

(平成 21 年度)

2010 年 1 月

修士論文

マツ科樹木の産生する二次代謝物質が示す 他感作用力の検定と作物栽培への応用

帯広畜産大学

畜産学研究科 畜産環境科学専攻

永田 智子

Leaf Litter and sap extracts of pine trees
inhibit germination and primary growth of
weeds:its applications of the crop cultivation

January 2010

Tomoko NAGATA

Master Course of Agro-environmental Science

GRADUATE SCHOOL OF OBIHIRO UNIVERSITY

目次

1 緒論	1
1-2. カラマツについて	5
材料及び方法	8
2-1. カラマツ落葉の散布による雑草抑制効果とコムギの収量に及ぼす影響	9
2-2. マツ科樹液による雑草4種の発芽試験	11
2-3. マツ科樹液による雑草4種の生長試験	13
2-4. マツ科樹液の投与による雑草発生の抑制効果	16
3. 結果	18
3-1. カラマツの落葉がもつ雑草防除効果と栽培中のコムギへの影響	19
3-2. マツ科樹木樹液中における雑草4種の発芽率調査	25
3-3. マツ科樹液の投与に対する雑草4種の生長反応の解析	28
3-4. マツ科樹液の投与による雑草発生の抑制効果を検証した トレイ試験	36
4. 考察	39
5. 摘要	47
6. 謝辞	
7. 引用文献	

1. 緒論

1. 緒論

マツ科樹木は、温帯から冷帯にかけて広く分布する針葉樹林である。11 属あるマツ科の中で、カラマツ属とイヌカラマツ属は落葉性であり、その他の種はすべて常緑性である。北海道でよく見ることができているカラマツ (*Larix kaempferi*) は、マツ科カラマツ属に属する日本固有の高木である (図 1)。カラマツは生長が早く垂直に伸長するため、十勝をはじめ道内の畑作地帯に、木材利用を兼ねた防風林用樹種として盛んに植樹されている。このカラマツ防風林の効果は他の樹種の防風林と比較して優れており、平成 14 年 6 月に音更町で発生した強風 (最大風速 11.4m/秒、平均風速 5.8m/秒) の際にも、カラマツ防風林に保護された農地ではシラカバ防風林によって保護された農地に比べ表土飛散などの被害が少なかったことが明らかとなっている。また、カラマツとシラカバにおける防風林の遮蔽度 (林帯の長さに対する植栽木の積算胸高直径の比。値が高いほど、林内の樹木の生育がよく遮蔽効果が高いことを示す。) を比較した場合も、カラマツの値 (15.2%) はシラカバの値 (13.3%) に比べ高くなり、カラマツがシラカバに比べ優れた防風効果を持つことが示される。(北海道立林業試験場 森林情報室 <http://www.hfri.pref.hokkaido.jp>

[/kanko/topics/pdf/3202.pdf](#))。また、街道に連なるカラマツ林は、十勝の景観を作る重要な環境資源ともなっている。その一方で、カラマツ林が生む弊害も報告されている。毎年大量に出る落葉や老木からの落枝の除棄作業はカラマツ林の近傍で暮らす人々の大きな負担となっている。また、圃場内のカラマツ林に隣接した場所では、他の場所に比べ作物の生育が劣る傾向がある (帯広市農家からの情報)。

カラマツ林の存在による作物の生育障害については、かねてよりその因果関係が唱えられてきた。そしてこれまでは、カラマツ林のつくる日陰が作物の光合成を阻害すること、あるいは、長く伸びた枝や根が農機を用いた作業の障害になることが原因と定説化されてきた。ところが最近になり、マツ科の植物が他の植物に対する他感作用を持つことが報告された (藤井 2000)。他感作用 (アレロパシー) とは、ある植物から放出される化学物質

が、他の植物や昆虫、微生物、小動物ひいては人間に、阻害、あるいは促進作用などの何らかの生理的影響を及ぼす現象である（藤井 2000）。マツ科の植物でアレロパシーを持つ例としては、Grodzinsky and Gaidamak(1987)が、旧ソ連のキエフおよびセルニコフ地区の公園の欧州アカマツ（マツ属）、ストローブマツ（マツ属）、ドイツトウヒ（トウヒ属）、*Larix deciduas*（カラマツ属）、ニオヒヒバ（クロベ属）、*Thuja plicata*（クロベ属）、およびコロラドシロモミの立木周辺に特別なパターン of 草本密生地区が存在することを報告した。彼らは、このパターン形成にアレロパシーが主要因となっていると考え、土壌水抽出物によりそれを確かめた。

カラマツにおいても、他のマツ科植物同様に他感作用を持つことが示唆されている。カラマツの場合、落葉の飛散距離は母樹から風下に向かいおおよそ 10m以内とされている（木村 2006）。つまり、カラマツ林から 10m以内の場所には、他の場所に比べ多量にカラマツの葉が堆積していると推測できる。そして、この林から 10mという範囲が、農家が言う「作物がよく育たない場所」に相当している。これらのことから、カラマツ林の近くで作物が育たないことの一因として、新たにカラマツの落葉による他感作用が唱えられるようになった。木村（2006）は、カラマツの葉を多量に混和した土壌では作物や雑草の生育が抑制されることを栽培試験によって明らかにし、カラマツの葉が作物や雑草に対する生長抑制効果を持つことを証明した。

一方、作物の生長に悪影響を及ぼすカラマツのアレロパシーをうまく農業に活用することが思索されている。木村（2006）は、カラマツの落葉が雑草種に対しても他感作用を發揮し、その生長を抑制することを明らかにした。また、カラマツの落葉の他感作用に対する感受性は作物種よりも雑草において高いことを明らかにした。このことは、作物と雑草の間でカラマツの落葉の他感作用物質に対する反応閾値が異なることを意味しており、他感作用物質の作用量を調節することで作物の生長に影響を与えず雑草の生長を抑制できることを示唆している。つまり、カラマツの葉をうまく利用することで化学農薬に頼らずに

雑草の防除が行えると期待できるのだ。

カラマツの落葉の雑草防除における有用性を検証するためには、カラマツの落葉に雑草に対する実質的な生長抑制効果があるのか、それがどれくらいの量の落葉によって発現されるのか、雑草の種類により効果の現れ方に違いがあるのかといったことを明らかにしておく必要がある。そこで、本研究では実際の作物を栽培している圃場にカラマツの落葉を散布することで、雑草や作物にどのような影響が表れるかを調査した。また、一般樹木では、落葉に比べ、樹液のほうが同じ構成の物質をより高濃度に含んでいる傾向にある。そこで、カラマツの落葉の代わりに、より他感作用物質が凝縮していると考えられるマツ科樹木の樹液を用いた試験も行なった。そして、マツ科樹木の産生する二次代謝物質が示す他感作用力を利用した有機的な雑草抑制剤の開発を念頭に、マツ科樹液による雑草の発芽試験、および生長試験を試行し、その結果を踏まえたマツ科樹液の作物栽培への応用性について考察した。

1-2 カラマツについて

カラマツ（学名：*Larix kaempferi*(Lambert)Carriere、または *Larix leptolepis*(Sieb.etZucc) Gordon、和名：フジマツ、ニッコウマツ、ラクヨウショウ、英名：Japanese larch)は、マツ科カラマツ属の落葉性針葉高木である。

生育形態は、成体で樹高が 30m 以上、胸高直径が 1m に達する。幹は太い横枝を開出しながら直立し、円錐樹形をなす。樹皮は灰褐色で、しばしば縦にさけ、長鱗片となって落ちる。枝は長枝と短枝からなり、長枝には膜質の鱗片葉だけがつき、短枝に鱗片葉と針葉がつく。長枝は灰褐色から褐色に変色し、無毛またはわずかに有毛で、葉沈が茎にそって線状に盛り上がり、先は茎に直角に切形となって柄にならない。短枝には基部が褐色の鱗片葉で包まれており、最上部の鱗片葉は円頭でふちに褐色毛がある。短枝の針葉は長さ 2～3 cm、幅 1mm、横断面は扁平で、裏面に中肋の両側に白色の気孔帯があるときには明らかでない。針葉は 20～30 個が束生し、濃緑色～鮮緑色～黄色と変色して、秋に落ちる。雌雄同株で、春に開花する。雄花は黄色、4mm の卵形または長卵形、針葉をつけない短枝に頂生し、下向する。雄蕊はらせん状に多数つき、葯隔は小さく、葯胞は 2 つで縦にさける。球果は帯紫色、9mm の卵形、短枝に頂生して基部に針葉をもち、下向する。球果の苞鱗片はそりかえり、先が尾状に変形する。種子鱗片は苞鱗片の 2 倍長で、背部に短毛があり、先が円く、しばしば端だけが反り返る。球果はその年の秋に成熟すると上向し、長さ 2～3.5 cm、直径 1.2～2.5 cm ほどになる。種子は 2 個並び、長さ 3～4mm、倒卵状くさび型をなし、翼は種子の 2 倍長になる。

カラマツは日本固有種で、本州の中部、および関東の山地に分布し、北限は宮城県、南限は静岡県である。男体山、八ヶ岳、蓼科山、および浅間山などには広大な天然林や人工林がある。陽樹で生長がはやく、土壌条件に対する要求も低いため、他の樹種の生育しないような場所でもよく成林する。また、カラマツは寒冷地でもよく育つことから、長野や北海道などで短伐期造林木として大面積にわたって植栽されてきた。北海道では、明治期

の開拓に際し信州から種子を移入し、明治中期にはカラマツ造林の最盛期を迎えた。用途は、建築材、土木用材、パルプ、防風林、および生垣用など広い。材は樹脂分を多く含むため水湿に強いが、重くて硬いことから加工が難しく、割裂やねじれを生じやすいため、主に、チップ、パレット材、梱包材、ダンネージ材等に加工されていたが、近年では、材を蒸気で蒸すことで、ヤニを封じ込め、ねじれも直し乾燥もさせる（蒸して柔らかくなった材を押さえることで曲がりも直す）技術の開発によって、柱、土台、板等、今までの使い方をより発展させ、多方面の建築材料から家具などにも使用が可能になった（中畠 2000 <http://www.fpri.asahikawa.hokkaido.jp/rsdayo/10105030810.pdf> 武井 1999 <http://www.kawakami.ne.jp/moriben/karamatuhadamezura/karamatuhadamezura.htm>）。また、針葉樹合板のコア材として利用されてきたロシア産カラマツが輸入困難な状況となっており（中国での需要拡大の影響）その代替として国産カラマツの消費が伸びつつある。樹皮は染料としても用いられ、樹脂からはテレピン油をとることができる（矢頭 1964、北海道林務部 1976、北村ら 1979）。



