

月桃を用いた抗菌,抗カビ及び防虫性を有する機能性紙の開発に関する研究(第一報)

誌名	研究報告 / 沖縄県工業技術センター
ISSN	
著者名	平良,秀春 田尻,哲也
発行元	沖縄県工業技術センター
巻/号	2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 23-34
発行年月	2000年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



月桃を用いた抗菌、抗カビ及び防虫性を有する 機能性紙の開発に関する研究（第一報）

平良 秀春
田尻 哲也*

1. はじめに

近年の抗菌、抗カビ及び防虫剤はより毒性が低く安全な合成有機物、銀系抗菌剤又は天然物へと代替されつつある。特にヒバから抽出されるヒノキチオールは幅広い分野において応用され、多くの製品が開発されている¹⁾。沖縄県内においても月桃 (*Alpinia speciosa* K.Schum.) の精油に抗菌、抗カビ、殺虫及び防虫性等の機能性が確認されたことにより^{2)~4)}、月桃を用いた機能性商品の開発が注目されている。月桃はショウガ科の一種で日本では南九州以南に自生している多年生草本である。⁵⁾草全体に芳香性を有し、県内ではムーチーと呼ばれる餅を作る際に葉で包み蒸すことで古くから親しまれてきた。本研究ではこの月桃の抗菌、抗カビ、殺虫及び防虫性等の機能性を利用し、文書の保存等に用いる収納箱に応用することを目指している。また、森林保護等の環境保護の観点から非木材系植物を製紙原料として代替えた製品が多く見られることから、非木材植物である月桃を製紙原料として利用し、さらにその機能性を活かした製品を開発することは環境面からも付加価値を高めることができると考えている。

そこで本研究では月桃を用いた機能性紙を開発するとともに月桃の製紙原料としての利用も視野に入れて実験を行った。製紙原料としての検討では月桃を単純アルカリ法と最も広く普及しているクラフト法⁶⁾によりパルプ化を行い、そのパルプ化条件を検討した。また、月桃パルプの叩解特性についても検討をおこなった。さらに、その月桃パルプの機能性について検討した。また、機能性付加技術については月桃の機能性成分を濃縮した精油を用い、吸収加工及び塗被加工における精油使用量の検討を行った。

2. 実験方法

2-1 月桃のパルプ化条件の検討及びパルプの物性

2-1-1 試料

沖縄県で栽培された月桃を刈り取り、全幹を約 3 cm の長さに裁断した後、定温乾燥機にて 100℃で乾燥し、試料に用いた。

2-1-2 月桃のパルプ化

オートクレーブ (耐圧硝子工業製) に月桃全幹を絶乾で 100g 取り、有効アルカリを対パルプ 10、15、20 及び 25 % 添加し、液比 7 として蒸解を行った。クラフト法については硫化度を 25 % とした。蒸解温度及び蒸解時間は 3 時間で 170℃に昇温し、2 時間保持した。

2-1-3 月桃パルプの漂白

蒸解、洗浄した月桃パルプを絶乾で 50g 取り、次亜塩素酸ナトリウムを用いて漂白を行った。漂白条件は有効塩素 10 %、パルプ濃度 5 %、温度 40℃で 4 時間漂白した。

* 沖縄県ファイリングシステム事業協同組合

2-1-4 月桃パルプの叩解

漂白した月桃パルプをビーターを用いて叩解した。叩解にあたってはパルプ濃度 1.5 %とし、ビーターで約 5 分間離解した後、叩解時間 5、10、15、20、30min において試料を採取した。

2-1-5 パルプの表面観察及び物性試験

パルプの叩解度は JIS P 8121 に準じ、カナダ標準ろ水器を用いて行った。繊維長分布はカヤーニ繊維長分布測定装置で測定した。繊維表面は JIS P 8209 に準じてシートを作成し、白金蒸着をした後、走査型電子顕微鏡で観察した。また、裂断長、比破裂強さ、カップー価及び漂白度は JIS 規格に準じて測定を行った。

2-2 月桃パルプの機能性の検討

2-2-1 使用パルプ

月桃パルプは天日乾燥した月桃を蒸解温度 170 °C、蒸解時間 2 時間、液比 7 及び有効アルカリ 20%で蒸解した AP パルプと同条件で硫化度 25 %で蒸解した KP パルプを用いた。これらパルプは次亜塩素酸ナトリウムを用いて有効塩素 10 %、パルプ濃度 5 %、温度 40 °Cで 4 時間漂白して使用した。これを JIS P 8209 に準じてシート化し試験片とした。

また、月桃の機能性をより強く反映させたシートを得るために未乾燥の月桃の葉部をミキサーにより約 30 秒離解し、市販のケナフパルプに混合した。これを JIS P 8209 に準じてシート化し試験片とした。使用したケナフパルプは機能性がないことを確認してから使用した。

2-2-2 抗菌試験

JIS L 1902 を参考にペーパーディスク法で試験を行った。直径 9cm のシャーレに 10⁶ 個/ml の菌を含む普通寒天培地を入れて固化させ、直径 3cm の試験片を培地中央にのせ、37 °Cで 24 時間培養した。培養後、ハローの幅を測り抗菌性試験の結果とした。使用した菌株は 4 種で JIS L 1902 に定められている *Staphylococcus aureus* (黄色ぶどう球菌) 及び *Klebsiella pneumoniae* (肺炎かん菌) の他、抗菌試験でよく用いられる *Bacillus subtilis* (枯草菌) 及び *Escherichia coli* (大腸菌) を使用した。

