

柳杉心材精油對衣魚之忌避與致死活性之研究

林建宗¹ 賴婉綺¹ 蕭文鳳² 王升陽^{1*}

(收件日期：民國 95 年 11 月 28 日、接受日期：民國 96 年 4 月 12 日)

【摘要】衣魚 (*Lepisma saccharina* Linnaeus) 為原始無翅亞綱昆蟲，取食各式織品或書籍等，為一般居家環境中常見之害蟲，對於我們日常使用之衣服及書籍以及文物具有很大的傷害。本研究以柳杉心材精油為研究材料，針對其可能具有之衣魚忌避及致死活性進行評估。經試驗證實，心材精油對於衣魚具有極佳之忌避活性，心材精油濃度為 0.001 mg/cm³ 時，對衣魚之忌避率為 83%。而心材精油濃度提高至 0.16 mg/cm³ 時，衣魚在 16 hr 內即完全死亡。本研究同時利用氣相層析質譜儀分析心材精油，並藉由微固相萃取技術收集於忌避試驗裝置內所揮發出之揮發成分組成。結果顯示，柳杉心材精油主要成分為 γ -Cadinene (24.45%)、 δ -Cadinene (18.07%)、Elemol (13.08%)、Germacrene D (8.72%)、 α -Muurolene (5.55%)、 β -Eudesmol (5.06%) 和 β -Cubebene (4.66%)；而揮散於忌避試驗環境中之成分則為 γ -Cadinene (58.92%)、 α -Muurolene (11.18%)、 β -Caryophyllene (5.56%)、 α -Humulene (4.57%)、 δ -Cadinene (3.97%)。由此研究之結果得知，柳杉精油確具有開發成符合環保要求居家防蟲產品之潛力，未來可進一步進行劑型的開發以及安全性評估，以賦予柳杉造林木全新方位的利用價值。

【關鍵詞】衣魚、忌避率、致死率、柳杉、精油、微固相萃取

REPELLENCY AND KILLING ACTIVITIES OF ESSENTIAL OIL FROM *CRYPTOMERIA JAPONICA* HEARTWOOD AGAINST SILVER FISH (*LEPISMA SACCHARINA*)

Chien-Tsong Lin¹ Wan-Chi Lai¹ Wen-Fong Hsiao² Sheng-Yang Wang^{1*}

(Received: November 28, 2006; Accepted: April 12, 2007)

¹ 國立中興大學森林學系研究生、助理教授。

Graduate Students and Assistant Professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University.

*通訊作者，402台中市南區國光路250號，國立中興大學森林學系。

Corresponding Author, Department of Forestry, National Chung-Hsing University, 250 Kuo-Kuang Road, Taichung 402, Taiwan. Tel.: 04-22840345 ext 138; e-mail: taiwanfir@dragon.nchu.edu.tw

² 國立嘉義大學生物資源學系教授。

Professor, Department of Biological Resource, National Chiayi University.

【Abstract】 The silverfish (*Lepisma saccharina* Linnaeus), primitive wingless insects, feeds on a variety of materials, including paper, cotton, starch and cereals. It is a general common pest in house. In this study, the essential oils of *Cryptomeria japonica* wood were selected to evaluate its effects on repellent and killing activities against the silverfish. According to the results obtained in the repellency assay, the essential oil shown the significantly repellency activity against the silverfish. The repellent activity was 83% at a dosage of 0.001 mg/cm³ essential oil from woods. When silverfishes were exposed to a concentration of 0.16 mg/cm³ essential oil, they were killed completely within 16 hr. The composition of essential oil, the emissions from a test chamber, and the residue left on filter papers previously soaked with essential oil in a chamber were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry. The main components of the wood essential oil were γ -cadinene (24.45%), δ -cadinene (18.07%), elemol (13.08%), germacrene D (8.72%), α -muurolene (5.55%), β -eudesmol (5.06%), and β -cubebene (4.66%). Only some constituents of the essential oil compounds collected by solid-phase microextraction were found to be emitted in the test chamber, including γ -cadinene (58.92%), α -muurolene (11.18%), β -caryophyllene (5.56%), α -humulene (4.57%), and δ -cadinene (3.97%). Based on the results from this study, the essential oils of *C. japonica* provide a great potential for developing an environmental-friendly chemicals to prevent silverfish to damage living environment.

