

# 機能性木炭の生産・利用の検討と木酢液の品質安定化に関する試験

高木茂・大矢信次郎\*・小坂信行・松瀬収司\*\*

木炭の物性や機能性について次のような結果が得られた。①木炭の吸着試験により炭化温度800~1000℃付近で吸着能が最も高くなった。②木炭がVOC除去に高い効果を発揮した。③木炭は高湿度環境下ほど吸放湿速度が早かった。④木炭の水質浄化能は樹種や炭化温度により相違があった。⑤木炭からは水質に影響を与える物質が滲出していた。⑥木炭を野外に長期間敷設した場合の保水量は粒度が大きいかうが高かった。⑦木炭を添加した土壌で植物栽培と行うと、添加量や土壌条件により植物成長に差が見られた。

木酢液について試験を行ったところ次のような結果が得られた。①採取条件により成分量等に相違があった。②木酢液に発芽抑制効果が見られた。③木酢液に植物成長抑制効果が見られた。

キーワード：細孔特性、VOC吸着、水質浄化、植物成長、成分分析

## 目次

- 1 緒言
- 2 炭化温度の異なる木炭の気相及び液相吸着試験
- 3 木炭による揮発性有機化合物(VOC)の吸着の検討
- 4 木炭の動的及び静的吸放湿試験
- 5 樹種や炭化温度の異なる木炭の水質浄化機能の検討
- 6 木炭からの滲出物が水質に及ぼす影響
- 7 野外に敷設した木炭の保水状況調査
- 8 土壌に添加した木炭が植物成長に及ぼす影響
- 9 採取温度の異なる木酢液の成分分析
- 10 採取条件や樹種が異なる木酢液が植物の発芽に及ぼす影響
- 11 木酢液の土壌灌水が植物成長に及ぼす影響
- 12 木酢液の葉面散布が植物成長に及ぼす影響
- 13 結語
- 14 謝辞

## 1 緒言

木炭は近年、燃料としての価値が再評価されるとともに、土壌改良や消臭、調湿など、その機能性を活かして様々な用途が拡大してきた。

一方、木炭の副産物である木酢液についても、殺菌、植物活性、消臭等への利用が普及しつつある。しかしながら、こうした木炭及び木酢液の利用開発が拡大する中で、その機能性を裏付ける試験例がまだまだ少なく、必ずしも最適な効果が発揮されているとは言えない状況にある。

また、木酢液は採取時の様々な要因によって品質が異なる特質を持つ。

本試験では、こうした新用途に最適な性能を発揮する木炭の生産と利用を検討するとともに、木酢液の品質安定化に資するためにその成分分析を行った。また木酢液の生物活性について若干の検討を行った。

## 2 炭化温度の異なる木炭の気相及び液相吸着試験

### 2.1 試験の目的

木炭や活性炭が持つ吸着性能は比表面積の違いなどによって差があることが知られている。ここでは、より効果的な吸着性能を持つ木炭を得るための基礎データとして、木炭の炭化温度が比表面積や細孔容積等の物性に及ぼす影響について気相及び液相吸着試験を行い検討した。

### 2.2 試験の方法

#### 2.2.1 木炭の製造と調整

##### (1) 気相吸着試験に供した木炭

①コナラ材とクヌギ材を約150×30×5mmの木片に調整して風乾させた。これら木片を、温度制御が可能な小型電気炭化炉(C-10サーマル社製)を用いて、それぞれ最高温度300・400・600・800・1000℃で木炭を製造した。これらの木炭を粉碎して、5~10meshに調整した。

②建築廃材チップを原料とした市販調湿炭を粒度

\*元長野県林業総合センター特産部技師

\*\*元長野県林業総合センター特産部長

を大(3~5mesh)中(5~10mesh)小(10~30mesh)の3種類に調整した。また、3種類とも調整した一部について、炭酸ガス雰囲気下にて900℃で10分間賦活した<sup>1)</sup>。

③長野県産白炭 ④紀州備長炭 ⑤活性炭

⑥上記①の炭化炉を用いて最高温度1000℃で炭化したスギ葉炭化物

以上①~⑥の各試料を試験に供した。

## (2) 液相吸着試験に供した木炭

①カラマツ材を約150×30×5mmの木片に調整して風乾させた。これら木片を電圧制御可能な電気るつぼ炉(FKC-10型 星和理工(株)製)で木炭を製造した。炭化条件は昇温速度約5℃/min、最高温度は100℃おきに300~1100℃の9段階で、保持時間は1時間とした。こうして製造した木炭をそれぞれ粉碎して、330mesh(45μm)未満の微粉末とした。

②2.2.1(1)の気相吸着試験に供した①の試料をそれぞれ粉碎し330mesh(45μm)未満の微粉末としたもの。

③ロータリーキルン式連続炭化炉で炭化された市販カラマツ炭を粉碎し、330mesh(45μm)未満の微粉末としたもの。

④市販白炭

また比較のため市販の活性炭4種についても試験を行った。

⑤市販活性炭1(ヤシガラ)

⑥市販活性炭2(ヤシガラ)

⑦市販活性炭3(針葉樹)

⑧市販活性炭4(針葉樹)

以上①~⑧の各試料を試験に供した。

## 2.2.2 試験の方法

### (1) 気相吸着試験

前処理として、①~⑥の各試料に対し真空脱気を200℃で約20時間行った。

これらの試料について、BET比表面積及び細孔特性を定容法窒素ガス吸着法にて測定した。測定はユアサイオニクス(株)製のガス吸着測定装置Autosorb1を用いて行った。

### (2) 液相吸着試験

JIS K1474(活性炭試験方法)に準じてヨウ素吸着性能試験を行った。まず、0.05mol/lのヨウ素

溶液に各木炭試料を量を変えて添加し、恒温振とう器で25℃・200rpm/minで振とうし、木炭にヨウ素を吸着させた。次に、十分吸着平衡に達したと考えられる192時間後、木炭を遠心分離し上澄み液中に含まれるヨウ素を0.1mol/lのチオ硫酸ナトリウム溶液で滴定し、ヨウ素残留濃度を求めた。この結果から木炭1g当たりのヨウ素吸着量を求めた。炭化物の物性評価は、BET比表面積、細孔容積、平均細孔直径について検討した<sup>1)</sup>。

また、カラマツ木炭の吸着速度を評価するため、ヨウ素吸着を16時間及び192時間行った時の各吸着等温線から、ヨウ素残留濃度2.5g/lのヨウ素吸着量を求め、比較した。

## 2.3 結果と考察

### 2.3.1 気相吸着試験

結果の一覧を表2-1に示した。小型電気炭化炉で温度別に炭化したコナラ炭の絶乾重量1g当たりのBET比表面積は、最小は400℃の約50m<sup>2</sup>/g、最大は800℃の約480m<sup>2</sup>/gであった。400~800℃までは炭化温度に比例して比表面積が増加したが、1000℃では減少した。全細孔容積・ミクロ孔容積についても800℃までは増加傾向を示し、1000℃では減少した。平均細孔直径は600℃までは縮小傾向であったが、それ以後はやや拡大する傾向であった。これらの傾向はクヌギ炭についても同様に認められた。なお、300℃で炭化した木炭については、コナラ・クヌギとも比表面積等は測定不能であった。この原因は、熱分解で生じた有機物や揮発分が多量に残留していたためと考えられた。

コナラ白炭の比表面積は16m<sup>2</sup>/gであり、小型電気炭化炉で炭化したコナラ黒炭より極端に低かった。同じ白炭の紀州備長炭はさらに低い10m<sup>2</sup>/gであった。

市販調湿炭の比表面積は、賦活前は6~12m<sup>2</sup>/gであったが、賦活処理によって約300m<sup>2</sup>/gとなり、約20~50倍に増加した<sup>2)</sup>。このことから、低温で炭化された木炭であっても賦活処理することで吸着能等の機能性向上が図れると考えられた。

また、スギ葉の炭の比表面積は、約600m<sup>2</sup>/gであり、同温度で炭化したコナラやクヌギの木炭に比べてはるかに高い値を示し、今後の用途開発が期待される。

以上の結果から、木炭を始めとする炭化物の比表面積・細孔容積等は、材料や炭化温度、炭化方法、賦活処理などの影響により大きく異なることが確認された。加えて、比表面積及び細孔容積等は炭化温度が上昇するにつれて増加するが、一定温度以上では減少することが認められた。また、1000℃以上で炭化された白炭の比表面積は、黒炭にくらべ低い値を示した。

これらの結果を総合的に考察すると、炭化温度の上昇に伴って炭化物中のミクロ孔が増加すると同時に、木炭の物理的収縮が起こり細孔が減少するが、800℃までは前者の影響が強く現れ、800～1000℃以上でその関係が逆転し後者の影響が強くなり、結果的には比表面積等が減少すると考えられた。

### 2.3.2 液相吸着試験

ヨウ素吸着等温線(図 2-1) から、カラマツ木炭は炭化温度が高いほど単位重量あたりのヨウ素吸着量が大きいことが認められた。ただし、炭化温度が1100℃では吸着量は減少した。比表面積及びミクロ細孔容積は、300～500℃の範囲では差が無かったが、600℃以上では炭化温度にほぼ比例して増加した(図 2-2, 2-3)。比表面積、ミクロ細孔容積とも1000℃で最大値をとり、1100℃で減少した。平均細孔直径は、炭化温度に反比例して縮小し、

1100℃で最小となった(図 2-4)。また、吸着速度は炭化温度が高いほど速く、600～1000℃では16時間でほぼ吸着平衡に達していた。連続炭化炉で炭化したカラマツ炭は、300～500℃で炭化したカラマツ炭とほぼ同様の物性を示し、比較的低温で炭化されたものと判断された。この連続炭化炉は、800℃以上で炭化する能力を持っているが、今回のカラマツ炭は材料のチップが比較的少量であったため、窯が十分に熱せられる前に炭化が終了し、十分な温度が得られなかったものと考えられた。

コナラ炭の比表面積及び細孔容積は、同温度で炭化されたカラマツ炭よりやや低く、平均細孔直径はやや大きかった。ヨウ素吸着法で得られた比表面積等の値と炭化温度の関係は、窒素ガス吸着法で測定した場合とほぼ同様の傾向を示したが、測定値は必ずしも一致しなかった。また、細孔直径はヨウ素吸着法の方がやや大きい値を示した。これらの相違は、ヨウ素の分子占有面積が窒素より大きいことに起因すると考えられる。

以上の結果から、これまでに吸着能が高いと判断された600～1000℃で炭化したコナラ炭と同等の吸着能をカラマツ炭で得るためには、600℃以上での炭化が必要と考えられた。また、連続炭化炉で炭化されたカラマツ粉炭をVOC吸着などに使用する場合は、より高い温度で炭化することが望ましいと推察された。

表 2-1 比表面積・細孔特性測定結果

	BET比表面積 (m <sup>2</sup> /g)		全細孔容積(ml/g)		平均細孔直径(nm)
	[ミクロ比表面積(m <sup>2</sup> /g)]		[ミクロ細孔容積(ml/g)]		
市販調湿炭・大	12.1	[ 3.4 ]	0.0111	[ 0.0057 ]	3.67
市販調湿炭・中	6.7	[ 0.0 ]	0.0070	[ 0.0031 ]	4.35
市販調湿炭・小	5.9	[ 3.8 ]	0.0065	[ 0.0030 ]	4.46
市販調湿炭・大を賦活	277.2	[ 212.4 ]	0.1666	[ 0.1421 ]	2.40
市販調湿炭・中を賦活	299.4	[ 213.2 ]	0.1849	[ 0.1515 ]	2.47
市販調湿炭・小を賦活	308.3	[ 198.9 ]	0.2088	[ 0.1552 ]	2.71
ナラ白炭	15.8	[ 2.7 ]	0.0103	[ 0.0074 ]	2.60
ナラ400℃	49.5	[ 10.0 ]	0.0365	[ 0.0236 ]	2.95
ナラ600℃	367.1	[ 287.3 ]	0.1978	[ 0.1890 ]	2.16
ナラ800℃	475.2	[ 404.3 ]	0.2683	[ 0.2456 ]	2.26
ナラ1000℃	272.3	[ 191.0 ]	0.1645	[ 0.1401 ]	2.42
クヌギ400℃	84.7	[ 17.9 ]	0.0534	[ 0.0433 ]	2.52
クヌギ600℃	341.5	[ 284.6 ]	0.1877	[ 0.1766 ]	2.20
クヌギ800℃	487.8	[ 374.6 ]	0.2896	[ 0.2482 ]	2.38
クヌギ1000℃	255.4	[ 194.7 ]	0.1559	[ 0.1327 ]	2.44
スギ葉1,000℃	583.1	[ 368.1 ]	0.4249	[ 0.2900 ]	2.92
紀州備長炭	10.2	[ 9.6 ]	0.0032	[ 0.0056 ]	1.25
活性炭	699.8	[ 701.2 ]	0.3899	[ 0.3754 ]	2.23

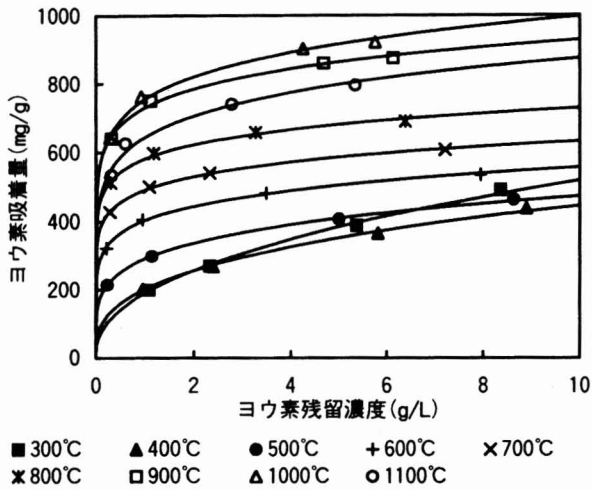


図 2-1 カラマツ木炭のヨウ素吸着等温線

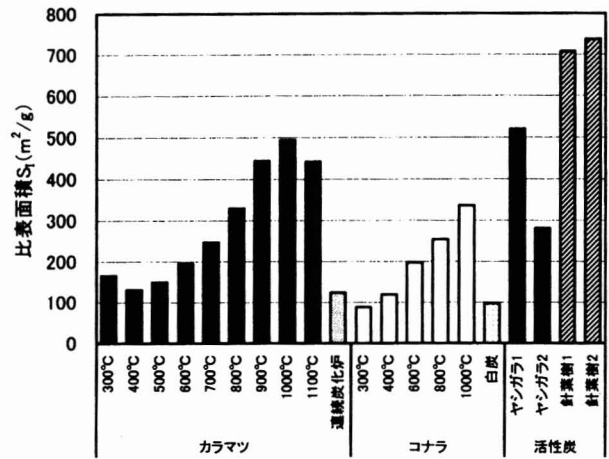


図 2-2 各種炭化物の炭化温度と比表面積の関係

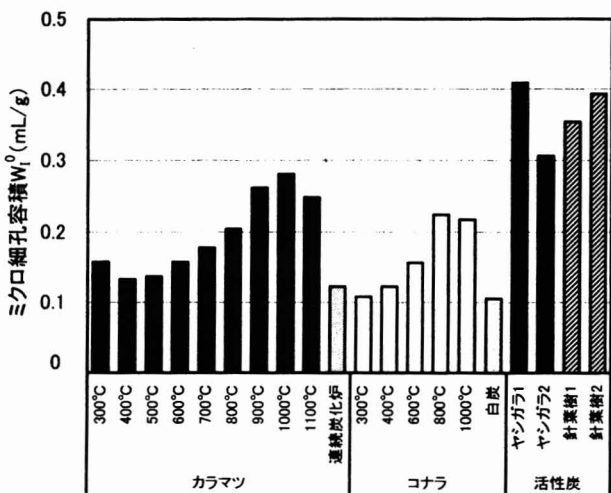


図 2-3 各種炭化物の炭化温度とマイクロ細孔容積の関係

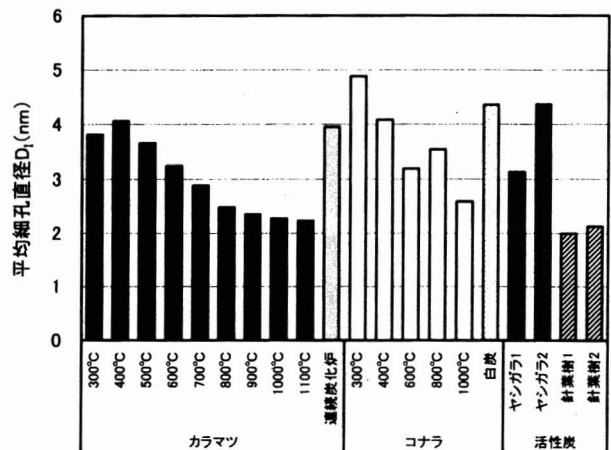


図 2-4 各種炭化物の炭化温度と平均細孔直径の関係

### 3 木炭による揮発性有機化合物(VOC)の吸着の検討

#### 3.1 試験の目的

近年問題となっているシックハウス症候群の原因物質である揮発性有機化合物(VOC)を除去するため、吸着能を持つ木炭の利用が考えられる。そこで、炭化温度など種類の異なる木炭のVOC吸着能について検討した。