2-2-3 抗カビ試験

JIS Z 2911 を参考にペーパーディスク法で試験を行った。直径 9cm のシャーレにポテトデキストロース培地を入れて固化させ、直径 3cm の試験片を培地中央にのせ、カビの孢子分散液を塗布した。これを 28 °Cで 7 日間培養し、培地及び試験片表面のカビの発育状況を観察した。使用した菌株は 5 種で JIS Z 2911 に定められている

Aspergillus niger、*Penicillium citrinum*、*Rhizopus oryzae*、*Cladosporium cladosporioides* 及び *Chaetomium globosum* を用いた。

抗カビ試験の評価は JIS Z 2911 によると試験片表面のカビの生育状態を 3 段階で評価する

表 1 抗カビ試験の評価基準

評価	評 価 基 準
5	培地上に菌糸の発育が見られない
4	培地上の菌糸の発育部分の面積が1/3以内である
3	試験片に菌糸の発育が見られない
2	試験片で菌糸の発育部分の面積が1/3以内である
1	試験片で菌糸の発育部分の面積が1/3以上である

が、今回は培地表面の生育状態も評価に加え 5 段階とした。表 1 に 抗カビ試験の評価基準を示す。

2-2-4 防虫試験（イエシロアリ忌避試験）

本来、文書保存において最も被害の多い害虫はフルホンシバンムシやヤマトシミである。しかし、これらの虫についての試験方法は確立されていない。そこで、今回は試験方法が確立されており、さらに文書保存における害虫の一種であるイエシロアリについて忌避試験を行った。試験は木材試験法³⁾に基づき行った。図 1 に示すように湿らせた半円状の試験片と同じく湿らせた半円状の ADVANTEC 製 No.2 濾紙を中央に溝ができるように置いた。試験片側にイエシロアリ職蟻 30 匹及び兵蟻 3 匹を投入した後、25℃に調整した恒温器内に設置し、経過時間ごとに試験片上のイエシロアリの数を観測した。繰り返しは基本的に 5 回とした。また、供試虫は琉球大学農学部生物資源科学科において収集したイエシロアリを試験用の恒温器内に一昼夜以上おいて使用した。

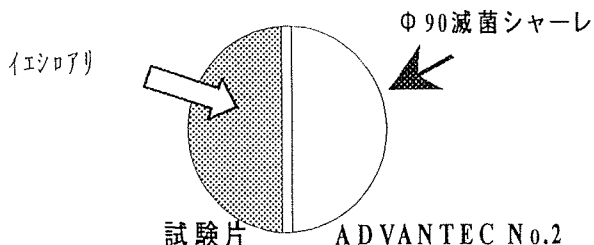


図 1 イエシロアリ忌避試験の概略図

2-3 月桃精油を用いた機能性付加の検討

2-3-1 月桃精油

月桃の精油は南大東村農業協同組合において製造された精油を用いた。

2-3-2 マイクロカプセル

マイクロカプセルは鈴木油脂工業製除放性マイクロカプセルを使用した。このマイクロカプセルは多孔質・無機物質で形成されており、形状は図 2 のようなスポンジ状の構造をとっている。このマイクロカプセルに月桃精油と光硬化性樹脂を同時に担持させることで除放性を持たせている。このマイクロカプセルの平均粒径は 4μm、月桃精油の吸油率 25 %であった。月桃精油マイクロカプセルを走査型電子顕微鏡（SEM）で撮影した写真を図 3 に示す。

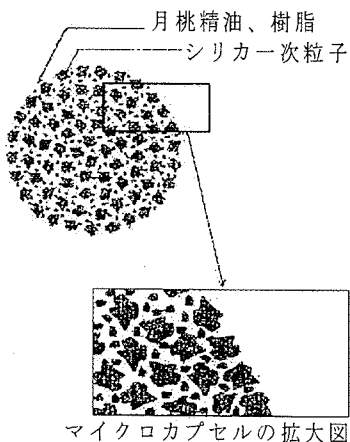


図 2 マイクロカプセル構造の概要図

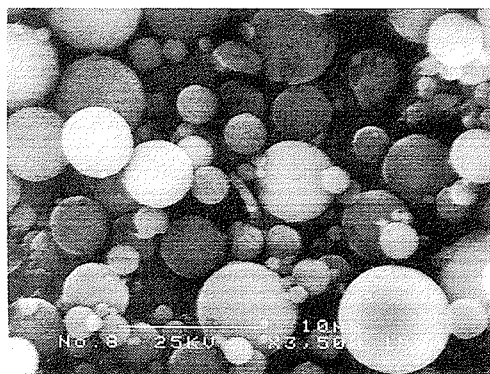


図 3 マイクロカプセルの SEM 写真

2-3-3 吸収加工方法

使用原紙には ADVANTEC 製 No.2 濾紙を用い、抗菌及び抗カビ試験については直径 3cm、イエシロアリ忌避試験については直径 9cm の円状に切り出した物ものを試験片とした。アセトンで月桃の精油を任意の濃度に希釈したものを試験片に 0.1ml 滴下し、室温で 1 時間放置してアセトンを揮発させ、吸収加工紙とした。

2-3-4 塗被加工方法

使用原紙は塗被加工が比較的行いやすい ADVANTEC 製 No.26 濾紙を用いた。バインダーはハリマ化成製ポリアクリルアミド系ハリコート 5027 を使用し、月桃精油マイクロカプセルをコーティングロッド No.7 を用いて塗被加工を行った。