【Key words】 Essential oil, Mortality, Silverfish, Repellency activity, Solid phase microextraction

I、前言

衣魚 (*Lepisma saccharina* Linnaeus) 為居家環境中常見之害蟲，其食物來源種類繁多，如高蛋白、糖類、紙張或壁紙和書籍之膠合處以及穀類等，均可作為其取食對象。此外，衣魚並危害一些自然或合成之纖維製品，因此造成文物收藏或資料保存上之不便。衣魚雌蟲一生可產下 50~150 顆卵，並習慣將卵產下藏匿於不同處，衣魚壽命可長達 2~3 年，所以很難將牠們完全清除 (Jacobs, 2003; Sloderbeck, 2004)。部分昆蟲學家期望以降低濕度、提高溫度或使用冷凍法來控制衣魚之成長 (Slater and Kastanis, 1997)，但事實上仍不能有效的防治，所以應用化學法來控制衣魚數目是不可避免的。然而近年來由於環保意識的抬頭，愈來愈多的研究注重於減

少環境的污染以及增進人類的健康問題，科學家並希望可以開發出在環境中可自行分解或對環境影響較少之殺蟲劑或忌避劑 (賴婉綺等，2006)。

精油係指可利用水蒸氣蒸餾或低極性溶劑萃取所得之植物二次代謝物 (Secondary metabolites)，其特色為高揮發性、不溶或微溶於水。為多種化合物所組成之混合物，已被廣泛地利用於醫療、保健食品、化妝品或者是對環境傷害較少之殺蟲劑和忌避劑等 (Lahlou, 2004)。精油成分提供有益或者是不利之生物活性 (Bioactivity)，因此當我們探究精油於特殊應用時常需要分離、鑑定其成分組成 (Buchbaure, 2000)。依歷史文件記載或民間流傳，我們可以得知精油具有影響生理上及精神上功效，如強化免疫功能、抗菌、鎮痛、舒緩情緒等等，而這些雖為已

知之功能，大多是口耳相傳之偏方，缺乏直接之科學證據，因此更深入了解精油之基本性質，分離成分並鑑定結構，確定有效之成分，則有助於其後續之利用、發展，如此一來便可達到森林有效利用之目的。近年來已有許多研究，利用植物精油作為防治害蟲之藥劑，但是，根據文獻的搜尋發現，將精油或其他天然化合物運用於防治衣魚的危害之研究報告非常缺乏。

柳杉 (*Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don) 原產日本及中國大陸，為日本之代表樹種，早期引進台灣後現為普遍栽植於海拔 800-2000 m 地區，為台灣常見且重要之造林樹種 (鄭森松、張上鎮, 2002a)，其特色為生長快速、易加工，常做為家具、建築用材。而柳杉中已有許多抽出成分已被鑑定 (Su *et al.*, 1995a, 1995b, 1996; Cheng *et al.*, 2003; Cheng *et al.*, 2005)，並已證實柳杉的抽出成分具有多樣之生物活性，如抗蟻活性、抗蚊活性、抗白蟻活性、抗真菌活性和抗蝸牛活性 (Chen *et al.*, 2001; Cheng *et al.*, 2005) 等。而先前之研究亦中已證實了柳杉葉部之精油具有顯著之衣魚忌避及致死效果 (Wang *et al.*, 2006)。因此本研究以柳杉心材精油作為試驗材料，測試其對於衣魚是否具有忌避及致死之活性以及了解葉部與心材精油之間有否差異，以評估柳杉心材精油是否具有開發成符合環保需求，並可運用於文物維護或資料收藏處之殺蟲劑和忌避劑的潛力。本研究並同時分析柳杉精油中的成分，以利分辨精油中揮發性或未揮發性成分對衣魚之效應。綜合以上研究結果希望可對防治衣魚有所助益，以期後續可運用

於文物及居家環境之維護。

II、材料與方法

(I) 試驗材料

1. 柳杉

取自國立台灣大學溪頭實驗林，採集時間為 2005 年 7 月，樹齡 35 年柳杉 (*C. japonica*) 造林木之新鮮木材。試材經中興大學森林學系曾彥學博士鑑定，並製作標本保存於中興大學森林學系標本館。

2. 精油製備

取 200 g 氣乾柳杉木材，分別將試材製備成小塊狀，以 1 公升蒸餾水利用水蒸氣蒸餾法蒸餾 6 hr，所獲得精油先計算其收率，之後並收集至樣品瓶中，貯放於 -20°C 冷凍櫃備用。

3. 衣魚 (*Lepisma saccharina* Linnaeus)

