

修護用樹脂保護漆添加光安定劑 之加速老化實驗研究

The Studies of Light Stabilizers Applied
on Resin Coatings Used in Conservation
under Accelerated Weathering Test

王俊豪 | Chun-Hao Wang

朱銘美術館典藏維護部專員
Specialist, Collection and Conservation
Department, Juming Museum

來稿日期：2016年7月25日

通過日期：2017年3月6日

摘 要

樹脂保護漆暴露在自然環境中，很容易受到陽光中紫外線輻射的影響而產生變色或劣化，爲了提高樹脂保護漆的耐久性質，添加光安定劑以阻止紫外線對塗膜所造成的破壞，是常見的作法。本次實驗選用了兩種不同類型的光安定劑：紫外線吸收劑（Benzotriazole，BTA）與受阻胺光安定劑（Hindered Amine Light Stabilizer，HALS），以單獨或混合的方式添加於三種目前已用於文物修護的樹脂保護漆：脲醛樹脂（Laropal®A81）、氰化碳氫化合物樹脂（Regalrez®1126）與壓克力合成樹脂（Paraloid®B-48N），再將樹脂塗料塗佈於試片上進行人工加速老化實驗，之後分析比較各項老化前後的塗膜性質，以了解添加光安定劑是否對於這些樹脂的耐久性有所助益。

實驗結果顯示，光安定劑是否能有效抑制塗膜劣化的發生，會隨著塗料的種類而有所不同。於 Laropal®A81 中添加 HALS 型光安定劑的耐久性改善效果比添加 BTA 型光安定劑還明顯；同時添加 BTA 與 HALS 雖然比單一添加的效果還好，但仍然無法有效改善 Laropal®A81 的劣化。Regalrez®1126 添加 HALS 型光安定劑減緩塗膜劣化的效果，比添加 BTA 型光安定劑的效果還好；若同時添加 BTA 與 HALS 型光安定劑，則對於 Regalrez®1126 的劣化改善效果最好。由於 Paraloid®B-48N 本身具有良好的耐久性，因此添加光安定劑的減緩劣化效果均不明顯。

關鍵詞：光安定劑、樹脂保護漆、木質修護、耐候性

Abstract

Resin coating is susceptible to discoloration and degradation in natural environment due to ultraviolet radiation. In order to enhance weatherability of the coating, it is common to add light stabilizers to prevent damage caused by ultraviolet light from the sun. This study selected two types of light stabilizers, UV absorbers (Benzotriazole, BTA) and hindered amine light stabilizers (HALS). They were added to three types of resin coatings in different formulations. The resin coatings used are the ones commonly in use for wood conservation. They are urea-aldehyde resin (Laropal®A81), hydrogenated hydrocarbon resin (Regalrez®1126) and acrylic resin (Paraloid®B-48N). The resin coatings were put through the QUV accelerated weathering test, and variations in the properties of the coatings were measured.

The results of experiments show that effectiveness of light stabilizers on the weatherability improvement depends on the kinds of coatings. In Laropal®A81 and Regalrez®1126, adding both BTA and HALS to the resin coating improves weatherability most significantly, followed by adding only HALS, and lastly by adding BTA. Light stabilizers did not exhibit significant improvement in Paraloid®B-48N. This coating exhibits excellent light stability in the experiment, and kept intact after the accelerating aging process (600hrs). The addition of light stabilizers impeded degradation, however the results are limited.

Keywords: Light stabilizer, Resin coating, Wood conservation, Weatherability

一、前言

臺灣傳統寺廟建築多以木材作為梁柱和隔扇的材料，由於臺灣屬於亞熱帶海島型氣候，高溫且潮濕，在此環境下，未經適當保護的木材很容易受到陽光、雨水、空氣汙染物和微生物等環境因子影響而造成劣化，為了保護木材，延長其使用年限，將彩繪施作於木基底上，不但保護木材，兼具裝飾美化的作用外，更蘊含了歷史傳統與文化意義。木作彩繪繪製完成後，為了保護畫面和增加色彩的飽和度，會在表面髹塗一層樹脂保護漆，坊間俗稱金油或凡立水，英文則稱為凡尼斯（Varnish），是指一種添加揮發性溶劑或乾性油的透明樹脂溶液，可以塗刷或噴塗在物體表面，乾後會形成堅硬、有光澤且經常為透明狀的薄膜。¹然而，保護漆大多為有機高分子材料，與木材一樣會受到外界環境影響而產生劣化，若劣化嚴重，不僅喪失保護功用，更降低彩繪作品的視覺美感，因此，針對保護漆進行耐候性檢驗，探究其劣化改善的方法，為現今保護塗料的研究重點之一。

傳統寺廟多屬於開放或半開放建築，保護漆為木作彩繪上的最外層，容易直接受到天候因子的影響而產生劣化，如顏色改變、失去光澤、塗膜出現粉化或剝離等狀況。促使塗膜劣化的原因中，陽

1 Ralph Mayer 著，貓頭鷹編輯小組譯，《藝術名詞與技法辭典》（臺北：貓頭鷹出版社，2005），頁 478。

光所帶來的能量是關鍵，其中又以材料吸收紫外線而產生的光劣化（Photodegradation）最爲主要。爲了發揮保護漆之作用，除了直接製造耐光、耐候性佳的透明塗料外，另一個方法則是添加適量的光安定劑（Light Stabilizers）²，來改善塗料之耐久性。

目前國內針對保護漆添加光安定劑之研究，多以硝化纖維素（Nitrocellulose Lacquer，簡稱NC）塗料、聚胺基甲酸酯（Polyurethane，簡稱PU）塗料和紫外光硬化塗料³爲主，關於文物修護用保護漆添加光安定劑的研究，目前仍少有專書論述。國外文獻中對於修護用保護漆之研究，以美國華盛頓國家藝廊（National Gallery of Art, Washington）的E. René de la Rie博士最負盛名，曾發表過許多相關著作，在〈聚合物安定劑：應用於修護領域的可行性之研究參考〉（Polymer Stabilizers. A Survey with Reference to Possible Applications in the Conservation Field）⁴這篇文章中，建議將光安定劑添加於修護材料中，以減少塗膜在使用環境中所產生的劣化。另外，王麗琴等人

2 藉由某些物質打斷劣化途徑或除去劣化中間產物，減少陽光對塗膜的影響，則可以減緩塗膜在使用環境所產生的劣化，進而延長其壽命，這些可抑止塗膜光劣化的物質稱爲光安定劑。

3 紫外光硬化塗料是利用紫外光引發的化學聚合反應使其硬化成膜，不需使用溶劑，又稱爲無溶劑塗料。國內常見的紫外光硬化塗料如聚酯變性壓克力（Polyester Acrylate）塗料和環氧聚胺基甲酸酯變性壓克力（Epoxy Polyurethane Acrylate）塗料等。

4 E. René de la Rie, "Polymer Stabilizers. A Survey with Reference to Possible Applications in the Conservation Field," *Studies in Conservation* 33, no. 1(1988): 9-22.

的研究中指出，將光安定劑（Benzotriazole，苯並三唑紫外線吸收劑）添加於修護用樹脂 Paraloid®B-72（壓克力合成樹脂）中，對於材料抗光老化性能有明顯提升。⁵

本研究選擇脲醛樹脂（Laropal®A81）、氰化碳氫化合物樹脂（Regalrez®1126）和壓克力合成樹脂（Paraloid®B-48N）三種已被應用於戶外木作彩繪修護之樹脂保護漆，作為實驗對象。目前此三種樹脂皆經測試後證實穩定度佳，但實驗條件多以博物館可控制之室內環境或歐美地區的氣候為標準，是否適用於臺灣室外氣候的嚴苛環境中，仍需進一步探討。本研究將木作彩繪修護常用之樹脂保護漆，添加光安定劑進行耐久性實驗，探究於紫外線照射的戶外環境下，光安定劑對於此次實驗樹脂之耐久性是否有所助益，提供材料研發人員或文物修護人員選用之參考。

二、樹脂保護漆之劣化與改善方法

樹脂保護漆塗料暴露在戶外環境中，容易受到天候因子的作用而產生各種劣化狀況。造成劣化的原因除了塗料本身塗裝的缺陷外，還有陽光、水分、溫度、生物劣化、空氣中的污染物與人為因素等，但

5 王麗琴、楊璐、黨高潮、趙靜、梁國正，〈改性B72文物保護材料耐光老化性能研究〉，《西北大學學報（自然科學版）》5（2006.10），頁761。

引起塗膜劣化最關鍵的因子，是材料受到陽光中紫外線的影響，使其性質與外觀產生變化，若再加上氧、溫度與水的參與，則會加速、加劇材料的劣化。

當塗膜分子吸收陽光的能量後（特別是紫外線能量），經由不同劣化途徑而產生激發態原子團（Excited State）、自由基（Free Radical）與過氧化物（Peroxide）等，都會對塗膜造成一連串的破壞，因此爲了改善樹脂塗膜的耐久性，可以從減少塗膜吸收紫外線的能量，或去除劣化過程的中間產物等方法著手，常用的方法是在塗料中添加光安定劑，⁶藉由光安定劑的添加，減緩光劣化反應對塗膜的影響，以達到延長材料的使用壽命之功能。

光安定劑可以在光劣化過程的不同階段，阻隔或減緩光劣化反應的進行，通常採用的方法有下列四種：（一）遮蔽或反射紫外線；（二）吸收紫外線能量；（三）抑制激發態分子；（四）捕捉自由基與分解過氧化物。光劣化產生的途徑與防止機制的作用位置可由圖 1 簡示。

（一）遮蔽或反射紫外線

利用紫外線遮蔽劑將紫外光阻隔，可視爲是材料與紫外線輻射之間的一道防護壁，⁷藉由阻擋或反射掉紫外線的方式，減少高分子材料吸收紫外線能量的機率，降低光線與高分子材料接觸的機會。

6 李鴻麟、鄧哲宗、夏滄琪、顧文君，〈木材用塗料耐候性之研究——塗料耐候性之比較〉，《林業試驗所研究報告季刊》4（1993.12），頁 322。

7 賴智峰，〈利用固相合成方法開發新型紫外線吸收劑（UV-Absorbers）〉（桃園：國立中央大學化學研究所碩士論文，2004），頁 11。

(二) 吸收紫外線能量

紫外線吸收劑能強烈吸收紫外線，其吸收率遠高於高分子材料對紫外線的吸收率，⁸ 並且可將所吸收的輻射能轉為熱能之形式放出，因此減少了紫外線對材料的輻射強度，也降低了材料發生光劣化的可能。

(三) 抑制激發態分子

若是紫外線被高分子材料的分子所吸收，會造成分子形成不穩定之激發態，而抑制劑能將激發態的材料分子能量轉移至它的身上並消除，使高分子材料無法被激發而分裂產生自由基。

(四) 捕捉自由基與分解過氧化物

在高分子材料中添加受阻胺光安定劑，可以捕捉高分子材料中的自由基與分解過氧化物，減少這些自由基對高分子材料產生的破壞，也就減緩了光劣化的速度與延長了材料的使用壽命。

三、光安定劑的作用與分類

光安定劑的種類繁多，雖然大部分為有機化合物，但也有如二氧化鈦 (Titanium Dioxide) 與碳黑 (Carbon Black) 等無機化合物的

8 隋昭德、李傑、張玉傑、劉罡，《光穩定劑及其應用技術》(北京：中國輕工業出版社，2010)，頁 11。

應用，在塑料與塗料中的應用量甚至超越有機化合物類的光安定劑，這類型的光安定劑不但耐熱、耐揮發與持久性優良，光安定效果也不比有機化合型光安定劑遜色。

汪斌華等人的研究指出，將奈米二氧化鈦 (TiO_2) 與奈米氧化鋅 (ZnO) 添加於建築外牆塗料 (丙烯酸樹脂)，於 800 小時老化實驗後無明顯色差與粉化的情形；郭剛等人將含有二氧化鈦的聚酯-TGIC 粉末塗料 (Polyester TGIC Powder Coating) 進行人工加速老化實驗，結果顯示含有二氧化鈦之塗料比未含者擁有較佳的耐候性，⁹ 但在廖芥楓的研究中，將硝化纖維素和聚胺基甲酸酯塗料加入不同比例的竹炭、二氧化鈦與氧化鋅奈米粉體進行耐光性實驗，結果顯示塗料添加二氧化鈦、氧化鋅仍會造成色變，甚至較未添加者更為劇烈，推測二氧化鈦與氧化鋅皆為受紫外線刺激反應較強之光觸媒反應物，雖可消耗紫外線能量，但光觸媒反應所產生的電子電洞能量也同樣會對塗膜造成損害，其實驗結果僅有添加量超過 1% 以上之竹炭有減少光劣化的效果，但添加量超過 0.5% 以上時呈現不透光的狀態，¹⁰ 因此較適合應用在有顏色或不透明的塗料上，顯示

9 郭剛、汪斌華、黃婉霞、于杰、曹建軍、涂銘旌，〈納米 TiO_2 的紫外光學特性及在粉末塗料抗老化改性中的應用〉，《四川大學學報 (工程科學版)》5 (2004.9)，頁 53。異氰尿酸三縮水甘油酯 (Triglycidyl Isocyanurate，簡稱 TGIC)，主要用作聚酯粉末塗料固化劑，亦可用於電器絕緣材料、印刷電路板、黏著劑，塑料安定劑等。

10 根據廖芥楓的研究中，透明塗料加入二氧化鈦超過 0.1% (呈白色)、氧化鋅達 1% (呈乳白色) 或竹炭 0.5% (呈黑色) 以上時即達到不透光之狀態。參見廖芥楓，〈木材塗膜耐候性改良之研究〉(屏東：國立屏東科技大學木材科學與設計系碩士論文，2006)，頁 128。

出單一類型光安定劑無法滿足全面的需求，依照塗膜類型、功用選擇適當的光安定劑，才能確實發揮其活性與長效性。

光安定劑有許多類型，如添加型與反應型、低分子與高分子型等，但這些分類方法過於籠統，比較常見的方法是按照其化學結構¹¹或作用方式的不同而分類，若依其作用機制的不同可分為紫外線遮蔽劑 (UV Protective Powder)、紫外線吸收劑 (UV Absorber)、抑制劑 (Quencher) 和受阻胺光安定劑 (Hindered Amine Light Stabilizer)。針對透明樹脂保護漆的應用，以紫外線吸收劑與受阻胺光安定劑最為廣泛。

(一) 紫外線吸收劑

紫外線吸收劑的光安定作用在於能吸收紫外線的能量，並將能量以熱的形式釋放出來，以減少塗膜吸收紫外線的機會。¹²大部分紫外線吸收劑的作用機制相似，以二苯甲酮紫外線吸收劑為例，主要是利用其分子結構上的羥基 (OH) 與親電子原子 (如 C=O) 形成內部可逆轉的六環式氫鍵 (Six-membered Hydrogen Bonding)，¹³ 當

11 常見的光安定劑依化學結構大致可分為苯甲酸酯類 (Benzoate)、水楊酸酯類 (Salicylate)、二苯甲酮 (Benzophenone)、苯並三唑 (Benzotriazole)、肉桂酸酯類 (Cinnamate)、三嗪類 (Triazine)、草醯胺類 (Oxamide)、金屬錯合物 (Metal Complex) 與受阻胺類光安定劑 (Hindered Amine Light Stabilizer) 等。

12 E. René de la Rie, "Polymer Stabilizers. A Survey with Reference to Possible Applications in the Conservation Field," 14.