2-3-5 抗菌、抗カビ及び防虫性試験

前述の 2-2-2 ～ 2-2-4 の方法と同様に行った。

2-3-6 月桃精油分析法⁵⁾

月桃の精油成分の分析はガスクロマトグラフ質量分析装置（島津製作所製 GC-17A, QP-5000）を用いた。カラムは DB-WAX を用い、温度条件を 50℃で 4min 保持後、200℃まで 3℃/min で昇温後、6min 保持した。キャリアーガスはヘリウムを使用し、スプリット比 50 で試料を注入した。

3. 実験結果及び考察

3-1 月桃のパルプ化条件の検討及びパルプの物性

3-1-1 パルプ化条件の検討

有効アルカリ濃度を変化させた際の単純アルカリ法（以下、AP 法）及びクラフト法（以下、KP 法）の蒸解の結果を表 2 に示す。AP 法は和紙等の製造に古くから利用されており、非木材系原料のパルプ化には比較的適している。⁸⁾一方、KP 法は現在最も広く用いられている方法であり、水酸化ナトリウム以外に硫化ナトリウムを用いる。硫化ナトリウムは水酸化ナトリウムと次のような可逆反応を起こすことが知られている。



これにより蒸解工程において水酸化ナトリウムが消費されるに従い、反応が右へ進み水酸化ナトリウムが補給される。それにより、AP 法と比べると比較的穏和な状態で蒸解を行うことができるとされている。さらに、SH がリグニンと結合して一種のマーカブタンを作り、アルカリとの反応性並びに溶解性が増すと言われている。⁹⁾

表 2 月桃パルプの蒸解条件と収率

パルプ化法	単純アルカリ法 (AP 法)				クラフト法 (KP 法)			
有効アルカリ [%]	10	15	20	25	10	15	20	25
硫 化 度 [%]	—				25			
収率(未晒し) [%]	53.4	49.9	48.1	39.8	59.1	54.8	50.4	29.8
収率(晒し) [%]	49.8	44.1	41.1	34.9	55.5	49.3	43.6	26.9

この両者の収率をみると、アルカリ濃度が増えて行くに従って収率が下がっており、AP 法で 53.4 ~ 38.9%、KP 法で 59.1 ~ 29.8%であった。また、KP 法は AP 法と比較して、有効アルカリ濃度が 10 ~ 20 の範囲では収率が上回ったが、25%では収率が急激に低下し、AP 法よりも下回った。

パルプ中のリグニン残存量の指標となる銅価とパルプの白色度を図 4 に示す。銅価においても収率と同様に有効アルカリ濃度の上昇に伴い数値が減少している。このことから有効アルカリが増えるに従い、リグニン等の溶出量が大きくなっていることが分かる。また、KP 法において収率と同様に有効アルカリ 25%で銅価が約 3 と低い値となっている。この際の収率が約 27 %と低いことから、KP 法において有効アルカリ 25 %という条件は過酷であると考えられる。また、AP 法では有効アルカリ 20 %と 25 %では銅価及び白色度において大きな変化は見られないことから、AP 法においても有効アルカリは 20 %が望ましいと思われる。白色度については AP 法が KP 法よりも高くなる傾向を示しており、AP 法が KP 法よりも漂白が容易なパルプが得られること示唆している。

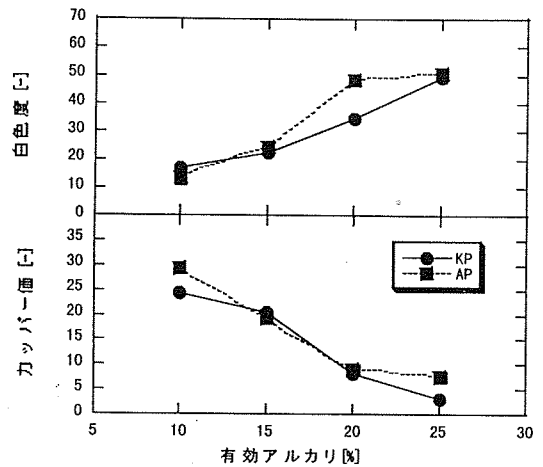


図 4 有効アルカリに対する銅価
白色度

3-1-2 パルプ物性試験の検討

図 5 に月桃パルプの叩解特性を示す。KP 法及び AP 法のパルプはともにビーターの処理時間が増加するに従い、ろ水度 (C.S.F.) が低下した。その繊維長分布の変化を図 6 に示す。叩解は 0、5、10、15、20 及び 30min の条件で行ったが、この内 0、15 及び 30min の繊維長分布を比較してみた。KP 法及び AP 法において叩解時間が進むに従い、微細繊維側に分布曲線がシフトしているのが分かる。これは叩解により繊維が切断されていることを示している。

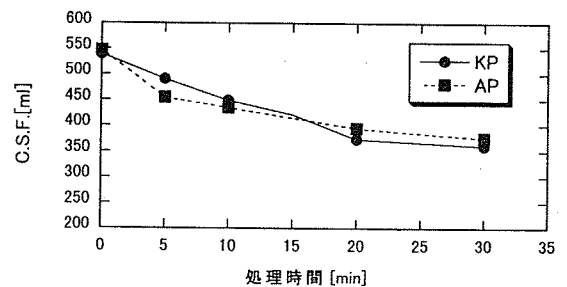


図 5 月桃パルプの叩解特性

図 7 に走査型電子顕微鏡で観察した叩解前後の月桃パルプの繊維表面の写真を示す。叩解後のパルプについては両者ともフィブリル化が起こっているのが観察できる。しかし、ろ水度が 350 ~ 400ml であることから、フィブリル化の度合いが小さいように思われる。つまり、叩解によるろ水度の低下は繊維の微細化及び柔細胞の破壊に起因するものと思われる。