本研究所採用成年之衣魚為第三齡期，採集於中興大學森林學系之系館，將所蒐集之衣魚先飼養於塑膠容器 (15×20×10 cm³) 中，並且在蓋上披覆紗布維持空間之通風性，飼養食物採用紙張纖維：混合飼料 (1:1)，混合飼料配方為酵母粉：麥皮：高蛋白=9:9:1 下飼養 (何琦琛等, 1998)，飼養環境為溫度 25±3°C 和相對濕度 90%。

(II) 試驗方法

1. 衣魚忌避試驗

忌避試驗所採之裝置係參考 Wang *et al.* (2006) 之双向 (Two-way) 選擇試驗箱，試驗裝置中共分為三區，A、B、C 區，

尺寸均為 $14.8 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ，將柳杉精油滴入濾紙 ($2 \times 2 \text{ cm}^2$) 置入 C 區，A 區放入無精油之濾紙，而 A、C 區分別放置同量的紙張纖維（為食物來源和遮蔽躲藏之用），再將試驗裝置密封，使精油可以揮散並充滿其中約 10 min，10 min 後先將 B 區通往 A、C 區的通道遮蔽，將 30 隻衣魚放入 B 區，取出遮蔽物，使衣魚可以自由選擇前往何區。C 區精油濃度分別為 0.001 mg/cm^3 、 0.01 mg/cm^3 、 0.02 mg/cm^3 及 0.03 mg/cm^3 ，於 2、4、18、24、36 及 48 hr 觀察且記錄 C 區之衣魚數量，計算其忌避率。忌避率之計算公式如下：

$$\text{衣魚忌避率 (\%)} = [1 - (\text{C 區之衣魚數量} / \text{衣魚試驗總數量})] \times 100$$

2. 衣魚致死試驗

將柳杉精油滴入濾紙 ($2 \times 2 \text{ cm}^2$) 中，分別調配不同之濃度，精油濃度為 0.18 mg/cm^3 、 0.06 mg/cm^3 、 0.02 mg/cm^3 ，置入直徑 9 cm，高 1 cm（體積為 63.6 cm^3 ）的玻璃培養皿中，在培養皿邊緣滴入 2-3 滴水，以保持濕度，放入 10 隻衣魚，飼養環境為溫度 26°C 和相對濕度 90% 且不提供食物，觀察時間分別為 2、4、6、8 和 10 hr 記錄衣魚死亡數目，計算致死率，公式如下：

$$\text{衣魚致死率 (\%)} = (\text{衣魚死亡數量} / \text{衣魚試驗總數量}) \times 100$$

3. 以微固相萃取 (Solid-phase microextraction, SPME) 法收集忌避試驗裝置內揮發之成分

為瞭解忌避試驗進行時，揮散於裝置內之精油成分，本試驗利用 SPME 法吸附試驗裝置 C 區內所揮散出之成分，而試驗

時選用之吸附纖維 (Fiber) 為 Carboxen-polydimethylsiloxane ($75 \mu\text{m}$) (Supelco company, Bellefonte, PA, USA)。進行吸附前先以氣相層析儀 (Gas Chromatograph, GC) 之注射口 200°C 持續 20 min 進行吸附纖維脫附清理，待吸附纖維冷卻後開始進行試樣裝置揮發成分吸附，於忌避試驗進行 20、100、200 及 400 min 時，將吸附纖維置入試驗裝置中吸附揮發物 10 min，之後以氣相層析質譜儀 (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) 進行分析，而脫附時間為 30 sec，注射口溫度為 200°C (Supelco, 1998)。

4. 萃取濾紙殘留未揮發之成分

在完成忌避試驗後，取出試驗裝置 C 區含精油之濾紙，以 10 mL 乙醚萃取殘留於濾紙上之成分後，再利用 GC-MS 分析殘留成分組成。

5. GC-MS 分析條件

柳杉精油在忌避試驗裝置內揮發之成分以及濾紙上殘留未揮發之成分，係以氣相層析質譜儀 (GC-MS, HP G1800A, USA) 分析，GC 所使用之管柱為 DB-5 ($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm i.d.}$, $0.25 \text{ mm film thickness}$, J & W Scientific)。管柱升溫條件：起始溫度 40°C 持溫 1 min，以 $4^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升溫速率升高至 260°C ，最後持溫 4 min。注射口溫度 270°C ，離子化電壓 70 eV，載送氦氣之流速為 $1 \text{ mL}/\text{min}$ ，分流比 (Split ratio) 為 1:50 導入 MS 中，而 MS 範圍為 45-425 m/z ，各成分之比對是經由搜尋 Wiley (V. 7.0) 或者是 NIST (V. 2. 10) 資料庫比對分析，最後並以 KI (Kovat's index) 值確認成分的正確性。組成分的定量則是藉由