#### 3.2 試験の方法

##### 3.2.1 試験に供した木炭

①2.2.1(1)で製造した炭化温度300、400、600、800、1000℃のコナラ黒炭。

②市販コナラ白炭

③市販カラマツ黒炭

これらの試料について粉碎し、①及び③は粒度5~10meshに調整した。②は粉碎して、大(3~5mesh)、中(5~10mesh)、小(10~30mesh)の3種類の粒度に調整した。

なお、各木炭は実験開始前に105℃で3時間乾燥しデシケーター内で冷却した。

##### 3.2.2 吸着対象物質の調整

VOCとしてトルエン、エチルベンゼン、スチレン、*o*-キシレンを使用した。これらの混合液を試験容器内で約80℃で3分間加熱し気化させ、吸着



対象物質とした。

### 3.2.3 試験方法

木炭 1g を入れメリクロンフラスコ底部に均一に敷き詰めて、シリコン栓で密閉し、これにガス化した吸着対象物質(トルエン、エチルベンゼン、スチレン、*o*-キシレン)を各 0.2ppm となるようにガスタイトシリンジで注入した。注入直後及び 5, 10, 30, 60, 120 分後にフラスコ内の VOC 濃度をガスクロマトグラフィ(カラム: DB-5, 0.25mm φ × 30m, 40℃ 恒温)で測定した。フラスコ内の VOC の捕集には、固相マイクロ抽出用ファイバー(液相: 100 μm PDMS, Supelco 製)を使用し、各 3 分間捕集した。なお、測定は 1 試料につき 3 回繰り返して行った。

### 3.3 結果と考察

試験結果を図 3-1~3-8 に示した。使用した各種木炭の VOC 除去能は優れており、実験開始後 120 分で除去率 85% 以上を示す結果となった。各 VOC の除去率の差はわずかではあるが、いずれの木炭においても吸着が最も速い物質はスチレンであり、

最も遅い物質は *o*-キシレンであった。カラマツ炭では、VOC 除去率は 30 分後にほぼ 100% に達していた。コナラ白炭は、大中小のいずれの粒度でも 60 分後までに各吸着対象物質をほぼ 100% 除去できており、また吸着速度は粒度が小さい方が速い傾向を示した。

炭化温度別のコナラ黒炭による VOC の除去速度は、炭化温度が高い木炭ほど速く、800℃ のとき、最も速い結果となった。気相吸着試験の結果(表 2-1) から、コナラ黒炭の BET 比表面積は温度が上昇すると増加し、炭化温度 800℃ で最も高い値を示した。またマイクロ孔は炭化温度 800℃ のとき最も多く分布することも明らかになった。これらの結果から、コナラ黒炭の VOC 吸着能にはマイクロ孔の分布等の細孔特性が大きく影響していると考えられる。

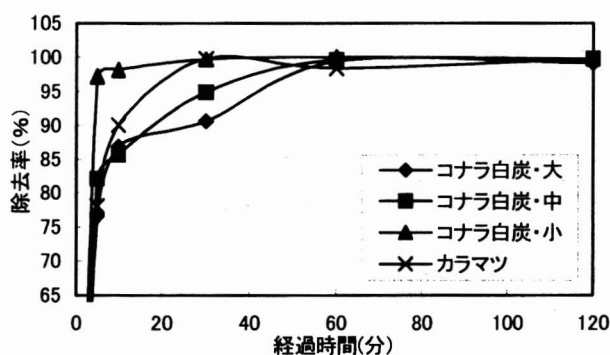


図 3-1 コナラ白炭、カラマツ炭によるトルエン吸着

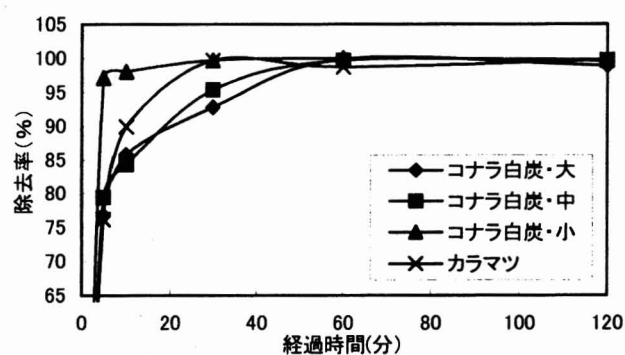


図 3-2 コナラ白炭、カラマツ炭によるエチルベンゼン吸着

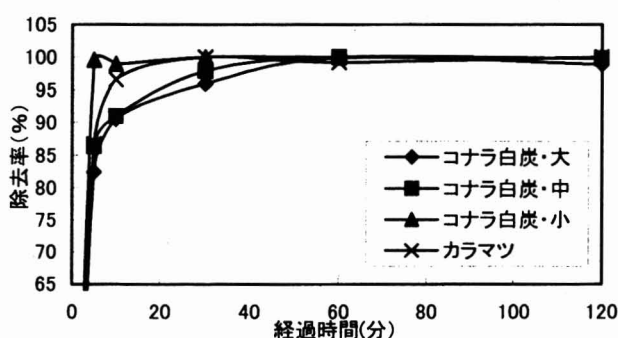


図 3-3 コナラ白炭、カラマツ炭によるスチレン吸着

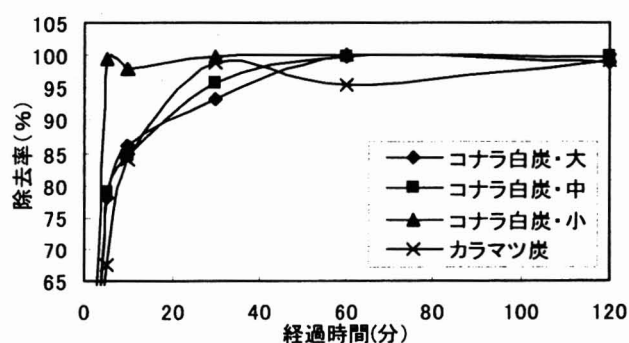


図 3-4 コナラ白炭、カラマツ炭による *o*-キシレン吸着

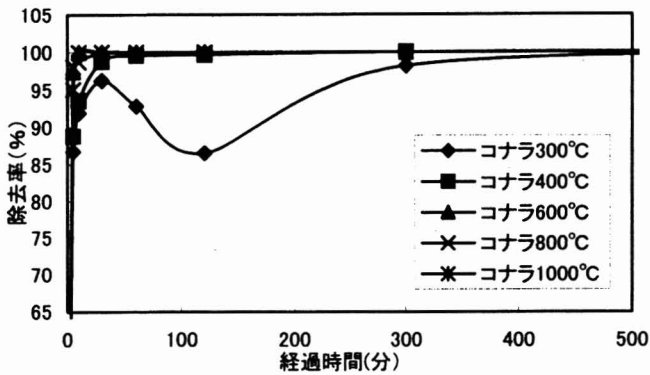


図 3-5 温度別コナラ黒炭によるトルエン吸着

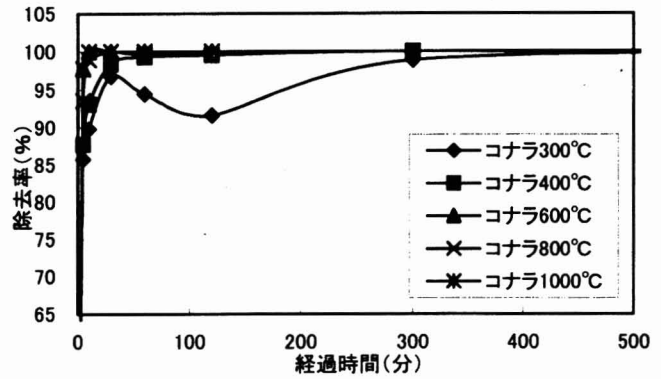


図 3-6 温度別コナラ黒炭によるエチルベンゼン吸着

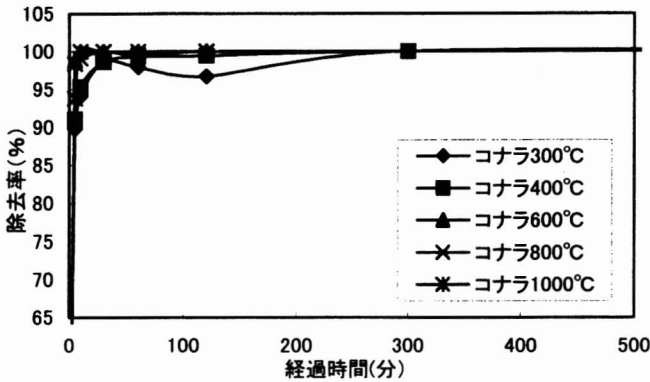


図 3-7 温度別コナラ黒炭によるスチレン吸着

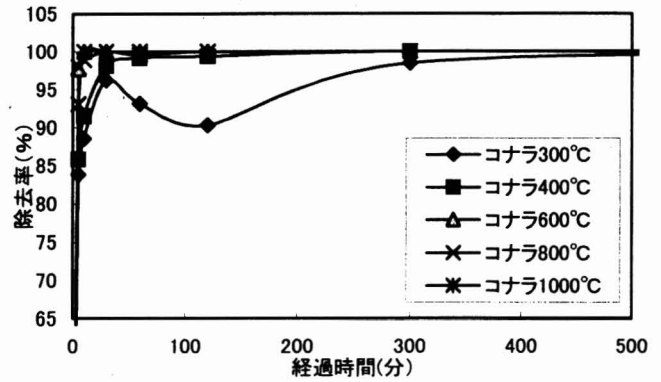


図 3-8 温度別コナラ黒炭によるo-キシレン吸着

#### 4 木炭の動的及び静的吸放湿試験<sup>2)</sup>

##### 4.1 試験の目的

木炭の持つ吸放湿性を活かして床下調湿炭などとして商品化されている。しかしながら木炭の吸放湿性が湿度の変化にどのように反応するかを木炭の種類別に明らかにしたデータは少ない。そこで、各種木炭を用いて、静的及び動的吸放湿特性を調査した。

##### 4.2 試験の方法

###### 4.2.1 試験に供した木炭

市販コナラ白炭及び市販調湿炭を用いた。どちらの木炭についても粉碎後、それぞれ大(3~6mesh)、中(6~10mesh)、小(10~16mesh)の3種類の粒度に調整した。このうち、動的吸放湿試験には市販コナラ白炭及び市販調湿炭を用い、静的吸放湿試験には市販コナラ白炭のみを用いた。

なお、市販調湿炭については粒度の大、中について、炭酸ガス雰囲気下にて900℃で10分間賦活処理したものについても試験に供した。

###### 4.2.2 試験方法

###### (1) 動的吸放湿試験

本試験では、密閉容器内で湿度を周期的に変化させた場合に、木炭の吸放湿がどのように変化していくかを調べた。試験は恒温恒湿装置内で湿度を周期的に変化させ、木炭の重量変化を測定して行った。測定毎に試料約200gを恒温恒湿装置内に設置した電子皿天秤に載せ、ほぼ5分間隔で重量計測した。湿度は相対湿度(RH)65%を始点として振幅RH45~85%の周期24時間の正弦波形を5周期行った。各試料はあらかじめ温度25℃、RH65%の状態に達したものをを用いた。

重量変化の振幅(g)の平均値を、RH65%時の重

量(g)で割ったものを日周期の湿度変動に対応した各試料の調湿能(g/g)とした。また、湿度変動の最大・最小値計 10 点に対する重量変化の最大・最小値の時間差の平均値を、日変動に対する調湿の位相差(min)として評価した。

## (2) 静的吸放湿試験

本試験では、密閉容器内で湿度を一定に保った場合に、木炭の吸放湿がどのように変化していくかを調べた。試験は恒温恒湿装置を用いて行った。

温度を 25℃に固定した恒温装置内にデシケーターを置き、デシケーター内底部に湿度調整のために飽和塩水溶液(K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: 相対湿度(RH)43%、NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>: RH63%、KCl: RH84%)を蒸発皿に満たして設置した。シャーレに各木炭試料を約 20g ずつ入れ、105℃で 3 時間以上乾燥させた後にデシケーター内に置き、RH を 43%、63%、84%、63%、43%の順に変化させた。木炭の重量変化を所定時間ごとに測定し、各湿度条件下における木炭の重量が平衡に達した後に次の湿度条件に移行させた。木炭の重量変化から各湿度条件における吸湿時間と吸湿量を求め、吸放湿特性を評価した。

## 4.3 結果と考察

### 4.3.1 動的吸放湿試験

試験結果を図 4-1 (試験結果の一部) と表 4-1 に示す。市販調湿炭を炭酸ガス下で賦活した場合、気相吸着試験により BET 比表面積が約 20~50 倍に飛躍的に増加することが判明している。このことから、市販調湿炭については、賦活前<sup>3)</sup>に比べ木炭 1g 当たりの調湿能及び吸脱着の速度は高

まると想定したが、試験結果からはほとんど変化は認められなかった。コナラ白炭は、1g 当たりの調湿能は他の木炭と差はないが、吸脱着速度は比較的速く、特に吸着が速い傾向が認められた。

### 4.3.2 静的吸放湿試験

コナラ白炭の静的吸放湿試験の結果を図 4-2 に示す。コナラ白炭の吸湿量は、粒度が小さい方がやや高い程度であり、粒度による大きな差はなかった。各湿度条件下での平衡含水率は、相対湿度(RH)43%で 8.5~8.7%、RH63%で 11.5~11.7%、RH84%で 12.5~12.7%に達した。これらの値は、建築廃材を材料に製造された市販調湿炭<sup>1)</sup>と比較すると約 1.15 倍であり、コナラ白炭の方が調湿性能に優れていると考えられた。吸湿量が平衡に達するまでに要した時間は、RH43%では約 700 時間(29 日間)で非常に長かったが、その後 RH63%に移行させると約 145 時間(6 日間)で平衡に達し、次に RH84%に移行させても約 145 時間で平衡に達した。RH63%から RH84%では、市販調湿炭より吸湿が速かった。また、放湿は RH84%から RH63%への移行で 142 時間、RH63%から 43%への移行で 918 時間(38 日間)を要し、吸湿と同様、高湿度では放湿が速く、低湿度では遅かった。