写真1. カラマツ (*Larix kaempferi*)

2. 材料及び方法

2-1 カラマツ落葉の散布による雑草抑制効果とコムギの収量に及ぼす影響

カラマツの落葉がもつ雑草防除効果と栽培中のコムギに及ぼす影響を検証するため、カラマツの落葉をコムギを栽培中の圃場に散布した。

(1) カラマツの落葉の採集、および落葉粉末の作成

2007年秋に帯広畜産大学構内の鶏舎周辺、およびテニスコート横で、落下後間もないカラマツの針葉を採集した。採集した葉を直ちに乾燥させ、実験開始までポリビニル袋に入れ、室温で保存した。実験開始直前に、粉碎カッター（Wonder Blender 大阪ケミカル株式会社）を用い、20秒で2回粉碎し、粉末状に加工した。

(2) 実験材料、および方法

2008年4月18日に、帯広畜産大学実験圃場にコムギ（品種：ハルユタカ）を20cm畝間で条播した。試験区的一端には周縁畝として、試験畝から30mの間隔で1畝を条播した。なお、試験を行った圃場では、前作として2007年にヒマワリが栽培されており、コムギの栽培にあたっては、基肥としてN-8kg/10a、P-12kg/10aを施用した。播種後20日目、コムギの幼苗が2～3葉期の頃に、カラマツ落葉の粉末の散布量を、以下に示す4段階に設定し散布した。

カラマツでは、散布された落葉の約8割が、母樹から風下に向けておよそ10m以内に落下する（木村 2006）。大根田ら（2001）は中標津町のカラマツ防風林において、林からの距離と落葉堆積量との関係を調査した。それによると、カラマツ林から1m、10m、および20m離れた土地における落葉の堆積量は、それぞれ248.1g/m²、170.6g/m²、および19.4g/m²であった。この値をもとに、木村（2006）は作物の栽培試験を行い、248.1g/m²相当のカラマツの落葉を混和した土壌では作物の生長阻害が生じ、170.6g/m²相当、あるいは19.4g/m²

相当の落葉を混和した土壌では作物の生長阻害があまり生じないことを明らかにした。本実験では、木村（2006）の結果をもとに、カラマツ林から 1m、10m、および 20m 離れた土地における土壌の条件を基準に処理設定を行い、それぞれ以下の量のカラマツの落葉粉末を混和した。

- i) コントロール：カラマツの落葉粉末を混和しない。
- ii) 1m処理：カラマツ林から 1mの距離の土壌を想定。248.1g/m²相当のカラマツの落葉粉末を混和する。
- iii) 10m処理：カラマツ林から 10mの距離の土壌を想定。170.6g/m²相当のカラマツの落葉粉末を混和する。
- iv) 20m処理：カラマツ林から 20mの距離の土壌を想定。19.4g/m²相当のカラマツの落葉粉末を混和する。

コムギが種子登熟を迎えた、播種から 150 日後の 9 月 15 日に、各処理区の中央部の縦 0.8m × 横 1.2m に含まれるコムギ（120 cm × 3 畝）とその畝間に発生した雑草を収穫し、処理区ごとにコムギの草丈、コムギの地上部の総乾物重量、穂数、総穂重量、および雑草の総乾物重量を測定した。なお、草丈は、各処理区から任意に選んだ 10 個体の地際から穂首までの長さを計測し、その平均値を当該区の値とした。

(3)統計処理

カラマツの落葉を散布した処理区におけるコムギの地上部の総乾物重量、穂数、総穂重量の測定値を、コントロールを基準 1 とした比率で示した。また、草丈は、各処理区ごとに得られた平均値の差を t-検定によって検出した。各処理区内に発生した雑草の総乾物重量の測定値を、コントロールを基準 1 とした比率で示した。なお、t-検定には、Microsoft EXCEL (Microsoft Corporation)を用いた。

2-2 マツ科樹液による雑草 4 種の発芽試験

マツ科樹液の精油が雑草の発芽に及ぼす影響を調査するため希釈樹液中での雑草 4 種の発芽率や発芽スピードを測定する発芽試験を行った。

(1) マツ科樹木の樹液

本研究に用いたマツ科樹木の樹液は、アジア及び太平洋州に栽植される複数種のマツ科樹木の混合樹液である。これを、蒸留精製し、精油の状態ですべて試験に用いた。

(2) マツ科樹液を用いた雑草 4 種の発芽試験

本試験では検体植物として、イヌビエ (*Echinochloa crus-galli* var. *caudata*)、アカツメクサ (*Trifolium pratense* L.)、シロカラシ (*Sinapis alba* L.)、およびキノア (*Chenopodium quinoa*) の 4 種を用いた。イヌビエ、アカツメクサ、およびシロカラシは、十勝における畑地、草地の主要雑草として知られるものである。なお、アカツメクサの種子は緑肥用として市販されているものを用いた。また、キノアは、同じアカザ科アカザ属で、十勝における有害雑草であるシロザ (*Chenopodium album*) の代用種として用いた。プラスチックシャーレ (内径 5.5 cm) 内に濾紙を 2 枚重ねて敷き、II-(1) で記したマツ科樹液の精油に界面活性剤を加え、蒸留水で 0.0%、0.5%、1.0%、2.0%、および 4.0% の濃度に希釈した樹液を添加した。以降、これらの処理をそれぞれ、コントロール、0.5% 処理、1.0% 処理、2.0% 処理、および 4.0% 処理と表記する。それぞれのシャーレに検体植物の種子を 20 粒置床した。シャーレをパラフィルムで密閉し、20℃ 暗条件下に設定したインキュベータ内に置いた。そして、試験開始後、24 時間ごとにシャーレ内の種子の発芽率を計測した。試験期間は 5 日間とした。試験はそれぞれの検体植物と希釈液の組み合わせについて 5 反復行った。

(3) 統計処理

植物種ごとに各濃度の希釈液における平均発芽率を計測し、算出した。そして、植物種内の、処理間における平均発芽率の差を t-検定により検定した。なお、本試験において得られた発芽率データの分布は、正規性を示さなかったため、検定に際し、データを arcsin 変換した。なお、t-検定には、Microsoft EXCEL(Microsoft Corporation)を用いた。

2-3 マツ科樹液による雑草4種の生長試験

マツ科樹液の精油が雑草の発芽後の初期生長に及ぼす影響を調査するため、樹液を添加した培土で雑草4種を栽培する試験を行った。また、雑草4種の窒素吸収量を調査するためにタンパク質含量を計測した。

(1) マツ科樹液を吸着させたくん炭の作製

マツ科樹液の樹液精油 20g を、40g の稲粃殻くん炭に混和した。これに 120°C-110kPa の加圧処理を 20 分行うことで、樹液精油をくん炭に吸着させた。余熱による樹液精油の揮発を防ぐため、処理後すぐに冷却して密栓した。しかし、加圧処理後に重量を計測すると当初の総重量 60g から 3.4g が減少していた。これは樹液精油に含まれる揮発成分が加圧処理中に揮発したことによると考えられる。これを考慮すると、本研究で作製した樹液吸着くん炭は、総重量 56.6g (樹液精油 16.6g+稲粃殻くん炭 40g)、樹液精油含量割合が 29.3%に調整できたことになる。

(2) マツ科樹木の樹液が雑草の生長に与える効果の検定

イヌビエ、アカツメクサ、シロカラシ、およびキノアの種子を、ろ紙を敷いたガラスシャーレに置床し、蒸留水を適量加えた。24 時間後、発芽している個体を、1 個体ずつバーミキュライトを 100ml 充填した育苗ポット (直径 6cm×5cm) に移植した。バーミキュライトは蛭石を焼成処理した無機資材であり、植物の生長に影響を及ぼすような化学物質を含んでいない。植物の生育における必須元素を含む肥料として、以下に示す化合物を水道水に溶解した： NH_4NO_3 [1.0]； $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [0.6]； K_2SO_4 [0.3]； $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [0.3]； $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [0.6]； EDTA-Fe [4.5×10^{-2}]； H_3BO_3 [5×10^{-2}]； $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ [9×10^{-3}]； $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ [3×10^{-4}]； $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ [7×10^{-4}]； $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [1×10^{-4}] [単位：mM]。これを、試験が終了するまで一日おきに、1 ポットあたり 10ml 与えた。ポットは 25°C、

14h/Day 明条件に設定した人工気象器内に置いた。各個体から本葉が出るまで育苗し、(3) -1 で作製したくん炭を投与した。くん炭は、ポット内に充填されたバーミキュライト上に均一になるように散布し、軽く指で表層部分を攪拌することでバーミキュライトに混和した。投与したくん炭の量は、1ポットあたり、0mg、34.3mg、68.2mg、136.5mg、および273.0mgの5処理に設定した。これは、1Lのバーミキュライトあたり0mg、100mg、200mg、400mg、および800mgのマツ科樹液の精油を投与した条件に相当する。以降、これらの処理をそれぞれコントロール、100mg処理、200mg処理、400mg処理、および800mg処理と表記する。なお、試験はそれぞれの草種とくん炭投与量の組み合わせについて6反復行った。

くん炭を投与してから、3日おきに草丈を測定した。なお、イヌビエでは、地際から最上位の葉鞘の葉耳までを草丈とし、アカツメクサ、シロカラシ、およびキノアでは、地際より最上位葉の葉柄基部までを草丈とした。また、くん炭の投与から18日目にポットから植物体を取り出し、根長と草丈を測定した。その後、70°Cに設定した送風定温乾燥機で3日間乾燥させ、植物体全体の乾物重を計測した。

乾燥後の植物体を正確に秤量し、マルチビーズショッカー（安井器械株式会社）で粉砕した。粉砕した試料にタンパク質抽出バッファー（62.5mM Tris-HCl-4M Urea(pH8.0)）を加え1時間攪拌することで、試料に含まれる粗タンパク質を抽出した。なお、添加する抽出バッファーの量は、乾燥試料の重量が30mg未満の場合には1mlに、乾燥試料の重量が30mg以上の場合には2mlに、それぞれ設定した。その後、13,000rpmの遠心に4分かけ、上澄み10 μ lを別のチューブに移した。この抽出液に、1 \times Advanced Protein Assay Regent (ADV01) (Cytoskeleton社) 990 μ lを加え、よく攪拌した。5分間後、分光光度計で590nmの波長における吸光度を計測した。さらに、上記により求めた吸光度から、Cytoskeleton社が提示する次式により、各植物体のタンパク質含量を求めた。