13 張上鎮、許富蘭，〈塗料用光安定劑的選用與發展〉，《林產工業》13：1 (1994.3)，頁 200。

吸收紫外線的能量後，其分子內產生互變異構機制（Tautomerism Mechanism），轉變為不穩定的激發態，將有害的紫外線能量轉換成熱能並釋放至外界後，又可恢復為原來的基態結構（圖 2）。¹⁴

理想的紫外線吸收劑是能吸收波長為 280nm 至 400nm 的紫外線，並且讓全部的可見光穿透（若是吸收高於 400nm 波長的可見光，可能會使添加後的透明塗膜略呈黃色），但目前還沒有一種紫外線吸收劑能達到如此理想的狀態。此外，不同種類或型號的紫外線吸收劑有著不同的最大吸收波長（圖 3），因此可以依照材料的使用環境（如室內或室外）來選擇紫外線吸收劑，在實務上通常會同時添加兩種紫外線吸收劑，以加寬紫外線吸收波長的範圍。

紫外線吸收劑除了無法將波長為 280nm 至 400nm 的紫外線全部吸收，與可能吸收些微可見光而使透明製品著色的缺點外，在實際應用時，需要有一定的吸收深度才能發揮效果，即製品本身需要有一定的厚度，因此對於纖維、薄膜等製品的保護效果較差。儘管如此，紫外線吸收劑仍然是重要的光安定劑類別之一，除了因為其發展歷史較早、製造及生產技術較為成熟和相關研究較為充分外，與受阻胺光安定劑的增效效應良好也是原因之一，在某些領域的應用中，紫外線吸收劑仍難以被其他種類的光安定劑所取代。常見的紫外線吸收劑有二苯甲酮類、苯並三唑類、水楊酸酯類與三嗪等。

14 George Wypych, *Handbook of Material Weathering* (Toronto: ChemTec Pub, 2003), 500.

(二) 受阻胺光安定劑

受阻胺光安定劑大多是具有戊胺 (2,2,6,6-Tetramethylpiperidine) 結構的衍生物。本身幾乎不吸收紫外光，但可藉由捕捉自由基、分解過氧化物與消除過氧化氫等機制，減緩材料劣化的速度。

在氧的存在下，受阻胺光安定劑的結構中形成氮氣自由基，它能有效捕捉聚合物在光氧化或過氧化物分解所產生的自由基，再遇到其他自由基時又會產生反應，回到氮氣自由基的型態。如圖 4，當氮氣自由基捕捉到自由基 $R\cdot$ 後，反應生成具有 $N-O-R$ 結構的產物，它能繼續捕捉 $R\cdot$ 、 $RO\cdot$ 、 $ROO\cdot$ 等自由基，使這些自由基轉變為較穩定的 $R-R$ 、 $R-O-R$ 、 $R-OO-R$ 結構，不但讓導致高分子聚合物降解的自由基失去活性，氮氣自由基在這段過程中還能再生，也因為這個特性，使得受阻胺光安定劑被認為是目前的光安定劑中效果最強的一種類型。¹⁵ 但受阻胺光安定劑仍有一些缺點，在於它是一種鹼性的物質，有可能和高分子材料中的酸性成份產生反應，降低了受阻胺光安定劑的效果，因此在使用受阻胺光安定劑時，應避免塗料內有酸性的物質。¹⁶

15 E. René de la Rie, "Polymer Stabilizers. A Survey with Reference to Possible Applications in the Conservation Field," 16.

16 張上鎮、許富蘭，〈塗料用光安定劑的選用與發展〉，頁 206。

四、試驗材料與方法

(一) 試驗材料

1. 樹脂保護漆

(1) Laropal®A81 脲醛樹脂 (Urea-aldehyde Resin)

Laropal®A81 是由德國巴斯夫化學公司 (BASF, 由最早的名稱 Badische Anilin und Soda Fabrik 縮寫而來) 研發製造的低分子量合成樹脂 (Low Molecular Weight Resin), 如圖 5。將尿素 (Urea) 與脂肪醛類 (Aliphatic Aldehydes) 經縮合反應 (Condensation Reaction) 後得到的產物 (圖 6)。樹脂經過測試後證實具有良好的穩定性, 並擁有與天然樹脂相近的折射率 (Refractive Index, 以下簡稱 RI) 與操作性能,¹⁷ 因此被作為修護用全色材料的黏著劑或保護漆塗料之用途, 開發出修護用的全色顏料, 如 Gamblin Conservation Colors。

Laropal®A81 可溶於一般塗料常用的溶劑, 不溶於水與脂肪族溶劑, 如己烷 (Hexane), 但可溶於比己烷略具極性力的溶劑, 如環己烷 (Cyclohexane) 或乙苯 (Ethylbenzene)。¹⁸ 在實務操作中, 溶於脂肪族溶劑在低於 15°C 下呈現分層的現象, 可藉由加入 2 ~ 5% 的芳香族溶劑來改善。Laropal®A81 的軟化點為 80 ~ 95 點, 玻璃轉移溫度 (Glass Transition Temperature, 以下簡稱 Tg) 為 57°C。

17 Ulrich Weilhammer, *Binding Media and Adhesive* (Unpublished handout of Tainan National University of the Arts, Graduate Institute of the Conservation of Cultural Relics, 2004), 72.

18 Gregory Dale Smith, and Ronald Johnson, "Strip 'Teas'-Solubility Data for the Removal (and Application) of Low Molecular Weight Synthetic Resins Used as Inpainting Media and Picture Varnishes," *WAAC Newsletter* 30, no. 1 (2008): 13.

(2) Regalrez[®]1126 氫化碳氫化合物樹脂 (Hydrogenated Hydrocarbon Resin)

Regalrez 主要是由苯乙烯 (Styrene) 與 α -甲基苯乙烯 (α -Methyl Styrene) 所形成的氫化寡聚合物¹⁹ (圖 7、圖 8)，可溶於礦精及松節油，但不溶於水、乙醇和丙酮等溶劑。是美國赫拉克勒斯公司 (Hercules Corporation) 研發製造的低分子量碳氫化合物樹脂。西元 1983 年研發了四款 Regalrez 系列的產品：Regalrez[®]1018、Regalrez[®]1085、Regalrez[®]1094 和 Regalrez[®]1126 (圖 9)。西元 1991 年又推出了 Regalrez[®]1128 與 Regalrez[®]1139。這些型號中的第一個數字「1」，代表 100% 完全氫化，其餘後三個號碼則代表樹脂的軟化點，²⁰ 如 Regalrez[®]1094 的軟化點為 94°C，Regalrez[®]1126 的軟化點為 126°C。

Regalrez[®]1094 所呈現的光澤感和折射率與傳統油畫常用的凡尼斯²¹ 相近，但性質較穩定，因此常作為油畫修護的保護漆。可惜的是，Regalrez[®]1094 的 Tg 僅 33°C，特別在觸碰、持拿文物時，因為手的溫度等因素，使樹脂塗膜容易產生回黏²² 的現象，Regalrez[®]1126 則

19 寡聚合物 (Oligomer)，由少量單體所形成的聚合物。參見黃榮茂、王禹文、林聖富、楊得仁，《化學化工大辭典》(臺北：曉園出版社，2000)，頁 698。

20 Hans Piena, "Regalrez in Furniture Conservation," *Journal of the American Institute for Conservation* 40, no.1 (2001): 60.

21 傳統油畫常用的凡尼斯如達馬樹脂 (Dammar) 和乳香樹脂 (Mastic)，折射率為 1.515 ~ 1.539；Regalrez[®]1094 與 Regalrez[®]1126 的折射率為 1.519。

22 回黏 (After tack)，指乾燥的塗膜再帶有黏著性的現象。參見劉正宇、盧崑宗，《木材塗裝工程》(臺北：藝軒圖書出版社，2002)，頁 180。

不會產生此種情形 (Regalrez®1126 的 Tg 為 65°C)。爲了進一步改良 Regalrez 的性質，通常會在樹脂中添加受阻胺光安定劑 Tinuvin®292，以抑制樹脂塗膜受到陽光照射所產生的光劣化反應。²³

(3) Paraloid®B-48N 壓克力合成樹脂 (Acrylic Resin)

Paraloid®B-48N (早期在美國稱爲 Acryloid®B-48N) 是美國羅門哈斯公司 (Rohm and Haas) 所研發製造的熱塑性丙烯酸樹脂，外觀爲透明無色 (圖 10)。主要由甲基丙烯酸甲酯 (Methyl Methacrylate) 與丙烯酸丁酯 (Butyl Acrylate) 所聚合而成。含有塑化劑鄰苯二甲酸二丁酯 (Dibutyl Phthalate, 簡稱 DBP) 及附著力促進劑 (Adhesion Promoter)，²⁴ 與金屬的附著性良好 (特別是銅、黃銅與青銅)，乾燥後所產生的塗膜堅韌有彈性，且耐久性優良，因此常作爲金屬修護用的黏著劑與保護漆。Paraloid®B-48N 的 Tg 爲 50°C，RI 爲 1.89，可溶於二甲苯、甲苯和丙酮。在調製成樹脂塗料時若產生拉絲 (Stringiness) 或過於黏稠的現象，可藉由添加 2% 的乙醇來改善。除了原始的樹脂顆粒外，也有研發出已調配好的塗料產品，如 Paraloid B-48S。²⁵

2. 光安定劑

光安定劑種類繁多且不斷研發新型產品，針對透明樹脂塗料的應用以紫外線吸收劑與受阻胺光安定劑最爲廣泛，然而這兩類光安定劑

23 Hans Piena, "Regalrez in Furniture Conservation," 61.

24 Museum of Fine Arts, Boston-Material Search, "Paraloid®B-48N": <http://cameo.mfa.org/wiki/Paraloid_B-48N> (2017.3.10 點閱)

25 Ulrich Weilhammer, *Binding Media and Adhesive*, 62.

亦有許多不同的型號²⁶，在有限的經費和時間考量下，根據實驗設定的條件、相關研究常用的光安定劑種類與製造商²⁷的建議，選擇苯並三唑紫外線吸收劑（Eversorb[®]81，以下簡稱 BTA-81）²⁸與受阻胺光安定劑（Eversorb[®]93，以下簡稱 HALS-93）²⁹作為此次試驗之添加劑，兩者皆為與樹脂塗料相容性較佳的液態型光安定劑。³⁰

本研究之實驗所選用的光安定劑，是由臺灣永光化學股份有限公司所生產之安定劑（圖 11）。根據研發人員建議光安定劑添加量為塗料固形份之 1% 以上的效果較佳，其紫外線光譜圖與化學結構分別如圖 12 至圖 14 所示。

（二）試驗方法

1. 塗料製備

本次實驗所選用的樹脂塗料 Laropal[®]A81、Regalrez[®]1126 和 Paraloid[®]B-48N 皆購自德國 Kremer Pigmente 公司，依材料所適用之溶劑，調製成重量百分濃度為 50% 的塗料，之後將 BTA-81 與 HALS-93，以單獨或混和的方式添加於樹脂塗料中，並利用電子攪拌器以 400 電 3rpm 之轉速攪拌 1 小時混合均勻後，靜置 8 小時以上備用。

26 以苯並三唑紫外線吸收劑為例，各型號之間的差異包括化學結構、分子量、外觀和最大吸收波長等。

27 光安定劑有許多來自國外的品牌，而本次試驗期望能從國內可取得的產品中尋找出適用的材料，因此選用由臺灣永光化學股份有限公司 Everlight Chemical 所生產的光安定劑。

28 BTA-81 的紫外線最大吸收波長為 346.7nm，與老化實驗所使用的紫外線燈管波長範圍相近。

29 HALS-93 與 E. René de la Rie 博士建議添加至修護用樹脂之光安定劑的型號相同。

30 一般可直接添加於材料的光安定劑可分為顆粒與液體兩種外觀形態。

2. 樣本編號說明

將試驗樣本依照樹脂、光安定劑與光安定劑添加量的順序編號，編號規則如表 1。L 代表 Laropal®A81、R 代表 Regalrez®1126、B 代表 Paraloid®B-48N；+81 為添加 BTA-81、+93 為添加 HALS+93、+81+93 為同時添加 BTA-81 與 HALS+93；1 表示添加量為 1%。例如 Laropal®A81 添加 1%BTA-81 的樣本編號為 L+81/1；Regalrez®1126 同時添加 1% 的 BTA-81 與 1% 的 HALS-93，其樣本編號為 R+81+93/1。

表 1 編號法則

樹脂名稱		光安定劑型號	光安定劑添加量 (%)
L (Laropal®A81)	+	81 (BTA-81)	/ 1.0
R (Regalrez®1126)		93 (HALS-93)	
B (Paraloid®B-48N)		81+93 (BTA-81+HALS-93)	

表格製作：王俊豪

3. 試材塗裝

本研究主要著墨在添加光安定劑對於減緩塗膜劣化的效益，因此僅將樹脂塗佈於玻璃試片上以進行人工加速老化試驗。雖然將樹脂塗佈在木材或木作彩繪上，是比較靠近實際應用的作法，但可能因為底下基材產生劣化，而無法單純觀察到塗膜的變化。此外，木頭及彩繪材料的種類繁多，也增加了不少基材的變因，因此本次試驗僅塗佈於單一基材，並且只針對樹脂塗料的部分作討論。

使用清潔劑清洗玻璃試片（青板玻璃，規格為長 15cm、寬 7.5cm、厚度 0.3cm），並以流水洗淨後待乾，之後用棉花棒沾取二甲苯溶劑於

玻璃表面擦拭，以去除殘留水漬，完成後置於乾燥環境中備用。³¹ 使用施膜器（厚度設定為 250 μm ）將調製完成之塗料塗佈於玻璃試片上（圖 15），待塗膜乾燥後，以超音波膜厚計（PosiTector[®]200-B/STD 標準機型）量測塗膜厚度（圖 16），每個試片取五個點量測並平均之。

4. 人工加速耐候實驗

修護用樹脂保護漆在實際使用前，都必須進行耐久性評估，其中最直接的方法就是將材料曝露於所使用的環境中來進行實驗，但這種方法往往需要很長的時間才能知道結果，且也很難再模仿相同的環境條件進行實驗，即缺乏再現性（Reproducibility）。³² 利用人工加速耐候性實驗的方法，雖然無法完全模擬、複製塗膜實際應用會遇到的真實情況，但可就幾種主要的作用因子加以模擬實驗，在排除不可控制之變因下，於較短的時間內顯現塗膜的性能與耐久性。

依據 ASTM G154 試驗規範，將試片置入 QUV 加速耐候實驗機（美國 Q-Lab 公司，QUV/se 型，如圖 17），並使用 Q-lab 公司所生產之 UVA-340 紫外線燈管（UVA-340 燈管波長分佈大於 295nm，能量最強之波長位置位於 340nm，可用於模擬戶外太陽光之光源，如圖 18），輻射能量為 0.89W/m²，設定 8 小時照光，黑板溫度為 60 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ ，接著 4 小時凝露（Condensation），黑板溫度為 50 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 之循環，對試片進行 600 小時的加速耐候實驗。³³

31 根據 CNS9007 塗料一般檢驗法（取樣及試驗一般條件）第 4.4 節之規定。

32 張上鎮，〈人工加速耐久性試驗之進展與應用〉，《塗料與塗裝技術》38（1993.3），頁 58。

33 根據筆者前導實驗結果與參考相關文獻的實驗設定，三款樹脂於老化 600 小時後變化幅度趨於平緩，在有限的時間與經費考量下，將老化實驗時間設定為 600 小時。