以上の結果から、コナラ白炭の吸湿性能は市販の調湿炭より優れており、RH84%では 1kg 当たり約 130g の水蒸気を吸着することがわかった。

また、低湿度条件下では吸放湿平衡に達するまでに長時間を要するが、高湿度条件下では比較的早く吸放湿することがわかった。

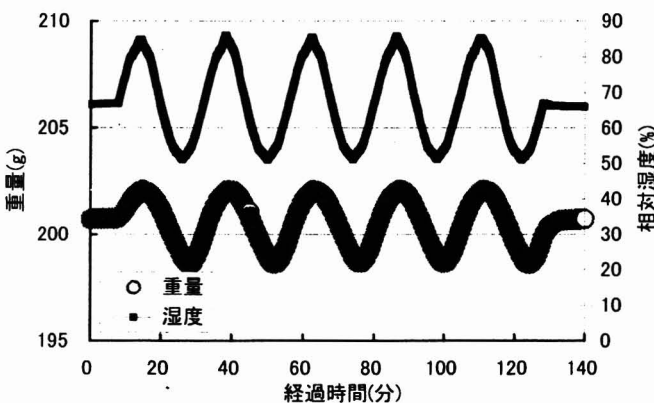


図 4-1 動的吸放湿試験結果例(コナラ白炭：粒度小)

表4-1 動的吸放湿試験結果

	粒径 [mesh]	調湿能 [g/g]	位相の遅れ [min]	
木炭	市販調湿炭 <sup>2)</sup>	3~6	0.015	129
	市販調湿炭を賦活 処理 <sup>1)</sup>	6~10	0.017	128
		10~16	0.018	102
		3~6	0.018	119
	コナラ白炭	6~10	0.017	95
		10~16	0.017	106

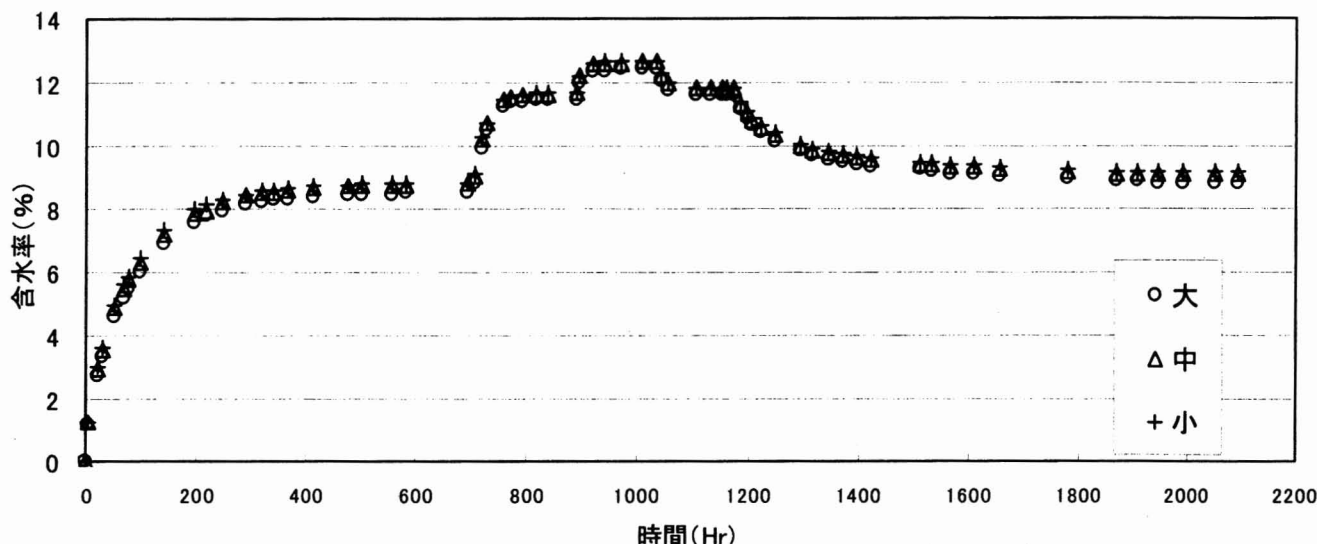


図 4-2 コナラ白炭の静的吸放湿試験結果

## 5 樹種や炭化温度の異なる木炭の水質浄化機能の検討

### 5.1 試験の目的

木炭の水質浄化機能についてはいくつかの報告があるが、樹種や炭化温度の異なる木炭の水質浄化機能の相違についてはほとんど報告がない。そこで環境水を用いて、樹種や炭化温度の異なる木炭による水質浄化試験を行った。

### 5.2 試験の方法

#### 5.2.1 木炭の製造

炭材はコナラ、アカマツ、カラマツを用いた。これら炭材をそれぞれ約 150×30×5mm の木片に調整して風乾させた後、温度制御が可能な小型電気炭化炉 (C-10 サーマル社製) を用いて木炭を製造した。炭化は所定の最高温度に達した後、その温度を 1 時間保持し、その後消火する方法で行った。炭化の最高温度はコナラとアカマツでは 600℃とし、カラマツでは、400、600、800℃の 3 種類とした。こうして製造した木炭を粉碎して、粒度 5~10mesh に調整し、試験に供した。

#### 5.2.2 試験方法

調整した木炭をそれぞれガラス製カラム(カラム長 500mm、内径 22mm)に 25g ずつ詰め、蒸

留水にて洗浄した後、カラム上部から茨城県霞ヶ浦にて採取した湖水(2003,10 月採取、以下「湖水」)400ml を導入し、滴下速度 3ml /min で滴下させた。

なお、水質浄化機能の評価は、同じ木炭層を繰り返し 3 回流下させ、1 回流下後と 3 回流下後に過マンガン酸カリウム酸化法で COD 値を、改良 GR 法で NO<sub>2</sub><sup>-</sup>値、インドフェノール法で NH<sub>4</sub><sup>+</sup>値、モリブデンブルー法で PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>を測定し、流下前の湖水の測定値と比較した。

### 5.3 結果と考察

表 5-1 及び図 5-1~5-8 に結果を示した。COD 除去にはカラマツ炭が、NO<sub>2</sub> 除去にはコナラ炭が優れた効果を示し、木炭の種類によって水質浄化機能に違いが見られた。また、炭化温度の異なるカラマツ炭の結果から、COD、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>値は炭化温度が高い木炭ほど浄化機能が高い傾向にあることがわかった。COD 値について、アカマツ、コナラ及び 400℃のカラマツ炭では湖水より高い値を示しており、木炭から何らかの還元性物質が滲出している可能性が考えられた。また、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>値については、すべて湖水より高い値を示しており、木炭からの滲出が推測された。

これらの結果から、木炭を用いて水質浄化を行う場合には、用いる木炭の樹種や炭化温度を適切に選択することによって、より効果的な水質浄化が期待できると考えられた。

表5-1 霞ヶ浦湖水の木炭処理3回後の容存物質質量(対湖水比率)

木炭種別	アカマツ	コナラ	カラマツ			湖水の測定値	
	炭化温度	600℃	600℃	400℃	600℃		
COD (%)	110.3	175.9	134.6	84.6	38.5	COD (ppm)	2.6
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (%)	55.0	13.6	69.7	60.6	33.3	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0.033
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (%)	0.0	0.0	55.1	0.0	3.3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0.106
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (%)	423.1	2152.9	418.9	132.1	992.5	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	0.421

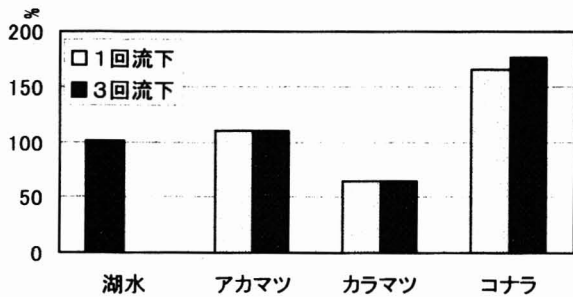


図 5-1 木炭層流下後の樹種別 COD 値変化(対湖水比)

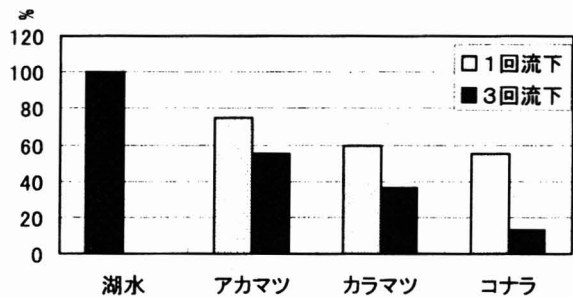


図 5-2 木炭層流下後の樹種別 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>値変化(対湖水比)

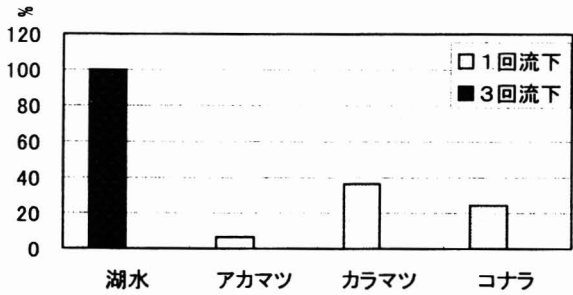


図 5-3 木炭層流下後の樹種別 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>値変化(対湖水比)

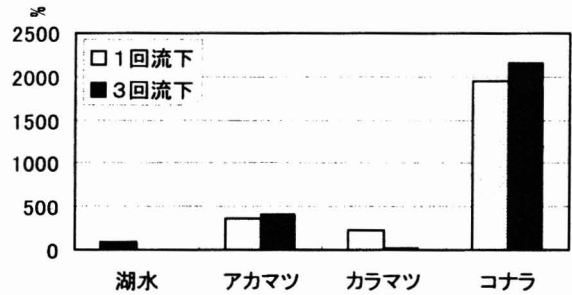


図 5-4 木炭層流下後の樹種別 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>値変化(対湖水比)

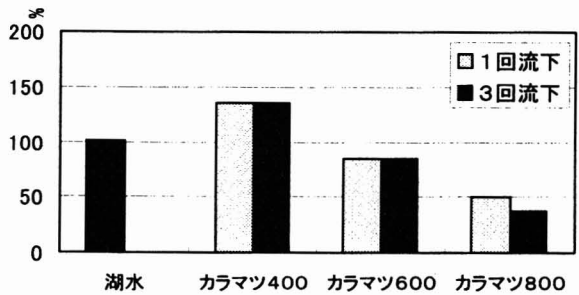


図 5-5 木炭層流下後の温度別 COD 値変化(対湖水比)

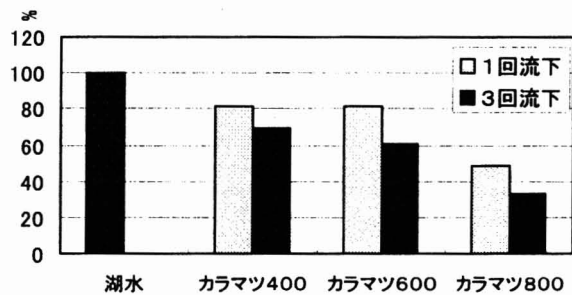


図 5-6 木炭層流下後の温度別 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>値変化(対湖水比)



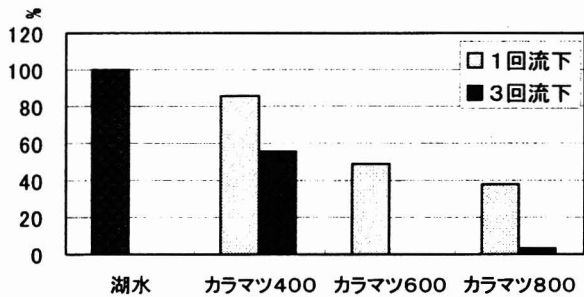


図 5-7 木炭層流下後の温度別 NH4+値変化(対湖水比)

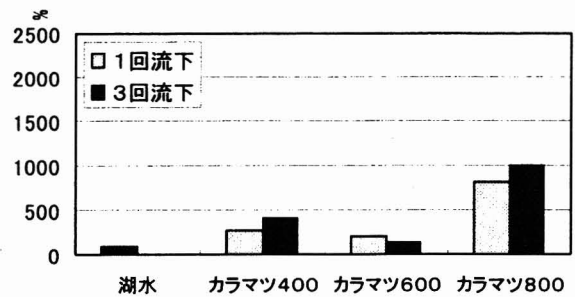


図 5-8 木炭層流下後の温度別 PO4 3-値変化(対湖水比)

## 6 木炭からの滲出物が水質に及ぼす影響

### 6.1 試験の目的

木炭を用いて環境水の水質浄化試験を行ったところ、木炭からは PO4 3- や COD 値に影響を及ぼす滲出物の存在が推測され、これら滲出物は、木炭の樹種や炭化温度によって相違があると考えられた。そこで、一定の流速で木炭層を流下させた水の水質測定を行い、水質に影響を及ぼす木炭からの滲出物の存在を確認するとともに、樹種や炭化温度の異なる木炭での滲出物の量の相違について検討した。

### 6.2 試験の方法

#### 6.2.1 木炭の製造

炭材はカラマツとコナラを使用した。炭材をそれぞれ約 150×30×5mm の木片に調整して風乾させた。これら木片を電圧制御可能な電気るつぼ炉 (FKC-10 型 星和理工(株)製) を用い木炭を製造した。炭化条件は昇温速度約 5℃/min とし、最高温度は 400、600、800℃ の 3 種類とした。各最高温度とも 1 時間保持し消火した。こうして製造した木炭をそれぞれ粉碎後ふるいにかけて粒度 1.7mm ~3.35mm に調整し、試験に供した。

#### 6.2.2 試験方法

調整した木炭をそれぞれガラス製カラム (カラム長 500mm、内径 22mm) に 25g ずつ詰め、上部から水(イオン交換水)を 400ml ずつ、6 回導入し、

それぞれ 3ml /min の速度で滴下させた。滴下した水は各回数ごとにビーカーで回収し、それぞれ水質測定を行った。

水質の評価は、pH は pH 計(ガラス電極型)で測定し、過マンガン酸カリウム酸化法で COD 値を、改良 GR 法で NO2 - 値、インドフェノール法で NH4 + 値、モリブデンブルー法で PO4 3- を測定した。

### 6.3 結果と考察

表 6-1~6-5 及び図 6-1~6-4 に結果を示した。pH については、流下 1 回目では、カラマツ、コナラ炭とも炭化温度が高いほど値は高くなった。COD 値については、カラマツ、コナラ炭とも炭化温度の低いものほど値は高かった。しかしながら、流下回数が増えるに従って COD 値は急速に減少し、カラマツ、コナラ炭とも 400℃炭以外では流下 6 回目では COD 値はゼロとなった。

このことから、木炭に水を流下させた場合、何らかの還元性物質が滲出していることが確認された。また、一定量の水を流下させることにより、これら還元性物質の濃度は速やかに低下していくことがわかった。NO2 - 値については、流下 1 回目ではカラマツでは 600℃炭が、コナラでは 800℃炭で最も高い値を示したが、流下 2 回目では急速に値が減少し、流下 6 回目ではカラマツ、コナラ炭とも値は、0.1mg/l 付近で推移した。PO4 3- 値については、カラマツ、コナラ炭とも炭

化温度が高いものほど値は高かった。また、コナラ炭とカラマツ炭を同一炭化温度ごとに比較すると、それぞれコナラ炭の値がカラマツ炭の2倍以上となり、コナラ炭からはより多くの $\text{PO}_4^{3-}$ が滲出していることがわかった。 $\text{NH}_4^+$ 値については、流下2回目まではわずかに検出されたが、カラマツ、コナラ炭とも流下3回目以降は検出されなかった。