[吸光度が0.0~0.4のとき]タンパク質含量 (%) = $25 \times \text{吸光度} \times 200 \div \text{植物体の乾物重量}$

[吸光度が0.4~1.0のとき]タンパク質含量 (%) = $33 \times \text{吸光度} \times 200 \div \text{植物体の乾物重量}$

[吸光度が 1.0~1.5 のとき]タンパク質含量 (%) = $40 \times \text{吸光度} \times 200 \div \text{植物体の乾物重量}$

(3) 統計処理

各雑草種の処理ごとに草丈、根長、および乾物重量の平均値を求めた。処理間における平均値の差を t-検定により検定した。また、植物体中のタンパク質含量 (%) についても、処理ごとに平均値を算出し、処理間における差を t-検定により検定した。なお、t-検定には、Microsoft EXCEL(Microsoft Corporation)を用いた。

2-4 マツ科樹液の投与による雑草発生の抑制効果

マツ科樹液の投与が実際の土壌における雑草発に及ぼす効果を調査するため、埋土種子を含む土壌にマツ科樹液を混和することで、発生する雑草がどのように変化するかを検証した。

(1) 雑草発生試験

帯広畜産大学実験圃場において、前年度にカラマツの葉が堆積しておらず、まだ雑草の発生が起こっていない3m×3m範囲の場所を選び、雑草の埋土種子が集まる表層約20cmの土を集めた。この土をふるいにかけて、物性を均一にした後に育苗コンテナ6型(24cm×16cm×5cm)に充填した。コンテナを3グループに分け、そのうち1グループはそのままの状態(コントロール)に、他の2グループには、2-3-(1)で作製したマツ科樹液を吸着させたくん炭をそれぞれ10g、および20g混和した。これは、1Lの土壌あたり0g、1.5g、および3.0gのマツの樹液の精油を投与した条件に相当する。以降、これらの処理をそれぞれ、コントロール、10g処理、20g処理と表記する。各処理のコンテナを6反復作製した。適宜給水することにより、各コンテナ内に雑草を発生させた。試験開始後約80日目にそれぞれのトレイに発生した雑草の種類と数を記録した。また、トレイから雑草を取り出し、トレイごとに発生した雑草の総乾物重量を計測した。

(2) 統計処理

雑草種、発生数、乾物重量を処理ごとにまとめ、コントロールと、マツ科樹液を混和した処理間における発生した雑草種の構成の違いを χ^2 適合性検定により検定した。また、処理間における総乾物重の平均値の差をt検定により検定した。これら一連の統計量の計算、および検定にはMicrosoft-EXCEL(Microsoft Corporation)を用いた。

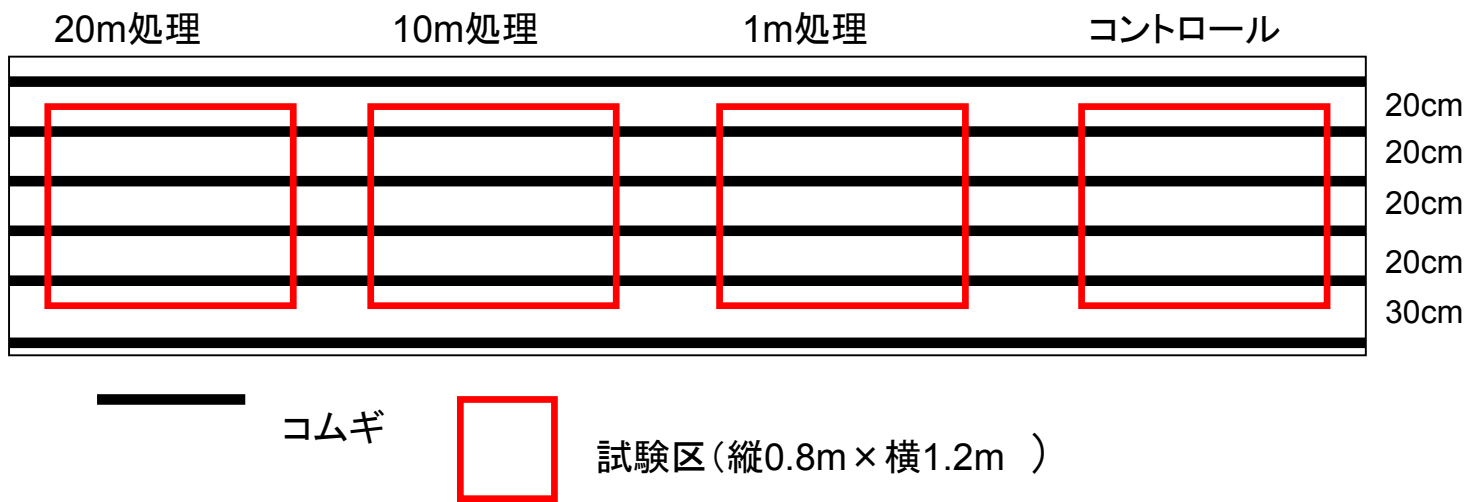


図2 実際の圃場でのカラマツ落葉がコムギに与える影響を調査するための試験区

3. 結果

3-1 カラマツの落葉がもつ雑草防除効果と栽培中のコムギへの影響

(1) 試験期間中の雑草発生の推移

コムギの播種から 20 日後、カラマツの落葉粉末を散布したときには、すでに畝間に雑草が発生していた。この時点では各試験区とも、雑草の発生量が同程度であった。また、発生している雑草の多くは子葉期であった。1m 処理 (248.1g/m² のカラマツの落葉粉末を散布した) および 10m 処理 (散布量 170.6g/m²) の区では、散布直後から発生雑草数が減少し、明らかな雑草抑制が見られた。20m 処理 (散布量 19.4g/m²) の区でも、散布から 20 日後までにコントロールと比較して、明らかに雑草の発生量が少ない様が確認できた (図 3-1、図 3-2)。しかし、コムギが生長し、草丈が高くなると、処理間での雑草の発生および生育の差異を確認することが困難になった。コムギの収穫日にあたる播種後 150 日目に、各試験区内の雑草の総乾物重量を計測すると、コントロールで 494g であったのに対し、10m 処理区では 198g と、雑草の発生量がコントロールの 40.1%に抑制されていた (図 4-(a))。また、1m 処理区においても雑草の総乾物重量が 261g となり、コントロールと比較して、53.8%と低い値であった。20m 処理区においても、10m 処理区ほどではないものの、雑草抑制効果が見られ、雑草の総乾物重量が 305g と、コントロールに比べ約 61.7%と低い値であった。

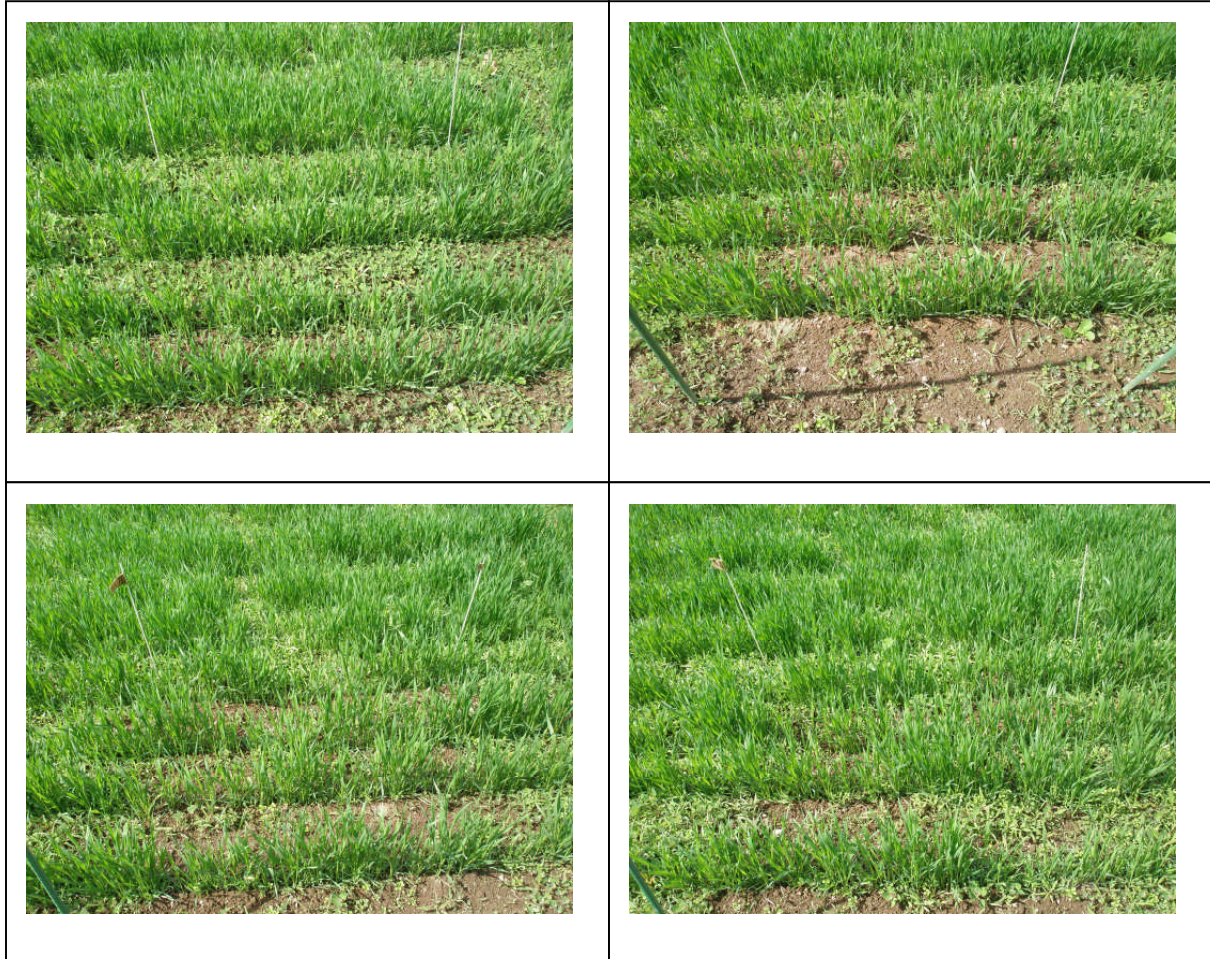


図 3-1 カラマツの落葉の散布処理を行ってから 20 日後の試験区。

(左上：コントロール、右上： 1m 処理、左下： 10m 処理、右下： 20m 処理)