氣相層析圖中波峰之面積計算各成分含量推算而得。

III、結果與討論

(I) 柳杉心材之精油收率、組成、含量及分析

35 年生柳杉之心材經過水蒸氣蒸餾後得到之精油收率為 7.59 mL/kg。圖 1a 為 GC-MS 分析柳杉心材精油後所得之氣相

層析圖，其結果整理如表 1 所示。分析結果顯示柳杉心材精油含量較高之主要成分依序為 γ -Cadinene (24.45%)、 δ -Cadinene (18.07%)、Elemol (13.08%)、Germacrene D (8.72%)、 α -Muurolene (5.55%)、 β -Eudesmol (5.06%)、 β -Cubebene (4.66%)、Aromadendrene (3.98%)、 γ -Muurolene (3.47%)、1,4-Cadinadiene (3.41%)、 α -Cubebene (3.07%)、 γ -Eudesmol (1.92%)、 β -Caryophyllene (1.15%) 和 α -Humulene

表 1 柳杉心材精油、忌避試驗裝置揮散和濾紙殘留之成分以及含量

Table 1 Constituents of essential oil from *C. japonica* heartwood and emissions in the test chamber and the residue on the filter paper

No. of compounds	Compounds	Retention time (min)	KI	Essential oil (%)	Emission in Chamber ^a (%)	Residue on filter paper (%)
1	α -Pinene	10.03	929	-	0.38	-
2	3-Carene	12.82	1006	-	1.13	-
3	Limonene	13.41	1023	-	1.81	-
4	Naphthalene	18.16	1159	-	0.31	-
5	4-Carene	23.58	1314	-	0.83	-
6	α -Cubebene	24.01	1347	3.07	1.53	0.77
7	α -Copaene	24.85	1373	0.33	2.37	^b
8	β -Cubebene	25.32	1387	4.66	^b	1.18
9	β -Caryophyllene	26.26	1400	1.15	5.56	0.32
10	Germacrene B	26.66	1429	0.15	0.16	0.14
11	Aromadendrene	27.22	1448	3.98	1.38	0.89
12	α -Humulene	27.32	1450	1.15	4.57	0.33
13	γ -Muurolene	27.93	1469	3.47	4.91	1.80
14	Germacrene D	28.53	1489	8.72	0.58	4.26
15	α -Muurolene	28.76	1496	5.55	11.18	5.40
16	γ -Cadinene	29.32	1513	24.45	58.92	6.85
17	δ -Cadinene	29.52	1525	18.07	3.97	51.31
18	1,4-Cadinadiene	29.73	1531	3.41	2.32	0.95
19	α -Calacorene	29.99	1538	0.22	2.56	0.15
20	Elemol	30.23	1548	13.08	-	14.39
21	γ -Eudesmol	32.58	1631	1.92	-	2.20
22	β -Eudesmol	33.12	1652	5.06	-	5.55
23	Sandaracopimaradiene	41.10	1969	0.21	-	0.51
24	(R)-(-)-Cembrene	46.10	2190	0.84	-	1.70
25	Ferruginol	49.04	2330	0.51	-	1.30