以上の結果から、木炭からは水質に影響を及ぼす物質が滲出していることが確かめられた。また、樹種や炭化温度の相違によって、滲出物の量に差があることが確認された。

木炭を水質浄化に利用する場合、事前に水洗を行うなど水質に影響を与える滲出物のある程度除去しておく、より効果的に浄化機能を発揮できると考えられた。

木炭からの滲出物が確認されたことから、今後

は、これら滲出物を活用した木炭の新たな利用法も考えられる。

表 6-1 木炭層流下水の pH

流下回数	1	2	3	4	5	6
カラマツ400℃	4.16	4.32	4.38	4.47	4.5	4.54
カラマツ600℃	5.82	5.52	5.4	5.07	5.08	4.86
カラマツ800℃	6.71	6.09	5.85	5.5	5.46	5.23
コナラ400℃	5.38	5.52	5.54	5.36	5.4	5.46
コナラ600℃	7.11	6.26	6.06	5.66	5.56	5.44
コナラ800℃	7.75	6.5	6.25	5.94	6.05	5.55

表 6-2 木炭層流下水の COD 値

流下回数	1	2	3	4	5	6
カラマツ400℃	5.1	1.9	1.9	1.0	1.0	0.6
カラマツ600℃	1.9	0.3	1.0	0.6	0.0	0.0
カラマツ800℃	2.2	0.6	1.0	0.6	0.3	0.0
コナラ400℃	7.7	3.5	3.2	1.9	1.6	1.0
コナラ600℃	5.1	1.3	1.3	0.6	0.3	0.0
コナラ800℃	2.9	1.0	0.6	0.6	0.3	0.0

表 6-3 木炭層流下水の亜硝酸イオン値 (mg/l)

流下回数	1	2	3	4	5	6
カラマツ400℃	0.115	0.114	0.154	0.153	0.105	0.105
カラマツ600℃	0.223	0.101	0.175	0.149	0.111	0.114
カラマツ800℃	0.170	0.106	0.164	0.151	0.129	0.118
コナラ400℃	0.231	0.140	0.094	0.111	0.095	0.114
コナラ600℃	0.251	0.115	0.080	0.104	0.085	0.109
コナラ800℃	0.486	0.175	0.096	0.110	0.086	0.115

表 6-4 木炭層流下水のアンモニウムイオン値 (mg/l)

流下回数	1	2	3	4	5	6
カラマツ400℃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
カラマツ600℃	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
カラマツ800℃	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
コナラ400℃	0.094	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000
コナラ600℃	0.555	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000
コナラ800℃	0.040	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000

表 6-5 木炭層流下水のリン酸イオン値 (mg/l)

流下回数	1	2	3	4	5	6
カラマツ400℃	0.489	0.102	0.174	0.069	0.084	0.020
カラマツ600℃	0.654	0.170	0.132	0.102	0.076	0.039
カラマツ800℃	2.008	0.455	0.331	0.260	0.181	0.132
コナラ400℃	1.202	0.354	0.523	0.102	0.215	0.084
コナラ600℃	2.623	0.635	0.579	0.196	0.301	0.144
コナラ800℃	4.735	1.033	0.785	0.403	0.414	0.290

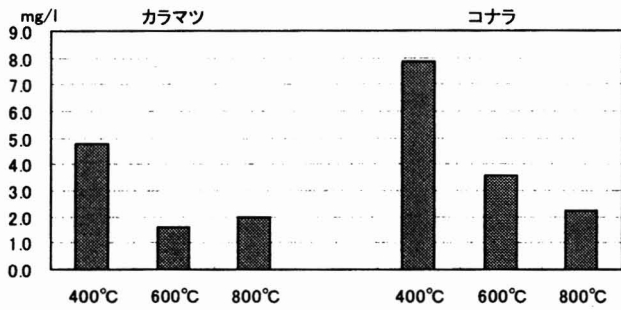


図 6-1 木炭層流下水の COD 値  
(400cc×6 回流下後の総 COD 値)

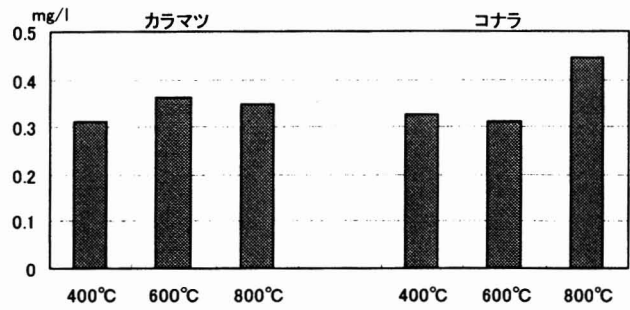


図 6-2 木炭層流下水の NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 値  
(400cc×6 回流下後の総 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 値)

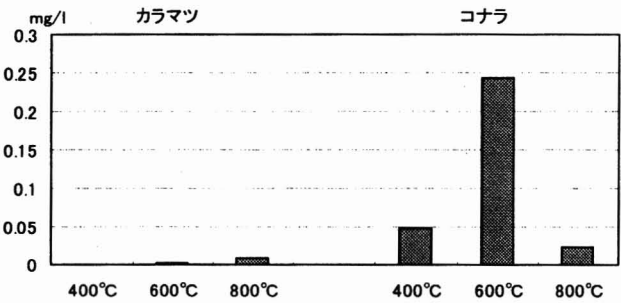


図 6-3 木炭層流下水の NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 値  
(400cc×6 回流下後の総 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 値)

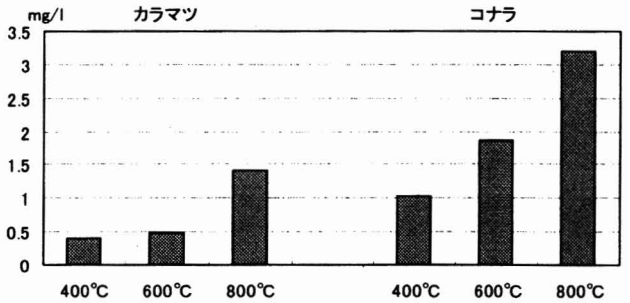


図 6-4 木炭層流下水の PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 値  
(400cc×6 回流下後の総 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 値)

## 7 野外に敷設した木炭の保水状況調査

### 7.1 試験の目的

今後の木炭の用途として、保水性などを活かして山腹工事での植栽木の乾燥防止など野外での利用を検討している。この場合、木炭をより効果的に利用するためにも、野外に敷設した場合に、木炭の粒度の相違による保水量や吸水性の違いや日変化を把握しておく必要があると考えられた。そこで、実際に木炭を野外に敷設して重量日変化を測定し、保水量などについて検討した。

### 7.2 試験の方法

#### 7.2.1 調査に供した木炭

木炭は固定式炭化炉で製造後、粉碎した市販の土壤改良用木炭（長野県内で製造されたもの）を使用した。炭材は針葉樹と広葉樹がほぼ 1:1 の割合である。炭化温度は約 500~600℃。この木炭について、粒度が 3mm 以下（以下「粉炭」と

いう）と 3~5mm（以下「粒炭」という）の 2 種類を用いた。

#### 7.2.2 試験方法

これら 2 種類の木炭と、比較のために調査当該地の林床の A 層土壌を、それぞれポリエステル製の布袋（幅 30cm×長さ 40cm）に、重量約 1200g ずつ詰めた（以下「木炭袋」という）。こうして作成した木炭袋を、アカマツ林床及び草地（裸地）に種類ごとに 3 袋ずつ敷設した。敷設は、2004 年 9 月 16 日から 2005 年 7 月 16 日までの 10 ヶ月間にわたって行った。（写真 7-1 参照）

重量測定は、木炭袋敷設当日から 2004 年 12 月 22 日（97 日間）までの間は、69 回行った。2004 年 12 月 22 日から 2005 年 3 月 29 日（98 日間）までは、積雪及び凍結のため測定不能であった。2005 年 3 月 20 日から 2005 年 7 月 16 日（109 日間）までは毎日測定を行った。

### 7.3 結果と考察

結果を図7-1~7-4に示した。保水量は、敷設当初は粉炭が粒炭を上回っていた。しかしながら、林床に敷設したものでは約2ヶ月後に粒炭の重量が粉炭を上回っており、草地に敷設したものでは測定再開後となる約6ヶ月後には同じく粒炭の重量が粉炭を上回っていた。このことから、木炭を数ヶ月以上にわたって野外に敷設した場合、ある程度粒度の大きい木炭の方が保水量が大きいと考えられた。

木炭袋敷設後数ヶ月で粒炭が粉炭を上回ったが、このことについては次のように考えられる。粒炭は粒径が大きいことから、敷設当初においては木炭内部へ十分に水分が浸透していなかったが、数ヶ月をかけて十分に水分が浸透すると、今度は水分が抜けにくくなり、保水量が高い状態を維持するものと考えられた。

2005年3月20日から2005年7月16日までの測定データを用いて、重量日変化率を求め、粒度別の吸水性について検討した。ここでは、重量日変化率は、当日の重量を前日の重量で除した値の全測定日の平均値とした。この変化率の値の大きい方が、吸水性が高いものと判断することとした。

結果は、粒炭にくらべて粉炭の方が値が大きかったことから、粒炭よりも粉炭の方が吸水性が大きいと考えられた。

これらのことから、木炭を野外に敷設する場合、木炭の粒度によって保水量や吸水性が異なることを考慮して用いると、より効果的であると示唆された。

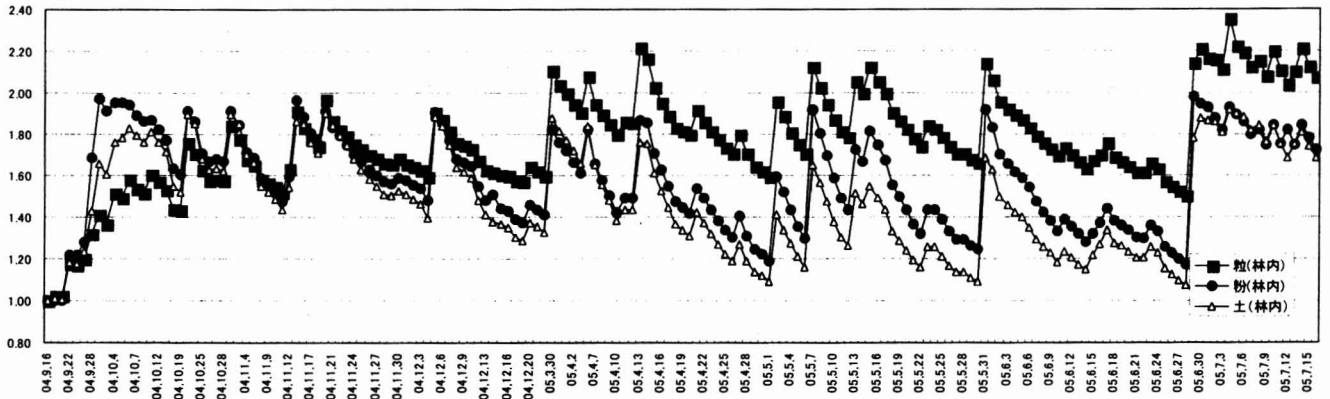


図7-1 種類別木炭の重量推移 アカマツ林床 (対敷設時比) (単位: kg)

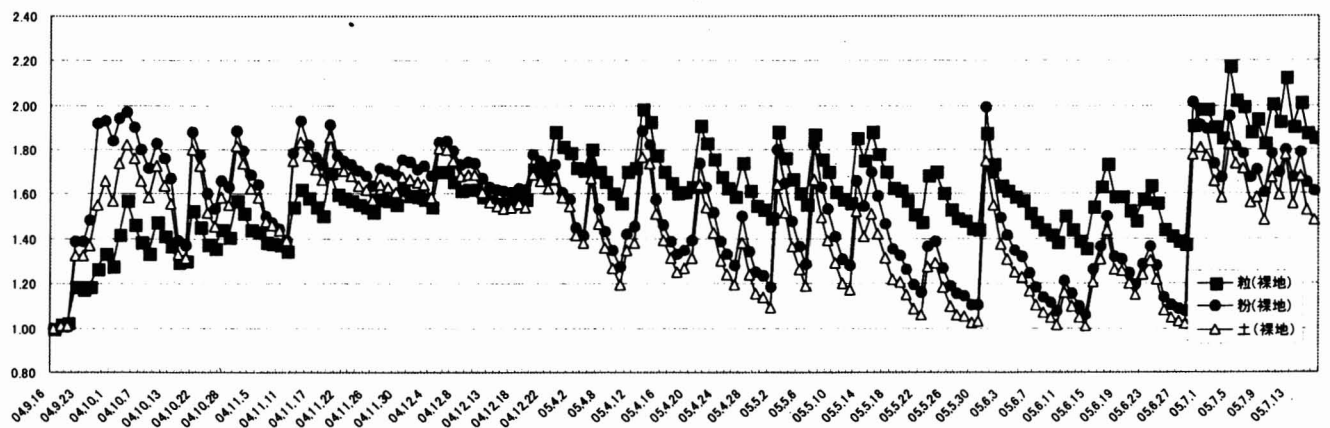


図7-2 種類別木炭の重量推移 草地 (対敷設時比) (単位: kg)

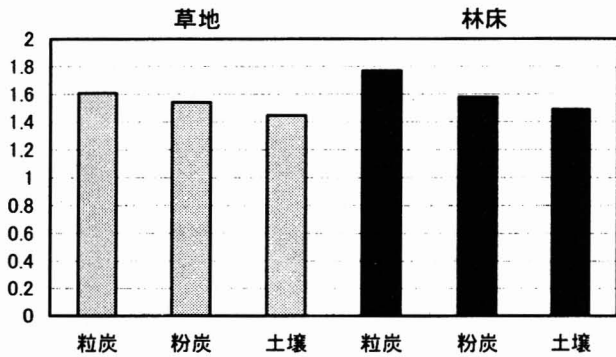


図 7-3 木炭粒度による保水量の相違 (対数設時重量比)

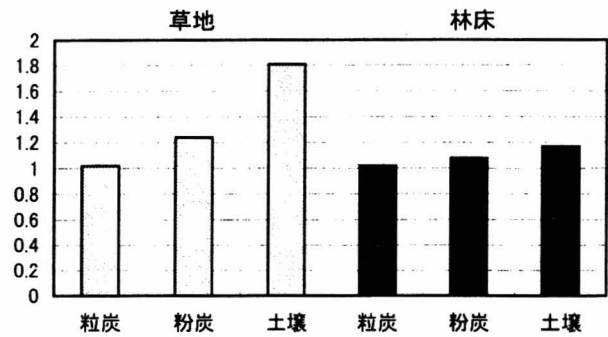


図 7-4 木炭粒度による吸水性の相違 (重量日変化率)



写真 7-1 木炭袋のアカマツ林床敷設状況

## 8. 土壌に添加した木炭が植物成長に及ぼす影響

### 8.1 試験の目的

木炭の新たな用途として、土壌改良など農業用資材としての利用がすすんでいる。しかしながら、土壌に木炭を添加した場合の植物成長に及ぼす影響を示した試験データが乏しいのが現状である。そこで、2つの異なる土壌に木炭の量を変えて添加し、植物成長の相違について検討を行った。

### 8.2 試験の方法

#### 8.2.1 試験に供した木炭、土壌及び植物種子

7.2.1 と同様に製造された木炭のうち、粒度が 3mm 以下のものを用いた。

試験に用いた土壌は、塩尻市片丘地区の耕地から採取した作土層土壌 (以下「畑土」という) と当センター内のアカマツ林床下の B 層土壌 (以下「B 層土」という) の 2 種類とした。