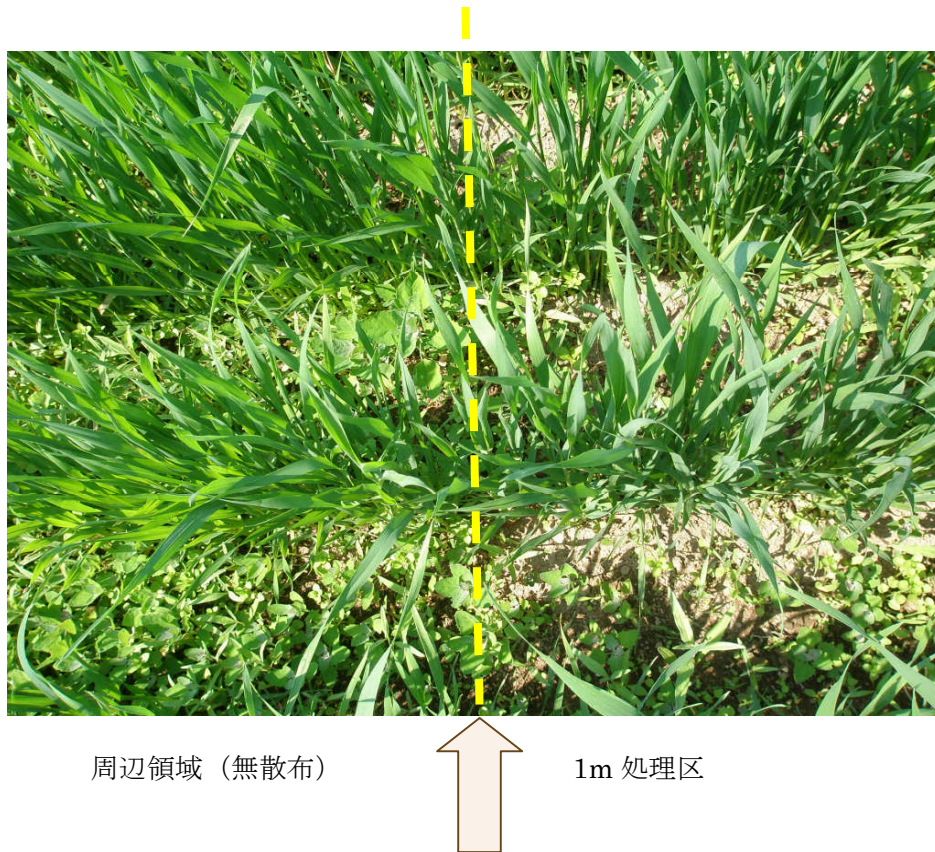


図 3-2 1m 処理区とカラマツ落葉を散布していない周辺領域との境界

(2) カラマツ落葉散布処理区内で栽培したコムギへの影響調査

播種から 150 日後にコムギの刈り取りを行い、地上部の乾物重量、草丈の平均値、総穂数、および総穂重を調査した。地上部の総乾物重量は、10m 処理区で 1379g となり、コントロールの 1050g に比べ約 130%と高い値であった (図 4-(b))。1m 処理区の値は 1363g となり、コントロールに比べ、同じく約 130%と高い値であった。20m 処理区の値は 1251g で、コントロールと比較し、約 120%と高い値であった。

草丈に関しては、コントロールの値とカラマツの落葉を散布した区の値の間に、大きな差が認められなかった。ただし、コムギの草丈は、コントロール (78.6 ± 7.1 cm) に比べ、1m 処理 (76.0 ± 6.9 cm) でやや低く、10m 処理 (81.4 ± 5.3 cm) と 20m 処理 (80.3 ± 5.5 cm) でやや高くなる傾向があった。

総穂数と総穂重は、コントロールと比較して、全てのカラマツの落葉を散布した区でそれぞれ処理で高くなった。1m 処理区と 10m 処理区では、総穂数がそれぞれ 640 個、と 635 個であり、コントロールの 506 個と比べそれぞれ約 130%の値であった (図 4-(c))。また、20m 処理区の総穂数は 593 個で、コントロールに比べ約 120%の値であった。一方、1m 処理区と 10m 処理区の総穂重はそれぞれ 737g と 739g で、コントロールの 540g に比べ約 130%の値であった (図 4-(d))。20m 処理区はコントロールに比べ約 120%の値であった。

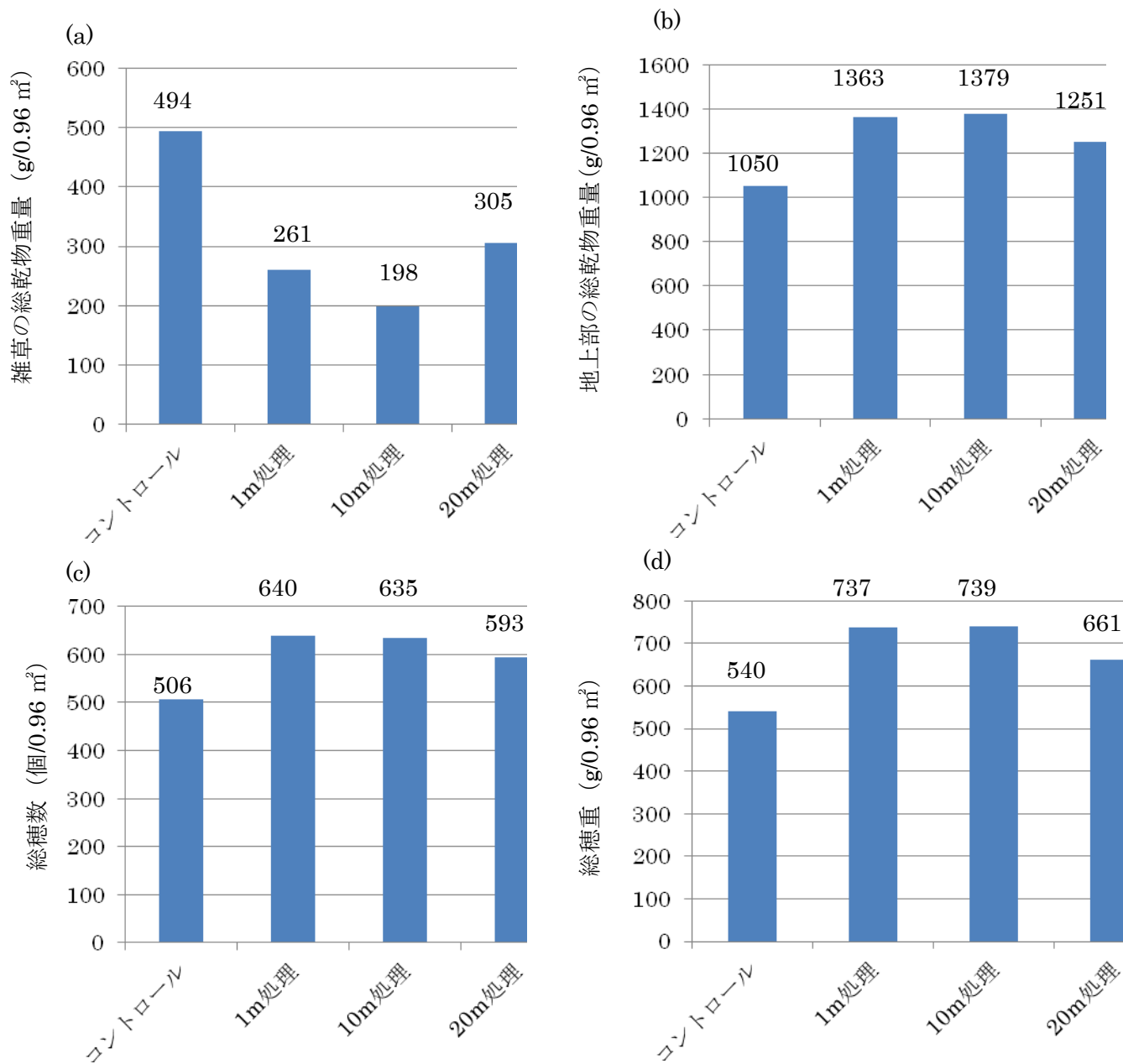


図 4 カラマツ落葉を圃場に散布した処理区で発生した (a)雑草総乾物重量、(b) コムギ地上部の総乾物重量、(c) コムギの総穂数、および (d) コムギの総穂重

表 1 カラマツ落葉を散布した処理区内で生育したのコムギの草丈 (cm、平均値±標準偏差)

		コントロール	1m処理	10m処理	20m処理
	N				
草丈	10	78.6 ± 7.1	76.0 ± 6.9	81.4 ± 5.3	80.3 ± 5.5
			$p=0.41$ *	$p=0.34$	$p=0.56$

* コントロールにおける値との差を t-検定により検定した際の両側確立

3-2 マツ科樹木樹液中における雑草4種の発芽率調査

イヌビエ、アカツメクサ、シロカラシ、およびキノアの雑草4種における試験開始から5日間の発芽率の推移を表2に示した。雑草種によって発芽抑制効果の程度に差が見られた。4.0%濃度の希釈培液では全ての植物でコントロールと比較し、発芽率が低下した。

イヌビエでは、コントロールにおける試験開始5日目の最終発芽率が $94.0 \pm 8.9\%$ であった。これに対し、4.0%処理では最終発芽率が $77.0 \pm 16.0\%$ と明らかに低かった。また、4.0%処理では、試験期間を通じ2日目を除く各日の発芽率が、それぞれのコントロールの値より低かった。4.0%処理により、最終発芽率の低下とともに発芽速度の低下が生じることが示された。一方、0.5%処理では、試験開始3日目の発芽率が同日のコントロールより高くなった。0.5%処理では試験開始3日目に発芽率が最終発芽率と同等になる。0.5%処理により、最終発芽率に到達するまでの発芽速度が上昇することが示された。なお、1.0%処理と2.0%処理は、最終発芽率や発芽速度に大きな影響をおよぼさなかった。