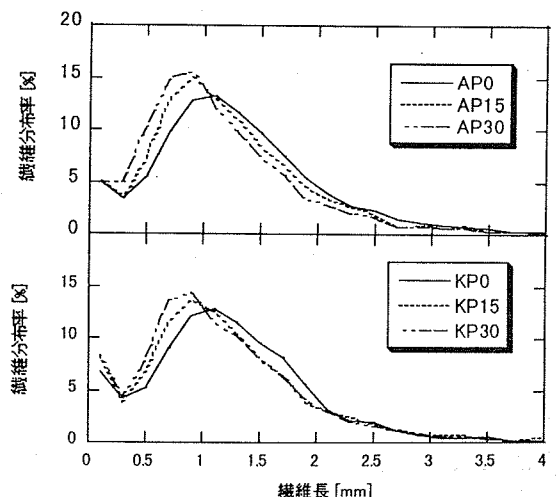
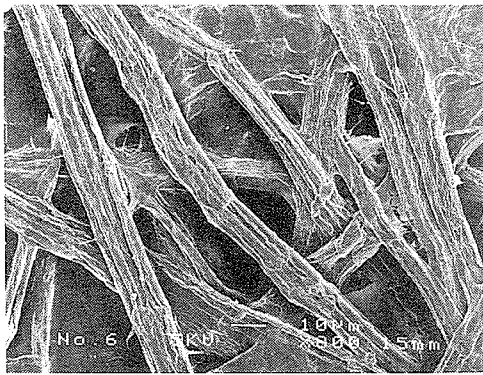
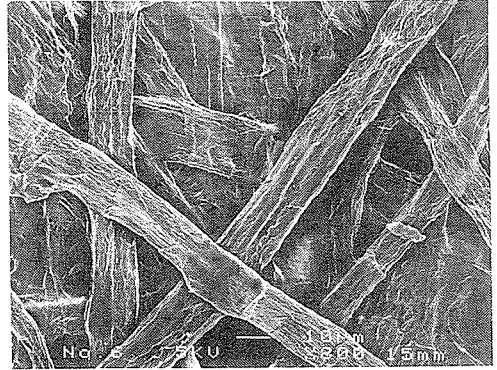


図 6 月桃パルプの繊維長分布

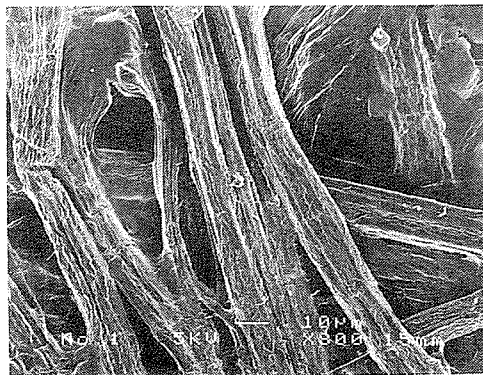
図 8 及び図 9 に裂断長及び比破裂強さを示す。



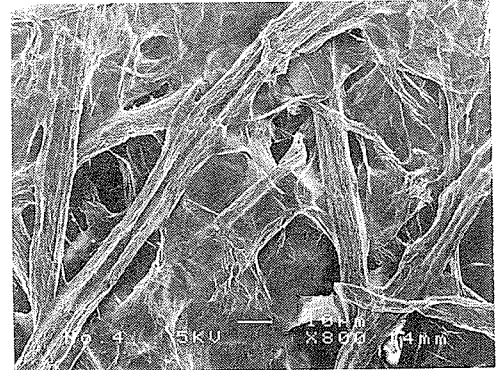
(a) 叩解前 KP パルプ



(c) 叩解前 AP パルプ



(b) 叩解 30min KP パルプ



(d) 叩解 30min AP パルプ

図 7 月桃パルプの電子顕微鏡写真

KP パルプ及び AP パルプとも同様な数値を示しており、明確な違いはみられなかった。また、両パルプとも叩解が進むに従い、裂断長及び比破裂強さが上昇する傾向がみられた。一般に叩解はフィブリル化を進め、紙の強度を高めるために行われる。従って、この強度の上昇からも叩解によりフィブリル化が起こったことが解る。また、今回の実験と同様な条件でパルプ化を行った各種パルプとの強度を比較してみると、晒し針葉樹パルプで裂断長 1.96km 及び比破裂強さ $2.18\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ 、バガスパルプで裂断長 4.27km 及び比破裂強さ $1.40\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ 、ワラパルプで裂断長 3.74km 及び比破裂強さ $2.57\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ であった。¹⁰⁾ 月桃パルプは未叩解で KP が裂断長 4.69km 及び比破裂強さ $4.75\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ 、AP が裂断長 4.74km 及び比破裂強さ $4.42\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ であり、針葉樹パルプと比較して、断列長で約 2.5 倍、比破裂強さで約 2 倍の強度であった。