前処理として、これら土壌を目開き 5mm の園芸用ふるいを通させ、粒度を調整した。

栽培に用いた植物は、コマツナ (品種番号 05357-D, (株)トーホク) 及びいんげん (品種番号 01751-A, (株)トーホク) の 2 種類である。

#### 8.2.2 試験方法

これら土壌に所定量の木炭を添加して、容量 1ℓ のビニルポットを作成し、ここに植物種子を播種して栽培を行った。

##### (1) 試験その 1

容積比で木炭添加量 5、10、20、40% 区及び対照区 (0% 区) の 5 試験区を設けて行った。

各試験区とも、10 個のポットを作成し、それぞれ、コマツナは 3 粒、インゲンは 2 粒ずつ播種した。子葉展開後、成長の最も良いものを残して間引きを行った。栽培期間はコマツナは 29 日間、インゲンは 30 日間とした。



栽培後、それぞれ地上高、地上部絶乾重量を測定し評価した。また併せて各土壌を風乾させて pH と EC（電気伝導度）を測定した。

## (2) 試験その 2

容積比で木炭の添加量 1、2、3、4、5% 区及び対照区(0%区)の 6 試験区を設けて行った。

試験その 1 と同様の方法でポットを作成し播種及び間引きを行った。栽培期間はコマツナは 31 日間、インゲンは 32 日間とした。

栽培後は試験その 1 と同様の方法で評価した。

## 8.3 結果と考察

### 8.3.1 試験その 1

試験結果を図 8-1~8-12 に示した。

#### (1) コマツナー畑土栽培

地上高では、0%区との間で、5%、10%、20% 区で有意差があった。地上部絶乾重量では、有意差は見られなかった。これらの結果からは、木炭添加による植物成長に与える影響は判然としなかった。

#### (2) インゲン畑土栽培

地上高では、0%区との間で、10%、40% 区で有意差が見られた。地上部絶乾重量では、同じく 10%、40% 区との間で有意差があった。これらの結果からは、木炭添加による植物成長に与える効果は判然としなかった。

#### (3) コマツナーB層土栽培

0%区では種子の発芽と子葉展開は見られたが、その後すべて枯死した。0%区を除いた試験区で有意差検定を行ったところ、5-20%、5-40%、10-20%、10-40% 区間で有意差があった。

これらの結果から、B層土でコマツナを栽培した場合、木炭添加による一定の植物成長促進効果があることがわかった。また、この場合の木炭添加量は、容積比で 5 ないし 10% 程度が望ましいと考えられた。

#### (4) インゲンB層土栽培

地上高及び地上部絶乾重量とも、0%区と 5%、10%、20%、40% 区との間で有意差があった。ただし、5-40% 間では互いに有意差はなかった。これらの結果から、木炭添加による一定の植物成長促進効果があると考えられた。ただし、木炭添加

量による差異は判然としなかった。

#### (5) 土壌 pH 及び EC

畑土、B層土とも木炭添加量に応じて pH は上昇した。EC についても同様に木炭添加量に応じて値は上昇した。

### 8.3.2 試験その 2

試験結果を図 8-13~24 に結果を示した。

#### (1) コマツナー畑土栽培

地上高及び地上部絶乾重量とも、0-5%、1-5%、3-5% 区間で有意差があった。これらの結果と 8.3.1(1)の結果を考慮すると、木炭添加による植物成長に与える影響は判然としなかった。

#### (2) インゲン畑土栽培

地上高及び地上部絶乾重量とも、有意差は認められなかった。このことから、木炭添加による植物成長に与える影響は明らかではなかった。

#### (3) コマツナーB層土栽培

8.3.1(3)と同様に、0%区では種子の発芽と子葉展開は見られたが、その後すべて枯死した。0%区を除いた試験区で有意差検定を行ったところ、地上高、地上部絶乾重量とも 1-2%、4-5% 区間以外ですべて有意差があった。これらの結果から、B層土でコマツナを栽培した場合、木炭添加量 1% 以上で一定の植物成長促進効果があることがわかった。(写真 8-1 参照)

#### (4) インゲンB層土栽培

地上高では、0-2~5% 区及び 1-4%、1-5%、区間で有意差があった。地上部絶乾重量では、0% 区と 1-5% 区すべて、及び 1-4%、1-5% 区間で有意差があった。

これらの結果から、木炭添加量 1% 以上で一定の植物成長促進効果があることがわかった。また、木炭添加量については 2% 以上でより効果が高いと考えられた。(写真 8-2 参照)

### 8.3.3 全体の考察

本試験から、土壌に添加された木炭が植物成長に及ぼす影響は、①土壌条件によりその効果に相違がある。②木炭添加量によりその効果に相違があることがわかった。また、土壌 pH 及び EC 値に影響を与えることがわかった。