(三) 塗膜性質分析

1. 顏色變化

塗膜試片於加速耐候實驗後，其組成成分可能會受到紫外線能量的影響而產生裂解，使塗膜產生黃化或顏色改變之情形。使用 Konica Minolta® 色差儀（CR-400 型，如圖 19），光源為 C 標準光源，觀測角 2 測，漫射光照明，照明區域為 11mm，量測孔徑 8mm，測定試片老化前後之顏色變化。

每個試片取固定五點量測（圖 20），單點重複測量五次取其平均值，並依據 1976 年國際照明委員會（Commission Internationale de l'éclairage，簡稱 CIE）所制定的 CIE L*a*b* 色彩體系來表色，L* 值為明度，數值由 0（絕對黑）至 100（絕對白）；a* 值代表紅、綠色調，+ a* 表示偏紅，- a* 表示偏綠；b* 代表黃、藍色調，+ b* 表示偏黃，- b* 則表示偏藍（圖 21），之後將試驗前後的 L*、a*、b* 參數值代入公式（表 2），即得到色差值（Color Difference， ΔE^* ）。計算出色差值 ΔE^* 後轉換為 NBS（National Bureau of Standards）單位，將色差值與人眼辨識能力對照，共分為六個等級，如表 3。

表 2 色差變化計算公式與參數值意義說明³⁴

符號	說明	公式
ΔL^*	明度變化（+L 明度增；-L 明度降）	$\Delta L^* = L_t^* - L_0^*$

34 陳烜宇，〈浸泡清洗對黑色版印油墨性質影響之探討〉（臺南：國立臺南藝術大學碩士論文，2012），頁 75。

Δa^*	紅綠色調變化 (+ a 偏紅；- a 偏綠)	$\Delta a^* = a_t^* - a_0^*$
Δb^*	黃藍色調變化 (+ b 偏黃；- b 偏藍)	$\Delta b^* = b_t^* - b_0^*$
ΔE^*	色差值 (Δ 差值值愈大表示顏色改變愈多)	$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$
備註： L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 為試驗前之數值； L_t^* 、 a_t^* 、 b_t^* 為試驗後之數值		

表格製作：王俊豪

表 3 色差值與人眼辨識能力對照表 (參考自美國國家標準技術局, National Institute of Standards and Technology)³⁵

色差值 (ΔE^*)	人眼辨識程度
0.0~0.5	極微色差 (Trace)
0.5~1.5	輕微色差 (Slight)
1.5~3.0	可感色差 (Noticeable)
3.0~6.0	明顯色差 (Appreciable)
6.0~12.0	頗大色差 (Much)
12.0 以上	極大色差 (Very much)

表格製作：王俊豪

35 表彙整自陳烜宇,〈浸泡清洗對黑色版印油墨性質影響之探討〉,頁 75。

2. 光澤度

光澤度的量測原理是將一定角度之平行光投射到受測物表面上，由受光器接收表面反射出的光量，再經儀器運算後取得光澤度值，一般採用鏡面光澤度測定法，光澤測定之入射角可選用 20°、60° 和 85° 等三種角度，通常會先以 60° 入射角檢測試材適合選用的量測角度，當測定數值大於 70 GU (Gloss Unit)，代表試材表面光澤較高，適合以 20° 入射角量測；當測定數值介於 10 GU 至 70 GU 之間，適合以 60° 入射角量測；當測定數值小於 10 GU 時，表示試材表面光澤較低，適合以 85° 入射角量測。³⁶

試驗以德國 BYK Gardner 塗膜光澤度計 (圖 22) 量測塗膜光澤度，並依據 CNS10756-1 規範，使用 20° 入射角量測光澤度，³⁷ 同一試片採固定五個測點 (圖 23)，取其平均值，並計算光澤度保留率，公式如下：

$$\text{光澤度保留率 (\%)} = \frac{\text{試驗後塗膜光澤度}}{\text{試驗前塗膜光澤度}} \times 100$$

3. 塗膜表面觀察

試驗樣本底下以 Double A® A4 規格之 80 磅白色影印紙 (紙上列印長 16mm、寬 1mm 之黑色線條，線條彼此間隔 2mm) 作為背景，使用德國 Leica 的 MZ9.5 型實體顯微鏡 (圖 24)，倍率為 10 倍，觀察試片老化後的表面變化，並使用 Nikon D200 數位相機，以光圈 F1.4，快門 1/2s 之設定拍攝紀錄。

36 許國強，〈光澤度之特性及其量測方法〉，《量測資訊》55 (1997.5)，頁 110。

37 以 60° 入射角量測塗膜試片之數值皆大於 70 GU，因此選用 20° 作為光澤度測量的入射角。

4. 傅立葉紅外線光譜分析

紅外線光譜可用來鑑定化合物中分子的官能基以及了解材料老化後的分子結構變化，其作用原理為分子吸收了紅外線的 energy 後，激發分子內的原子或官能基之種種機械振動和轉動，而出現特定的紅外線光譜特徵，³⁸ 再透過傅立葉數學運算處理將光譜訊號轉換為波峰圖譜加以判讀，由這些特定的吸收波峰分析出化合物的分子結構。

使用美國 Perkin Elmer 公司之傅立葉紅外線光譜儀 (Spectrum 100 型，如圖 25)，配合多次衰減反射裝置 (Attenuated Total Reflectance，簡稱 ATR) 進行分析。測定光譜範圍為 4000 cm^{-1} 至 650 cm^{-1} ，解析度設定 4 cm^{-1} ，掃描次數 16 次。

5. 溶解性

使用滴管將製作樹脂塗料所使用的溶劑滴於試片中，滴定的量以溶劑形成直徑 5mm 之範圍為止，待靜置 30 秒後，使用滴管吸取純水沖洗，並觀察塗膜的溶解狀況。

五、結果與討論

(一) 塗膜顏色變化分析

1. Laropal®A81 添加不同種類光安定劑之影響

含不同種類光安定劑之 Laropal®A81 於老化實驗後，色差值的

38 鄭華生，《分析化學》(新竹：國立清華大學出版社，2007)，頁 619。

變化如圖 26 所示。無論有無添加光安定劑之 Laropal®A81，至老化 480 小時後均出現色差值急遽下降的情形。依據圖 27 可看出塗膜老化至 360 小時已出現嚴重粉化與霧化的情形，至老化 480 小時後，塗膜霧化則稍有減緩（圖 28）。推測為老化實驗所設定之溫度為 60°C，高於 Laropal®A81 的玻璃轉移溫度 57°C，使 Laropal®A81 塗膜呈現軟化發黏的現象，回到接近平整狀態並再次與基材黏著，稍微減緩了塗膜霧化的情形，也連帶影響到色差值之數據。

未添加光安定劑之 Laropal®A81 於 600 小時老化實驗後， ΔE^* 值為 13.63；含有 BTA-81 光安定劑之 Laropal®A81 經過 600 小時老化後的 ΔE^* 值為 14.46，說明 BTA 型光安定劑對於 Laropal®A81 的劣化無明顯抑制之效果。含有 HALS-93 之 Laropal®A81 在 600 小時老化實驗後的 ΔE^* 值為 8.35，比含有 BTA-81 之 Laropal®A81 的 ΔE^* 值還小，顯示添加 HALS 比添加 BTA 型光安定劑的效果還好。同時添加 BTA-81 與 HALS-93 於 600 小時老化實驗後的 ΔE^* 值為 5.3，減緩顏色變化的效果雖然最為明顯，但仍然屬於明顯色差的範圍，此結果可說明儘管光安定劑有減緩 Laropal®A81 劣化的效果，但幫助性仍非常有限。

2. Regalrez®1126 添加不同種類光安定劑之影響

未添加光安定劑之 Regalrez®1126 於老化試驗至 240 小時後， ΔE^* 值提升為 7.36，並出現塗膜粉化與剝離的情形，因此停止測量其色差變化（添加 BTA-81、HALS-93 與 BTA-81+HALS-93 之 Regalrez®1126 老化試驗至 240 小時的 ΔE^* 值分別為 2.15、1.81 與 1.54，如圖 29）；添加 BTA-81 之 Regalrez®1126 經過 600 小時老化後的 ΔE^* 值為 6.27，顯示添加 BTA 型光安定劑的延緩塗膜劣化效果不明顯。Regalrez®1126 添加 HALS-93 於 600 小時老化試驗後的

ΔE^* 值為 1.43，屬於輕微色差（肉眼難以觀察出顏色變化），塗膜產生裂紋之情況也有明顯的減少，顯示 HALS 比 BTA 更能有效改善 Regalrez[®]1126 老化後產生的顏色變化與裂紋的情形。同時添加 BTA-81 與 HALS-93 抑制 Regalrez[®]1126 之顏色變化的效果最好，其 ΔE^* 值為 0.92，對於 Regalrez[®]1126 老化所產生的裂紋、黃化與剝離之情形，改善效果又比單一添加 HALS 型光安定劑更明顯。

3. Paraloid[®]B-48N 添加不同種類光安定劑之影響

添加不同種類光安定劑之 Paraloid[®]B-48N 於 600 小時老化試驗後，色差值的變化如圖 30 所示。未添加光安定劑之 Paraloid[®]B-48N 的 ΔE^* 值為 0.84；添加 BTA-81 之 Paraloid[®]B-48N 的 ΔE^* 值為 1.48；添加 HALS-93 之 Paraloid[®]B-48N 的 ΔE^* 值為 2.34；添加 BTA-81+HALS-93 之 Paraloid[®]B-48N 的 ΔE^* 值為 1.71，顯示無論添加何種類型的光安定劑，對於抑制 Paraloid[®]B-48N 老化後的色差變化均無明顯效果，甚至可能比未添加光安定劑的色差值還大。

（二）塗膜表面光澤度分析

1. Laropal[®]A81 添加不同種類光安定劑之影響

添加不同種類光安定劑之 Laropal[®]A81 老化後的光澤度變化如圖 31。Laropal[®]A81 實驗至 480 小時於顏色變化分析中，出現色差變小的情形，但光澤度保留率卻無明顯起伏。由於光澤度的量測原理是將一定角度之平行光投射到塗膜上，若塗膜表面凹凸不平，投射的光線將產生散射，使接收器無法接收反射的光量，測得的光澤度值則較低。無論有無添加光安定劑之 Laropal[®]A81 於老化過程中，塗膜表面皆出現裂紋與不平整的情形（圖 27、圖 28），也連帶影響到塗膜的光澤度保留率。

實驗結果顯示，未添加光安定劑之 Laropal®A81，於老化過程的光澤度保留率皆低，添加光安定劑對於 Laropal®A81 光澤度的保留效果亦不高。

2. Regalrez®1126 添加不同種類光安定劑之影響

添加不同種類光安定劑的 Regalrez®1126 於老化 600 小時後的光澤保留率如圖 32。無論有無添加光安定劑之 Regalrez®1126 於老化 24 小時後光澤保留率急遽下降，但單獨添加 HALS-93 與同時添加 BTA-81 與 HALS-93 之 Regalrez®1126 的光澤度保留率在 360 小時至 600 小時數值又明顯回升，推測為於老化至 360 小時後塗膜表面趨於平緩，因此出現光澤度回升情形，是否為 HALS-93 型光安定劑於此時發揮作用而穩定了塗膜表面的粗糙度，或是老化實驗溫度使塗膜表面趨於平緩，仍需等待後續更進一步研究。

添加 BTA-81 之 Regalrez®1126 的光澤度保留率為 7.39%；添加 HALS-93 之 Regalrez®1126 的光澤度保留率為 25.22%；同時添加 BTA-81 與 HALS-93 之 Regalrez®1126 的光澤度保留率為 75.52%。HALS 型光安定劑能減緩 Regalrez®1126 於老化後塗膜產生裂紋之情形，比添加 BTA 型光安定劑的效果還好。由於 BTA 與 HALS 兩種光安定劑產生了增效效應，因此光澤度的保留效果又比單一添加 HALS 還來的更好。

3. Paraloid®B-48N 添加不同種類光安定劑之影響

如圖 33，未添加光安定劑之 Paraloid®B-48N 於老化 600 小時後的光澤度保留率為 81.36%；添加 BTA-81 之 Paraloid®B-48N 的光澤度保留率為 75.23%；添加 HALS-93 之 Paraloid®B-48N 的光澤度保留率為 61.48%；添加 BTA-81+HALS-93 之 Paraloid®B-48N 的光澤度保留率為 87.07%。試驗結果顯示單一添加 BTA 或 HALS 型光

安定劑並不一定能保持 Paraloid®B-48N 塗膜的光澤度，添加 HALS 甚至可能對光澤度的留存產生了負面的影響，而同時添加 BTA 與 HALS 兩種類型光安定劑，不論是老化過程中或老化後的結果，塗膜光澤度保留率都比未添加光安定劑之 Paraloid®B-48N 的塗膜光澤度保留率還好，顯示同時添加 BTA 與 HALS 對 Paraloid®B-48N 塗膜光澤度的保留具有一定的效果。

(三) 塗膜表面變化觀察

1. Laropal®A81

(1) 未添加光安定劑

Laropal®A81 老化前外觀如圖 34。Laropal®A81 於老化試驗 24 小時後，塗膜即產生明顯裂紋、霧化與粉化之情形，老化 48 小時後霧化情形趨於明顯，幾乎看不見塗膜底下的背景（圖 35），隨著老化時間的增加，劣化狀況仍不斷加劇，老化 96 小時後塗膜霧化嚴重，外觀幾乎白色不透明，到了 240 小時後塗膜不僅粉化並開始出現局部遺失的情形（圖 36），600 小時老化實驗後塗膜仍可見部分缺失，但粉化與霧化情形減少（圖 37），推測是因為老化試驗的溫度略高於 Laropal®A81 的玻璃轉換溫度，促使塗膜再次軟化發黏並回到平整狀態，因此減緩了塗膜的裂紋與霧化。

(2) 添加不同種類光安定劑之影響

添加 BTA-81 的 Laropal®A81 老化後塗膜仍然產生明顯裂紋、霧化與粉化之情形（圖 38），顯示 BTA-81 對於塗膜劣化的抑制效果有限，塗膜產生的劣化狀況幾乎和未添加光安定劑的 Laropal®A81 相同。當添加 HALS-93 時，塗膜表面霧化情形略微減少（圖 39）。

雖然同時添加 BTA-81 與 HALS-93 的 Laropal®A81 老化 600 小時

後仍然有霧化之情形（圖 40），但比起未添加光安定劑的 Laropal®A81 已稍有減緩。

2. Regalrez®1126

（1）未添加光安定劑

Regalrez®1126 老化實驗前外觀如圖 41。Regalrez®1126 於老化 120 小時後，塗膜表面開始產生裂痕（圖 42），老化 240 小時後肉眼即可觀察出塗膜的黃化（圖 43），老化至 360 小時塗膜已產生嚴重粉化，到了 600 小時塗膜幾乎完全剝離自基材（圖 44）。

（2）添加不同種類光安定劑之影響

Regalrez®1126 添加 HALS-93 經老化 600 小時後，塗膜劣化的減緩效果比添加 BTA-81 還明顯（圖 45、圖 46）。同時添加 BTA-81 與 HALS-93 的 Regalrez®1126 於老化 600 小時後，塗膜裂紋、霧化與黃化等情形均有明顯減緩（圖 47）。