アカツメクサでは、コントロールにおける試験開始5日目の最終発芽率が $68.0 \pm 17.1\%$ であった。これに対し、4.0%処理では最終発芽率が $50.0 \pm 7.1\%$ と明らかに低かった。また、4.0%処理では、試験開始2日目以降の発芽率が、いずれも同日のコントロールの発芽率より低かった。4.0%処理により、最終発芽率の低下とともに、発芽率速度の低下が生じることが示された。2.0%処理では、試験開始3日目と4日目の発芽率がそれぞれ同日のコントロールの値より低かった。2.0%処理では、最終発芽率には影響がないものの、発芽速度の低下が生じることが示された。なお、0.5%処理と1.0%処理は、最終発芽率や発芽速度に、大きな影響をおよぼさなかった。

シロカラシでは、コントロールにおける試験開始5日目の最終発芽率が、 $69.0 \pm 6.5\%$ であった。これに対し、0.5%処理、1.0%処理、および2.0%処理では、最終発芽率がそれぞれ $14.0 \pm 12.4\%$ 、 $5.0 \pm 3.5\%$ 、および $1.0 \pm 2.2\%$ と明らかに低くなった。また、これらの処理

表2 マツ科樹液精油の希釈培養液中における発芽率の経時推移 (%、平均±標準偏差)

	N	コントロール	0.5%処理	1.0%処理	2.0%処理	4.0%処理
イヌビエ						
発芽率1日目	6	42.0 ± 17.9 a	50.0 ± 17.0 a	24.0 ± 17.8 ab	36.0 ± 17.1 a	14.0 ± 12.9 b
2日目	6	64.0 ± 32.9 ab	83.0 ± 27.1 a	76.0 ± 17.5 a	75.0 ± 15.8 a	41.0 ± 13.4 ab
3日目	6	79.0 ± 17.8 a	95.0 ± 3.5 b	79.0 ± 16.4 a	85.0 ± 6.1 a	58.0 ± 11.5 c
4日目	6	95.0 ± 6.1 a	96.0 ± 4.1 a	92.0 ± 11.5 ab	91.0 ± 6.5 ab	77.0 ± 16.0 b
5日目	6	94.0 ± 8.9 a	97.0 ± 4.4 a	94.0 ± 8.9 a	91.0 ± 6.5 ab	77.0 ± 16.0 b
アカツメクサ						
発芽率1日目	6	0.1 ± 0.2 a	0.0	0.0	0.0	0.0
2日目	6	27.0 ± 18.2 a	21.0 ± 15.6 a	17.0 ± 9.1 a	9.0 ± 7.4 a	1.0 ± 2.2 b
3日目	6	55.0 ± 30.6 a	41.0 ± 17.5 a	52.0 ± 14.8 a	21.0 ± 9.6 b	12.0 ± 7.6 b
4日目	6	66.0 ± 18.5 ab	50.0 ± 18.7 ac	77.0 ± 10.4 ab	40.0 ± 9.3 c	34.0 ± 12.9 c
5日目	6	68.0 ± 17.1 a	52.0 ± 17.5 ab	77.0 ± 10.4 a	53.0 ± 13.5 ab	50.0 ± 7.1 b
シロカラシ						
発芽率1日目	6	2.0 ± 2.7 a	0.0	1.0 ± 2.2 a	0.0 ± 0.0 a	0.0
2日目	6	17.0 ± 11.0 a	0.0	1.0 ± 2.2 a	0.0 ± 0.0 a	0.0
3日目	6	57.0 ± 7.6 a	5.0 ± 5.0 b	3.0 ± 2.7 b	1.0 ± 2.2 b	0.0
4日目	6	63.0 ± 9.1 a	8.0 ± 5.7 b	3.0 ± 4.5 b	1.0 ± 2.2 c	0.0
5日目	6	69.0 ± 6.5 a	14.0 ± 12.4 b	5.0 ± 3.5 b	1.0 ± 2.2 b	0.0
キノア						
発芽率1日目	6	32.0 ± 7.6 a	5.0 ± 6.1 b	6.0 ± 5.5 b	1.0 ± 2.2 b	2.0 ± 2.7 b
2日目	6	99.0 ± 2.2 a	68.0 ± 18.2 b	97.0 ± 4.5 a	86.0 ± 8.2 b	40.0 ± 19.7 b
3日目	6	100	97.0 ± 4.5 a	100	92.0 ± 9.1 a	68.0 ± 13.0 b
4日目	6	100	97.0 ± 4.5 a	100	92.0 ± 9.1 a	68.0 ± 13.0 b
5日目	6	100	97.0 ± 4.5 a	100	92.0 ± 9.1 a	68.0 ± 13.0 b

* 各経過日において、t-検定の結果、5%水準で発芽率に有意な差が認められた処理間には異なる文字をふった

では、試験開始 3 日目と 4 日目の発芽率も、それぞれのコントロールの値より低かった。4.0%処理では、試験期間を通じ全く発芽が開始されなかった。0.5%以上の濃度の樹液精油を作用させることにより、最終発芽率の低下と発芽速度の低下が生じることが示された。

キノアでは、コントロールにおける試験開始 5 日目の最終発芽率が 100%であった。これに対し、4.0%処理では、最終発芽率が $68.0 \pm 13.0\%$ と明らかに低かった。また、4.0%処理では全試験期間を通じ、各日の発芽率がそれぞれのコントロールの値より低かった。4.0%処理により、最終発芽率の低下とともに発芽速度の低下が生じたことが示された。一方、0.5%処理と 2.0%処理では、試験開始 1 日目と 2 日目の発芽率が、1.0%処理では試験開始 1 日目の発芽率が、それぞれ同日のコントロールの値より低かった。これらの処理では、最終発芽率には影響がないものの、発芽速度が低下することが示された。

3-3 マツ科樹液の投与に対する雑草4種の生長反応の解析

試験期間中に 800mg 処理を行ったシロカラシの 1/3 の個体 (2 個体)、およびキノアの全個体が枯死した。また、400mg 処理を行ったシロカラシの 1/3 の個体 (2 個体)、およびキノアの 1/2 の個体 (3 個体) が枯死した。なお、枯死した個体については、タンパク質含量を除く各計測値の値を 0 として統計解析に含めた。また、枯死した個体の特徴として、枯死前に葉や茎の著しい徒長を起こした (図 8)。

イヌビエでは、コントロールにおいて試験終了時の草丈が 6.3 ± 3.1 cm であった (表 3-1、図 9)。これに対し、100mg 処理では、試験終了時の草丈が 9.6 ± 1.3 cm と明らかに高かった。100mg 処理により、草丈が高くなることが示された。コントロールと全ての処理個体の間に主根長、および乾物重量の大きな差は認められなかった。コントロールのタンパク質含量は $2.0 \pm 2.8\%$ であった。これに対し、800mg 処理では $5.9 \pm 2.4\%$ と明らかに高くなり、100mg 処理、200mg 処理、および 400mg 処理でも、タンパク質含量がコントロールより高くなる傾向を示した。

アカツメクサでは、コントロールにおいて試験終了時の草丈が 2.8 ± 0.2 cm であった (表 3-2)。これに対し、100mg 処理と 200mg 処理、および 400mg 処理では、試験終了時の草丈が、それぞれ 2.1 ± 0.4 cm、および 1.7 ± 0.9 cm と、明らかに低くなった。100mg と 200mg 処理により草丈が低くなることが示された。コントロールと全ての処理個体の間に主根長の大きな差は認められなかった。コントロールと全ての処理個体の間に、乾物重量の大きな差は認められなかった。タンパク質含量は、コントロールが $6.9 \pm 3.0\%$ であったのに対し、200mg 処理と 400mg 処理では、それぞれ $11.1 \pm 2.6\%$ 、および $11.7 \pm 3.1\%$ で、明らかに高かった。100mg 処理と 800mg 処理では、コントロールと比較して統計学的には差はなかったが、コントロールより高くなる傾向がみられた。

シロカラシでは、コントロールと全ての処理個体の間に、草丈、および乾物重の大きな

差は認められなかった（表 3-3）。一方、主根長が、コントロールで 14.9 ± 3.3 cmであった

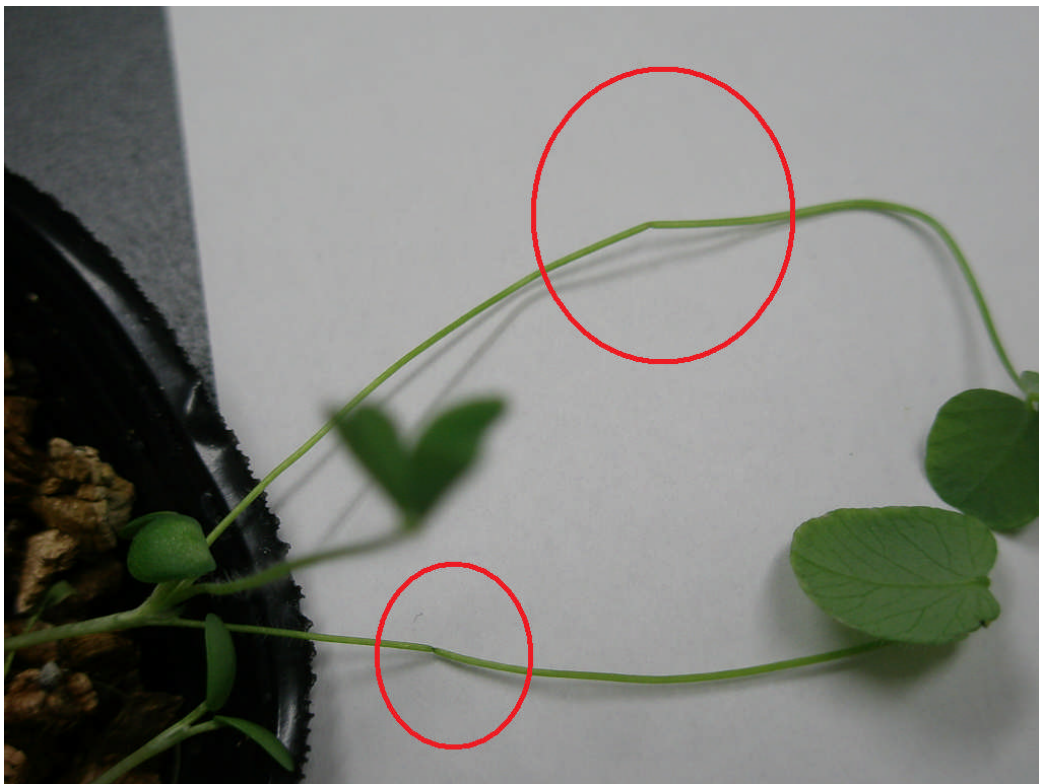


表 3-1 樹液精油の投与処理を施したイヌビエの草丈、主根長、乾物重量、およびタンパク質含量（平均値±標準偏差）

	N	コントロール	100mg処理	200mg処理	400mg処理	800mg処理
草丈(cm)	6	6.3 ± 3.1 a	9.6 ± 1.3 b	8.2 ± 3.9 ab	7.8 ± 2.3 ab	7.6 ± 2.8 ab
主根長(cm)	6	11.9 ± 4.0	11.1 ± 1.6	12.6 ± 5.2	13.6 ± 2.9	10.8 ± 3.3
乾物重量(mg)	6	29.9 ± 14.1	35.5 ± 9.7	31.5 ± 19.0	29.0 ± 11.0	25.4 ± 7.4
タンパク質含量(%)	6	2.0 ± 2.8 a	5.4 ± 3.8 ab	5.1 ± 3.0 ab	6.0 ± 4.9 ab	5.9 ± 2.4 b