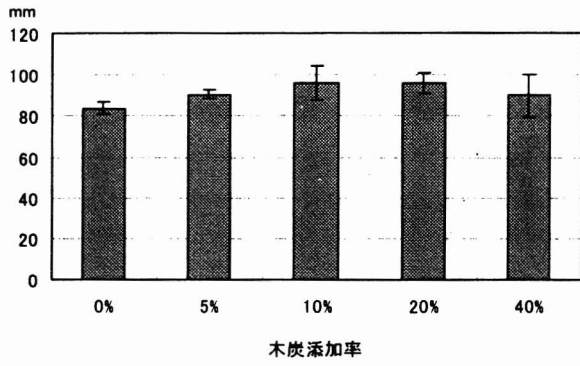


図 8-1 コマツナ 畑土栽培 地上高

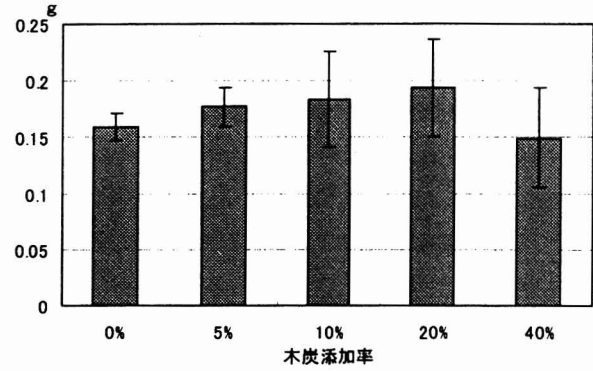


図 8-2 コマツナ 畑土栽培 地上部絶乾重量

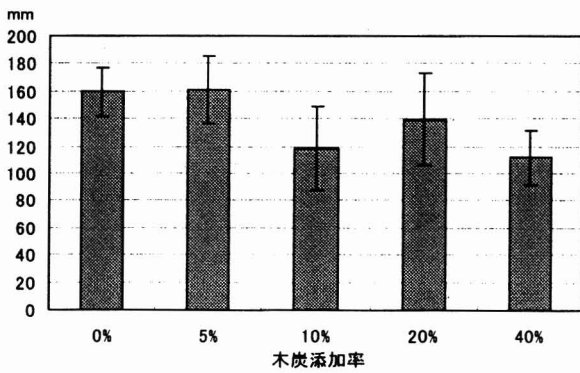


図 8-3 インゲン 畑土栽培 地上高

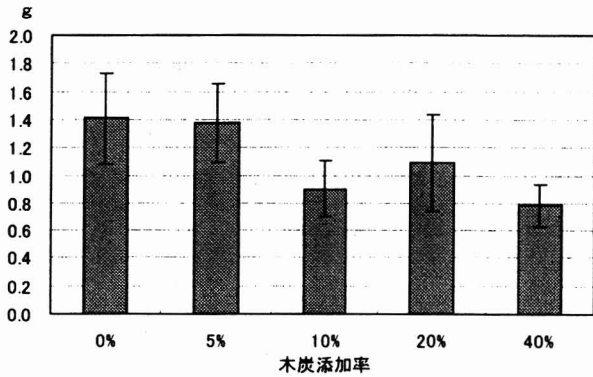


図 8-4 インゲン 畑土栽培 地上部絶乾重量

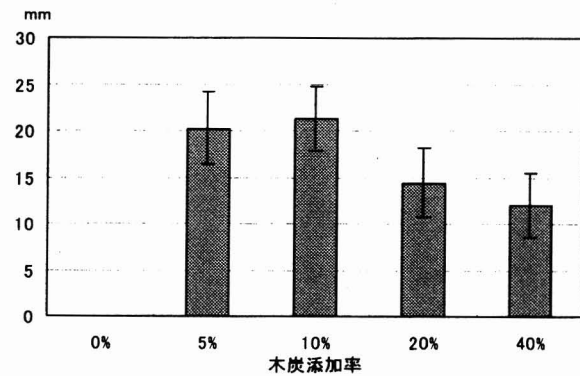


図 8-5 コマツナ B層土栽培 地上高

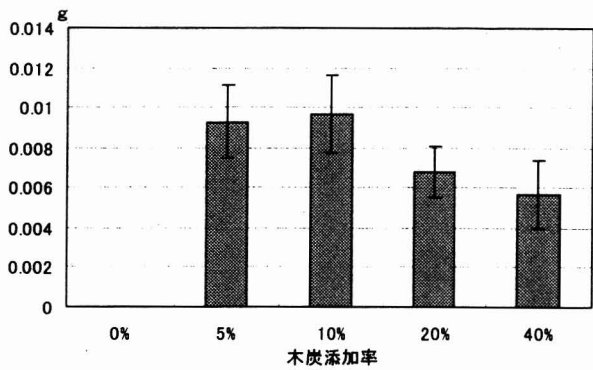


図 8-6 コマツナ B層土栽培 地上部絶乾重量

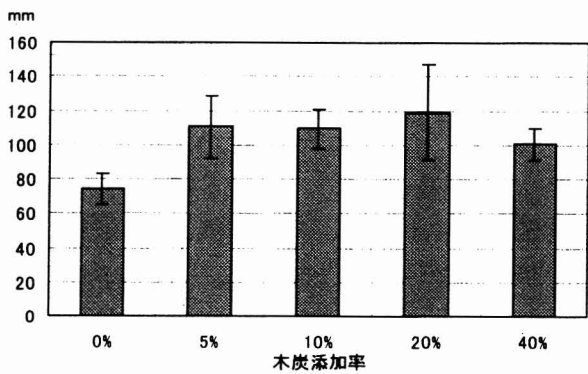


図 8-7 インゲン B層土栽培 地上高

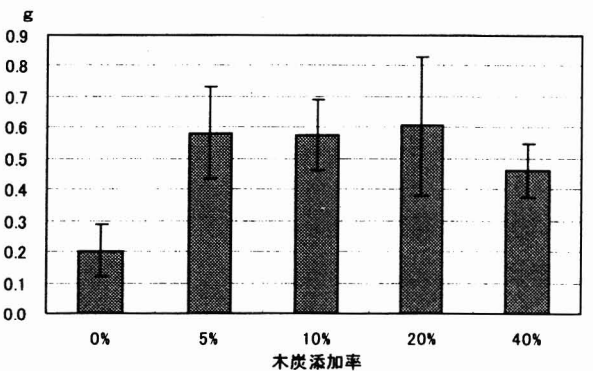


図 8-8 インゲン B層土栽培 地上部絶乾重量

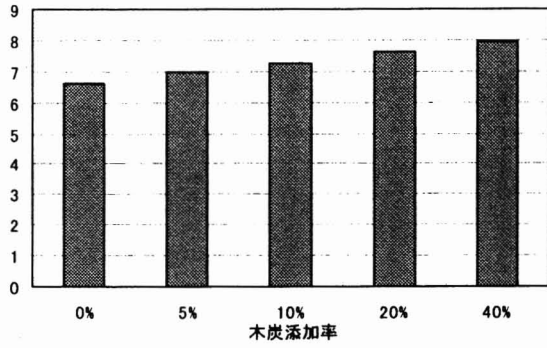


図8-9 畑土 pH値

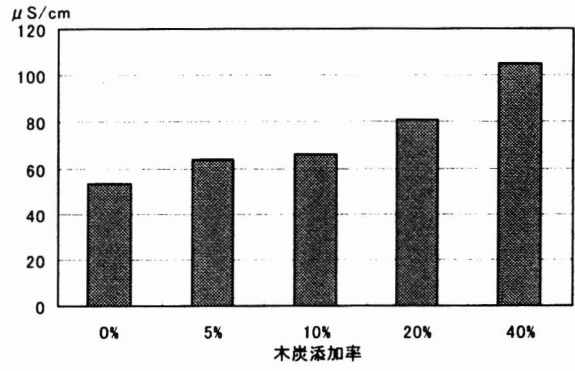


図8-10 畑土 EC値

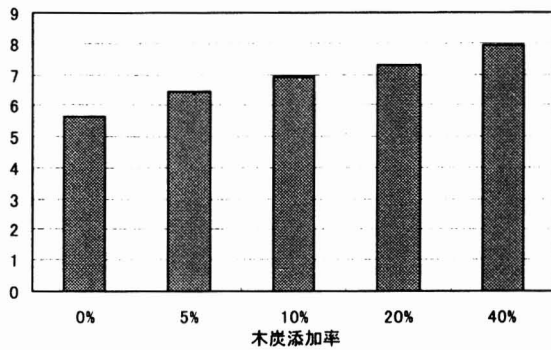


図8-11 B層土 pH値

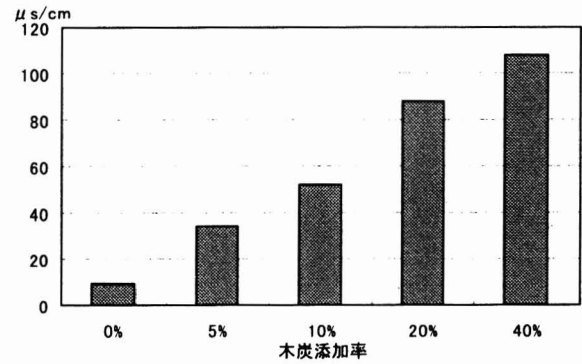


図8-12 B層土 EC値

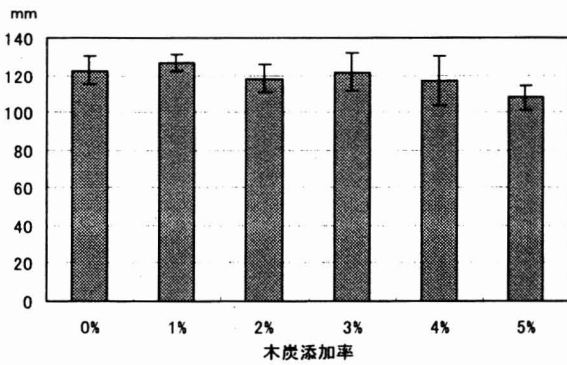


図8-13 コマツナ 畑土栽培 地上高

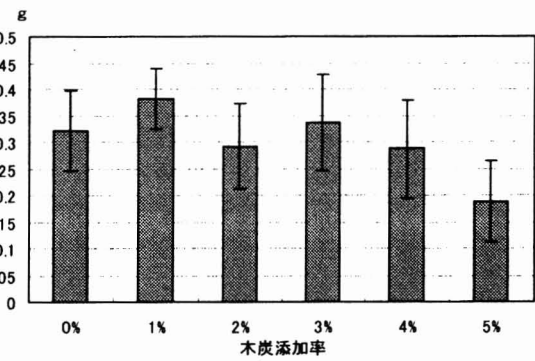


図8-14 コマツナ 畑土栽培 地上部絶乾重量

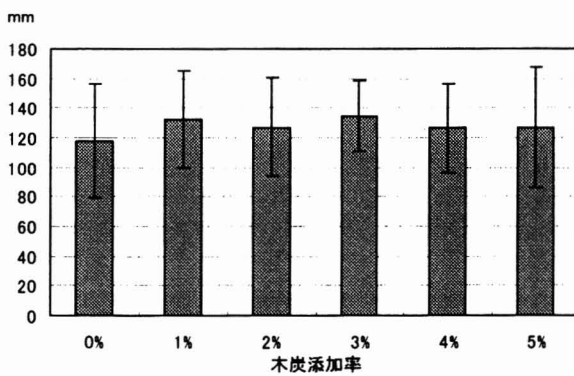


図8-15 インゲン 畑土栽培 地上高

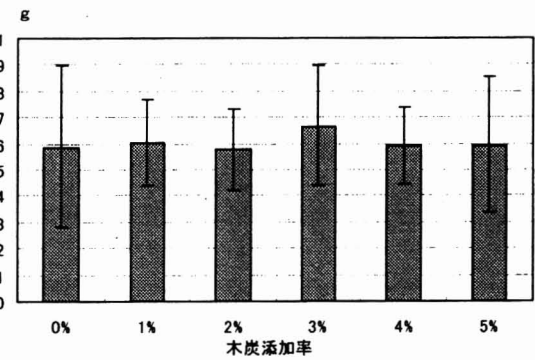


図8-16 インゲン 畑土栽培 地上部絶乾重量

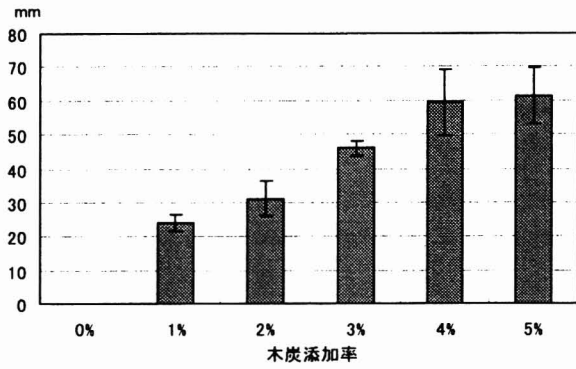


図 8-17 コマツナ B層土栽培 地上高

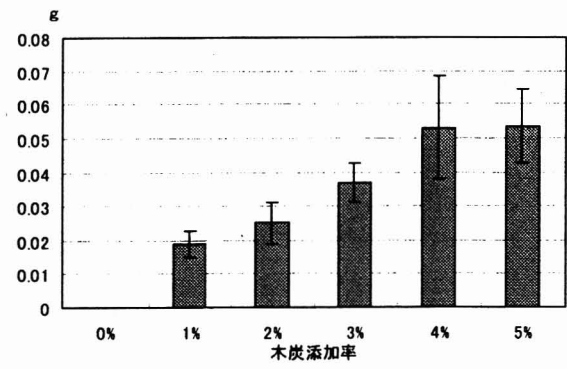


図 8-18 コマツナ B層土栽培 地上部絶対乾重量

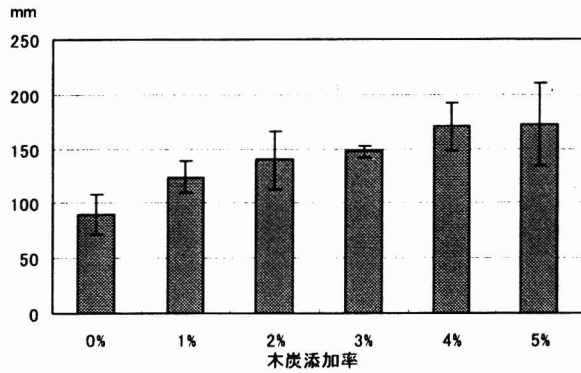


図 8-19 インゲン B層土栽培 地上高

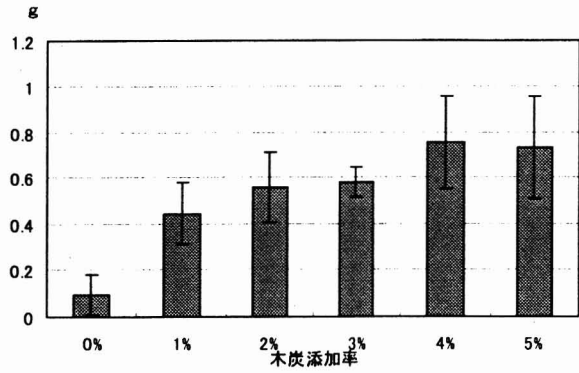


図 8-20 インゲン B層土栽培 地上部絶対乾重量

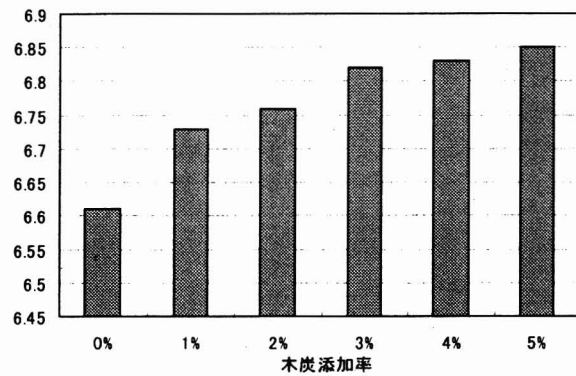


図 8-21 畑土 pH値

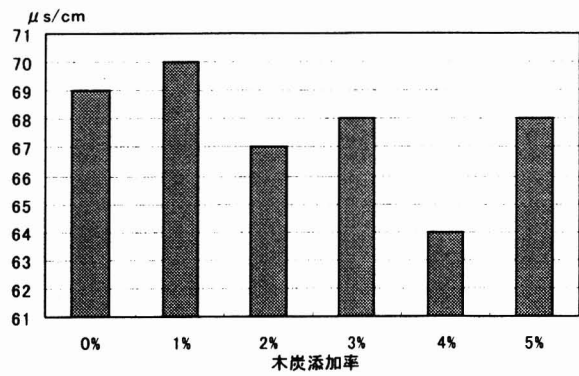


図 8-22 畑土 EC値

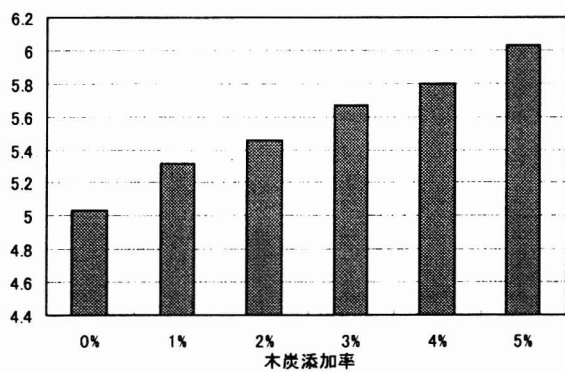


図 8-23 B層土 pH値

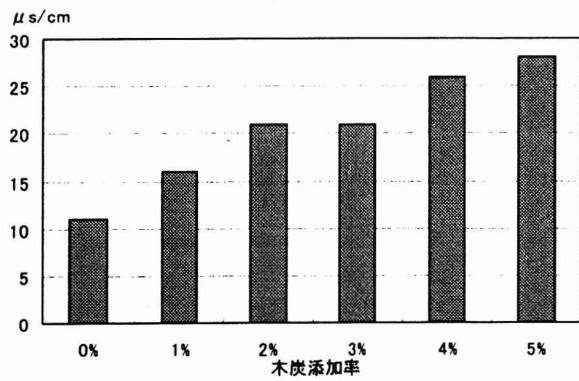


図 8-24 B層土 EC値

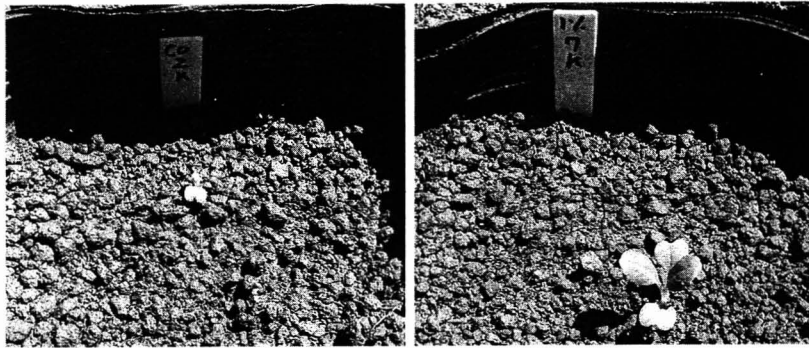


写真 8-1 B層土でのコマツナ生育状況 (左: CO区, 右: 1%添加区)



写真 8-2 B層土でのインゲン生育状況 (左から CO, 1, 2, 3, 4, 5%添加区)

## 9 採取温度の異なる木酢液の成分分析

### 9.1 試験の目的

木酢液の有機物成分について、採取温度などの条件の相違による成分比較を行った事例は少ない。そこで、採取温度や炭化炉などが異なる木酢液について、GC/MS(ガスクロマトグラフ質量分析計)を用いて分析を行い検討した。

### 9.2 試験の方法

#### 9.2.1 供試木酢液

- ①コナラ生炭材をドラム缶窯製炭で採取したもの。
- ②アカマツ生炭材をドラム缶窯製炭で採取したもの。
- ③アカマツ乾燥炭材をドラム缶窯製炭で採取したもの。
- ④コナラ炭材を白炭窯製炭で採取したもの。
- ⑤2.2.1(1)で用いた小型電気炭化炉で 300、400、600、800、1000℃で炭化した際に、それぞれ連続して採取した木酢液 5 種類。

以上 9 種類。

#### 9.2.2 試験方法

供試木酢液①～④については、木酢液 100ml にエーテル 200ml を加え、液-液抽出装置で木酢液中の有機物をエーテルに抽出した。16 時間抽出した後、エーテル層を分取してエバポレーターで濃縮して、GC/MS で分析した。

供試木酢液⑤については、木酢液 5ml を蓋付試験管に入れて飽和食塩水 2ml、エーテル約 1ml を加えてよく振り、遠心分離後エーテル層を分取した。この操作を 3 回続けて行って得た濃縮液を GC/MS で分析した。

### 9.3. 結果と考察

分析結果を表 9-1 に示した。小型電気炭化炉から採取した炭化温度別のコナラ木酢液は、含有成分及びそれらの含有量に大きな差は認められなかった。白炭窯とドラム缶窯の各木酢液は、含有成



分の種類は小型電気炭化炉から採取した木酢液より少なく、それらの含有量にも大きな差があった。

炭化温度や炭窯の種類に関わらず、最も多く含んでいた成分は酢酸であったが、その含有量には大きな差があった。白炭で採取したコナラ木酢液の酢酸含有量が65%であったのに対し、小型電気炭化炉で採取した木酢液では10%程度であった。酢酸について含有量が多かったのはフェノール類のシリングオールであったが、この含有量は小型電気炭化炉の方が高かった。

これらの成分の含有量に差が生じた原因は、採取してからの静置期間に起因すると考えられた。

小型電気炭化炉から採取した木酢液は採取後1ヶ月程度しか静置をしていないのに対し、他の木酢液は3年以上静置している。長期の静置中に木酢液のフェノール類等の不安定な成分が酸化・重合を生じ、沈殿したり器壁に付着したりして取り除かれ、結果として酢酸等の含有量が相対的に増加したと考えられる。

以上の結果から、木酢液成分は、炭化温度より炭材や窯の影響を受けやすいと考えられた。また、木酢液の品質の安定化を図るためには、十分な静置を行うことが重要であると確認された。

表 9-1 採取温度の異なる各種木酢液の主な成分

Name	小型炭化炉 コナラ					白炭窯	ドラム缶窯 コナラ	ドラム缶窯 アカマツ	
	300℃	400℃	600℃	800℃	1000℃			生炭材	乾燥炭材
酢酸	10.1	10.0	10.6	8.0	9.9	65.3	60.3	39.3	45.8
シリングオール(2,6-ジメチルシフェノール)	9.8	9.8	9.0	10.3	9.3	6.2	3.8	0.5	1.0
4-メチル-2,6-ジメチルシフェノール	6.9	6.7	5.6	6.0	5.9				
4-エチル-2,6-ジメチルシフェノール	5.2	4.5	3.6	3.8	3.9				
フルフラール	3.7	3.7	3.6	3.2	3.5			1.3	0.8
ピロカテコール	3.3	4.5	6.2	7.8	5.9				
4-アリル-2,6-ジメチルシフェノール	3.3	2.8	2.1	1.8	2.0				
3-メチルピロカテコール	3.1	4.2		5.2	3.7				
シクロテン(2-ヒドロキシ-3-メチル-2-シクロペンテン-1-オン)	2.7	2.9	3.1	3.3	3.1	2.5	2.3	2.4	2.8
グアイアコール(2-メチルシフェノール)	2.5	2.5	2.3	2.4	2.5	2.4	1.3	3.5	2.7
4-メチルグアイアコール	2.0	1.9	1.7	1.7	1.9	1.1	0.9	3.3	2.1
フルリルアルコール	1.4	1.3	1.3	1.2	1.4				
4-エチルグアイアコール(4-エチル-2-メチルシフェノール)	1.4	1.2	1.1	1.0	1.1	0.6	0.5	1.1	0.6
2-フルアルデヒド ジエチルアセタール	1.2	1.3	0.9	0.3	1.7	1.1		1.1	0.8
5-メチルフルフラール	1.1	1.1	0.9	0.8	0.9			0.6	
4-ヒドロキシ-3,5-ジメチルベンズアルデヒド	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2				
4-アリル-2,6-ジメチルシフェノール	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8				
イソイゲノール	0.9	0.8	0.6	0.5	0.6				
3-エチル 2-ヒドロキシ-2-シクロペンテン-1-オン	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7	0.9	0.4	0.4
5-ヒドロキシメチル-2-フルフラール	0.8	1.1	1.0	1.2	0.9			0.6	0.5
4-アリル-2,6-ジメチルシフェノール	0.8	0.8	0.6	0.7	0.7				
マルトール	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	1.6			
3,4-ジメチルシフェノール	0.8	0.8	1.0	1.2	0.8				
フェノール	0.7	1.0	1.9	1.9	1.6	1.4	2.2	5.0	3.4
プロピオン酸	0.7	1.6	1.6	1.4	1.5	3.2	4.1	4.7	4.7
メタクレゾール	0.5	0.5	1.0	0.9	0.7		0.6	1.2	0.8
パニリン(3-メチル-4-ヒドロキシベンズアルデヒド)	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4			0.6	0.5
2-メチル-2-シクロペンテン-1-オン	0.3	0.3	0.3		0.3				
ブチロラクトン	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	1.4	1.3	1.1	1.1
クロトン酸	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3				
4-メチルピロカテコール	0.2	0.9	1.7	1.7	1.4				
イソイゲノール	0.2								
オイゲノール	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2				
酪酸							0.8	1.2	1.1
4-メチルピロカテコール		0.3	0.4	0.3	0.4				
3-メチルピロカテコール		0.8	1.4	2.6	1.4				
3,5-ジメチルフェノール			0.2	0.2	0.2				
パラクレゾール							0.6	1.8	1.2
2,5-ジメチルシフェノール			0.2						
3-メチル-2-シクロペンテン-1-オン							0.8		
1-ヒドロキシ-2-ブタン									2.4

\* 木酢液中の有機物に対するパーセント

## 10 採取条件や樹種が異なる木酢液が植物の発芽に及ぼす影響

### 10.1 試験の目的

木酢液の種子発芽に与える影響を調べたデータはほとんど無い。そこで、採取条件や樹種が異なる木酢液を用いて、種子発芽に対する影響を調査した。

### 10.2 試験の方法

#### 10.2.1 採取条件が異なる木酢液による試験

試験に供した木酢液は、9.2.1の①～④と同じ4種類の木酢液である。また、比較のため、①～④の木酢液を濃縮した木酢液濃縮液(木酢液のエーテル抽出物濃縮液)と市販除草剤の2,4-Dについても試験に供した。