3. Paraloid®B-48N

（1）未添加光安定劑

Paraloid®B-48N 塗膜於老化試驗 600 小時後，外觀幾乎沒有明顯變化或劣化之情形（圖 48、圖 49）。

（2）添加不同種類光安定劑之影響

由於 Paraloid®B-48N 本身老化後無明顯霧化或變色的情形，使得添加 BTA-81 來改善塗膜劣化的效益有限，而添加 BTA-81 也沒有造成塗膜外觀明顯的改變（圖 50）。

添加不同量 HALS-93 之 Paraloid®B-48N 於老化過程產生不同程度的霧白現象，推測為 HALS 潛移至塗膜表面或 HALS 與塗料中的成分產生反應，而導致塗膜呈現霧化的現象，透明度也因此降低，老化 600 小時後，塗膜霧化情形雖然減緩卻依然存在（圖 51）。

同時添加 BTA-81 與 HALS-93 於 Paraloid®B-48N，老化 600 小時後，塗膜外觀幾乎沒有明顯的變化（圖 52）。

（四）傅立葉紅外線光譜分析

1. Laropal®A81

Laropal®A81 老化前後與添加不同種類光安定劑的 Laropal®A81 老化後之 FT-IR 光譜圖分別如圖 53、圖 54 所示，其中 1647 cm^{-1} 代表醯胺基中的 C=O 伸縮振動， 1488 cm^{-1} 至 1475 cm^{-1} 範圍代表 -CH₃ 或 -CH₂- 中 C-H 鍵的彎曲振動， 1309 cm^{-1} 代表內醯胺基團中的 C-N 伸縮振動，³⁹ 以變化較為輕微 2872 cm^{-1} 處 C-H 伸縮振動作為標準吸收峰，將上述特定吸收峰與 2872 cm^{-1} 之波峰高度比值作為相對強度的比較，並整理如表 4 所示。

表 4 添加光安定劑之 Laropal®A81 的 FT-IR 光譜特定吸收峰之相對強度

樣本編號	A_{1647} / A_{2872}	A_{1486} / A_{2872}	A_{1309} / A_{2872}
L (0hr)	2.712	2.223	1.065
L (600hr)	1.047	0.916	0.411
L+81/1	1.474	1.316	0.564
L+93/1	1.872	1.531	0.617
L+81+93/1	3.296	2.674	0.897

表格製作：王俊豪

39 Yi-Fu Zhang, et al., "Synthesis and Structural Characterization of Urea-isobutyraldehyde-formaldehyde Resins," *Journal of Coatings Technology and Research* 6, no. 3 (2009): 340.

Laropal®A81 老化後，其代表醯胺基中的 C=O 特性吸收峰之相對強度比值 (A_{1647}/A_{2872}) 降低，由原本的 2.712 下降為 1.047；C-H 特性吸收峰之相對強度比值 (A_{1486}/A_{2872}) 從老化前的 2.223 下降至 0.916；內醯胺基團中的 C-N 特性吸收峰相對強度比值 (A_{1309}/A_{2872}) 從老化前的 1.065 下降至 0.411。由以上結果顯示 Laropal®A81 塗膜可能受到紫外線照射的影響，導致結構受到破壞，進而使得各個特性吸收峰的強度下降。

無論添加何種類型的光安定劑於 Laropal®A81，其上述特定吸收峰強度均呈現下降的情形，但同時添加 BTA-81 和 HALS-93 的各特定吸收強度較接近於老化前的數值。由結果得知，同時添加 BTA-81 和 HALS-93 對於 Laropal®A81 組成分的安定效果較為明顯。

2. Regalrez®1126

Regalrez®1126 老化前後與添加不同種類光安定劑的 Regalrez®1126 之 FT-IR 光譜圖分別如圖 55、圖 56 所示，其中 2921 cm^{-1} 與 2853 cm^{-1} 分別屬於 -CH₃ 和 -CH₂- 之 C-H 伸縮振動， 1719 cm^{-1} 屬於羰基 (C=O) 伸縮振動，⁴⁰ 以變化較為輕微 1376 cm^{-1} 處 C-H 彎曲振動作為標準吸收峰，將上述特定吸收峰與 1376 cm^{-1} 之波峰高度比值作為相對強度的比較，並整理如表 5 所示。

40 Gino Mirocle Crisci, "Consolidating Properties of Regalrez 1126 and Paraloid B72 Applied to Wood," *Journal of Cultural Heritage* 11, no. 3 (2010): 305.

表 5 添加光安定劑之 Regalrez®1126 的 FT-IR 光譜特定吸收峰之相對強度

樣本編號	A_{2921} / A_{1376}	A_{2853} / A_{1376}	A_{1719} / A_{1376}
R (0hr)	5.802	3.109	0.484
R (600h)	2.991	1.332	4.033
R+81/1	2.843	1.474	1.286
R+93/1	4.225	2.729	0.427
R+81+93/1	5.625	3.495	0.151

表格製作：王俊豪

Regalrez®1126 老化後，其 C-H 特性吸收峰 (A_{2921} / A_{1376}) 與 (A_{2853} / A_{1376}) 之相對強度值降低，分別從 5.802 與 3.109 下降至 2.991 與 1.332，顯示其結構可能受到紫外線照射影響，導致吸收峰強度下降，同時，羰基 (A_{1719} / A_{1376}) 之相對強度值有增強之情形，數值自 0.484 上升至 4.033，顯示塗膜中羰基或羧酸基的含量增加。

添加 HALS-93 與同時添加 BTA-81 和 HALS-93 的 Regalrez®1126 之結果相似，C-H 特性吸收峰 (A_{2921} / A_{1376}) 與 (A_{2853} / A_{1376}) 之相對強度值均接近老化前的數值，即達到組成分的安定效果，而在羰基 (A_{1719} / A_{1376}) 之相對強度值也比未添加的光安定劑組的數值還小，顯示添加 HALS-93 與同時添加 BTA-81 和 HALS-93 能有效減緩塗膜老化後所產生的羰基等劣化物。

3. Paraloid®B-48N

Paraloid®B-48N 老化前後與添加不同種類光安定劑的 Paraloid®B-48N 之 FT-IR 光譜圖分別如圖 57、圖 58 所示，其中 1726 cm^{-1} 屬於酯

類羰基 (C=O) 伸縮振動，⁴¹ 1145 cm⁻¹ 屬於酯基 (C-O-C) 伸縮振動，1066 cm⁻¹ 則屬於 C-O 伸縮振動，⁴² 以變化較為輕微 2953 cm⁻¹ 處 C-H 伸縮振動作爲標準吸收峰，將上述特定吸收峰與 2953 cm⁻¹ 之波峰高度比值作爲相對強度的比較，並整理如表 6 所示。

表 6 添加光安定劑之 Paraloid®B-48N 的 FT-IR 光譜特定吸收峰之相對強度

樣本編號	A_{1726} / A_{2953}	A_{1145} / A_{2953}	A_{1066} / A_{2953}
B (0hr)	7.987	7.334	1.580
B (600hr)	6.165	6.311	1.527
B+81/1	6.035	6.283	1.389
B+93/1	5.890	6.352	1.512
B+81+93/1	5.806	6.232	1.543

表格製作：王俊豪

Paraloid®B-48N 老化後，其酯類羰基相對強度比值 (A_{1726} / A_{2953}) 減少，從老化前的 7.897 下降至 6.165；酯基相對強度比值 (A_{1145} / A_{2953}) 從 7.334 下降至 6.311；C-O 相對強度比值 (A_{1066} / A_{2953}) 從 1.580 下降至 1.527，顯示出分子結構可能出現了些微的改變，但可能還未達 Paraloid®B-48N 塗膜劣化的時間點，因此變化並不明顯。

41 Massimo Lazzari and Oscar Chiantore, "Thermal-ageing of Paraloid Acrylic Protective Polymers," *Polymer* 41, no. 17 (2000): 6449.

42 王麗琴、楊璐、黨高潮、趙靜、梁國正，〈文物保護材料耐光老化性能研究〉，頁 763。

添加光安定劑的 Paraloid®B-48N 之酯類羰基相對強度比值 (A_{1726}/A_{2953})、酯基相對強度比值 (A_{1145}/A_{2953}) 與 C-O 相對強度比值 (A_{1066}/A_{2953}) 幾乎呈現下降之情形，與未添加光安定劑的 Paraloid®B-48N 之結果趨勢差不多，顯示添加光安定劑對於 Paraloid®B-48N 的組成分安定效果並不明顯。

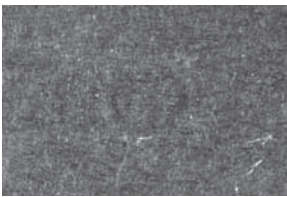
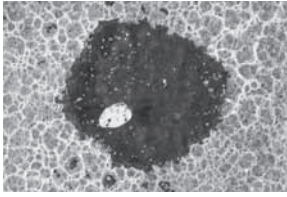
(五) 溶解性測試

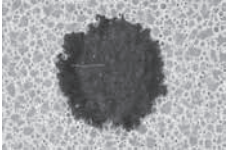
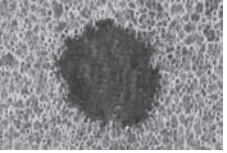
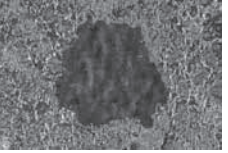
1. Laropal®A81

使用滴管將原先製作 Laropal®A81 樹脂所用的溶劑 (乙醇:甲苯, 重量比 9:1) 滴於塗膜試片中, 靜置 30 秒後以滴管吸取純水沖洗, 並觀察塗膜的溶解狀況。

試驗結果顯示, Laropal®A81 老化後仍可以被原先的溶劑溶解, 且不需要藉由棉花棒滾拭就有明顯的移除效果。添加光安定劑的 Laropal®A81 於老化 600 小時後仍舊可以被原本調製樹脂所使用的溶劑溶解, 顯示添加光安定劑對於 Laropal®A81 老化後之可移除性可能無明顯負面的影響 (表 7)。

表 7 Laropal®A81 添加不同光安定劑老化後之溶解性測試結果

測試溶劑：乙醇：甲苯（重量比 9:1）		
編號	L- 老化前	L- 老化後
溶解狀況		
	○	○

編號	L+81/1	L+93/1	L+81+93/1
溶解狀況			
	○	○	○
○=可溶 (Soluble) △=微溶 (Borderline) ×=不可溶 (Insoluble)			

表格製作：王俊豪

2. Regalrez®1126

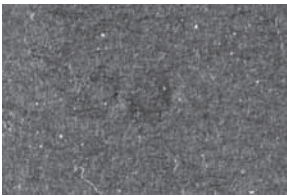
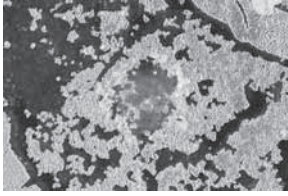
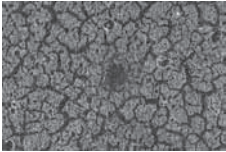
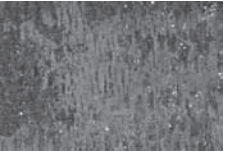
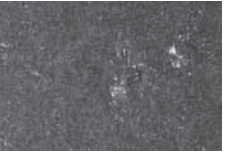
將溶劑滴於老化後的 Regalrez®1126 塗膜 30 秒，再以純水沖洗後仍無法溶解塗膜，需輔以棉花棒來回滾擦才有移除的效果。由於 Regalrez®1126 於老化試驗進行至 360 小時已出現粉化與塗膜剝離之情形，表示塗膜可能已無足夠的附著力，若以物理性的移除方式（如棉花棒乾擦）即可將塗膜自基材移除，顯示移除性與溶劑的溶解效果可能已無明顯的關係。

溶解性測試與 Regalrez®1126 於傅立葉紅外線光譜分析之結果對照，顯示塗膜老化後產生了代表羰基 (C=O) 之特性吸收峰，可能因此導致塗膜極性的增加，使得原先用來調製樹脂的溶劑對 Regalrez®1126 塗膜之溶解效果變差，甚至需要使用極性力更高的有機溶劑才能達到較佳的移除效果。

添加光安定劑的 Regalrez®1126 於老化後仍舊可以被原本調製樹脂所用的溶劑所溶解，但溶解速度較慢，可能需要增加溶劑停留於塗膜的時間或輔以棉花棒來回滾擦，才有明顯的移除效果。測試結果顯示同時添加 BTA-81 與 HALS-93 之 Regalrez®1126，不需以棉花棒

滾擦或增加溶劑停留時間就有不錯的溶解效果，即維持了塗膜的可移除性（表 8）。

表 8 Regalrez®1126 添加不同光安定劑老化後之溶解性測試結果

測試溶劑：礦精：甲苯（重量比 9:1）			
編號	R- 老化前		R- 老化後
溶解狀況			
	○		已粉化，可能與溶劑溶解效果無關
編號	R+81/1	R+93/1	R+81+93/1
溶解狀況			
	△	△	○
○=可溶 (Soluble) △=微溶 (Borderline) ×=不可溶 (Insoluble)			

表格製作：王俊豪

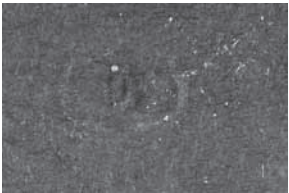
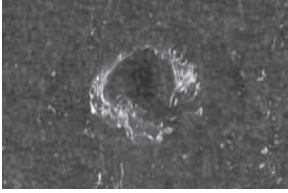
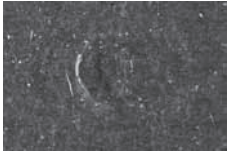
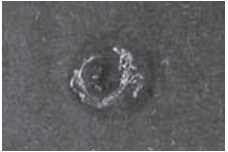
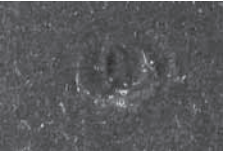
3. Paraloid®B-48N

實驗結果顯示 Paraloid®B-48N 仍可以被原先調製樹脂的溶劑所溶解（表 9），表示 Paraloid®B-48N 於老化實驗後仍保有良好的可移除性。值得一提的是，本研究老化試驗所設定的總老化時間 600 小時，可能還未達 Paraloid®B-48N 塗膜出現劣化的時間點，因此試驗

結果僅以老化 600 小時的設定為例，作為塗膜可移除性的參考。

無論添加何種類型光安定劑的 Paraloid®B-48N，於老化 600 小時後仍舊可以被原本調製樹脂所使用的溶劑所溶解，顯示添加光安定劑對於 Paraloid®B-48N 老化後之可移除性，無明顯負面的影響（僅以老化 600 小時的設定為例，作為塗膜可移除性測試的參考）。

表 9 Paraloid®B-48N 添加不同光安定劑老化後之溶解性測試結果

測試溶劑：甲苯			
編號	B- 老化前		B- 老化後
溶解狀況			
	○		○
編號	B+81/1	B+93/1	B+81+93/1
溶解狀況			
	○	○	○
○=可溶 (Soluble) △=微溶 (Borderline) ×=不可溶 (Insoluble)			

表格製作：王俊豪

六、結論與建議

(一) 結論

為瞭解光安定劑種類與添加量對於戶外木作彩繪修護常使用的樹脂保護漆——Laropal®A81、Regalrez®1126 與 Paraloid®B-48N 的耐久性，本實驗選用兩種不同類型的光安定劑（BTA-81 與 HALS-93 光安定劑），以不同的比例，單獨或混合添加於樹脂塗料中，塗佈於玻璃表面，經由人工加速老化實驗，分析比較添加光安定劑對樹脂塗膜性質的影響，可綜合歸納出下列結果：