* t-検定の結果、5%水準で有意な差が認められた処理間には異なる記号をふった

表 3-2 樹液精油の混和処理を施したアカツメクサの草丈、主根長、乾物重量、およびタンパク質含量

	N	コントロール	100mg処理	200mg処理	400mg処理	800mg処理
草丈(cm)	6	2.8 ± 0.2 a	2.1 ± 0.4 b	1.7 ± 0.9 b	1.6 ± 0.9 b	2.1 ± 1.1 a
主根長(cm)	6	13.4 ± 4.0	13.4 ± 1.7	10.2 ± 6.1	11.3 ± 6.3	9.6 ± 6.1
乾物重量(mg)	6	23.9 ± 13.7	17.3 ± 4.7	20.4 ± 13.4	24.0 ± 17.4	17.2 ± 9.9
タンパク質含量(%)	6	6.9 ± 3.0 a	11.3 ± 5.0 ab	11.1 ± 2.6 b	11.7 ± 3.1 b	9.4 ± 5.2 ab

*1 t-検定の結果、5%水準で有意な差が認められた処理間には異なる記号をふった

表 3-3 樹液精油の混和処理を施したシロカラシの草丈、主根長、乾物重量、およびタンパク質含量

	N	コントロール	100mg処理	200mg処理	400mg処理	800mg処理
草丈(cm)	6	8.9 ± 3.0	5.8 ± 4.3	6.1 ± 3.4	5.6 ± 4.8	5.0 ± 4.1
主根長(cm)	6	14.9 ± 3.3 a	13.4 ± 7.1 a	13.6 ± 7.6 a	9.3 ± 7.2 a	8.5 ± 6.6 b
乾物重量(mg)	6	82.8 ± 24.6	76.4 ± 61.5	73.0 ± 45.9	66.4 ± 59.7	52.3 ± 42.1
タンパク質含量(%)	6	7.1 ± 4.3	7.6 ± 4.6	9.2 ± 8.1	11.0 ± 4.9	9.2 ± 3.3

*1 t-検定の結果、5%水準で有意な差が認められた処理間には異なる記号をふった

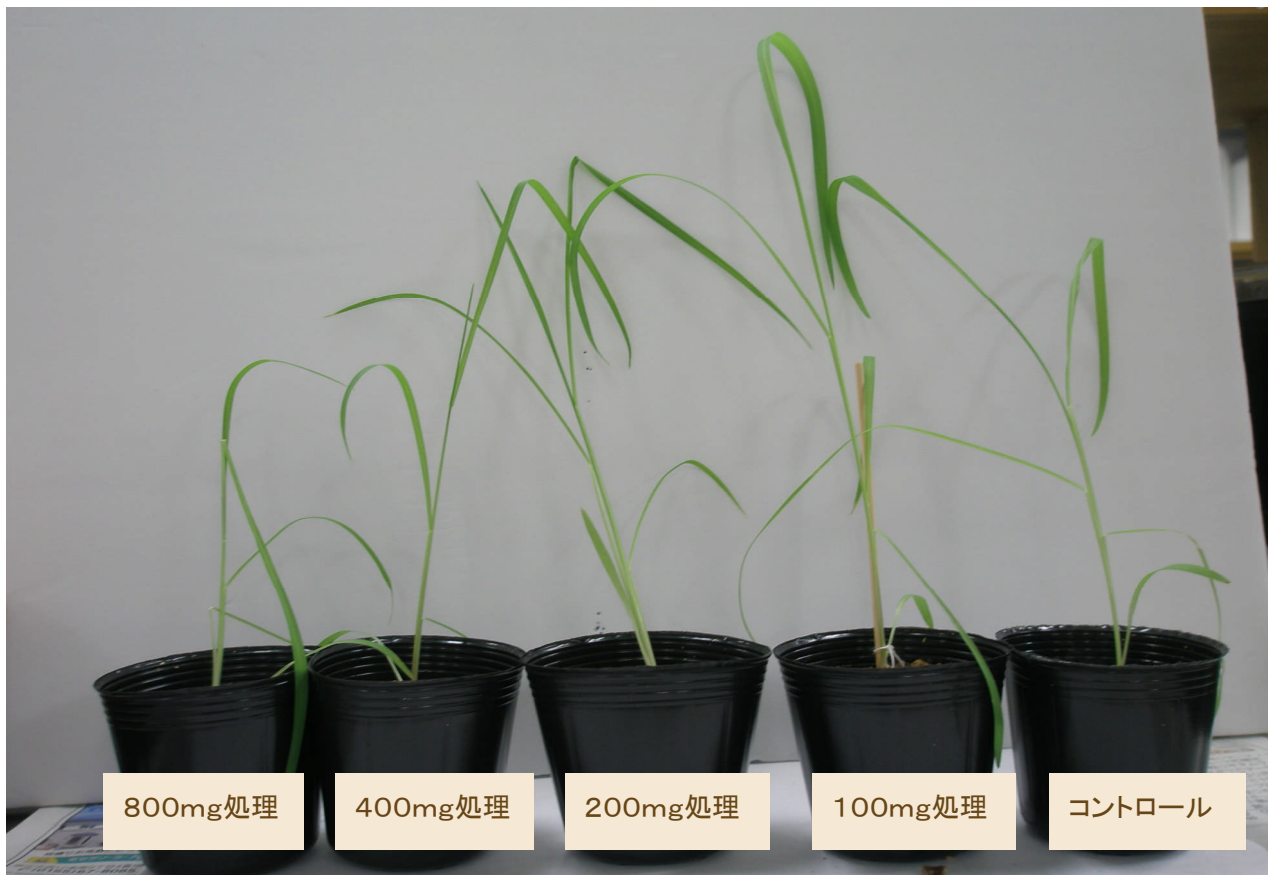


図9 マツ科樹液を投与後18日目の間育苗したイヌビエ。

のに対し、800mg 処理では 8.5 ± 6.6 cm と明らかに短かった。800mg 処理により、主根長が短くなることが示された。コントロールと全ての処理個体の間に、タンパク質含量の大きな差は認められなかったが、コントロールと比較して、200mg 処理以上で高い値となる傾向がみられた。

キノアでは、全ての処理とコントロールの間に、草丈、および主根長の大きな差は認められなかった（表 3-4）。一方、乾物重量がコントロールで 10.4 ± 5.5 mg であったのに対し、200mg 処理では、 2.7 ± 3.4 mg と明らかに低くなった。また、コントロールのタンパク質含量と比較して、800 mg 処理を除く全ての処理で大きな差は認められなかったものの、値は高くなる傾向があり、特に 100mg 処理では最も値が高くなった。

表 3-4 樹液精油の混和処理を施したキノアの草丈、主根長、乾物重量、およびタンパク質含量

		コントロール	100mg処理	200mg処理	400mg処理	800mg処理
	N					
草丈(cm)	6	8.3 ± 0.4	4.8 ± 3.9	4.0 ± 4.6	5.2 ± 6.1	0.0
主根長(cm)	6	6.6 ± 1.3	4.7 ± 3.8	3.6 ± 3.9	2.9 ± 3.2	0.0
乾物重量(mg)	6	10.4 ± 5.5 a	5.7 ± 5.0 ab	2.7 ± 3.4 b	3.8 ± 5.4 ab	0.0
タンパク質含量(%)	6	0.6 ± 0.8	10.6 ± 7.1	5.3 ± 9.2	3.4 ± 3.3	0.0

*1 t-検定の結果、5%水準で有意な差が認められた処理間には異なる記号をふった

3-4 マツ科樹液の投与による雑草発生の抑制効果を検証したトレイ試験

コンテナ内に発生した雑草の種類は、全処理を通じ、シロザ、ホソアオゲイトウ、スベリヒユ、タニソバ、カラシ類、イヌビエ、イヌタデの7種であった(表4)。発生した雑草の総個体数は、10g処理ではコントロールに比べ23.4%、20g処理では29.0%の値であった。

χ^2 検定により、発生した雑草の構成がコントロールと10g処理、および20g処理の間で異なっているか検定した。その結果、コントロールと10g処理($\chi^2=54.9$, $df=6$, $p<0.01$)、およびコントロールと20g処理($\chi^2=44.7$, $df=6$, $p<0.01$)のいずれの間でも発生した雑草の構成が異なっていることが示された。