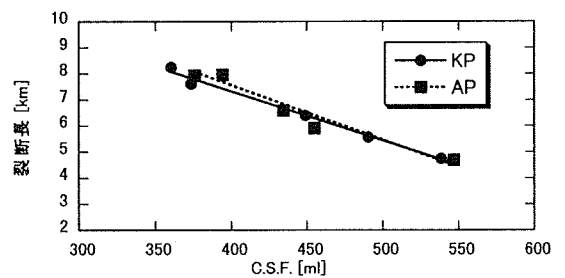


図 8 月桃パルプの裂断長

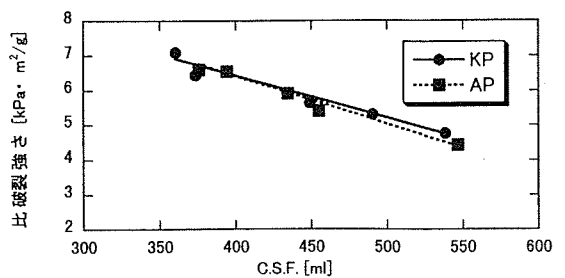


図 9 月桃パルプの比破裂強さ

3-2 月桃パルプの機能性の検討

3-2-1 抗菌性

表3に月桃パルプの抗菌性試験の結果を示す。KPパルプ及びAPパルプにおいて *Staphylococcus aureus*、*Bacillus subtilis*、*Klebsiella pneumoniae* 及び *Escherichia coli* について試験を行ったところ、すべての菌においてハローが見られなかった。このことから月桃をKP法及びAP法で処理したパルプは抗菌性を有さないことが解った。KP法及びAP法をはじめとする化学パルプ製造法は薬剤を用いて繊維同士を結びつけているリグニン等を溶出させるが、それと同時に油脂分等の非繊維炭水化物を溶出するために月桃の抗菌性物質が流出した可能性がある。そこで、月桃の葉部を離解し、その繊維を市販のケナフパルプと混合してシート化したものについて試験を行った。機械パルプが原料に熱を加えながらグラインダーで削り繊維を離解させて製造することから、この月桃繊維混合パルプの試験結果より機械パルプの抗菌性の有無も推測できると思われる。その抗菌試験の結果を表4に示す。月桃混合率0～50%までは容易にシート化が可能であったが、月桃混合率100%はシート自体がもろく、実用に耐える物ではなかった。しかし、抗菌性を最も有する可能性のある条件であることから抗菌試験を行った。この結果より、離解した月桃のシートも抗菌性を有さないことが解った。さらにこの結果より、月桃の機械パルプも抗菌性を有さないことが推測された。また、総合的に結果を検証すると月桃を製紙原料として用いても製品は抗菌性を有さないことが解った。

表3 月桃パルプの抗菌性

サンプル名	菌名	ハロー幅（ハローの有無）
KPパルプ	<i>Staphylococcus aureus</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Bacillus subtilis</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Escherichia coli</i>	0mm（ハロー－無）
APパルプ	<i>Staphylococcus aureus</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Bacillus subtilis</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Escherichia coli</i>	0mm（ハロー－無）

表4 月桃混合パルプの抗菌性

月桃混合率	菌名	ハロー幅（ハローの有無）
100%	<i>Staphylococcus aureus</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Bacillus subtilis</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Escherichia coli</i>	0mm（ハロー－無）
50%	<i>Staphylococcus aureus</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Bacillus subtilis</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	0mm（ハロー－無）
	<i>Escherichia coli</i>	0mm（ハロー－無）

3-2-2 抗カビ性

表5に月桃パルプの抗カビ試験の結果を示す。また、表6に月桃混合パルプの抗カビ試験の結果を示す。KPパルプ及びAPパルプはともに5種の菌に対して抗カビ性は見られなかった。また、月桃混合パルプについても同様に抗カビ性は見られなかった。このことから抗菌性と同様に月桃パルプ及び月桃繊維のシートは抗カビ性を有さないことが解った。

表 5 月桃パルプの抗カビ性

月桃混合率	菌 名	評 価
KPパルプ	<i>Aspergillus niger</i>	1
	<i>Penicillium citrinum</i>	1
	<i>Rhizopus oryzae</i>	1
	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	1
	<i>Chaetomium globosum</i>	1
APパルプ	<i>Aspergillus niger</i>	1
	<i>Penicillium citrinum</i>	1
	<i>Rhizopus oryzae</i>	1
	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	1
	<i>Chaetomium globosum</i>	1

表 6 月桃混合パルプの抗カビ性

月桃混合率	菌 名	評 価
100%	<i>Aspergillus niger</i>	1
	<i>Penicillium citrinum</i>	1
	<i>Rhizopus oryzae</i>	1
	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	1
	<i>Chaetomium globosum</i>	1
50%	<i>Aspergillus niger</i>	1
	<i>Penicillium citrinum</i>	1
	<i>Rhizopus oryzae</i>	1
	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	1
	<i>Chaetomium globosum</i>	1

3-2-3 防虫性（イエシロアリに対する忌避性）

図 10 に月桃パルプと月桃混合パルプのイエシロアリに対する忌避特性を示す。月桃パルプは両パルプとも忌避率が 20 ～ 80 % の範囲を変動しており、忌避性は認められなかった。したがって、K P 法及び AP 法で製造したパルプはイエシロアリに対して忌避性を持たないことが解った。月桃混合パルプは両者とも忌避率が 100 % になることはなく、月桃パルプと同様に忌避性が認められなかった。また、月桃混合率 50% と 100% では明らかに忌避率に違いがあるが、これは忌避性の物質が起因しているのではなく、試験片の表面状態が混合率が高くなるに従いシート表面が粗くなったため、その表面の状態が異なっていたことが原因と思われる。

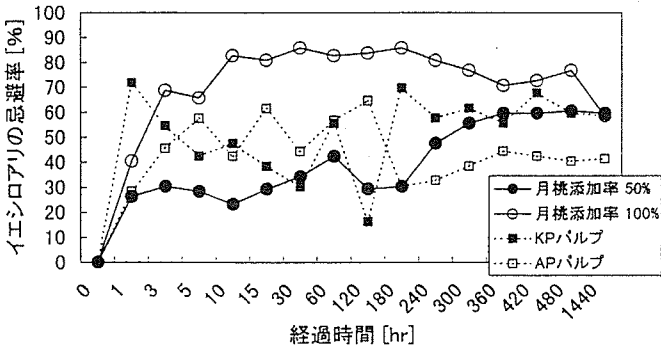


図 10 月桃パルプ及び月桃繊維混合パルプのイエシロアリ忌避特性

3-3 月桃精油を用いた機能性付加の検討

3-2-1 月桃精油の成分

月桃精油に含まれる成分を表 7 に示す。比較的含有量の多かったのは、 β -ピネン、シネオール、P-シメン及びテルピネン-4-オールであった。これは池間ら³⁾や多和田ら⁴⁾が報告している値と類似していた。