將三種不同修護用樹脂於老化實驗後的結果顯示，Laropal®A81 塗膜於老化 24 小時後已出現嚴重裂紋、霧化與粉化的狀況，老化 600 小時後不僅顏色變化差異甚大，塗膜透明度也明顯降低，除此之外，亦有光澤保留率下降之情形；Regalrez®1126 塗膜於老化過程中除了產生明顯黃化，也開始出現裂紋，最終塗膜於老化 360 小時後自基材剝離；Paraloid®B-48N 塗膜則在老化後的各項性質表現皆堪稱穩定，與老化前的差異性均不甚明顯。

實驗結果顯示光安定劑是否能有效抑制塗膜劣化的產生，會隨著塗料的種類與性質而有所不同。Laropal®A81 添加 BTA 型光安定劑，較無明顯的改善效果；添加 HALS 型光安定劑，可稍微減緩 Laropal®A81 的劣化；同時添加 BTA 型與 HALS 型光安定劑於 Laropal®A81，對於老化後的改善效果又比添加 HALS 型光安定劑的效果還好。老化實驗結果顯示 Laropal®A81 本身的耐久性較不佳，儘管添加光安定劑對於樹脂的耐久性有改善效果，但塗膜老化後仍然有明顯的色差、透明度和光澤度下降等情形，其耐久性表現仍無法令人滿意。此現象與筆者於修護實務上，於戶外環境使用 Laropal®A81

的經驗，結果相互吻合。

添加 HALS 的 Regalrez[®]1126，劣化改善效果比添加 BTA 型光安定劑還要明顯，而同時添加 BTA 型與 HALS 型光安定劑，對於 Regalrez[®]1126 老化後的劣化改善效果最為顯著。由於一般的樹脂保護漆材料使用的溶劑大多會影響到臺灣廟宇木作彩繪的彩繪層（特別是現今的合成漆顏料），像 Regalrez[®]1126 這類溶於脂肪族溶劑的樹脂，仍不可忽視其重要性。此次實驗中可發現 Regalrez[®]1126 樹脂本身耐光性雖不佳，但添加助劑後，其性質均有明顯提升，日後若能進行更多塗膜性質分析與反覆實驗論證，仍是一款值得期待的材料。

由於 Paraloid[®]B-48N 本身的各項性質都堪稱穩定，因此除了同時添加 BTA 型與 HALS 型光安定劑，對於光澤度的保留有些微提升外，添加光安定劑的效益均不明顯。由實驗結果綜合評估三款樹脂的耐久性，以 Paraloid[®]B-48N 的耐久性表現最為良好，即使不添加助劑也有良好的耐光性能。值得一提的是，本研究實驗所設定的老化時間為 600 小時，可能還未達 Paraloid[®]B-48N 塗膜出現劣化的時間點，因此實驗結果僅以老化 600 小時的設定為例，作為塗膜耐久性的參考。

（二）建議

修護用樹脂保護漆需要經過測試證實其穩定性後，才作為修護用途，隨著時間的推移，歐美國家逐漸發展出一些於文物修護領域較常使用的樹脂材料。臺灣近十年來開始與國際修護觀念接軌，引進歐美國家所研發的修護材料，但在部分文物修護案例中，發現由國外廣為應用的材料移植至臺灣，暴露在臺灣高溫高濕的海島型氣候下，僅於短時間內就出現劣化狀況，說明了即使在國外屬於好穩定性的材料也

不能完全套用於臺灣的氣候環境，發展適用於臺灣的修護用材，已是刻不容緩之事。

在尋找適用於臺灣戶外環境的樹脂保護漆前，爲了延緩現行使用的樹脂面臨劣化的問題，可以利用添加光安定劑等助劑來改善，雖然這些添加劑終究只能達到減緩材料老化的效果，而無法完全抑制，但改善樹脂劣化也就意味著可減少保護漆因黃化、劣化而需要將其移除的可能，因爲在移除的過程中或多或少會對底下的彩繪文物或基材造成影響，因此如何減緩樹脂劣化之議題仍需被重視，若能妥善運用這些添加劑，則可達到延長樹脂保護漆使用年限的效果。

修護用樹脂保護漆作爲保護塗膜，實際上是一層隔離層、犧牲層，其目的是犧牲自己來保護底下的材料。當陽光照射至最外層的保護塗膜時，若塗膜本身無法反射或吸收紫外線的能量，而讓陽光可直接穿透，依舊導致底下的木材或木作彩繪劣化，失去其保護的目的。在選用理想的樹脂保護漆時，除了本身應具有顏色不易變化的性質外，同時應考慮塗膜的紫外線過濾效能，才能確實發揮出保護底材的效果。因此後續實驗可以考慮把加入紫外線吸收劑的塗料製成游離塗膜 (Free Film)，將游離塗膜覆蓋於木材或木質彩繪樣本上，進行人工加速老化試驗，以分析樹脂保護漆是否能有效減少紫外線對底下材料的侵害，雖然以游離塗膜覆蓋於底材和實際塗佈於底材的作法仍有些微出入，但經由這個方法，可以在不受塗膜干擾的情況下測量塗膜下方基材的各項性質變化，⁴³ 瞭解穿過塗膜的光線對於基材劣化的影響以及添加紫外線吸收劑後的助益。

43 張惠婷、葉汀峰、張上鎮，〈聚胺基甲酸酯塗膜抑制杉木光劣化之評估〉，《林產工業》21：4 (2002.12)，頁 278。

本研究受人力、時間與資源之限制，無法針對所有種類的光安定劑進行分析研究，再者光安定劑的種類與型號仍不斷更新，未來可繼續探討不同類型的光安定劑（如奈米級二氧化鈦等材料）或抗氧化劑對於修護用樹脂耐久性的助益；在老化實驗的設定上，可考慮增長老化時間或以不同的環境條件（濕熱老化或實際曝露於戶外）進行試驗，以更了解塗膜的老化性質。此外，本次研究並未實際將樹脂保護漆塗佈於木材或木作彩繪上，未來可一併列入探討，以了解樹脂保護漆實際應用在這些基材的狀況。

圖 版：

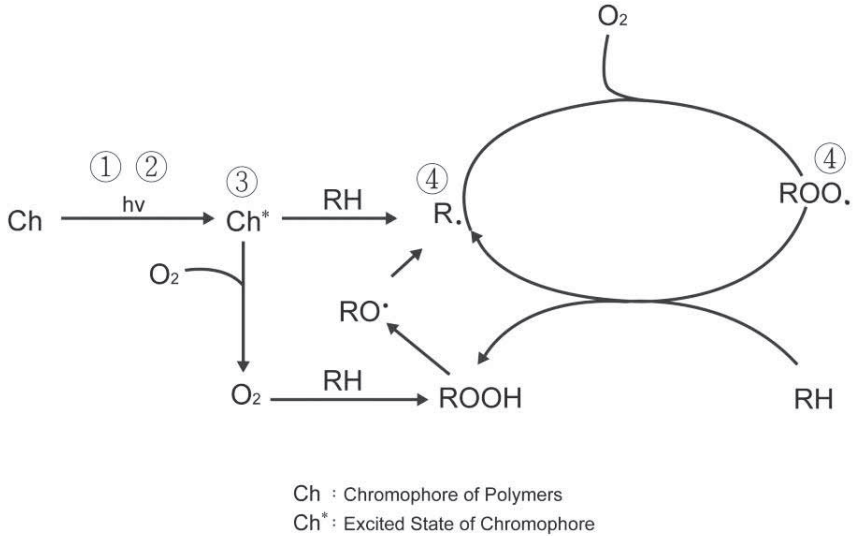


圖 1 光劣化產生的途徑與防止機制。

圖片來源：永光化學 (Everlight Chemical)，〈高分子劣化防護機制〉：
<<http://tw.everlight-uva.com/product/hals/halsmechanism/>>

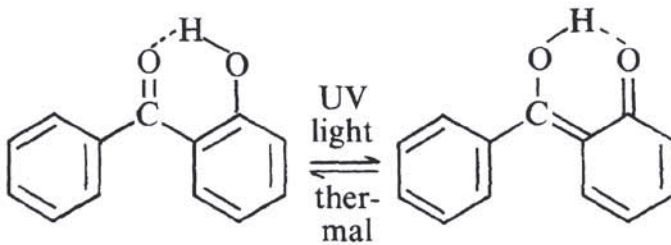
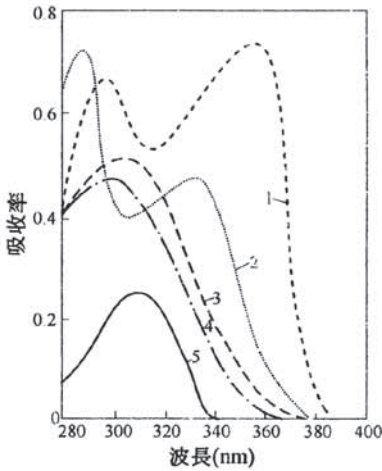


圖 2 二苯甲酮紫外線吸收劑能量轉移的方式。

圖片來源：E. René de la Rie, "Polymer Stabilizers. A Survey with Reference to Possible Applications in the Conservation Field," *Studies in Conservation* 33, no. 1 (1988): 15.



(溶劑：氯仿，濃度 1.0g/100 ml，光程：1 cm)
 1：2-(2'-羥基-5'-甲基苯基)苯並三唑
 2：2-羥基-4-甲氧基二苯甲酮
 3：2-氰基-3,3-二苯基丙烯酸乙酯
 4：2-乙基-2-乙氧基草醌苯胺
 5：水楊酸苯酯

圖 3 不同種類的紫外線吸收劑之 UV 吸收圖譜。

圖片來源：鄧志錦，〈光安定劑的機能與應用〉，《高分子工業》155 (2011.8)，頁 61。

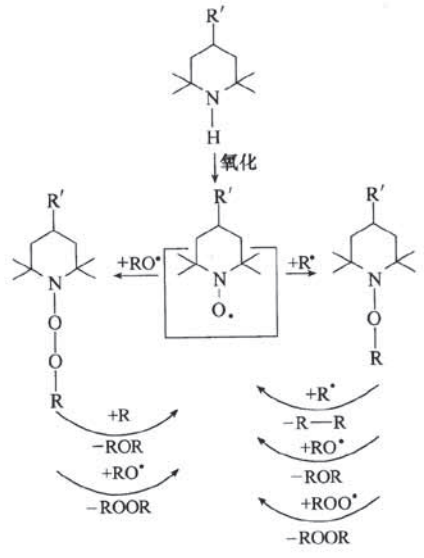


圖 4 受阻胺光安定劑的反應機制。

圖片來源：隋昭德、李傑、張玉傑、劉昱，《光穩定劑及其應用技術》(北京：中國輕工業出版社，2010)，頁 11。



圖 5 Laropal® A81 顆粒外觀，筆者自攝。

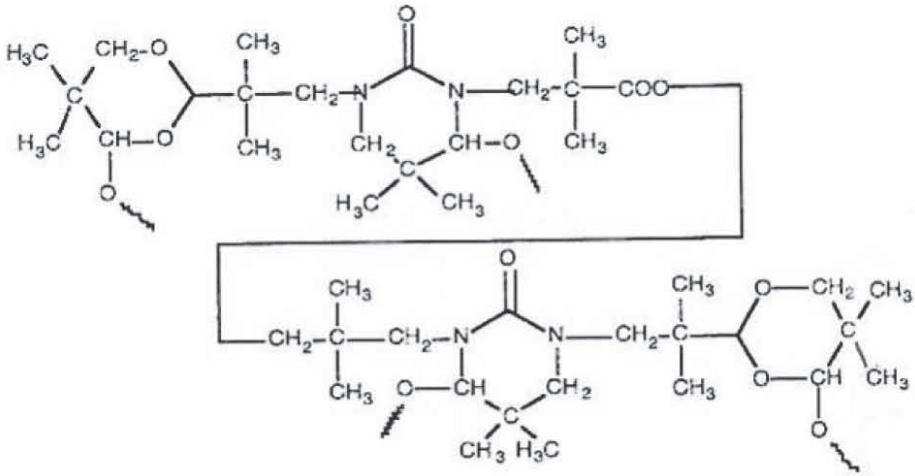


圖 6 Laropal[®]A81 化學結構。

圖片來源：Julie Arslanoglu and Tom Learnerb, "The Evaluation of Laropal A81: Paraloid B-72 Polymer Blend Varnishes for Painted and Decorative Surfaces -Appearance and Practical Considerations," *The Conservator* 25 (2001): 62.

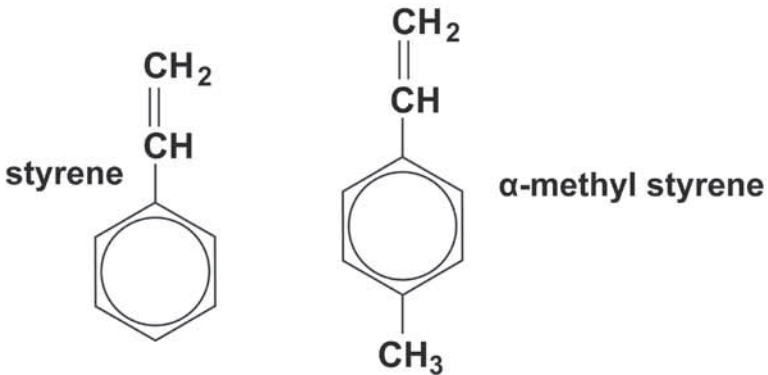


圖 7 苯乙烯與 α -甲基苯乙烯的化學結構。

圖片來源：River Shayne and Nick Umney, *Conservation of Furniture* (Oxford, England; Burlington, MA: Butterworth Heinemann, 2003), 183.