^a : 以 SPME 法吸附揮散於試驗裝置中 C 區心材精油揮散之成分; ^b : 未偵測到此化合物

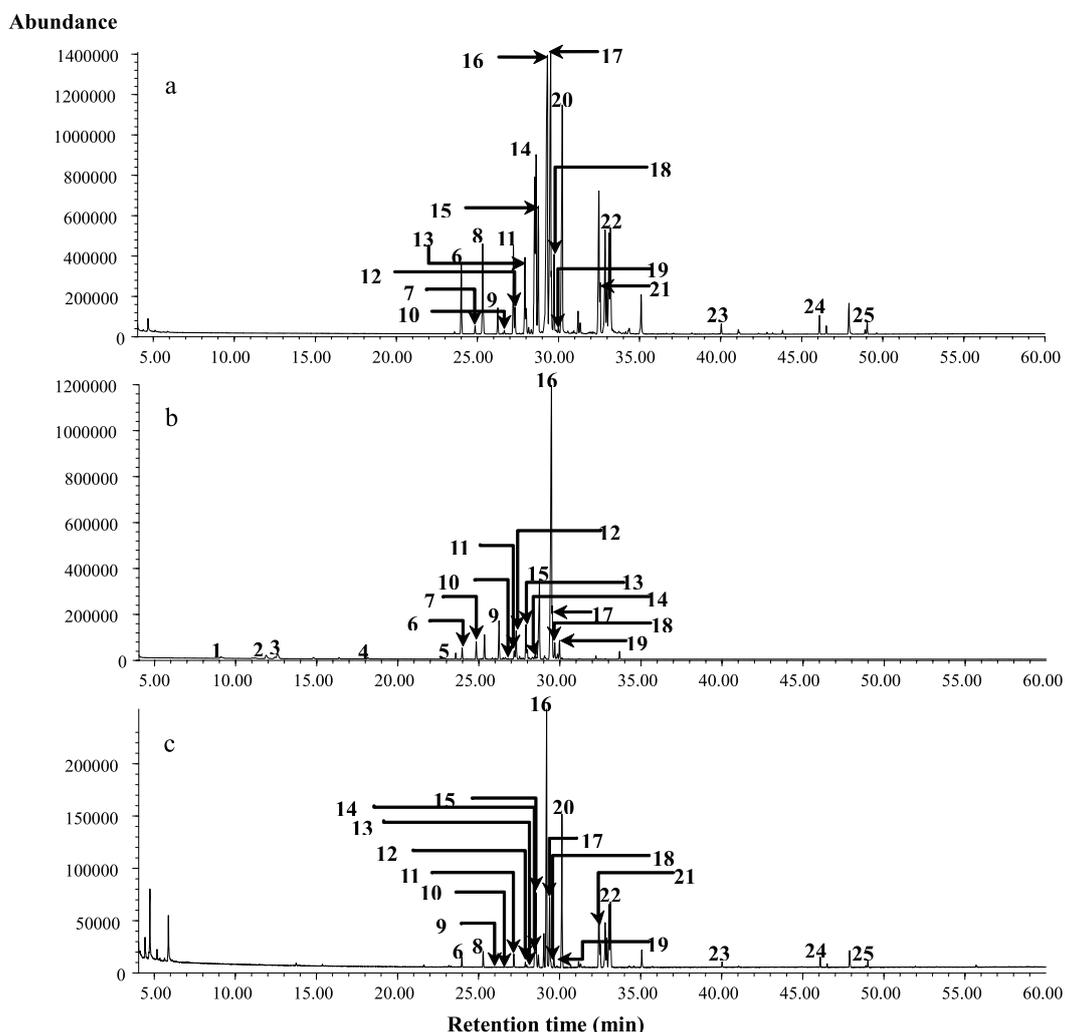


圖 1 柳杉心材精油之氣相層析圖。a: 心材精油; b: 以 SPME 萃取忌避試驗裝置內揮發精油成分; c: 忌避試驗用濾紙內殘留之精油成分。1. α -pinene, 2.3-Carene, 3. Limonene, 4.Naphthalene, 5.4-Carene, 6. α -Cubebene, 7. α -Copaene, 8. β -Cubebene, 9. β -Caryophyllene, 10.Germacrene B, 11.Aromadendrene, 12. α -Humulene, 13. γ -Muurolene, 14.Germacrene D, 15. α -Muurolene, 16. γ -Cadinene, 17. δ -Cadinene, 18.1,4-Cadinadiene, 19. α -Calacorene, 20.Elemol, 21. γ -Eudesmol, 22. β -Eudesmol, 23.Sandaracopimaradiene, 24.(R)-(-)-Cembrene, 25.Ferruginol.

Fig. 1 Total ion chromatograms of the essential oil of *C. japonica* heartwood. a: Essential oil of wood; b: Emission in the test chamber extracted by SPME extract; c: Diethyl ether extract from the residue in the filter paper. 1. α -pinene, 2.3-Carene, 3.Limonene, 4.Naphthalene, 5.4-Carene, 6. α -Cubebene, 7. α -Copaene, 8. β -Cubebene, 9. β -Caryophyllene, 10.Germacrene B, 11.Aromadendrene, 12. α -Humulene, 13. γ -Muurolene, 14.Germacrene D, 15. α -Muurolene, 16. γ -Cadinene, 17. δ -Cadinene, 18.1,4-Cadinadiene, 19. α -Calacorene, 20.Elemol, 21. γ -Eudesmol, 22. β -Eudesmol, 23.Sandaracopimaradiene, 24.(R)-(-)-Cembrene, 25. Ferruginol.

