宣 紙 耐 光 性 之 研 究

張上鎮 陳信泰 谷雲川 張慧齡

摘 要

宣紙於保存及展示期間很容易受光之影響而產生劣化，失去其不朽之價值。本試驗之目的除了比較市面上所能買到六種宣紙的耐光性外，並研究不同燈源對宣紙之影響。照光試驗包括日光燈照射、鎢絲燈照射、加速耐光試驗箱及一般室內使用環境四種。所試驗的宣紙性質則包括表面顏色的變化、pH 值變化、纖維素黏度之變化、纖維素化學成分之改變及抗張指數。試驗結果得知，宣紙在各種燈源照射下，纖維素均發生酸化作用，產生羧酸類及羰基類衍生物，使得宣紙表面之 pH 值降低，表面顏色亦出現黃化的色變。在所測試的燈源中，日光燈最易引起宣紙劣化。六種宣紙在不同燈源照射下，所產生的各種性質變化，在文中亦一一比較與討論。

關鍵字：宣紙、耐光性、色變、酸化作用、黏度、抗張指數。

張上鎮、陳信泰、谷雲川、張慧齡，1988，宣紙耐光性之研究，林業試驗所研究報告季刊3(2)：85－92.

Effects of Light on the Properties of Chinese Writing & Painting Paper

Shang-Tzen Chang, Hsin-Tai Chen
Yun-Chuan Ku and Huoy-Ling Chang

[Summary]

The photostability of chinese writing and painting paper closely relates to the conservation and preservation of chinese painting and chinese calligraphy. However, the information about this is very limited and inadequate. Therefore, the objectives of this research are to investigate the effects of light on the properties of chinese writing and painting papers, and to compare the photostability of six chinese writing and painting papers made by different papermakers. The chinese writing and painting papers are exposed separately to four different conditions including at indoor ambient condition, under tungsten lamps, under fluorescent lamps and in UVCON accelerated chamber. The photostability of chinese writing and painting papers is evaluated by the changes of the properties such as surface color, pH value, fiber viscosity, chemical composition and tensile strength index. The experimental results reveal that discoloration and acidification occur on the chinese writing and painting paper surfaces, and that fluorescent lamp induces the most severe deterioration on chinese writing and painting paper surface. The effects of the four different exposure conditions on the changes of the properties are also compared and discussed in detail in this paper.

1988年 4 月送審
1988年 5 月通過
主審委員：唐讓雷
王益眞

Key Words: chinese writing and painting paper, discoloration, photostability, viscosity, chemical composition, tensile strength index.

Shang-Tzen Chang, Hsin-Tai Chen, Yun-Chuan Ku and Huoy-Ling Chang. 1988. Effects of Light on the Properties of Chinese Writing & Painting Paper. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series 3(2):85—92,

一、緒　言

宣紙爲中國書法、國畫藝術上必需大量使用之材料，隨著經濟景氣與國民所得的提高，人們已更加注意精神生活之質與量。再加上人們對於中國傳統文化—書法、國畫—的愛好，因此宣紙的需求量不斷的增加，同時宣紙的品質也受到重視。以往對於宣紙好壞的評斷，往往由名家試用後判定，雖然很多學者專家亦以科學的方法來評估宣紙的品質，但是宣紙的耐久性往往却被忽視了。

名家的書法、繪畫，件件都是無價之寶，理當流傳千古，但是儘管這些藝術作品在博物館或畫廊中受到最周密妥善的保管，亦難免因展示時受到光線、溫度、濕度或空氣中的氧氣及污染物等因子的影響而劣化、損毀，使其無法『不朽』。因此，選用宣紙時，除了要注意其吸墨、色澤等品質外，更應該把「耐久性」列爲重要的考慮項目。

紙張耐久性的問題一直爲歐美各國所正視而普遍研究（Usuda, 1984；Hon, 1981；Roberson, 1976），雖然Leary的研究報告（1967；1968）指出，新聞紙類受到光線的影響會產生色變（discoloration），一般早期的研究大都著重於溫度、濕度及酸鹼度對紙張耐久性之影響，最近一些研究（Hon, 1982；Kringsted & Lin, 1970）指出光氧化作用（photooxidation）爲導致木質材料劣化的主要因子，因此紙張受光影響而劣化的問題始普遍的受到重視，而目前國內尚缺乏此方面之研究，尤其是宣紙的耐光性一直爲吾人所忽視。

國內市面上所能買到的宣紙種類很多，其價格與品質均有所不同，究竟那一種之耐光性較佳，尚無資料可尋，因此本研究之目的有二，一爲比較市面上各種宣紙之耐光性，二爲探討宣紙在不同燈源下照射，其性質之變化情形。

二、材料與方法

㈠試驗材料

本試驗所使用之宣紙爲香港玉版單宣、台灣仿玉版宣、香港玉版雙宣、省產宣紙、機製棉紙及省產礬宣六種。各種宣紙均裁成30.0ｃｍ×7.5ｃｍ之試片以供照光試驗。

㈡試驗方法

爲了了解不同燈源對宣紙性質之影響，茲將試片分成四組，分別置於不同的照射環境下進行試驗。第一組僅將試片曝露於一般室內日光燈之使用環境下；第二組將試片置於自製之日光燈照射架內，照射架之規格爲130ｃｍ（長）×80ｃｍ（寬）×40ｃｍ（高），其內安裝４盞東亞牌40瓦日光燈，試片與日光燈之距離爲10ｃｍ，試片溫度爲35±３°Ｃ；第三組將試片置於自製之鎢絲燈照射架內，照射架之規格爲130ｃｍ（長）×80ｃｍ（寬）×40ｃｍ（高），其內安裝８盞東亞牌20瓦鎢絲燈，試片與鎢絲燈之距離爲10ｃｍ，試片溫度爲30±３°Ｃ；第四組將試片置於Atlas UVCON耐光試驗器內，但其燈源則以瞬間高能力日光燈取代原來之FS-40太陽燈（FS-40 sunlamp，含有大量之紫外光），試片與燈源之距離爲５ｃｍ，試片溫度控制爲40°Ｃ。以上四種照光時間，除了第一組隨辦公時間每日約照光10小時，其他三組均每日照光24小時。各組試片經過一定的照光時間後，即依下述方法分析紙張各類性質之變化。