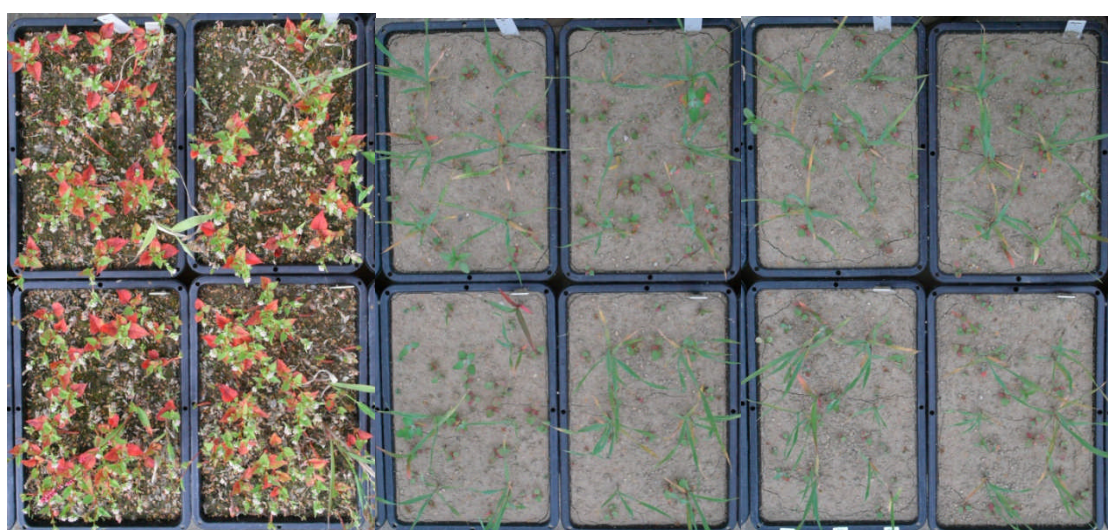
個々の草種を見ると、シロザ、ホソアオゲイトウ、およびタニソバでは、コントロールと比較し、樹液精油を投与したコンテナで著しく発生個体数が減少した。シロザ、ホソアオゲイトウ、タニソバの発生個体数は、コントロールと比較し、10g処理でそれぞれ、1.3%、28.2%、56.5%、および16.1%に、20g処理でそれぞれ、5.4%、15.4%、45.7%、および68.5%と、低い値となった。その一方で、カラシ類、イヌビエ、およびイヌタデでは、コントロールと樹液精油を投与したコンテナの間で発生個体数に大きな違いは認められなかった。

コンテナ内に発生した雑草の総乾重量を処理間で比較すると、コントロール(6.1±1.0g)に比べ、10g処理(0.4±0.1g)、および20g処理(0.6±0.3g)の値が著しく低くなった。樹液精油を投与することにより、発生する雑草の生物量を抑えられることが示唆された(図10)。一方、10g処理と20g処理の間で雑草の総乾重量に大きな違いは認められなかった。

表 4 各処理コンテナ内に発生した雑草個体数とそれらの総乾物量

	N	雑草の 総乾重量(g)	雑草種						
			シロザ	ホソアオ*	スベリヒユ	タニソバ	カラシ類	イヌビエ	イヌタデ
コントロール	6	6.1±1.0	38.7	7.8	9.2	14.3	2.0	2.7	0.5
10g処理	6	0.4±0.1	0.5	2.2	5.2	2.3	3.5	3.5	0.5
20g処理	6	0.6±0.3	2.0	1.2	4.2	9.8	2.0	2.3	0.3

* ホソアオゲイトウ



コントロール

10g 処理

20g 処理

図 10 試験開始 80 日目の各処理のコンテナの様子

4. 考察

4-1 カラマツの落葉の落葉による雑草抑制効果およびコムギ栽培への影響

カラマツの落葉を散布した全ての処理で雑草の抑制効果が確認できた。特に、 $170.6\text{g}/\text{m}^2$ 以上の落葉を散布することで、雑草の発生と生育が強く抑制された。このときの処理によっても、コムギは生育障害を起こさなかった。これらのことから、 1 m^2 あたり 170.6g 以上のカラマツの落葉を散布することで、作物に害をおよぼすことなく効果的に雑草の抑制を行えることが示された。一方、カラマツの落葉を散布することで、コムギの地上部の乾物重が増加し、結果的に総穂重が増加した。コムギに現れた生長が、カラマツの落葉に含まれる二次代謝物質の作用なのか、雑草が減少したことによる間接的な作用なのかは不明である。カラマツの落葉に含まれる二次代謝物質に対する作物の感受性については今後さらなる検証が必要である。また、本試験ではカラマツの落葉の散布は一回のみ行ったが、複数回散布することにより効果をより持続させることができる可能性がある。この点に関しても、今後の検討が必要である。

4-2 マツ科樹木の樹液による雑草の発芽抑制効果

4.0%濃度の樹液精油を作用させることにより、4種雑草の発芽を抑制できることが示された。ただし、樹液精油の効果は雑草種により現れ方が異なった。雑草種ごとでみると、イヌビエは4種の中で最もマツ科樹液の影響を受けにくく、イヌビエに次いでアカツメクサも影響を受けにくかったことから、落葉、あるいは樹液を適度の重量、あるいは濃度になるように土壤に施用することで効果的に雑草の発生を抑制できることが示された。これらを資材とした有機除草剤を作ることができると考えられる。

シロカラシは、今回検定した4種の雑草種のうち最もマツ科樹木の樹液の影響を受けやすいことが明らかとなった。0.5%以上の濃度の樹液精油を作用させることで、コントロールよりも明らかに発芽が抑制され、そして、2.0%以上の濃度になるようにマツ科樹液を作用させることにより、発芽を100%抑えることができると考えられた。

キノアは、4.0%濃度の樹液精油下で発芽抑制効果が認められた。4.0%濃度より薄い希釈液処理ではわずかな発芽速度の低下はみられるものの、発芽を抑制することはできなかった。キノアの発芽を抑制するには4.0%以上の濃度で樹液精油を作用させる必要があると考えられ、同じアカザ科に属するシロザの発芽抑制にも、同様の条件設定が必要であろうと推測される。

本試験で供試した雑草4種のうち、発芽時にマツ科樹液による抑制を受けやすい結果となったシロカラシとシロザは、土壤水分中の濃度が2.0%以上になるようにマツ科樹液を投与すればよいと考えられる。また、発芽時にマツ科樹液による抑制を受けやすい結果となったイヌビエとシロザの発芽を抑制するには、土壤水分中の濃度が4.0%以上になるようにマツ科樹液を投与する必要があると考えられる。

4-3 マツ科樹木の樹液による雑草の生長抑制効果

キノアは試験に供試した雑草4種中で最も強く樹液による生長抑制を受け、実生時に培土1Lあたり800mgの樹液精油を投与することで、発生を完全に抑制できることが示された。培土1Lあたり200mgの樹液精油を投与した場合でも、無投与で生育させた場合に比べ草丈や主根長が大きく低下したことから、マツ科樹液に含まれる二次代謝物質が頂端や根端の細胞分裂に影響を与えている可能性が示唆される(Lampronti I et al. 2006)。これらのことから、キノアと同じアカザ科に属するシロザの生育を抑制する場合にも、1Lの培土あたり200mg以上のマツ科樹液を投与することが有効であると推測される。

アカツメクサは、培土に樹液精油を100mg/L以上投与した場合に草丈の低下が認められた。一方で主根長や乾物重量はあまり変化しなかった。ただし、樹液精油の投与量が増加するに従って、主根長が短くなる傾向が見られたことから、この投与量によって地上部ほどではないが地下部の生長も抑制されていたと推測できる。

シロカラシにおいても、培土に投与する樹液精油の量が多くなるにつれ、草丈、主根長、

および乾物重量が低くなったことから、マツ科樹液に含まれる二次代謝物質による影響を受け生長抑制を起こしていることが示唆された。シロカラシは培土 1L あたり 800mg 以上の樹液精油を投与することで生育を抑制できると考えられる。

イヌビエは、樹液による初期生長抑制効果を受けにくく、今回用いた雑草 4 種の中では最もマツ科樹液に含まれる二次代謝物質に対する感受性が低いことが明らかとなった。イヌビエの生長を抑制するには、培土 1L あたり 800mg を超える大量のマツ科樹液を投与する必要があると考えられる。

植物種によって抑制効果が生じる部位が異なることから、植物種ごとにマツ科樹液の二次代謝物質を受容する部位が異なることも明らかとなった。また、高濃度の樹液を投与すると、地上部が徒長し、枯死する個体が増加したことから樹液精油が植物の細胞分裂や細胞伸長に何らかの影響をおよぼしている可能性が示唆された。

4-4 マツ科樹液の投与が耕地土壌からの雑草発生に及ぼす効果

マツ科樹液を投与することで耕地土壌から発生する雑草種が異なった。これは、雑草種によりマツ科樹液の精油に対する感受性が異なることを示唆している。本試験において発生個体数への影響が現れなかったカラシ類、イヌビエ、およびイヌタデに関しては、もともとコントロールにおいても発生数が少なかったため、その感受性については改めて試験を行う必要があると考えられる。シロザは、マツ科樹液の投与によりコンテナ内の発生数が大きく減少した。発芽試験、および初期生長試験の結果から、キノアは、マツ科樹木の樹液を投与された環境でも発芽を正常に行うが、発芽後の初期生長時に枯死しやすいことが示された。同じアカザ科植物であるシロザも同様の特徴を持つと仮定した場合、の個体数が減少した経緯は、発芽した実生がその後の初期生育過程で枯死したことによると推測できる。マツ科樹液の精油が発生した雑草の生物量を抑える効果を持つことも示された。これはマツ科樹液の投与により雑草の発生個体数が減少したことに加え、発生した雑草個

体のサイズが小さくなったことに起因すると考えられる。一方、土壌 1L あたり 1.5g、あるいは 3.0g のマツ科樹液の精油を投与した場合、両者の間で雑草の総乾重量に大きな差は認められなかった。このことから、培土 1L あたり 1.5g のマツ科樹液を投与することで十分な雑草抑制効果を期待できると考えられる。また、本試験は 6 月下旬から 9 月中旬にかけて行った。そのため検証できたのは、この時期に発生する雑草のみであった。今後、別の季節に発生する雑草に対しても検証する必要がある。

4-5 マツ科樹液による生長促進作用

発芽試験、発生試験、およびトレイ試験を通して、マツ科樹液による発芽や生長の促進効果がみられた雑草種もあった。イヌビエはマツ科樹液に対して、発芽および生育において抑制効果を受けにくく、低濃度条件下では発芽速度や草丈が促進された。アカツメクサも、マツ科樹木の樹液に含まれる二次代謝物質に対して、抑制効果を受けにくく、低濃度の樹液精油の混和によって逆に発芽の促進効果が生じる可能性が示唆された。工藤（2010）の研究により、適度の濃度で作物にマツ科樹液の精油を投与すると作物の生長が助長されることが明らかになっている。マツ科樹液は、イヌビエの発芽速度、および草丈を促進させると考えられる。高濃度のマツ科樹液では抑制効果、低濃度のマツ科樹液では促進効果の関係があると推測でき、抑制と促進を隔てる濃度の閾値が植物によって異なると考えられる。

4-6 総合考察

これまで、有機農業では耕起的手法による除草しか雑草駆除の手段がなかった。そのため、近年では有機除草剤の開発が待たれている。シロカラシのように発芽時にマツ科樹液による抑制効果を強く受ける草種は、発芽前の時期に合わせてマツ科樹液の精油を土壤水中の濃度が 2.0% になるよう投与することで、マツ科樹液の精油を除草剤として利用でき

