）は最低でも4程度であり、pH2処理区の枯死等の可視被害は、現在進行しているスギの衰退とは異なる症状と思われる。

pH3処理区では蒸散速度に対して分散分析で有意な影響が示された。また、統計的な有意差は示されなかったが、各処理区の体積の平均成長倍率はpH3処理区の方が水道水区より全体的に低い傾向がみられた。特に、他の要因の影響がない状態（肥料全量・Al 0ppm）で比較すると水道水区とpH3処理区の地下部体積の平均成長倍率の差が大きいことや、R/T比がpH3処理区で低くなる傾向がみられたことなどから、より長期の試験では、pH3で根の生育に有意な影響を及ぼす可能性があるかと推察された。

培養液のAl濃度がスギ苗に及ぼす影響については、塘⁶⁾は、pH5.2のとき、Al 15ppmでは外見的影響はほとんど認められず、30ppmで有害作用が認められたと報告している。八木ら⁷⁾は、スギの2年間の平均樹高成長率は、pH4.5のとき、Al 20ppmでは対照区より高くなり、30ppm以上になると低下したと報告している。三宅ら⁸⁾は、pH4のとき、スギの地上部の生重量が30ppmのAl処理で有意に低下したと報告している。

本試験においては統計的有意差は示されなかったが、肥料全量のときは水道水区、pH 3 処理区ともに地上部体積の平均生長倍率がAl濃度の増加にしたがって低下し、20ppmでも低下する傾向がみられた。苗長の平均生長倍率についてはAl濃度による影響はほとんど認められなかったので、Alは苗の伸長生長よりも枝葉の体積増加に対して負の影響をあたえるものと推察された。

これらのことから、栄養条件等によっても異なるが、スギ苗は水耕栽培では、培養液がpH 4 - pH 3、Al濃度20 - 30ppm程度を境に生長影響を受けるものと推察された。

水耕栽培の培養液と実際の土壌とは単純には比較できないが、寺社スギ林の土壌調査では、最も酸性化していた土壌のpH (H₂O) は4程度であり、風乾土の(1 : 5)水抽出液のAl濃度は4 ppm程度であった。さらにスギ衰退と土壌pH (H₂O) やAl濃度との間に有意な関係はみいだせなかった⁴⁾ことから、現在の土壌は単独でスギの生育に短期間に影響を与えるものではないと考えられた。

しかし、培養液のpH 3 処理やAl添加の影響は、今回は試験期間が3か月程度と短かったため各処理区間の差が小さかったが、さらに長期間試験を行えば影響が明らかになる可能性が示唆された。野外土壌ではpH (H₂O) が4程度でAlの溶出が起こっており、今後、酸性雨が長期的に降り続くことによって慢性的な影響がでることが危惧される。

また、無通気の時pH 3 処理区の方が被害が大きかった様に、野外では踏圧など他の要因も加わって影響が拡大する可能性についても否定できない。

5 まとめ

スギ苗を用いた水耕試験で培養液の肥料濃度、pH (水道水、pH 3、pH 2)、Al濃度(0、20、60ppm)、通気の有無の影響を調査した。

pH 2 処理区と無通気区において枯死等の可視被害がみられた。無通気区ではpH 3 処理区の方が水道水

区より被害が大きかった。他の処理区では可視被害はみられなかった。

肥料半量区は全量区より、スギ苗の生長倍率や試験終了等の光合成速度、蒸散速度が有意に低下した。

pH 3 処理区では、試験終了時の蒸散速度に有意な影響がみられた。また、統計的有意差は認められなかったが、pH 3 処理区の方が水道水区よりも地下部体積の平均生長倍率が低くなる傾向がみられた。

Al濃度の影響は、生長倍率や光合成および蒸散速度に対して統計的有意差は認められなかったが、Al濃度が増加すると地上部体積の平均生長倍率が低下する傾向がみられた。

文 献

- 1) K.Sekiguti et al. : Dieback of Cryptomeria Japonica and distribution of acid deposition and oxidant in Kanto District of Jpan, Environ. Technol. Lett. . 7, 263-268, 1986.
- 2) 高橋啓二ら : 関東地方におけるスギ衰退と酸性降下物による可能性, 森林立地, 28, 11-17, 1986.
- 3) 高井康雄ら編 : 植物栄養・土壌肥量大辞典, 養賢堂
- 4) 松本利恵・小川和雄 : 埼玉県におけるスギの衰退に関する研究 (第2報), 埼玉県公害センター研究報告, [20], 1-6, 1993.
- 5) 斎藤勝郎 : スギの長期水耕試験, 林試研報, [296], 1-9, 1977
- 6) 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, 林試研報, [137], 1-158, 1962.
- 7) 八木久義ら : スギに対する酸性雨の影響, 文部省「人間環境系」研究報告集G028-N11-01, 137-149, 1990.
- 8) 三宅博ら : 水耕栽培におけるスギ苗の生長に対するアルミニウムの影響, 人間と環境, 17(1), 10-16, 1991.