表 7 月桃精油の成分

成分名	成分組成 [%]	成分名	成分組成 [%]
α -ピネン	1.4	テルピネン-4-オール	12.8
カンフェン	0.1	ボルネオール	0.4
β -ピネン	6.6	α -テルピネオール	0.3
シネオール	15.4	ゲラニオール	0.2
P-シメン	9.2	けい皮酸メチル	0.3
リナロール	2.5	イソチモール	0.4
計			49.6

3-2-2 抗菌性

表 8 に吸収加工紙の抗菌試験の結果を示す。吸収加工紙は *Staphylococcus aureus*、及び *Bacillus subtilis* のグラム陰性菌では月桃精油含有量 5mg/cm² にお

表 8 吸収加工紙の抗菌試験におけるハロー幅

単位: mm

菌 種	月 桃 精 油 含 有 量			
	1mg/cm ²	3mg/cm ²	5mg/cm ²	7mg/cm ²
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.0	0.0	0.5	2.4
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	0.0	0.0	0.0	0.4
<i>Bacillus subtilis</i>	0.0	0.0	0.8	2.3
<i>Escherichia coli</i>	0.0	0.0	0.0	0.2

いてハローが見られた。表 9 塗被加工紙の抗菌試験におけるハロー幅

単位：mm

また、*Klebsiella pneumoniae* 及び *Escherichia coli* のグラム陰性菌においては $7\text{mg}/\text{cm}^2$ においてハローが見られた。池間ら³⁾は

菌 種	月 桃 精 油 含 有 量			
	$0.25\text{mg}/\text{cm}^2$	$0.5\text{mg}/\text{cm}^2$	$1\text{mg}/\text{cm}^2$	$2\text{mg}/\text{cm}^2$
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Bacillus subtilis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Escherichia coli</i>	0.0	0.0	0.0	0.0

Bacillus subtilis 及び *Escherichia coli* において月桃精油含有量が約 $3\text{mg}/\text{cm}^2$ でハローが確認できたと報告している。今回の試験結果はその 2 倍の添加量が必要であった。これは月桃精油成分が季節及び収穫場所等の違いで異なっているとのではないかと思われる。したがって、月桃精油を用いた製品開発を行うに当たり、気候及び土壌などの条件による影響を確認して必要があると思われる。また、表 8 に塗被加工紙の抗菌試験の結果を示す。塗被加工に用いる塗被液はマイクロカプセルの添加率が増えるにしたがい流動性が悪くなり、 $130\text{mg}/\text{cm}^3$ を越えるとコーティングロッドによる塗被に支障をきたした。これは精油の含有量に換算すると $30\text{mg}/\text{cm}^3$ である。No.7 を用いたコーティングの厚さは 0.16mm であるから、マイクロカプセル塗被量は $2\text{mg}/\text{cm}^2$ (精油塗被量 $0.5\text{mg}/\text{cm}^2$) が限界であった。これ以上の塗被量についてはコーティング回数を増やすことにより対応したが、マイクロカプセル塗被量 $8\text{mg}/\text{cm}^2$ (精油塗被量 $2\text{mg}/\text{cm}^2$) 以上では膜厚が暑すぎるため原紙からの剥離がおこり、コーティングが行えなかった。これ以上の塗被量を可能にするためには原紙との親和性が強く、柔軟性を有するバインダーを選択する必要があると思われる。試験については精油含有量にして $2\text{mg}/\text{cm}^2$ 以下で試験を行ったが、その範囲ではハローは見られなかった。このマイクロカプセルは除放性を有しており、単位精油量あたりの精油の揮発速度は非常に小さいと思われる。従って、吸収加工紙における精油含有量と比較して多くなるのではないかと思われる。この点については精油及びマイクロカプセルの揮発速度と照らし合わせながら検討していきたい。

3-3-3 抗カビ性

表 10 に吸収加工紙の抗カビ試験の結果を示す。JIS Z 2911 に従った評価では 3 以上で抗カビ性があるとされる。したがって *Aspergillus niger* においては $11\text{mg}/\text{cm}^2$ 、*Penicillium citrinum*、*Rhizopus oryzae* 及び *Cladosporium cladosporioides* では $13\text{mg}/\text{cm}^2$ 、*Chaetomium globosum* では $7\text{mg}/\text{cm}^2$ で抗カビ性が認められた。

表 10 吸収加工紙の抗カビ試験結果

菌 種	月 桃 精 油 含 有 量			
	$7\text{mg}/\text{cm}^2$	$9\text{mg}/\text{cm}^2$	$11\text{mg}/\text{cm}^2$	$13\text{mg}/\text{cm}^2$
<i>Aspergillus niger</i>	1	2	3	4
<i>Penicillium citrinum</i>	1	1	2	3
<i>Rhizopus oryzae</i>	1	1	2	3
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	1	2	2	4
<i>Chaetomium globosum</i>	3	4	5	5