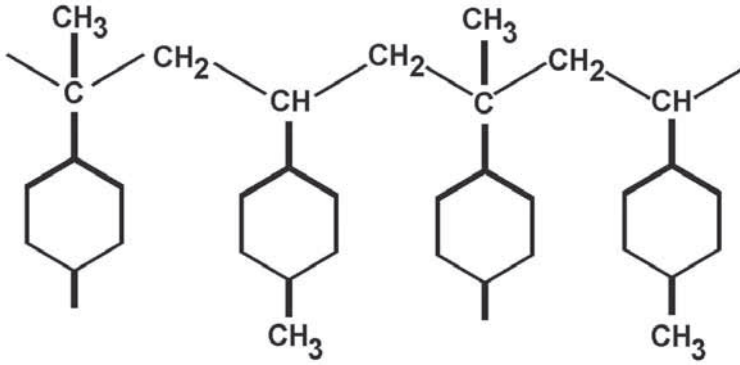


圖 8 Regalrez 樹脂的主要結構。

圖片來源：CTS, “3/2 NUOVI PRODOTTI-CONSOLIDAMENTO DEL LEGNO (PARTE 3)” : <<http://www.ctseurope.com/dettaglio-news.php?id=24>>



圖 9 Regalrez[®]1126 顆粒外觀，筆者自攝。



圖 10 Paraloid®B-48N 顆粒外觀，筆者自攝。

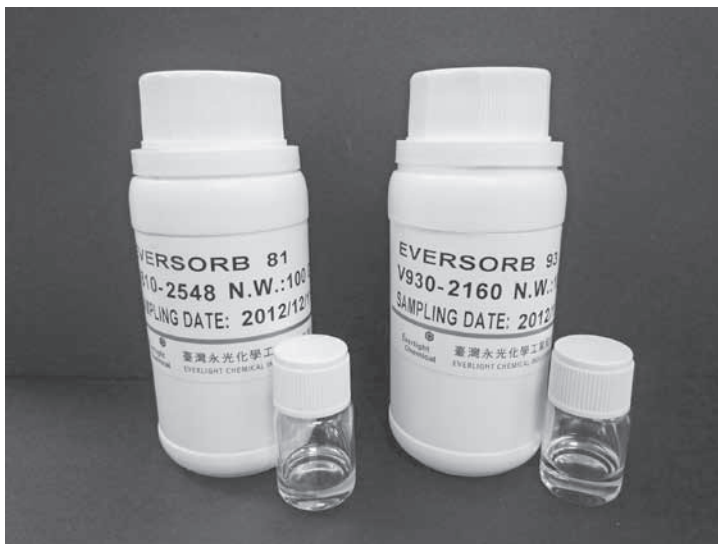


圖 11 光安定劑 BTA-81 與 HALS-93，筆者自攝。

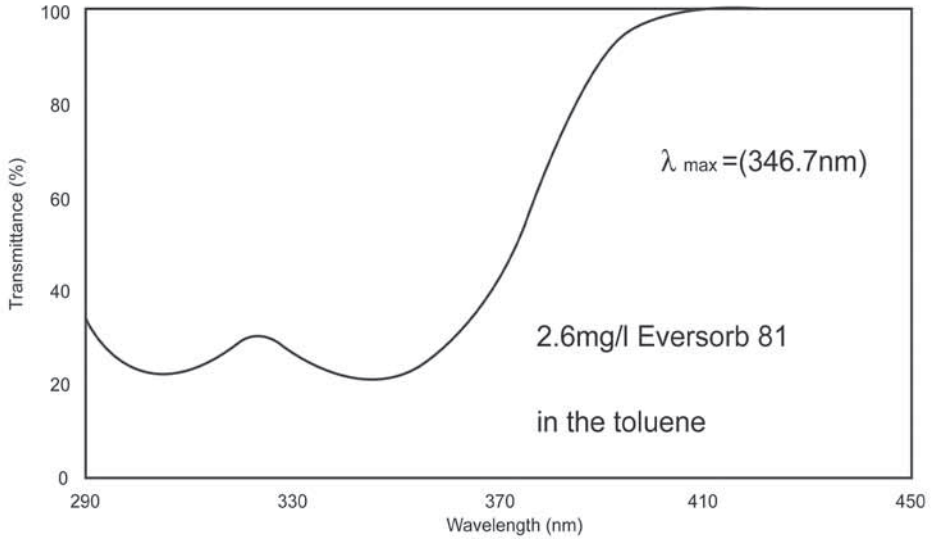


圖 12 光安定劑 BTA-81 之紫外線光譜圖，筆者自製。

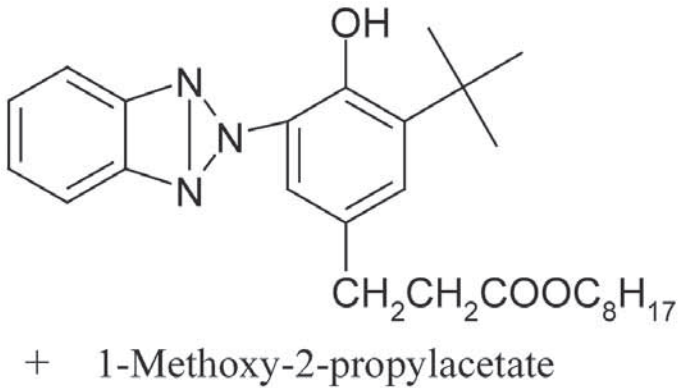


圖 13 BTA-81 之化學結構，筆者自製。

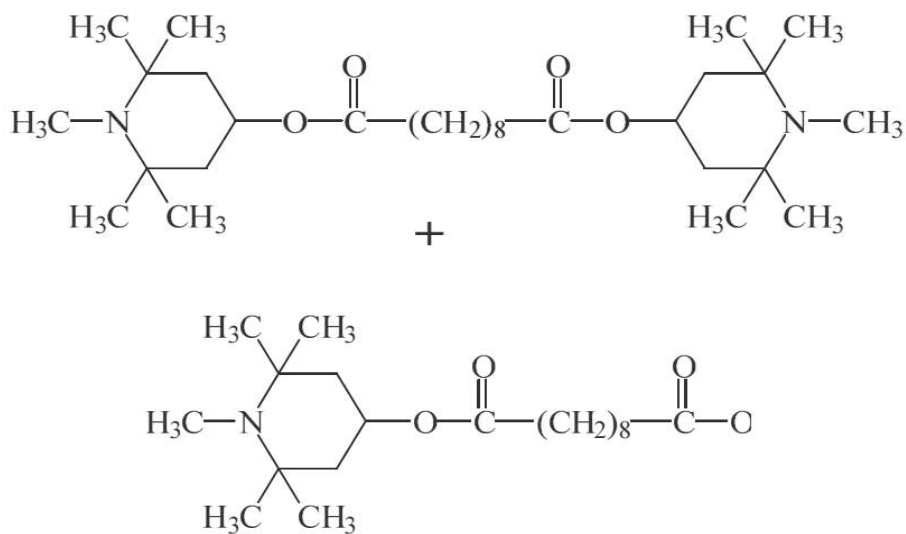


圖 14 HALS-93 之化學結構，筆者自製。



圖 15 施膜器塗佈情況，筆者自攝。

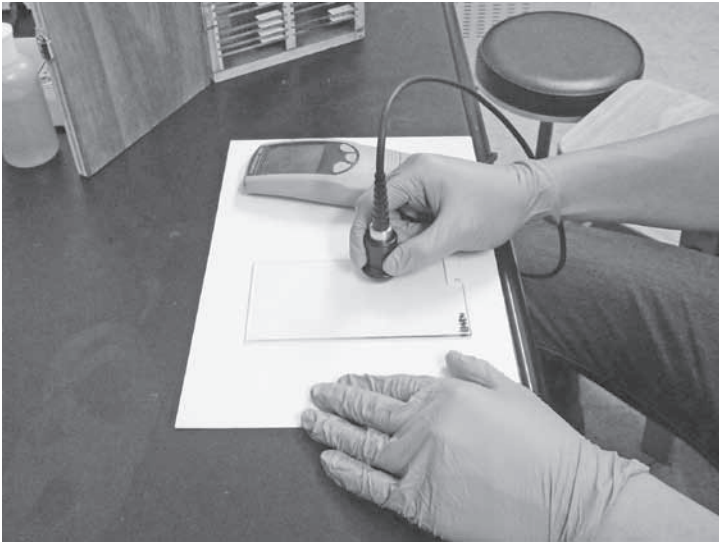


圖 16 使用超音波膜厚計量測塗膜厚度，筆者自攝。



圖 17 QUV 加速耐候實驗機，筆者自攝。

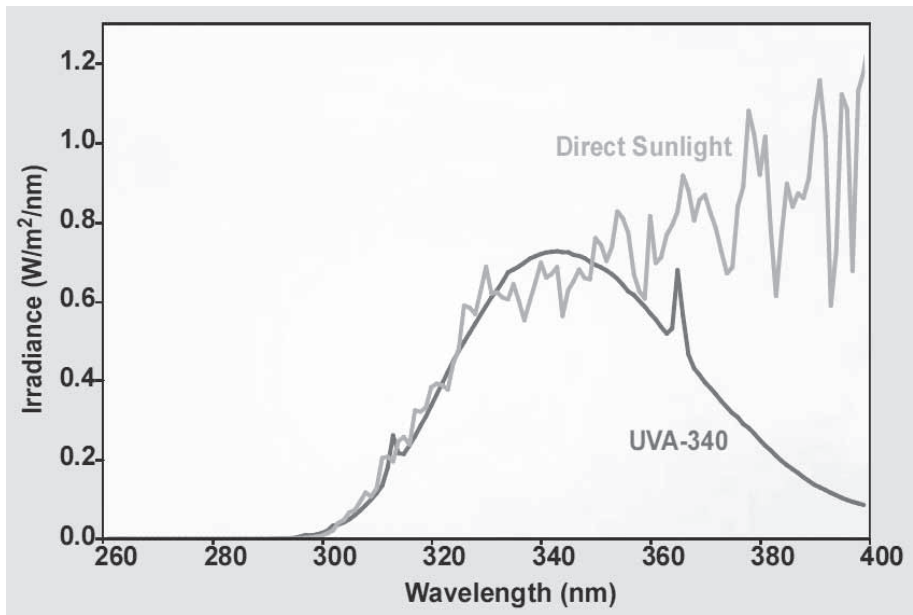


圖 18 UVA-340 紫外燈之能量分佈圖。

圖片來源：“QVA® Accelerated Weathering Testers”: <<http://www.q-lab.com/documents/public/7783bc36-3484-4f92-941d-69df0121f862.pdf>>



圖 19 色差儀，筆者自攝。

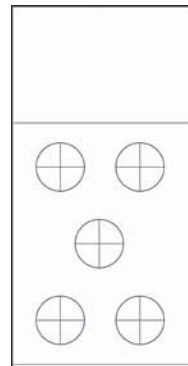


圖 20 試片色差分析測點位置示意圖，筆者自製。

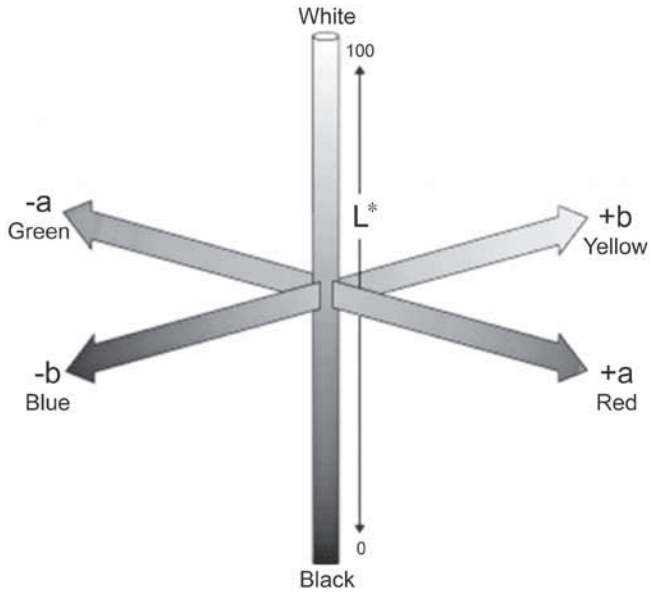


圖 21 CIE LAB 色彩空間示意圖。

圖片來源：Tim Kvidera, "Light Sensitivity of Pigeon Feathers":
<http://www.angelfire.com/ga/huntleyloft/Fading_article.html>