6穴マルチディッシュ(10ml /1穴)に0.5%寒天培地を10mlずつ分注し、各木酢液について、寒天培地中の木酢液濃度が0.1、1、10、100、1000、10000ppmになるよう調整した<sup>4)</sup>。固化した培地上にハツカダイコンの種子を各濃度ごとに10粒×2穴ずつ播種し、25℃恒温器内に暗条件下で72時間成育させた後、発芽した種子の胚軸と幼根の長さを測定し評価した。

#### 10.2.2 樹種が異なる木酢液による試験

試験に供した木酢液は、小型電気炉(C-10 サーマル社製)を用いて、アカマツ、カラマツ、コナラ材をそれぞれ最高炭化温度600℃(保持時間1時間)で炭化を行った際に、窯上部で測定した煙温度が80～150℃のときに採取した3種類の木酢液である。

試験方法は10.2.1に準じるが、寒天培地中の木酢液濃度は、10、100、1000、10000、100000ppmの5種類とした。また、播種した種子は、各濃度ごとにハツカダイコンを7粒×2穴、レタスを10粒×2穴とした。これを25℃恒温器内に暗条件下で72時間成育させた後、発芽した種子の胚軸と幼根の長さを測定し評価した。

## 10.3 結果と考察

### 10.3.1 採取条件が異なる木酢液による試験

図10-1、10-2に結果を示した。種子の成長量を対照区との成長差(plant growth rate)で表し比

較した。木酢液濃度10000ppmでは、どの木酢液もハツカダイコン種子の発芽、成長を抑制した。1000ppm以下では、顕著な成長抑制あるいは促進効果は認められなかった。木酢液の濃縮液を添加した場合には、1000ppm以上の濃度で成長が抑制されたが、100ppm以下では成長抑制あるいは促進効果は認められなかった。除草剤2,4-Dは、0.1～100ppmのすべての濃度で発芽、成長抑制効果が認められた。

### 10.3.2 樹種が異なる木酢液による試験

図10-3、10-4に結果を示した。種子の成長量を対照区と並べて表した。木酢液濃度10000ppm以上ではハツカダイコン、レタスともすべての木酢液で発芽抑制効果が認められた。

ハツカダイコンでは、コナラ木酢液の濃度1000ppmで成長が抑制されたが、100ppm以下では顕著な成長抑制あるいは促進効果は認められなかった。アカマツ及びカラマツ木酢液では、濃度1000ppm以下では顕著な成長抑制あるいは促進効果は認められなかった。

レタスでは、すべての木酢液について1000ppmで発芽と胚軸成長が抑制されたが、100ppm以下では顕著な成長抑制あるいは促進効果は認められなかった。

これらのことから、木酢液による発芽・成長抑制効果は、炭材の種類や種子の種類により差があることがわかった。

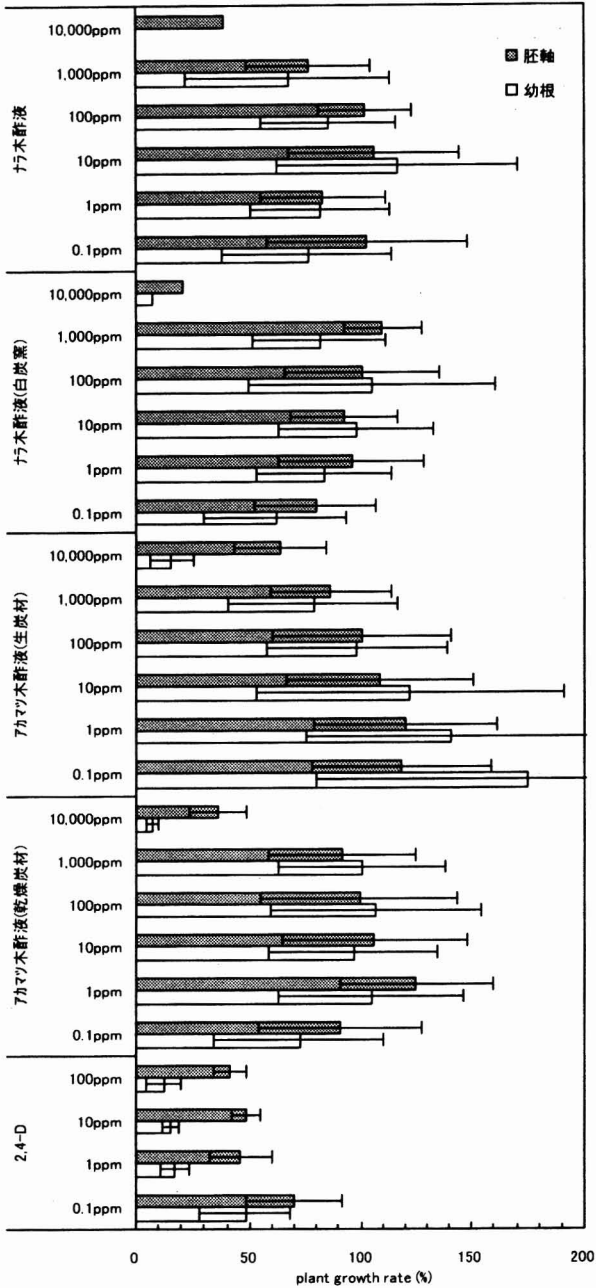


図 10-1 木酢液がハツカダイコンの発芽に及ぼす影響

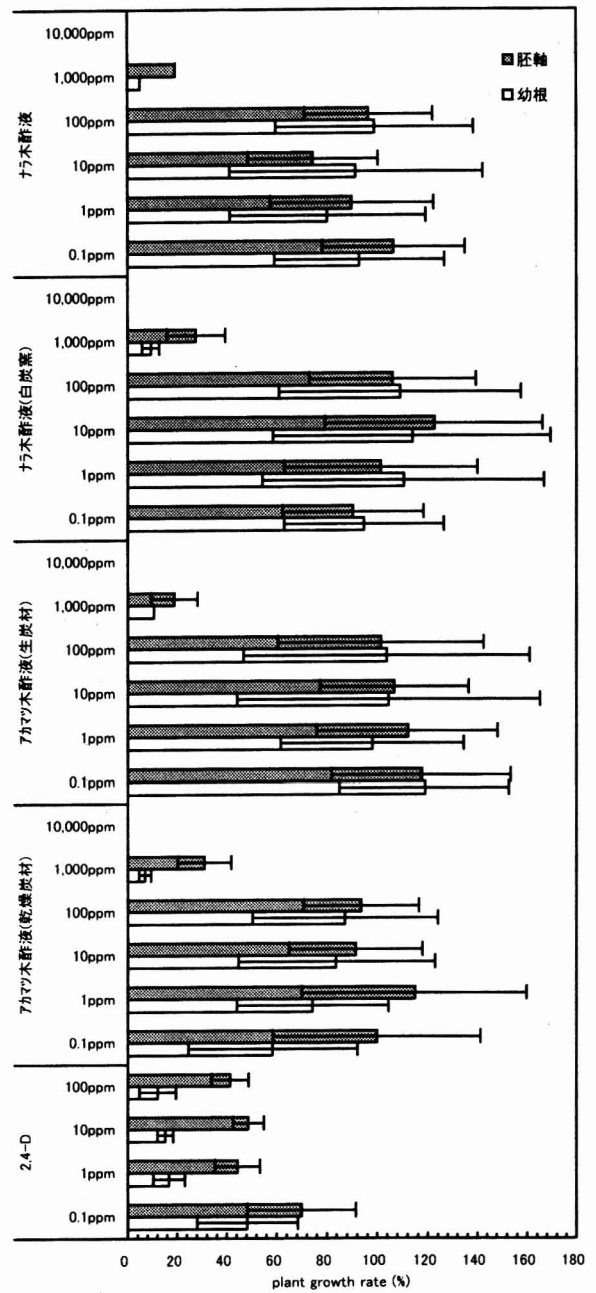


図 10-2 木酢液濃縮液がハツカダイコンの発芽に及ぼす影響

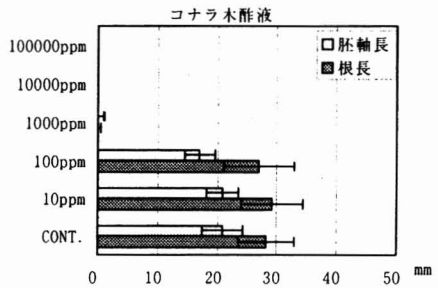
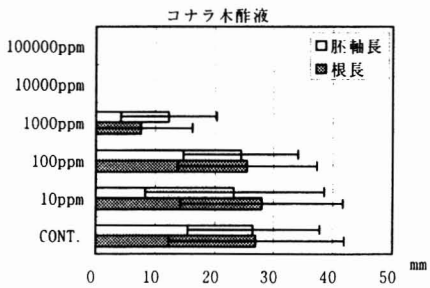
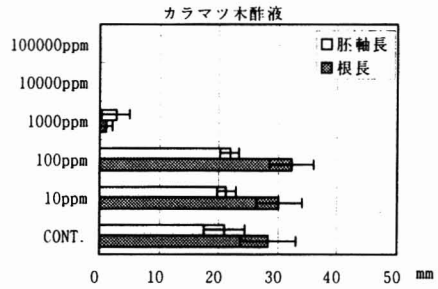
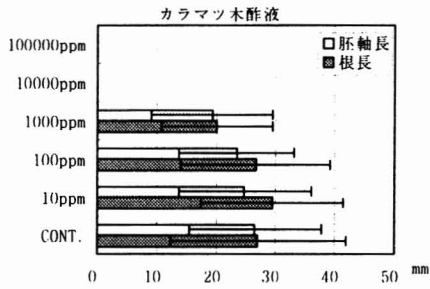
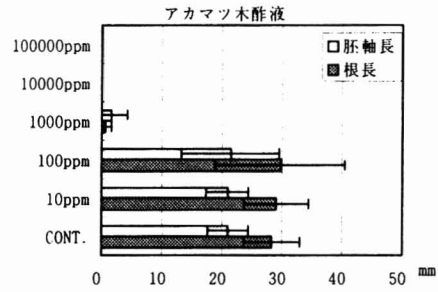
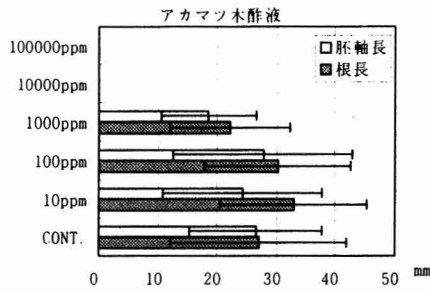


図 10-3 木酢液がハツカダイコンの発芽に及ぼす影響

図 10-4 木酢液がレタスの発芽に及ぼす影響

## 11 木酢液の土壌灌水が植物成長に及ぼす影響

### 11.1 試験の目的

木酢液は土壌改良資材などとして土壌灌水されている事例があるが、灌水する木酢液の希釈倍率と植物成長との関係を調査したデータはほとんど無い。そこで、希釈倍率の異なる木酢液を土壌灌水し植物成長に対する影響を調査した。

### 11.2 試験の方法

#### 11.2.1 試験に供した木酢液

アカマツ材をドラム缶炭窯で炭化した際に排煙口温度 80~150℃で採取し、約 6 ヶ月静置した木酢液を使用した。この木酢液の品質は、比重 1.024、pH2.07、酸度 4.6%、溶解タール 0.91%である。

#### 11.2.2 試験に供した用土及び植物種子

用土は、塩尻市片丘地区の耕作地から採取した作土層土壌を用いた。これを目開き 5mm の園芸用ふるいを通過させ、粒度を調整して試験に供した。

栽培に用いた植物はコマツナ(品種番号 05357-D, (株)トーホク)である。

#### 11.2.3 試験方法

##### (1) 試験その 1 (希釈倍率 50~400 倍)

容量 1l のビニルポットに用土を入れ、コマツナを播種し栽培した。ビニルポットは木酢液希釈倍率ごとに 10 ポットずつ作成した。種子が発芽

し子葉が展開した後、希釈倍率の異なる木酢液(50、100、200、400倍)を1回目は100cc、2回目以降は200ccずつ、7日ごとに4回、土壌に灌水した。4回目の灌水から8日後にコマツナの地上高、地上部絶乾重量を測定し評価した。また、用土について、生土と風乾土のpHとEC値を測定した。  
(2)試験その2(希釈倍率250~2000倍)

容量1ℓのビニールポットに用土を入れ、コマツナを播種し栽培した。ビニールポットは木酢液希釈倍率ごとに10ポットずつ作成した。種子が発芽し子葉が展開した後、希釈倍率の異なる木酢液(250、500、1000、2000倍)を1回に200ccずつ、14日ごとに3回、土壌に灌水した。3回目の灌水から7日後にコマツナの地上高、地上部絶乾重量を測定し評価した。また、用土について、風乾土のpHとEC値を測定した。

### 11.3 結果と考察

#### 11.3.1 試験その1(希釈倍率50~400倍)

結果を図11-1~11-6に示した。地上高、地上部絶乾重量とも希釈倍率が50倍では対照区にくらべて有意( $\alpha=5\%$ )な差が見られ、濃度の高い木酢

液で成長抑制効果が認められた。

用土のpHは希釈倍率が小さいものものほど高くなる傾向が見られた。EC値は希釈倍率が小さいものほど低くなる傾向が見られた。

試験に供した土壌pHは6.5~6.6程度である。当初、pH2.07の木酢液を灌水すると土壌pHは低くなると予想したが、結果は濃度の高い木酢液を灌水した土壌ほどpHは高くなった。このことから、木酢液の成分と土壌成分との間で何らかの化学反応が進行し、その結果土壌pHを高くしたものと推測された。

#### 11.3.2 試験その2(希釈倍率250~2000倍)

結果を図11-7~10に示した。地上高、地上部絶乾重量とも対照区との間に有意差( $\alpha=5\%$ )は見られなかったことから、顕著な成長抑制効果などは認められなかった。

用土のpHは希釈倍率が小さいものものほど高くなる傾向が見られた。EC値については希釈倍率による一定の傾向は読み取れなかった。

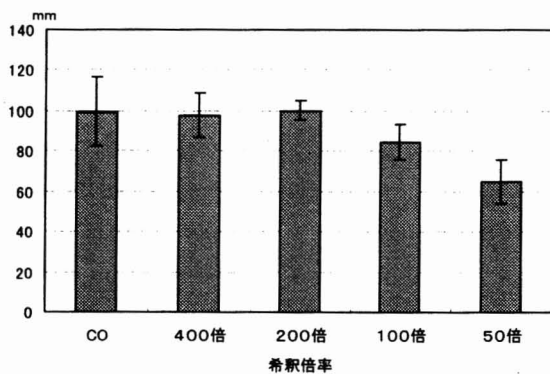


図11-1 木酢液を土壌灌水して栽培したコマツナの地上高

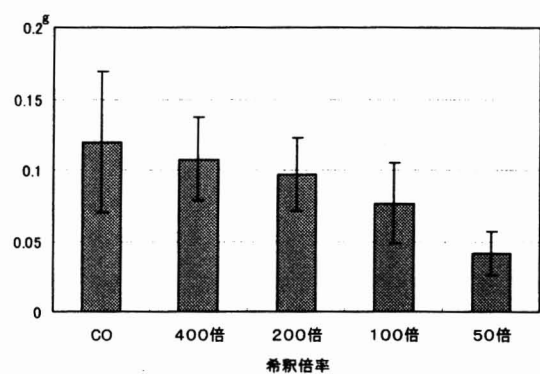


図11-2 木酢液を土壌灌水して栽培したコマツナの地上部絶乾重量

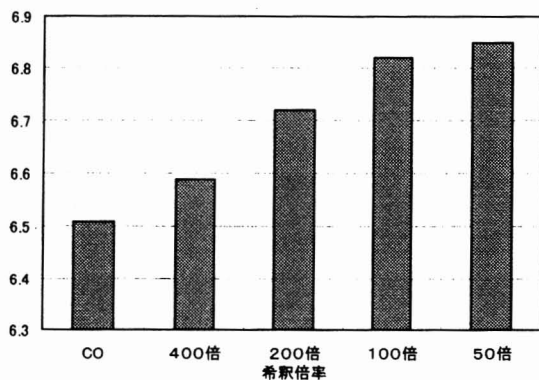


図11-3 木酢液灌水土壌のpH値(生土)