表 11 塗被加工紙の抗カビ試験結果

菌 種	月 桃 精 油 含 有 量			
	$0\text{mg}/\text{cm}^2$	$0.05\text{mg}/\text{cm}^2$	$0.1\text{mg}/\text{cm}^2$	$0.25\text{mg}/\text{cm}^2$
<i>Aspergillus niger</i>	2	2	3	4
<i>Penicillium citrinum</i>	3	3	4	4
<i>Rhizopus oryzae</i>	2	3	4	4
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	2	3	4	4
<i>Chaetomium globosum</i>	3	3	3	4

表 11 に塗被加工紙の抗カビ試験の結果を示す。バインダーのみの抗カビ試験で 2 ～ 3 程度の抗カビ性がみられたため、塗被加工紙の全体が影響を受け、吸収加工紙と比較して月桃精油添加量が低いにも関わらず高い抗カビ性が見られた。また、塗被加工において月桃精油添加量が低くなった原因として、マイクロカプセルを使用したことが考えられる。月桃精油を吸収加工した場合、加工直後が最も精油揮発量が多く、時間が経過するにしたがって揮発量が低下してくる。抗カビ試験は 7 日間の培養を行うがその間に揮発量が徐々に低下していくために多くの月桃精油が必要になると思われる。一方、マイクロカプセルは揮発量の変動がないため、必要最小限の添加量で抗カビ性が現れると思われる。今後、揮発量と抗カビ力についてさらに詳細に検討していく必要がある。

3-3-4 イエシロアリに対する忌避性

図 1 1 に吸収加工紙のイエシロアリ忌避試験の結果を示す。月桃精油添加量 $70 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上でイエシロアリの忌避効果が見られた。抗菌試験や抗カビ試験の結果が $7\text{mg}/\text{cm}^2$ 及び $13\text{mg}/\text{cm}^2$ であるが、イエシロアリへの忌避効果はその 1/1000 及び 1/1800 の量で効果が現れた。月桃の精油が現在 1kg 当たり 10 万円で販売されていることから、月桃精油のコストは 1m^2 当たり 7 円と低い。このことから、月桃精油を用いた加工はイエシロアリの忌避に対し非常に有効であることが解った。図 1 2 に塗被加工紙のイエシロアリ忌避特性を示す。塗被加工紙においては $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上で忌避効果が現れた。これは吸収加工紙と比較して約 $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ほど使用料が減少した。前述したが、マイクロカプセルは精油の揮発量を制御しているため、精油をそのまま利用した吸収加工紙と比較して多くの添加量を必要とされることが予想される。しかし、今回の結果は予想と相反する結果となった。このことは、抗カビ試験と同様に揮発量が一定であることが影響していると思われる。マイクロカプセルを利用した農薬に関してマイクロカプセルにする事により散布量が減ったという報告¹¹⁾もあることから、今回の結果もそれに対応した結果となった。

3-3-5 塗被加工紙表面の電子顕微鏡観察

図 1 3 に塗被加工前の原紙表面の電子顕微鏡写真を示す。また、図 1 4 に塗被加工後の塗被面の電子顕微鏡写真を示す。これによると塗被前の原紙表面は多数の繊維が絡み合った構造をしているが、塗被加工によりその繊維間の隙間