圖 22 塗膜光澤度計，筆者自攝。

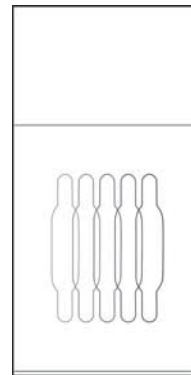


圖 23 試片光澤度分析測點位置示意圖，筆者自製。

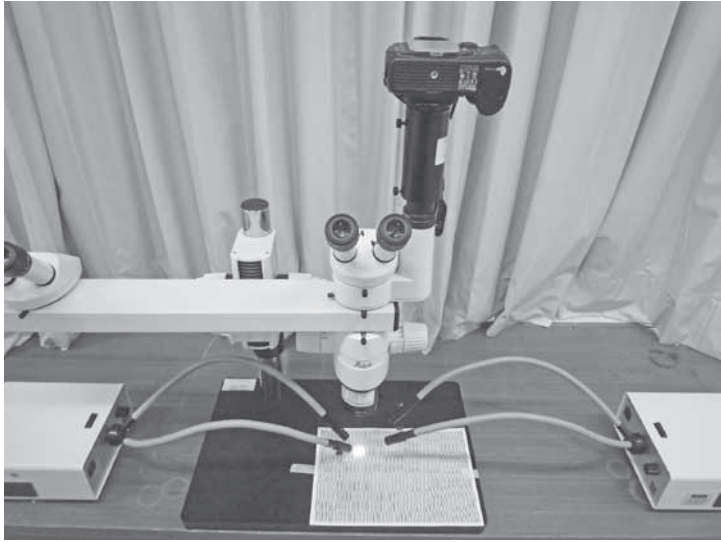


圖 24 實體顯微鏡，筆者自攝。



圖 25 傅立葉紅外線光譜儀，筆者自攝。

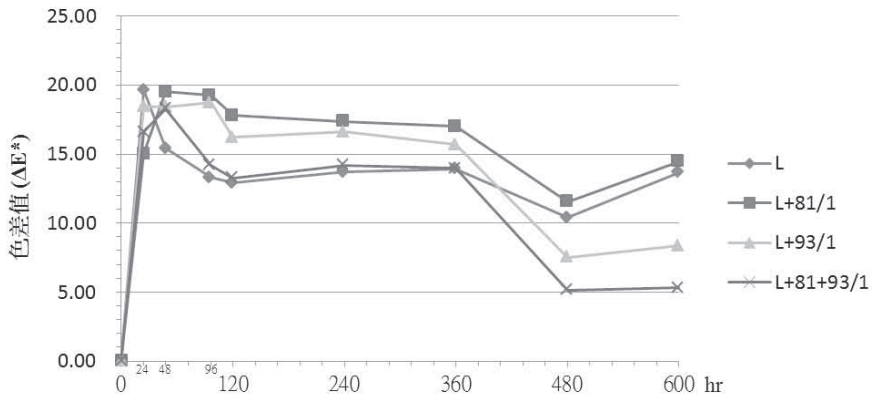


圖 26 Laropal® A81 添加不同光安定劑經老化試驗之色差變化，筆者自製。

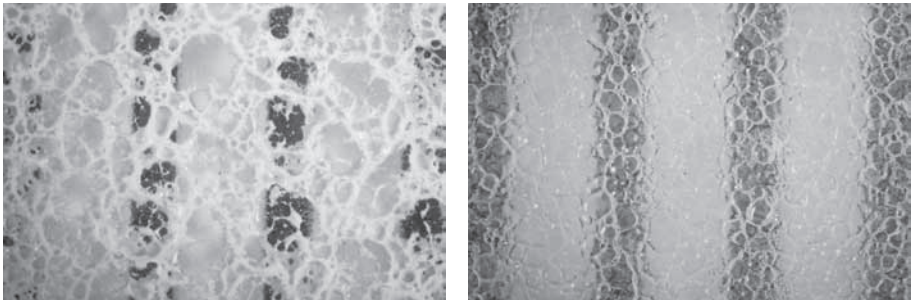


圖 27 未添加光安定劑（左）與各添加 1%BTA+HALS（右）之 Laropal® A81 老化至 360hr 後之外觀（10x），筆者自攝。

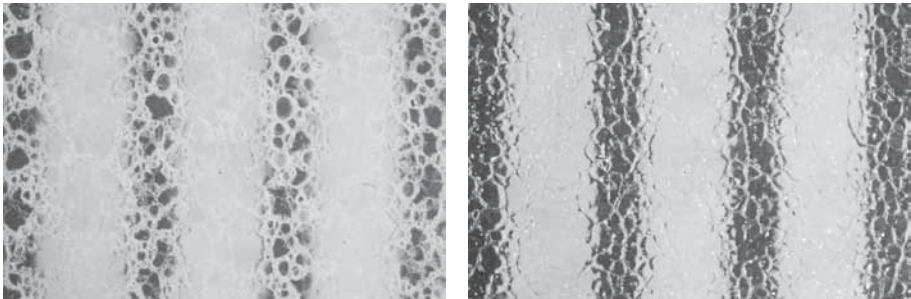


圖 28 未添加光安定劑（左）與各添加 1%BTA+HALS（右）之 Laropal® A81 老化至 480hr 後之外觀（10x），筆者自攝。

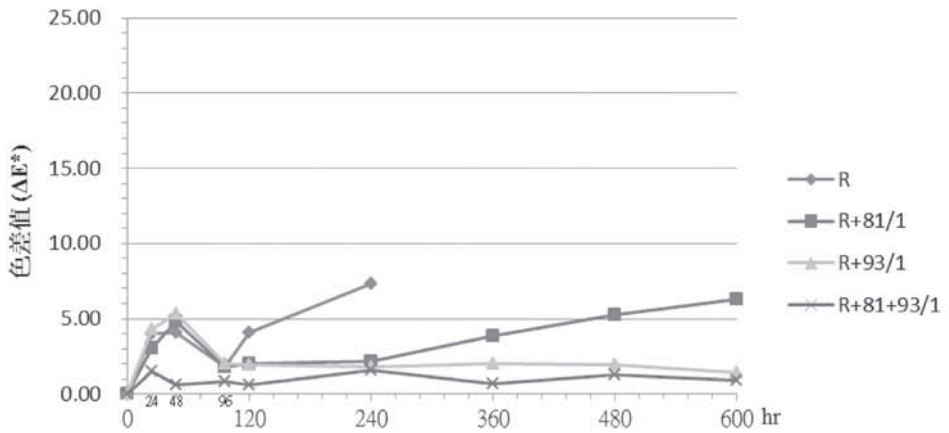


圖 29 Regalrez®1126 添加不同光安定劑經老化試驗之色差變化，筆者自製。

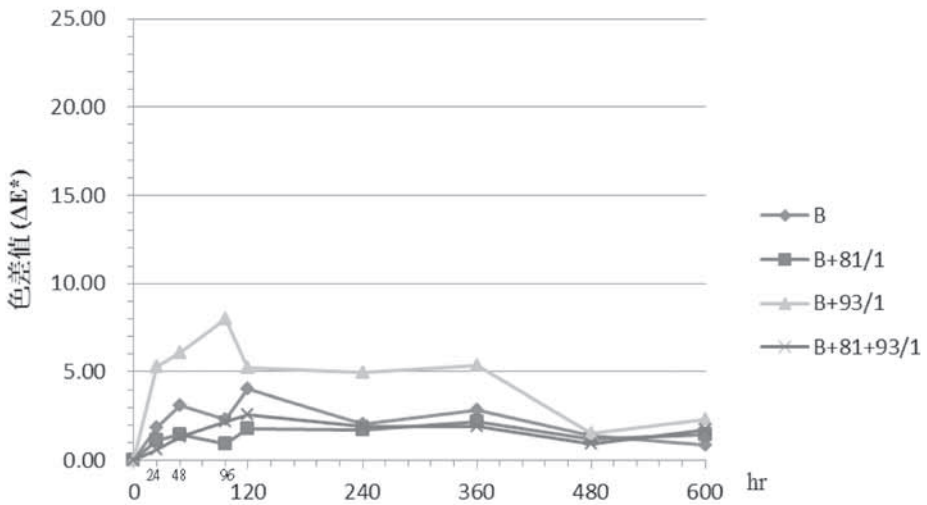


圖 30 Paraloid®B-48N 添加不同光安定劑經老化試驗之色差變化，筆者自製。

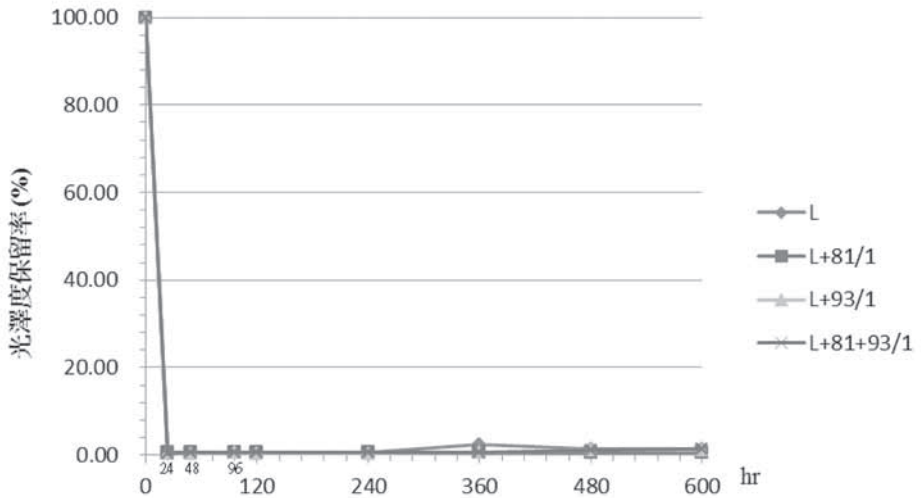


圖 31 Laropal® A81 添加不同光安定劑經老化試驗之光澤度保留率變化，筆者自製。

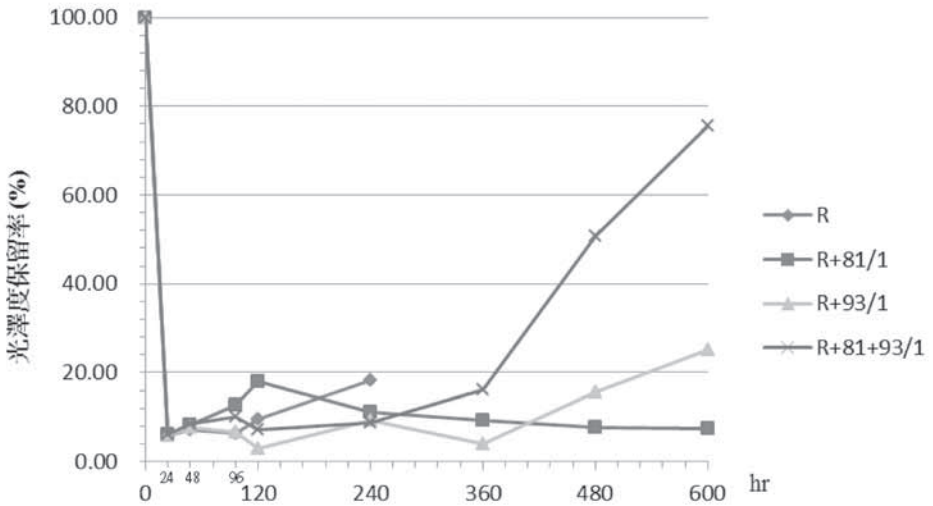


圖 32 Regalrez® 1126 添加不同光安定劑經老化試驗之光澤度保留率變化，筆者自製。

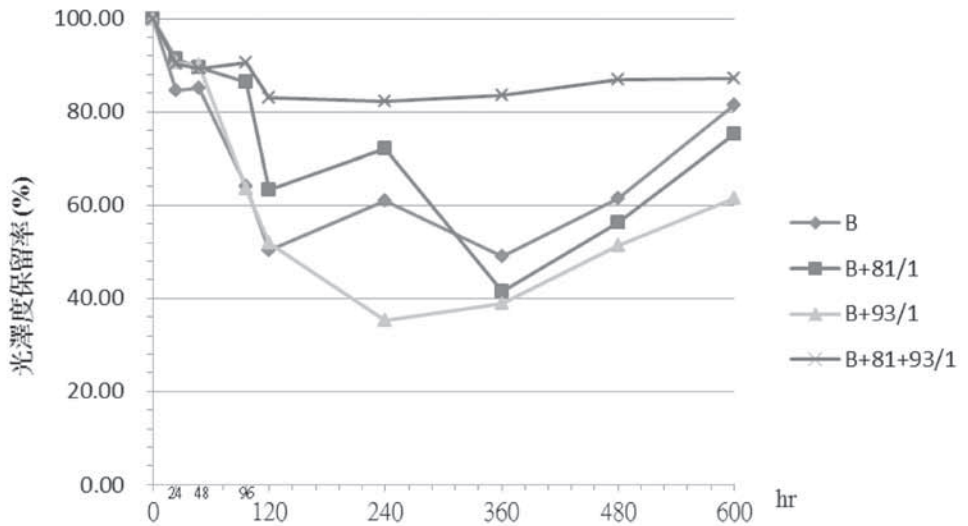


圖 33 Paraloid®B-48N 添加不同光安定劑經老化試驗之光澤度保留率變化，筆者自製。



圖 34 Laropal®A81 老化前之外觀 (10x)，筆者自攝。

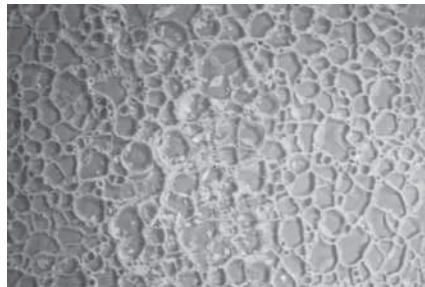


圖 35 Laropal®A81 老化至 48hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

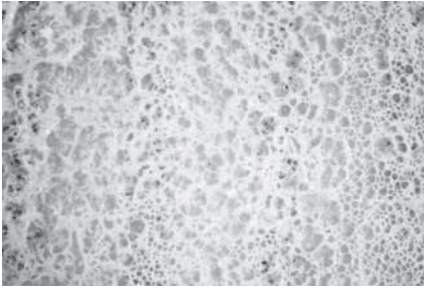


圖 36 Laropal®A81 老化至 240hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

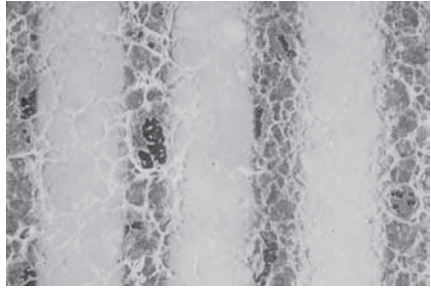


圖 37 Laropal®A81 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

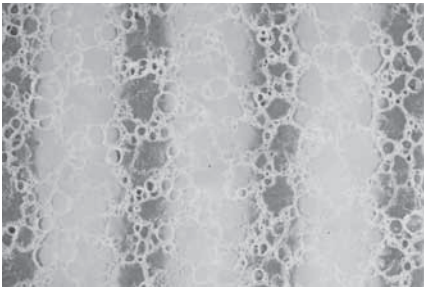


圖 38 Laropal®A81 添加 1%BTA 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

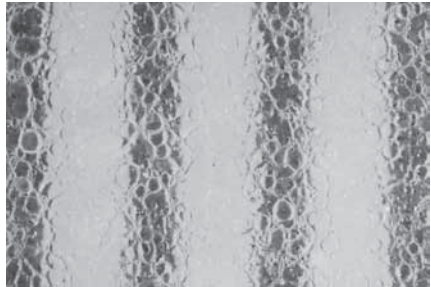


圖 39 Laropal®A81 添加 1%HALS 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

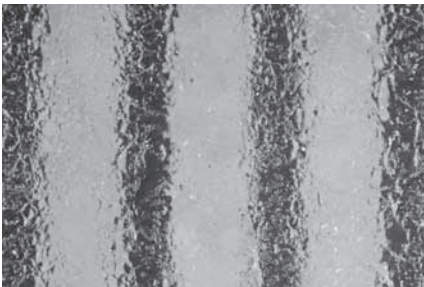


圖 40 Laropal®A81 各添加 1%BTA+HALS 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。



圖 41 Regalrez®1126 老化前之外觀 (10x)，筆者自攝。



圖 42 Regalrez®1126 老化至 120hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。



圖 43 Regalrez®1126 老化至 240hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

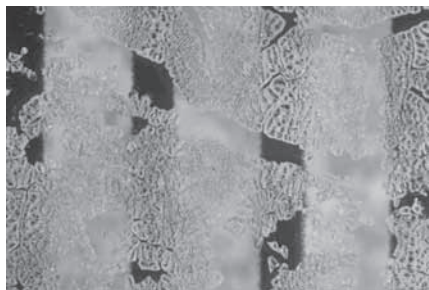


圖 44 Regalrez®1126 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。



圖 45 Regalrez®1126 添加 1%BTA 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

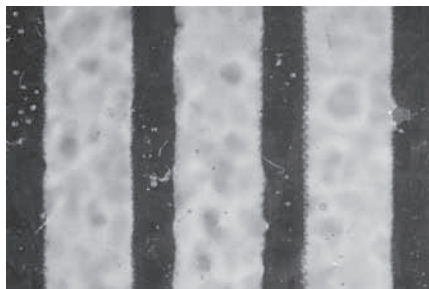


圖 46 Regalrez®1126 添加 1%HALS 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

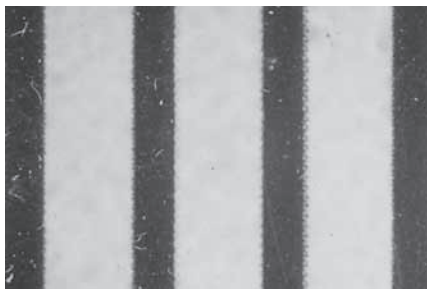


圖 47 Regalrez®1126 各添加 1%BTA+HALS 老化至 600hr 後之外觀 (10x)，筆者自攝。

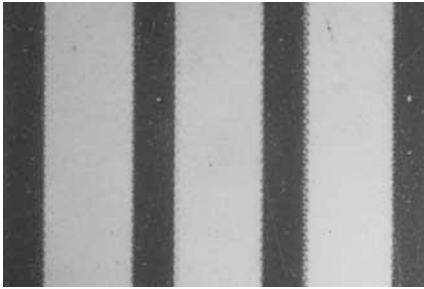


圖 48 Paraloid®B-48N 老化前之外觀 (10x)，筆者自攝。

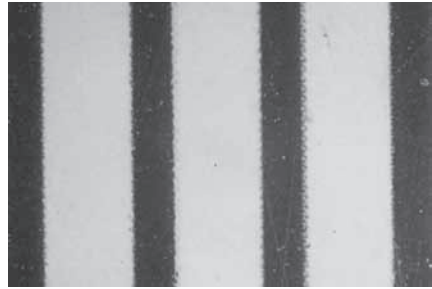


圖 49 Paraloid®B-48N 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

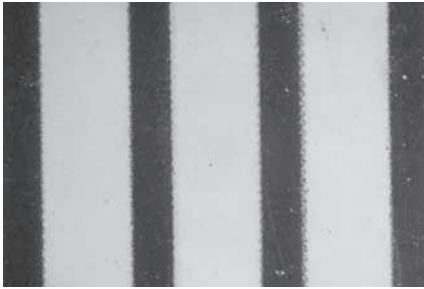


圖 50 Paraloid®B-48N 添加 1%BTA 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

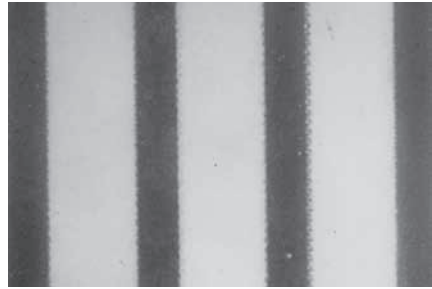


圖 51 Paraloid®B-48N 添加 1%HALS 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。