(1.15%)，其於含量低於 1% 者分別為 (R)-(-)-Cembrene (0.84%)、Ferruginol (0.51%)、 α -Copaene (0.33%)、 α -Calacorene (0.22%)、Sandaracopimaradiene (0.21%) 及 Germacrene B (0.15%)。Cheng *et al.* (2005) 曾利用水蒸氣蒸餾法萃取柳杉各部位之精油並利用 GC-MS 分析其組成，本次實驗所得之結果，大致與 Cheng *et al.* (2005) 相似，其中較大的差異為本研究未發現 *epi-Bicyclosquiphellandrene* 化合物，其在 Cheng *et al.* (2005) 的報告中為含量極高的成分 (13.15%)，另外 T-Cadinol 及 δ -Cadinol 於這次的研究中亦為未發現，推測可能是試材來源或萃取條件之差異的影響。

(II) 衣魚忌避試驗

圖 2 則為柳杉心材精油對衣魚之忌避效果，由試驗結果可以發現心材精油濃度在 0.01 mg/cm³ 或 0.03 mg/cm³ 時，於 48 hr 時對衣魚之忌避率分別為 93% 和 90%，經 t-test 檢定分析 ($p > 0.05$)，兩者之間並無顯著之差異。在與葉部同樣使用 0.03 mg/cm³ 劑量之結果比較 (Wang *et al.*, 2006)，高劑量之心材精油忌避率為 96% 與葉部之 90% 差異不多，但是當使用 0.01 mg/cm³ 之相對較低劑量時，心材精油之忌避率仍高達 93% 已優於葉部精油 76% 之忌避率，因此採用心材精油進行忌避實驗時，將使用劑量降低為 0.001 mg/cm³，檢視其是否對衣魚仍然具有忌避效應，其結果為 24 hr 時忌避率仍達 97%，時間延長至 48 hr 忌避率亦有 90%，由此可以得知心材精油對於衣魚之忌避效果要優於葉部精油，在相對較低劑量時即可顯現出忌避效

果。

本研究進一步以 SPME 進行收集於衣魚忌避試驗裝置中之揮發性成分，並以 GC-MS 分析，結果發現所測得之主要成分以偏於心材精油成分前半部具揮發性之成分為主，主要成分仍以 γ -Cadinene (58.92%) 為最大量，其次為 α -Murolene (11.18%)、 β -Caryophyllene (5.56%)、 α -Humulene (4.57%)、 δ -Cadinene (3.97%) (圖 1b 及表 1)。且其中低分子量、具高揮發性之單萜類 (monoterpenes)，如 α -Pinene (0.38%)、3-Carene (1.13%)、Limonene (1.81%) 和 4-Carene (0.83%) 等，在以 SPME 進行分析時，因吸取之相對濃度的增加，因而可被測定及鑑定出。且由圖 3 我們可以發現其心材大部分之化合物的揮發量都會隨著時間之增加而增加，至 100 min 時可達最大釋出量，之後含量則開始下降及趨緩。

而在試驗進行完畢後，將含有精油成分之濾紙進行萃取，結果發現 SPME 可吸附的精油成分，與濾紙上殘留之成分部分

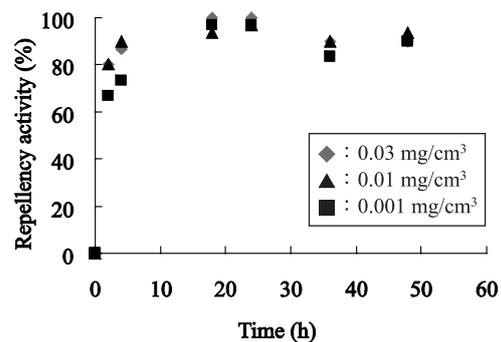


圖 2 柳杉心材精油對衣魚之忌避率

Fig. 2 Repellency activities of different concentrations of essential oil from *C. japonica* heartwood against silverfish

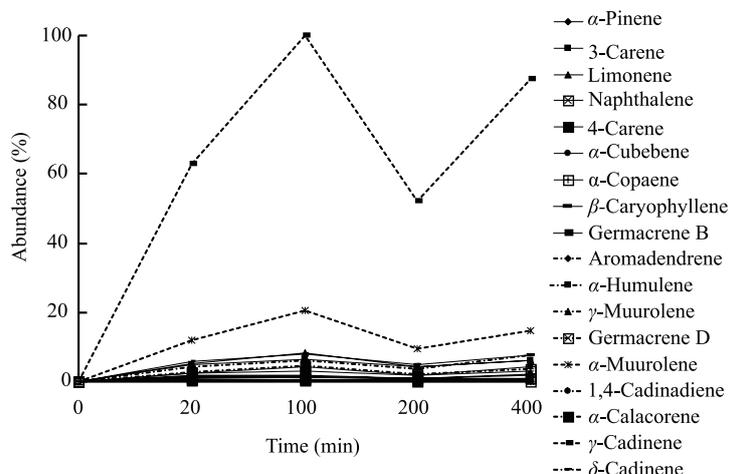


圖 3 柳杉心材精油成分於不同時間之揮發量分析

Fig. 3 Emission amount of volatile compounds from *C. japonica* heartwood during different emission times