ると考えられる。また、キノアのように発芽時よりも生育時にマツ科樹液の影響を受けやすい草種は、発芽後の子葉期に培土 1L あたり 200mg のマツ科樹液の精油を土壤中混和することでマツ科樹液を除草剤として利用できると考えられる。

マツ科樹液の効果は、草種により効果の違いがあり、すべての雑草を一様に抑制できるとは言い難い。そのため、マツ科樹液が雑草に与える抑制作用のメカニズムを調査し、将来的解決を目指す必要がある。なお、高速液体クロマトグラフィーによる解析で今回用いた精油の約 77% は α -ピネンにより占められていることが分かった (図 11)。 α -ピネンを高濃度で付与すると、動物細胞の増殖を抑制することがわかっており低濃度で付与すると、ヒトのストレス低減、脈拍数の安定化と減少効果があることがわかっている (高野ら 1987)。本試験では、動物細胞の傾向と同じで、高濃度で投与した場合、抑制効果が見られ、低濃度ではイヌビエで見られたように生長の促進効果があった。この現象の共通性から、 α -ピネンが、マツ科樹液の効果物質の一つとなっている可能性が考えられる。今後、 α -ピネンの植物体内での作用システムが解明され、植物種ごとの α -ピネンの施用閾値を把握できることで、マツ科樹液精油による実用的な有機除草剤の開発が進めば、マツ科樹木の樹液精油が農業生産に果たす役割はますます大きくなると考えられる。植物種や施用量を変えることで植物の生長促進効果が認められた。この効果を期待し、マツ科樹木の樹液を有機的な作物活力剤として活用することも可能であろう。また、樹液の投与により、植物体中のタンパク質含量が増加した。原因として、マツの樹液による生長抑制効果で個体そのものが小さくなったことにより、タンパク質以外の構成要素が減少し割合としてのタンパク質含量が増加した可能性と、マツ科樹木の樹液に含まれる二次代謝物質が、タンパク質が産生される代謝を活性化した可能性が考えられる。後者が当てはまるとした場合、タンパク質量を増加させることは、マツ科樹木の樹液がタンパク質を最終生産物とする植物などに有用であることが示唆され、マツ科樹木の樹液の新たな活用法となりうる。これらマツ科樹液の持つ副次効果を期待することで、マツ科樹液が雑草抑制にとどまらずより

多方面に利用できるものと考えられる。本研究で用いたカラマツ落葉は、一般的には 3.0% の α -ピネンしか含まない。カラマツの落葉より高濃度で α -ピネンを含む樹液精油の方が利用性は高いと考えられる。しかし、近年の十勝での防風カラマツ林の老朽化や、落葉の処理における問題の解決のために地域資源の有効利用を考慮すると、カラマツ落葉を用いた有機除草剤の開発は、十勝の農業生産において大きな役割を果たすと考えられる。

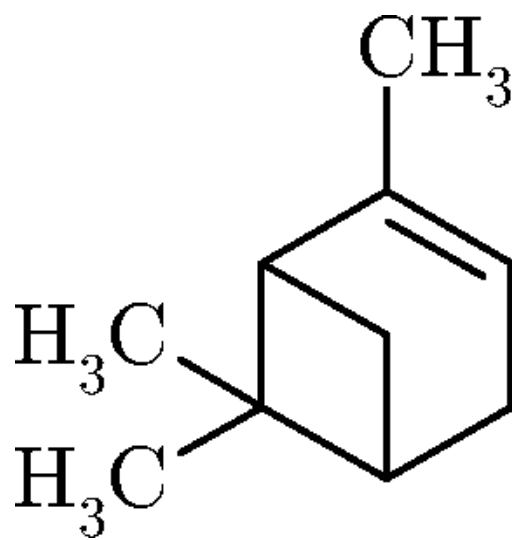


図 11 α -ピネン

5. 摘要

マツ科樹木の落葉、および樹液を資材とした除草剤の開発を視野に、それらが雑草の発生や生長にどのような影響を及ぼすかを調査した。

帯広畜産大学の実験圃場で春コムギを栽培し、その畝間にカラマツの落葉を散布した。カラマツの落葉を 170.6g/m² 散布した区では、無散布区に比べ雑草の発生量が約 40%であった。このときコムギの生育に障害は生じなかった。土壤に 170.6g/m² のカラマツの落葉を散布することで、作物の生育に害を与えず雑草の抑制が行えると考えられる。

マツ科樹木の樹液を蒸留精製し、精油化した。この樹液精油の希釈液を用いて雑草 4 種（イヌビエ、アカツメクサ、シロカラシ、キノア）の発芽試験を行った。なお、キノアはシロザの代用種として用いた。アカツメクサとシロカラシの発芽は、2.0%濃度の希釈液下ではほぼ完全に抑制された。また、4.0%濃度の希釈液下におけるイヌビエとキノアの発芽率は、蒸留水で発芽させた場合に比べ、20~30%も低かった。土壤中の濃度が 2.0%になるように樹液精油を投与することで、アカツメクサとシロカラシの発芽を抑制でき、さらに濃度が 4.0%になるように樹液精油を投与することでイヌビエとキノアの発芽も抑制できると考えられる。

上記 4 種の雑草をポット栽培した。それぞれの個体が本葉を展開し始めたときに培土に樹液精油を投与し、その後の雑草の生長量を調査した。統計学的な差は確認できなかったが、樹液精油を培土 1L あたり 800mg 投与した処理では、イヌビエ、アカツメクサ、およびシロカラシの個体乾物重量が、無投与の場合に比べ低い傾向にあった。なお、キノアに対してこの処理を行った結果、供試したすべての個体が枯死してしまった。この結果を踏まえ、帯広畜産大学実験圃場の土に 1.5g (1m²) の樹液精油を投与し、雑草の発生試験を行った。試験開始後 80 日目の雑草の発生個体数は、無投与の場合に比べ約 75%も少なかった。特に、キノアやホソアオゲイトウ、タニソバでは、発生個体数が無投与の場合の 30%以下になった。土壤 1L あたり 800mg 以上の樹液精油を投与することで効果的に雑草を抑制できると考えられる。

Summary

Inhibitory effects by leaf litter and sap of pine trees on the growth of weeds were investigated to obtain the basic information for the development of organic herbicides.

Leaf litter of Japanese larch (*Larix kampferi*) applied to a wheat farming field at a dose of 170g/m² effectively decreased the emergence and biomass of weeds by about 40% of those at unapplied site. While, growth and grain yield of wheat were uninfluenced or rather increased. Promisingly, we can make use of leaf litter of Japanese larch for controlling weeds by organic measure.

Using diluted essential oil of pine sap (EOPS), germinability of four weed species (barnyardgrass; *Echinochloa crus-galli*, red clover; *Trifolium pretense*, white mustard; *Sinapis alba*, and quinoa as a substitute of fat hen; *Chenopodium quinoa*) was tested. Germination of red clover and white mustard was completely suppressed by EOPS at 2.0% concentration, while, that of barnyardgrass and quinoa was inhibited by EOPS at 4.0% by 20-30 % of the control. It is considered that EOPS can inhibit the germination of weeds, but the effective dose for suppression is different by species.

Effects of EOPS on the primary growth of above mentioned weeds were tested. EOPS was applied to the soil when the plants developed the first mature leaf. Application of EOPS at 800mg/1L-soil seemed to decrease dry matter weight of barnyardgrass, red clover, and white mustard as that of respective controls, although statistical significance were not recognized. By the same treatment, all of the quinoa plants withered within a few days. Taking those result, ability of weed control in EOPS was verified using the soil of experimental field of Obihiro University. EOPS at a dose of 1.5g/1L-soil changed the number and composition of weeds emerged from the soil at 80-days after application treatment: total number of weeds emerged was lower by 75%

of the control, meanwhile, fat hen and Nepalese smartweed showed strict reduction in number, though barnyardgrass and knotweed did not. In this time, total weed biomass on the soil was as less as 10% of that of the control. It is probable that farmland weeds can be controlled effectively by the application of EOPS at 1.5g/1L-soil.

6. 謝辭

本研究の遂行、ならびに論文の作成にあたり、終始有益なご指導、ご助言をいただきました秋本正博准教授に厚く御礼申し上げます。私のような問題児を見捨てず、あたたかいご指導・ご助言を賜りましたことを、深謝いたします。

また、脱落していた私を温かく迎え入れてくれた4年生のみなさんに、深く感謝いたします。夜、実験室に明かりがついているだけで安心をくれた高木正敏君、楽しくおしゃべりに付き合ってくれた堀川真貴さん、愚痴を聞いてくれた北畠真吾君、実験を教えてくれた工藤悠さん、コンパによく参加してくれた金子泰士君、本当にありがとうございました。

皆様の支えなくしては、この論文は完成することはできませんでした。

本当にありがとうございました。

7. 引用文献

- GRODZINSKY, AM (1987) ALLELOPATHY IN THE SOVIET-UNION ACS
SYMPOSIUM SERIES, 39-43
- 藤井 義晴 (2000) 「アレロパシー」農山漁村文化協会
- 北海道林務部監修 (1976) 「北海道の森林植物図鑑 樹木編」北海道国土緑化推進委員会
- 木村 由香 (2006) カラマツの落葉が作物および雑草の生長に及ぼす影響 帯広畜産大学修士論文
- 北村 四郎／村田 源 (1979) 「原色日本植物図鑑・木本編」保育社
- Lampronti I, Saab AM, Gambari R(2006) Antiproliferative activity of essential oils derived from plants belonging to the Magnoliophyta division, INTERNATIONAL JOURNAL OF ONCOLOGY 29(989-995)
- Landry,J. and Moureaux,T.(1970) Heterogeneite des glutelines du grain de mais:extraction selective et composition en acides amines des trios fractions isolees.Bullerin de la societe de chimie biologique,52: 1021-1037Tadahiko Mae and Koji Ohira (1981) The Remobilization of Nitrogen Related to Leaf Growth and Senescence in Rice Plants(*Oryza sativa* L.) Plant & Cell Physiol.22(6) 1067-1074
- 鈴木 康夫 (2005) 「樹木図鑑」日本文芸社
- 清水 矩宏／森田 弘彦／広田 伸七 (2001) 「日本帰化植物写真図鑑」全国農村教育協会
- 矢頭 献一 (1964) 「図説樹木学—針葉樹編」朝倉書房
- 高野 健人／前田 博／長田 泰公編 (1987) 「セミナー健康居住学」清文社