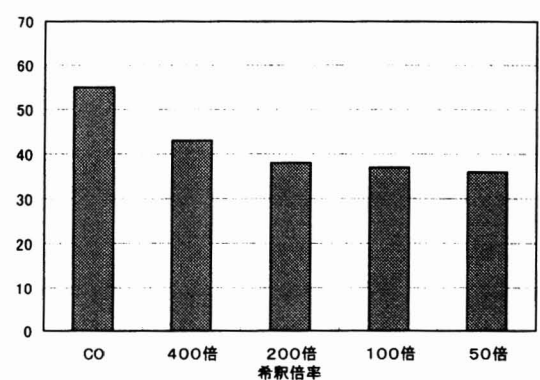


図11-4 木酢液灌水土壌のEC値(生土) [単位: μs/cm]



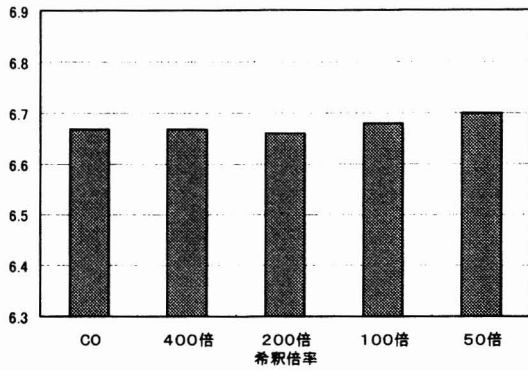


図 11-5 木酢液灌水土壌の pH 値(風乾土)

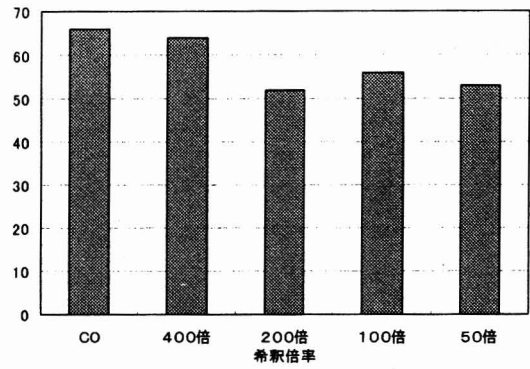


図 11-6 木酢液灌水土壌の EC 値(風乾土) [単位: μs/cm]

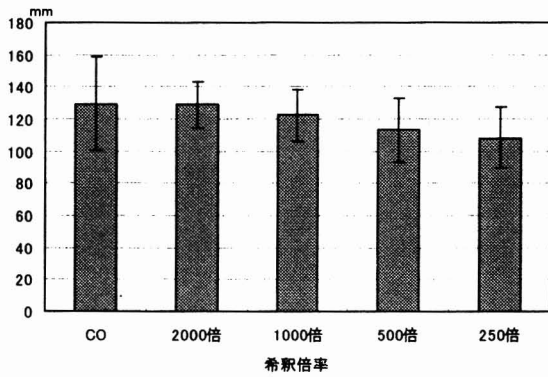


図 11-7 木酢液を土壌灌水して栽培した  
コマツナの地上高

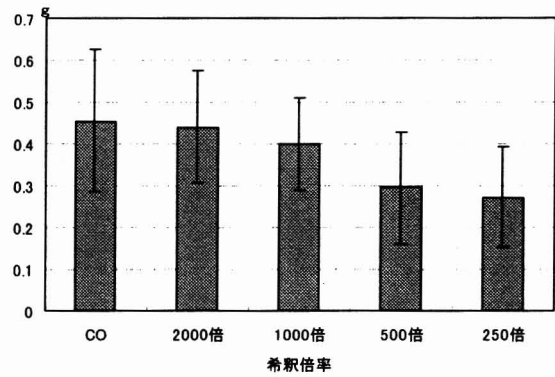


図 11-8 木酢液を土壌灌水して栽培した  
コマツナの地上部絶乾重量

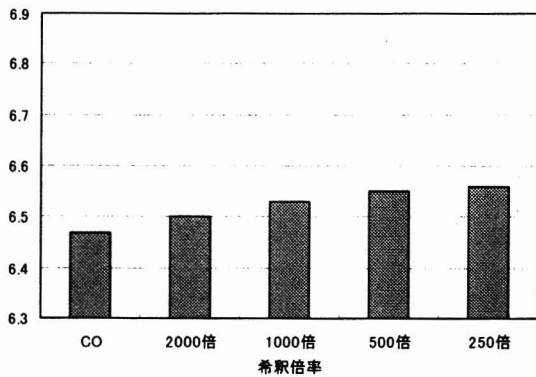


図 11-9 木酢液灌水土壌の pH 値(風乾土)

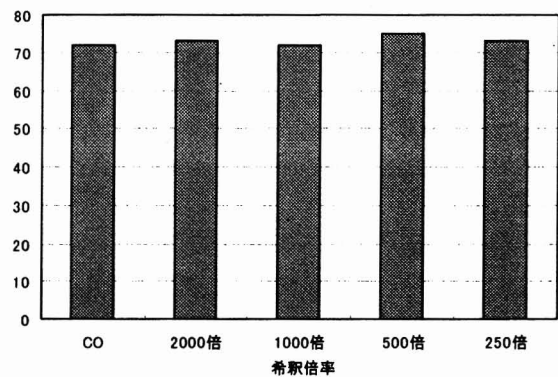


図 11-10 木酢液灌水土壌の EC 値(風乾土) [単位: μs/cm]

## 12 木酢液の葉面散布が植物成長に及ぼす影響

### 12.1 試験の目的

木酢液の葉面散布については、発育促進や茎葉の充実など様々な効果が紹介されている。しかしながら、葉面散布する木酢液の希釈倍率と植物成長との関係を調査したデータはほとんど無い。

そこで、希釈倍率の異なる木酢液を葉面散布し、以下の目的で試験を行った。

- ①希釈濃度が葉の枯損に及ぼす影響
- ②希釈濃度が地上高、葉数、葉緑素濃度に及ぼす影響

## 12.2 試験の方法

### 12.2.1 試験に供した用土及び植物種子

用土は、塩尻市片丘地区の耕作地から採取した作土層土壌を用いた。

栽培に用いた植物はコマツナ(品種番号 05357-D, (株)トーホク)である。

この用土をフラワーポットに入れ、コマツナを播種し栽培した。

### 12.2.2 希釈濃度が葉の枯損に及ぼす影響

試験に供した木酢液は、アカマツ材をドラム缶炭窯で炭化した際に排煙口温度 80~150℃で採取し、6ヶ月以上静置した木酢液を使用した。この木酢液の品質は、比重 1.027、pH3.00、酸度 4.0%、溶解タール 2.34%である。

用土をフラワーポットに入れ、コマツナを播種し栽培した。播種後 12 日目から 7 日おきに 3 回にわたり所定の希釈倍率の木酢液を霧吹き器で葉面散布した。散布は葉の表面の全体が濡れる程度に行った。希釈倍率は、原液、2 倍、3 倍、4 倍、5 倍、10 倍、20 倍、50 倍、100 倍とした。

散布後 8 日目に葉数とそのうちの枯損葉数を調査し評価した。

### 12.2.3 希釈濃度が地上高、葉数、葉緑素濃度に及ぼす影響

試験に供した木酢液は、コナラ材を土窯で炭化した際に排煙口温度 80~150℃で採取し、6ヶ月以上静置した木酢液を使用した。この木酢液の品質は、比重 1.018、pH2.20、酸度 9.7%、溶解タール 0.22%である。

用土をフラワーポットに入れ、コマツナを播種し栽培した。播種後 16 日目から 7 日おきに 4 回にわたり所定の希釈倍率の木酢液を霧吹き器で葉面散布した。散布は葉の表面の全体が濡れる程度に行った。希釈倍率は、100 倍、200 倍、300 倍、400 倍、500 倍、600 倍、800 倍、1000 倍、1500 倍とした。

散布後 5 日目に地上高、葉数及び葉緑素濃度を調査し評価した。なお、葉緑素濃度は、葉緑素計 (SPAD-502, MINOLTA 製)を用いて、最も草丈の長い葉の 3 カ所を測定し平均値で評価した。

## 12.3 結果と考察

### 12.3.1 希釈濃度が葉の枯損に及ぼす影響

結果を図 12-1 に示した。試験区ごとの葉数の差に有意差( $\alpha=5\%$ )は見られなかった。原液散布区では葉の約半数が、2 倍液散布区では葉の約 4 分の 1 で枯損が見られた。

これらの結果から、原液あるいは 2 倍希釈木酢液までの木酢液では葉を枯損させることが確認された。

### 12.3.2 希釈濃度が地上高、葉数等に及ぼす影響

結果を図 12-2~12-4 に示した。各試験区間に有意差( $\alpha=5\%$ )は認められなかった。

このことから、木酢液葉面散布による地上高、葉数、葉緑素濃度に及ぼす顕著な影響は確認されなかった。

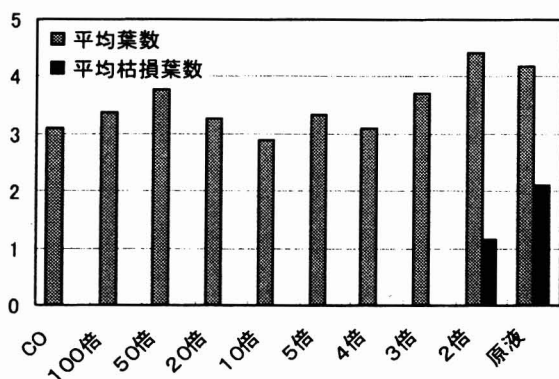


図 12-1 木酢液の葉面散布による 1 個体当りの平均葉数と平均枯損葉数

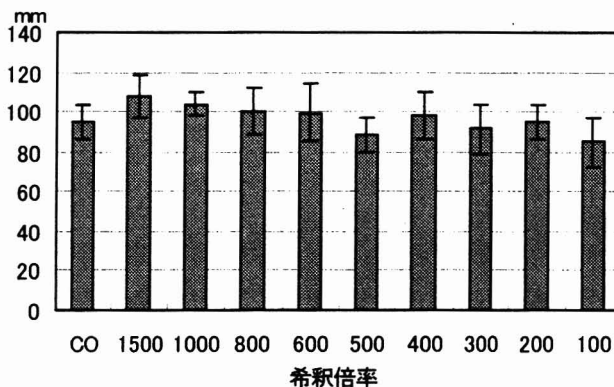


図 12-2 木酢液を葉面散布したコマツナの地上高

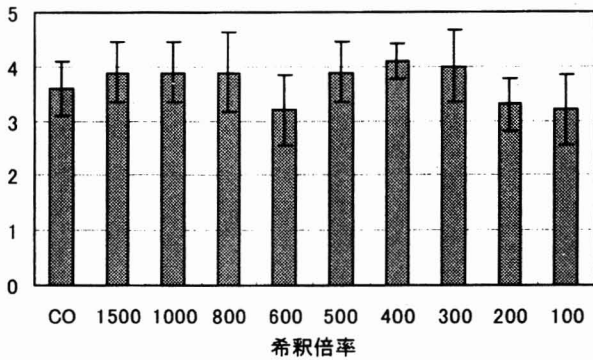


図 12-3 木酢液の葉面散布による 1 個体当りの葉数

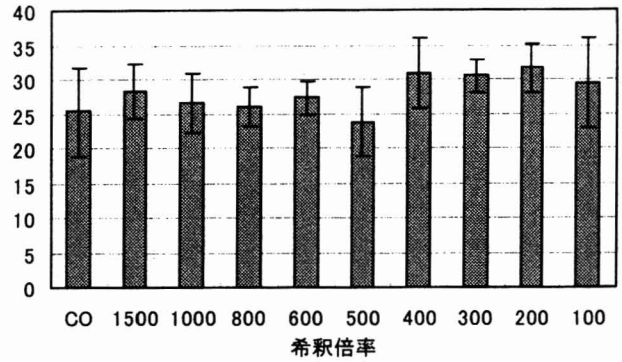


図 12-4 木酢液を葉面散布したコマツナの葉緑素濃度

### 13 結語

木炭の吸着能などの物性については木材学会等で様々な報告が行われており、新たな知見の蓄積は着実に進められている。一方、木炭は土壌改良材や床下調湿材などとして広く利用されるようになってきているが、未だにこれらの効果を示すデータは少ない。

本課題では、木炭の物性の解明のほか、VOC 吸着能や水質浄化能、植物成長に及ぼす影響などについても若干の検討を行った。この中で、木炭の炭化温度細孔特性の解明や VOC 吸着への有効性、植物栽培への影響などに一定の知見が与えられた。

今後とも木炭の持つ物性や利用上の効果の検証などを行いデータを蓄積していく必要があると考えられる。

木酢液については、様々な利用法が書籍等で紹介されているが、その効果を裏付ける客観的なデータが乏しいのが現状である。本課題でも若干の検討を行ったが、木酢液は採取条件によって成分などに相違があるため、木酢液の効果を検証するためには、より詳細な試験が必要であろうと考えられた。

### 14 謝辞

本課題は、大矢信次郎並びに高木茂が、独立行政法人森林総合研究所での受託研修に参加し、そこでの研修成果が大きく反映されている。特に樹木化学研究領域（現バイオマス化学研究領域）並

びに木材特性研究領域の皆様には多大なるご指導並びにご尽力を賜りました。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

また、地元片丘地区の百瀬博之氏より耕作土の提供をいただくことにより、関係する各試験を行うことができました。県下各地の木酢液生産者の皆様からは木酢液の提供を受けるなどご協力をいただきました。そのほか本課題を進めるにあたりご協力いただきました皆様に厚くお礼申し上げます。

### 引用文献

- 1) 人見充則他(1993) p22-28, 炭素 No. 156
- 2) 外崎真理雄・鈴木養樹・富村洋一・大矢信次郎(2002) 床下調湿用廃材木炭の吸放湿特性について, p178, 第 52 回日本木材学会大会研究発表要旨集
- 3) 外崎真理雄・鈴木養樹・松岡真悟(2001) 床下調湿用廃材木炭の吸放湿特性, p464-467, 木材工業 Vol. 56 (No. 10)
- 4) 大平辰朗(2001) p9-19, New Food Industry 43(6)

### 参考文献

- 1) 大矢信次郎・川口エリ子・大平辰朗・松井直之・河村文郎(2002) 木質系素材による環境浄化 (3), p665, 第 52 回日本木材学会大会研究発表要旨集

- 2) 大矢信次郎・大平辰朗・松井直之(2003) カ  
ラマツ木炭の物性に及ぼす炭化温度の影響, p508,  
第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集
- 3) 高木茂・大平辰朗・松井直之(2004) 樹種や  
炭化温度の異なる木炭の水質浄化機能の検討,  
p736, 第 54 回日本木材学会大会研究発表要旨集
- 4) 高木茂・大平辰朗・松井直之(2005) 木炭か  
らの滲出物が水質に及ぼす影響, p229, 第 55 回日  
本木材学会大会研究発表要旨集
- 5) 高木茂(2006) 野外に敷設した粒度の異な  
る木炭の保水量と吸水性について, p131, 第 56 回  
日本木材学会大会研究発表要旨集