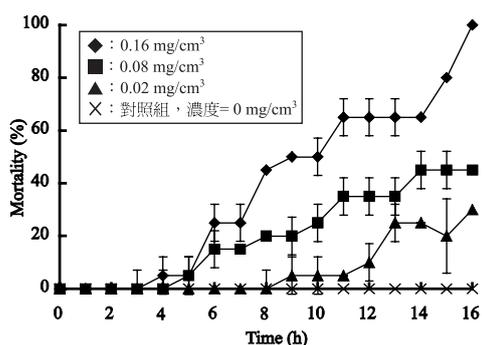


圖 4 柳杉心材精油對衣魚之致死率

Fig. 4 Toxic effects of the essential oil from *C. japonica* heartwood against silverfish

結果相同，由於柳杉心材精油組成分為倍半萜類和二萜類，故其揮發性不如葉部，葉部揮發性較高是因為其中含有較多之單萜類化合物。雖然柳杉心材精油組成多為倍半萜類和二萜類，仍然具有揮發性，只是揮發速度較慢，因此不僅是 SPME 可以吸附到這些成分，濾紙上也仍然存在有這些成分。

(III) 衣魚致死試驗

本研究除了瞭解柳杉心材精油對衣魚忌避效果之外，同時也探討其是否還具有衣魚致死的活性，因此乃進一步於密閉的空間內，進行衣魚的致死試驗。圖 4 為柳杉心材精油對於衣魚之致死活性之結果。由試驗結果得知，空白組（放入之濾紙未加入任何精油）之衣魚具有正常的活性，致死率為 0%，且衣魚在無食物來源狀況下仍可存活 307 天（Sloderbeck, 2004）。然而當加入柳杉心材精油時，在 0.16 mg/cm³ 之劑量下處理 16 hr，則可達到全數致死，而當處理時間為 10 hr 時，致死率則降為 50%，其僅達葉部致死率之半數。另外在使用劑量降為 0.08 mg/cm³ 處理 10 hr 時，對於衣魚之致死率為 25%，若降為 0.02 mg/cm³ 則致死率僅 5%，相對於柳杉葉部精油在同濃度和同時間條件下，對於衣魚致死率則分別為 40% 及 10%（Wang *et al.*, 2006）。由此可見，心材對於衣魚之致死

性不如葉部之效果好。綜合以上之結果可以得知心材精油對於衣魚產生致死效應，比葉部精油需要花費更多時間。進一步由實驗結果評估柳杉葉部精油對於衣魚之半數致死濃度 (Lethal Concentration, LC_{50}) 為 0.087 mg/cm^3 ，柳杉心材精油對於衣魚之 LC_{50} 為 0.130 mg/cm^3 。此結果恰巧與忌避結果相反，由此可以推測產生忌避和致死效果之機制並不相同，造成此原因可能是因為精油之組成分不同，其可以再進一步的深入探討。而在鄭森松及張上鎮 (2002b) 研究柳杉各部位精油對白蟻之影響時，發現柳杉心材和邊材精油對於抗白蟻之機制為揮發作用而使白蟻死亡，葉部精油之抗白蟻機制則屬於揮發性和接觸毒共同作用產生，此結果亦證實柳杉葉部與材部精油對昆蟲致死效果是屬於不同機制。

IV、結論

在台灣所種植之柳杉面積非常廣大，為重要之造林樹種，由前人研究中可確認柳杉具有相當多之生物活性，是具高利用性之森林資源。因此本研究以萃取柳杉心材之精油進行分析，並分別對衣魚進行忌避和致死試驗。柳杉心材精油之主要成分為 γ -Cadinene (24.45%)、 δ -Cadinene (18.07%)、Elemol (13.08%)、Germacrene D (8.72%)、 α -Muurolene (5.55%)、 β -Eudesmol (5.06%) 和 β -Cubebene (4.66%)。忌避實驗結果顯示柳杉心材精油使用劑量為 0.03 mg/cm^3 和 0.01 mg/cm^3 的劑量時，忌避率分別為 90% 和 93%，若將使用劑量降低為 0.001 mg/cm^3 時，忌避