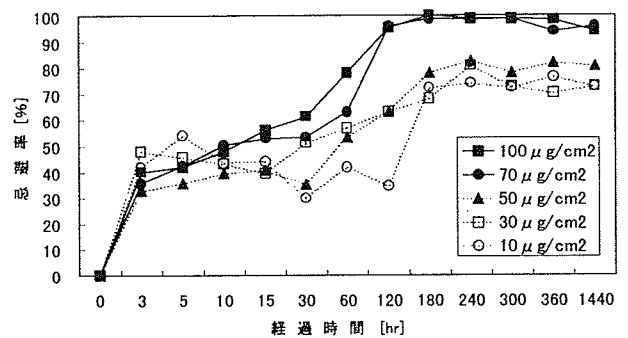


図11 吸収加工紙のイエシロアリ忌避特性

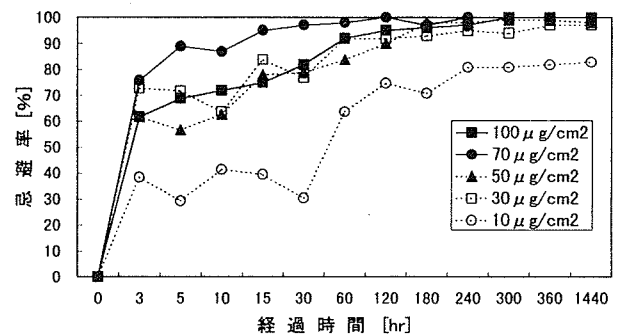


図 12 吸収加工紙のイエシロアリ忌避特性

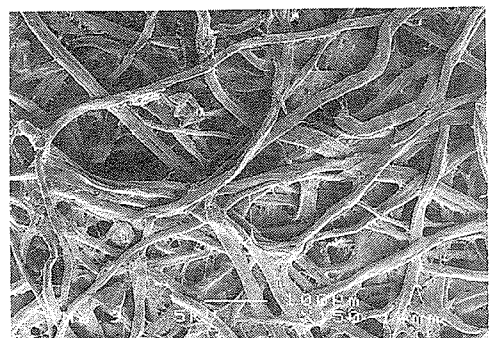


図13 塗被加工前原紙表面のSEM写真

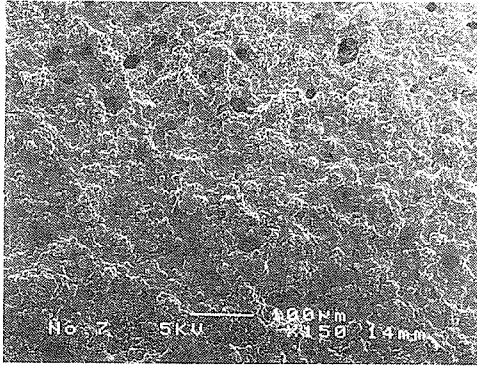


図14 塗被加工紙表面のSEM写真

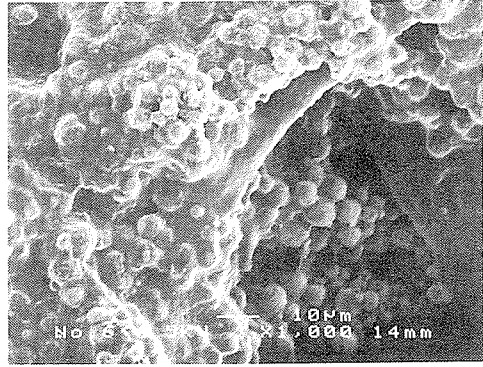


図15 塗被加工紙表面の拡大写真

に塗被液が充填され平滑な状態になっている。塗被表面は所々に直径 $20 \mu\text{m}$ の孔が所々にみられた。また、表目にマイクロカプセルが付着しているため若干の凹凸が見られる。塗被表面をさらに拡大したものを図 15 に示す。これにより、原紙表面にバインダーによってマイクロカプセルが付着しているのが解る。

4. おわりに

本研究は月桃を製紙原料として利用するとともに、月桃の持つ抗菌性、抗カビ性及び防虫性の機能性を持たせ文書保存箱に応用することを目的として行った。本研究により得られた結果及び知見を以下に示す。

(1) 月桃のパルプ化条件の検討及びパルプの物性

月桃のパルプ化に関して KP 法及び AP 法におけるパルプ化条件の検討を行ったところ、KP 法及び AP 法ともに有効アルカリ 20 % が最も適した条件であった。さらに、AP 法は KP 法と比較して歩留まりは若干低いが漂白の容易なパルプが得られることが解った。さらに、得られた月桃パルプの物性は断列長及び比破裂強さが KP 4.69km、AP 4.74km 及び KP 4.75kPa・m²/g、AP 4.42kPa・m²/g であった。これらの強度は叩解が進むと増し、断列長が KP 8.25km、AP 7.92km、比破裂強さが KP 7.09kPa・m²/g、AP 6.59kPa・m²/g となった。これらの強度は針葉樹パルプと比較して断列長が 2.5 倍、比破裂強さが 2 倍であり、比較的強度の高いパルプであった。

(2) 月桃パルプの機能性の検討

KP 法及び AP 法で製造した月桃パルプについて抗菌性、抗カビ性及びシロアリ忌避性について検討した。また、月桃の繊維を離解しパルプに混合したシートについてもこれらの機能性を検討した。その結果、両者とも今回は抗菌性、抗カビ性及びイエシロアリ忌避性が認められなかった。

(3) 月桃精油を用いた機能性付加の検討

月桃精油を利用して吸収加工及びマイクロカプセルを用いた塗被加工をした機能性紙について抗菌性、抗カビ性及びイエシロアリ忌避性について検討した。その結果、吸収加工紙においては抗菌性、抗カビ性及びイエシロアリ忌避性を持たせるために必要な精油量が 7mg/cm²、13mg/cm²

及び $70 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ であった。一方、塗被加工紙においては抗菌性は確認ができなかったが、抗カビ性については $0.1\text{mg}/\text{cm}^2$ 、イエシロアリ忌避性についても $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ で効果が現れた。マイクロカプセルを利用した塗被加工は月桃精油成分の揮発を制御しているため効果が持続することから、文書保存箱に適していると思われる。特に、添加量が比較的低く、マイクロカプセルを用いることにより添加量を低減させることができるイエシロアリ忌避性に対して非常に有効であると思われる。

あとがき

本研究は沖縄県ファイリングシステム事業協同組合より委託された受託研究事業として実施しました。事業を進めるに当たりご指導頂きました、高知大学農学部の高島一彦様並びに旧高知県立紙産業技術センターの宮地亀好様に深く感謝申し上げます。また、琉球大学農学部の屋我嗣良様、金城一彦様にはご指導頂くとともに供試虫をご提供して頂きました。記して心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 西野敦編著 抗菌剤の科学 工業調査会
- 2) 池間洋一郎、城間美香、照屋輝一 沖縄県工業試験場業務報告第16号 p142-149 1985
- 3) 池間洋一郎、平良直秀、比嘉三利 沖縄県工業試験場研究報告第20号 p1-9 1992
- 4) S.Tawada, S.Taira, N.Kobamoto, M.Ishihara, S.Toyama Biosci Biotechnol Bichem vol. 60 No.10 p1643-1645 1996
- 5) 海洋博覧会記念公園管理(財) 沖縄の都市緑化植物図鑑
- 6) 堀洗著 小ロット生産の製紙実務 紙業タイムス社
- 7) (財) 地域産業技術振興協会 熱帯・亜熱帯の未利用植物資源の多目的高度利用システムに関する研究報告書 1981
- 8) 中西篤、村井操共著 製紙工学 工学図書株式会社
- 9) 林ら 高知県立紙産業技術センター報告第1号 p30-109
- 10) 屋我嗣良、金城一彦、河内進策、今村祐嗣(共著) 木材科学講座 12 -保存・耐久性- 海青社
- 11) 近藤保、小石真純共著 新版マイクロカプセルーその製法・性質・応用ー 三共出版