圖 52 Paraloid®B-48N 各添加 1%BTA+HALS 老化至 600hr 之外觀 (10x)，筆者自攝。

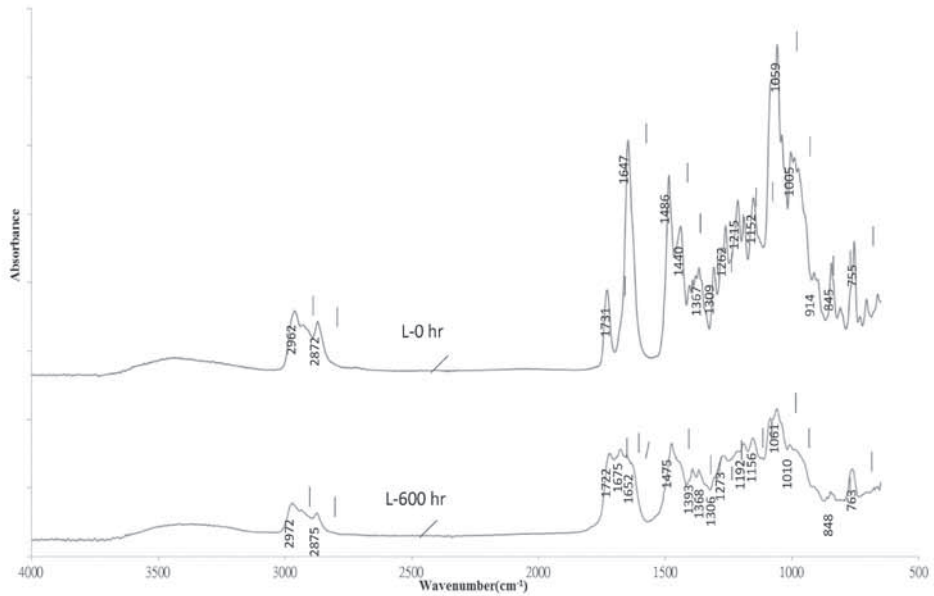


圖 53 Laropal® A81 老化前後之 FT-IR 光譜圖，筆者自製。

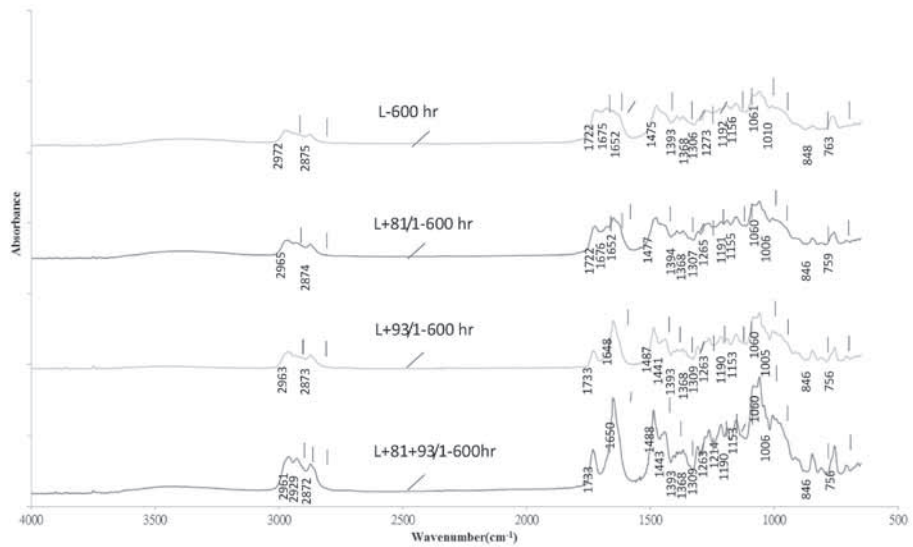


圖 54 Laropal® A81 添加不同種類光安定劑老化後之 FT-IR 光譜圖，筆者自製。

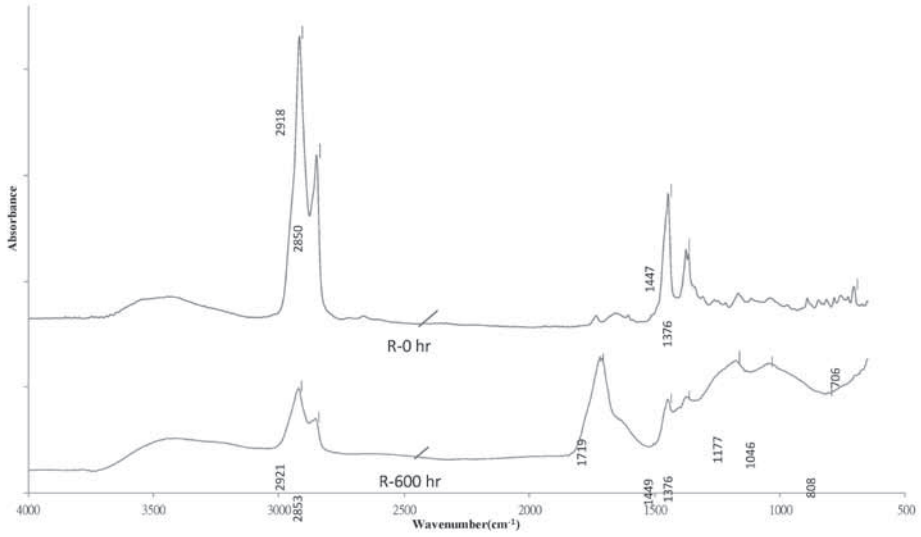


圖 55 Regalrez®1126 老化前後之 FT-IR 光譜圖，筆者自製。

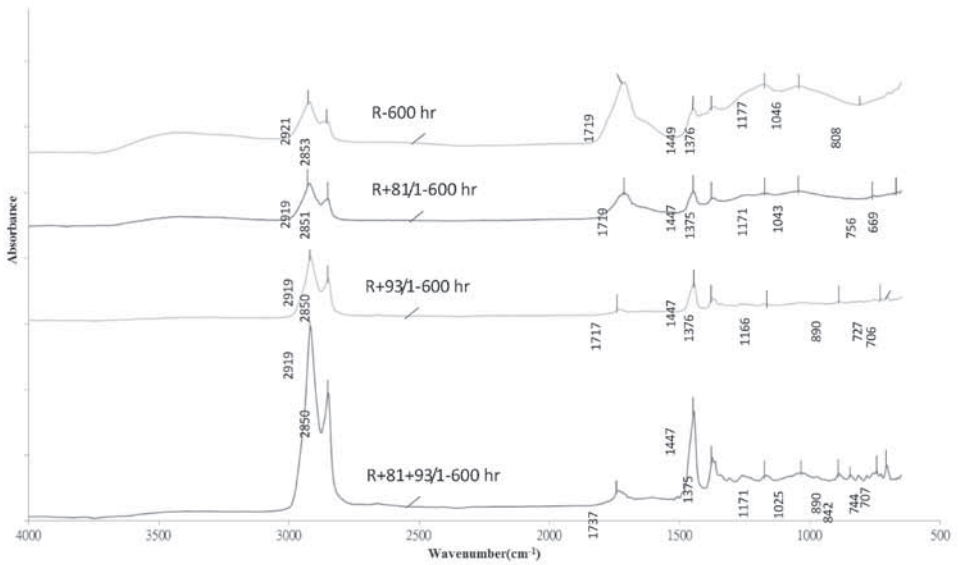


圖 56 Regalrez®1126 添加不同種類光安定劑老化後之 FT-IR 光譜圖，筆者自製。

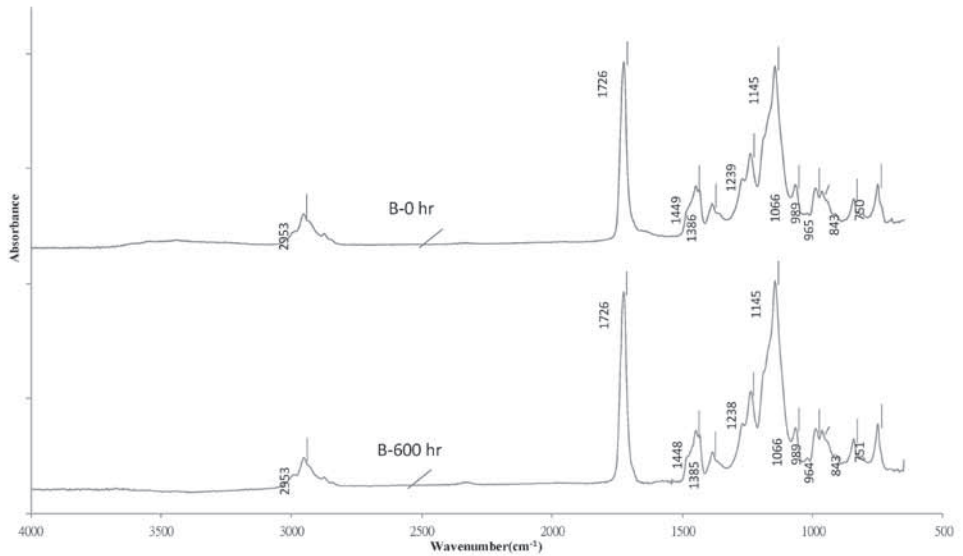


圖 57 Paraloid®B-48N 老化前後之 FT-IR 光譜圖，筆者自製。

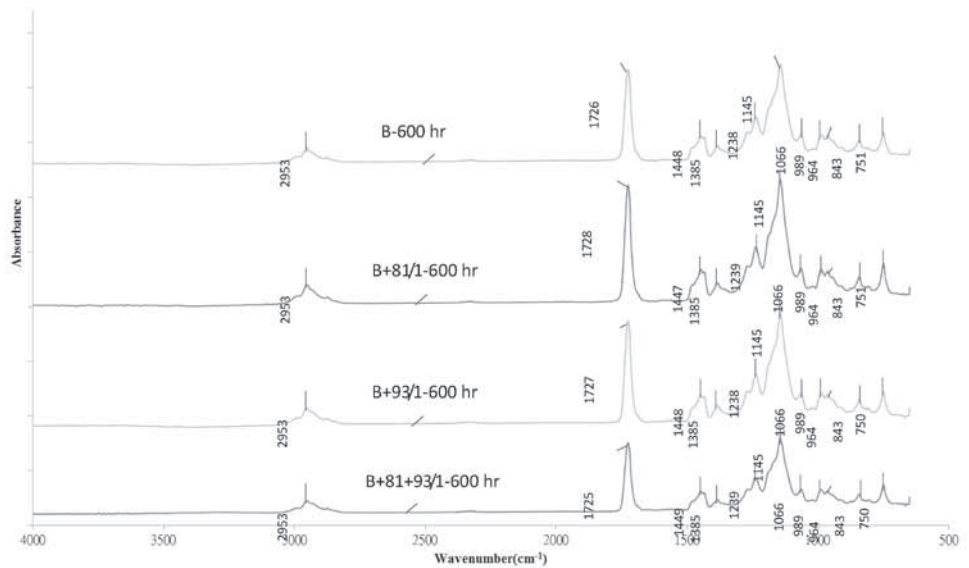


圖 58 Paraloid®B-48N 添加不同種類光安定劑老化後之 FT-IR 光譜圖，筆者自製。

參考書目

(一) 中文論著

- 王麗琴、楊璐、黨高潮、趙靜、梁國正，〈改性 B72 文物保護材料耐光老化性能研究〉，《西北大學學報（自然科學版）》5，2006.10，頁 761-764。
- 李鴻麟、鄒哲宗、夏滄琪、顧文君，〈木材用塗料耐候性之研究——塗料耐候性之比較〉，《林業試驗所研究報告季刊》4，1993.12，頁 321-330。
- 張上鎮，〈人工加速耐久性試驗之進展與應用〉，《塗料與塗裝技術》38，1993.3，頁 57-63。
- 張上鎮、許富蘭，〈塗料用光安定劑的選用與發展〉，《林產工業》13：1，1994.3，頁 198-214。
- 張惠婷、葉汀峰、張上鎮，〈聚胺基甲酸酯塗膜抑制杉木光劣化之評估〉，《林產工業》21：4，2002.12，頁 271-279。
- 許國強，〈光澤度之特性及其量測方法〉，《量測資訊》55，1997.5，頁 106-114。
- 郭剛、汪斌華、黃婉霞、于杰、曹建軍、涂銘旌，〈納米 TiO₂ 的紫外光學特性及在粉末塗料抗老化改性中的應用〉，《四川大學學報（工程科學版）》5，2004.9，頁 53-56。
- 陳烜宇，〈浸泡清洗對黑色版印油墨性質影響之探討〉，臺南：國立臺南藝術大學碩士論文，2012。
- 隋昭德、李傑、張玉傑、劉罡，《光穩定劑及其應用技術》，北京：中國輕工業出版社，2010。
- 黃榮茂、王禹文、林聖富、楊得仁，《化學化工大辭典》，臺北：曉園出版社，2000。
- 廖芥楓，〈木材塗膜耐候性改良之研究〉，屏東：國立屏東科技大學木材科學與設計系碩士論文，2006。

劉正字、盧崑宗，《木材塗裝工程》，新北：藝軒圖書出版社，2002。

鄭華生，《分析化學》，新竹：國立清華大學出版社，2007。

賴智峰，〈利用固相合成方法開發新型紫外線吸收劑 (UV-Absorbers)〉，桃園：國立中央大學化學研究所碩士論文，2004。

Ralph Mayer 著，貓頭鷹編輯小組譯，《藝術名詞與技法辭典》，臺北：貓頭鷹出版社，2005。

(二) 西文論著

Crisci, Gino Mirocle. "Consolidating properties of Regalrez 1126 and Paraloid B72 Applied to Wood." *Journal of Cultural Heritage* 11, no. 3 (2010): 304-308.

Lazzari, Massimo, and Oscar Chiantore. "Thermal-ageing of Paraloid Acrylic Protective Polymers." *Polymer* 41, no. 17 (2000): 6447-6455.

Piena, Hans. "Regalrez in Furniture Conservation." *Journal of the American Institute for Conservation* 40, no. 1 (2001): 59-68.

De la Rie, E. René. "Polymer Stabilizers. A Survey with Reference to Possible Applications in the Conservation Field." *Studies in Conservation* 33, no. 1 (1988): 9-22.

Smith, Gregory Dale. and Johnson Ronald. "Strip 'Teas'-Solubility Data for the Removal (and Application) of Low Molecular Weight Synthetic Resins Used as Inpainting Media and Picture Varnishes." *WAAC Newsletter* 30, no. 1 (2008): 11-19.

Weilhammer, Ulrich. *Binding Media and Adhesive*. Unpublished handout of Tainan National University of the Arts, Graduate Institute of the Conservation of Cultural Relics, 2004.

Wypych, George. *Handbook of Material Weathering*. Toronto: ChemTec Pub, 2003.

Zhang, Yi-Fu, Xing-Rong Zeng, and Bi-Yi Ren. "Synthesis and Structural Characterization of Urea-isobutyraldehyde-formaldehyde Resins." *Journal of Coatings Technology and Research* 6, no. 3 (2009): 337-344.

(三) 網路資源

Museum of Fine Arts, Boston-Material Search, "Paraloid®B-48N": < http://cameo.mfa.org/wiki/Paraloid_B-48N > (2017.3.10 點閱)