率仍然有 90%，與葉部比較，其忌避效果顯然較葉部顯著。忌避實驗時利用 SPME 收集試驗裝置中所揮發之心材精油成分，經分析得知揮發物組成之主成分為 γ -Cadinene (58.92%)、 α -Muurolene (11.18%)、 β -Caryophyllene (5.56%)、 α -Humulene (4.57%) 和 δ -Cadinene (3.97%)，以倍半萜類和二萜類為主。另外，致死實驗結果為柳杉心材精油使用劑量為 0.16 mg/cm^3 時，在 16 hr 可使衣魚全數死亡，其 LC_{50} 為 0.130 mg/cm^3 ，如與葉部比較，其致死效果較葉部精油差。至於忌避及致死之效果呈現相反之結果，故推測產生忌避和致死效果之機制並不相同，造成此原因可能是因為精油之組成分不同。綜合以上之實驗結果可以得知柳杉心材精油同樣可以控制衣魚之危害，也具有發展成符合環保需求的殺蟲劑以及忌避劑之潛力，而使用柳杉精油亦為植物之天然成分對環境及人們使用上的傷害較少也較為安全。

V、致謝

本研究之完成要感謝林務局科技計畫補助 (94 農科-11.2.2-務-e1)，台灣大學森林環境暨資源學系張上鎮教授提供寶貴建議，以及中興大學森林學系沈熙巖老師協助衣魚採集，特此致上萬分謝忱。

VI、引用文獻

何琦琛、王振瀾、吳金村、林建宗、吳懷慧 (1998) 六種木材對美洲室塵蟻的抑制力探討。中華昆蟲 18: 247-258。

- 張上鎮、陳品方 (1999) 精油之抗細菌與抗真菌活性。林產工業 19(2) : 275-284。
- 鄭森松、張上鎮 (2002a) 柳杉抽出成份研究之回顧。林產工業 19(2) : 505-514。
- 鄭森松、張上鎮 (2002b) 柳杉精油抗白蟻之活性。中華林學季刊 35(2) : 193-119。
- 賴婉綺、張上鎮、王升陽 (2006) 以天然藥劑防治衣魚的新策略。台灣林業 32(4) : 15-19。
- Buchbaure, G. (2000) The detailed analysis of essential oils leads to the understanding of their properties. *Perfumen & Flavorist* 25: 64-87.
- Chen, X. H., C. S. Kim, T. Kashiwagi, S. I. Tebayashi and M. Horiike (2001) Antifeedant against *Acusta despesta* from the Japanese cedar, *Cryptomeria japonica* II. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 65(6): 1434-1437.
- Cheng, S. S., H. T. Chang, S. T. Chang, K. H. Tsai and W. J. Chen (2003) Bioactivity of selected plant essential oil against the yellow fever mosquito *Aedes aegypti* larvae. *Bioresour. Technol.* 89: 99-102.
- Cheng, S. S., H. Y. Lin and S. T. Chang (2005) Chemical composition and antifungal activity of essential oil from different tissues of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*). *J. Agric. Food Chem.* 53: 614-619.
- Jacobs, S. B. (2003) Entomological notes. Pennsylvania state University, November.
- Lahlou, M. (2004) Method to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy research* 18: 435-448.
- Sloderbeck, P. E. (2004) Silverfish and firebrats, Kansas State University, November
- Slater, A. and Kastanis, G. (1997) Silverfish and firebrats: How to control them. Oakland Univ, Calif Div Agric Nat Res Leaflet 2101
- Su, W. C., J. M. Fang and Y. S. Cheng (1995a) Sesquiterpens from leaves of *Cryptomeria japonica*. *Phytochemistry* 39(3): 603-607.
- Su, W. C., J. M. Fang and Y. S. Cheng (1995b) Flonoids and lignans from leaves of *Cryptomeria japonica*. *Phytochemistry* 40(2): 563-566.
- Su, W. C., J. M. Fang and Y. S. Cheng (1996) Diterpens from leaves of *Cryptomeria japonica*. *Phytochemistry* 41(1): 255-261.
- Supelco (1998) Solid phase microextraction: theory and optimization of conditions. *Supelco Bulletin* 923.
- Wang, S. Y., W. C. Lai, F. H. Chu, C. T. Lin, S. Y. Shen and S. T. Chang (2006) Essential oil from the leaves of *Cryptomeria japonica* acts as a silverfish (*Lepisma saccharina*) repellent and insecticide. *J. Wood Sci.* 52(6): 522-526.