㈢分析方法

1.表面顏色測定

宣紙表面之顏色以東京電色株式會社（Tokyo Denshoka Co., Ltd）的測色色差計（color and color difference meters, TC-3600）測量，所使用之光源爲C光源，光學條件爲積分球方式。試材直接置於測試窗上，便可由儀器讀得X、Y、Z三刺激值(tristimulus values)，再依據Tappi T524 om-79 標準內所使用之 CIE LAB 色彩體系計算出L*、a*、b*色彩參數。至於宣紙表面顏色之變化則以CIE LAB色彩體系之色差值（color difference, △E*）及明度留存率(brightness retention, %)來表示。

$$\triangle E^* = [(L_t^* - L_0^*)^2 + (a_t^* - a_0^*)^2 + (b_t^* - b_0^*)^2]^{1/2}$$

△E*：色差值

L_0^*, a_0^*, b_0^*：未照光宣紙之L*, a*, b*

L_t^*, a_t^*, b_t^*：經過t時間照光後宣紙之L*, a*, b*

$$B.R.(\%) = Y_t / Y_0 \times 100\%$$

B.R.：明度留存率

Y_0：未照光宣紙表面之明度

Y_t：經過t時間照光後宣紙表面之明度

每組供測試之宣紙試片爲6片，每片試片均測三次，然後將試片旋轉90°角後再測三次，故試驗所得之數值爲36個測定值之平均數。

2.宣紙表面pH值測定

紙張表面 pH 值之測定採用紙質試驗專用MPC型紙表面pH 試劑（日本共立理化學研究所）及變色標準板，先以合適之試劑滴於紙張表面，然後以棉花棒將試液均勻塗散成直徑5公分大小之圓形，靜置1～2分鐘後待其乾燥後，紙表面之顏色與變色標準板比較，顏色相同時即可直接讀出 pH 值，此即爲紙張表面之pH值。

3.宣紙之抗張指數試驗

在相對濕度65%，溫度20°C 之恆溫恆濕室內，依CNS 354-P3004標準法測定。

4.宣紙纖維素黏度測定

根據CNS 7748-P3051標準方法，以毛細管黏度計法測定。

5.紅外線光譜分析

將宣紙表面的纖維素以刀片刮下後，與適量的溴化鉀（KBr）均勻混合，壓製成薄片（disc），然後立即以紅外線光譜儀（infrared spectrophotometer, Perkin-Elmer model-783）分析其化學結構，所測定的光譜圖範圍爲4,000～200 cm^{-1}。

6.紫外線光譜分析

將宣紙表面的纖維素以刀片刮下成粉末試樣，取2.5mg的粉末狀纖維素溶於5 c c的純水中，靜置二小時後加以過濾，過濾後之水溶液以紫外線光譜儀（ultraviolet spectrophotometer, Jasco UVIDE-650）分析。如將未照光試樣之水溶液置於參考光束上，而將照光試樣之水溶液置於試樣光束上，則可以得到二者之差異光譜圖（difference spectrum）。

三、結果與討論

㈠宣紙表面顏色之變化

將六種宣紙分置於不同燈源下接受照射，其表面顏色即產生不同程度之變化，表1爲六種宣紙在三種燈源下經過4星期及24星期照射後之色差值（△E*）及明度留存率（%）變化表。比較此三種不同光源之照射結果，得知宣紙曝露於日光燈下照射，所引起之色差值及明度留存率變化最爲顯著，換言之，宣紙如果曝露於鎢絲燈下，則較不易產生表面之色變（discoloration）。

比較此六種宣紙表面顏色之變化情形，以日光燈照射24星期後，香港玉版雙宣之變化較輕微

，其色差值及明度留存率分別爲0.96及97.9%；其次爲香港玉版單宣，色差值及明度留存率分別爲1.99及95.9%；而表面顏色變化最爲顯著的爲省產礬宣，其色差值及明度留存率分別爲6.54及90.2%。而宣紙曝露於鎢絲燈下，其表面顏色之變化較置於日光燈下來得輕微，經過24個星期長時間照射後，仍以香港玉版雙宣之色變最爲輕微，其色差值及明度留存率分別爲0.51及99.0%，如以肉眼辨識，幾乎看不出其色變；表面顏色變化次輕微的爲香港玉版單宣；而表面顏色變化最顯著的是省產礬宣及機製棉紙。當宣紙置於日常室內日光燈照明之使用環境下，其表面顏色之變化與置於鎢絲燈下加速照射的類似，但仍以香港玉版雙宣之色變最爲輕微，其次爲香港玉版單宣，而色變最明顯的則爲省產礬宣。

㈡宣紙之 pH 值及化學成分之變化

紙張的酸度（acidity）一直被視爲影響紙張耐久性的主要因子（Arney and Novak, 1982）。由於製漿造紙的方法不同，因此每一種紙都有其特定的 pH 值，本試驗所使用之六種宣紙，其 pH 值介於6.0與6.8之間（表2）。當曝露於日光燈、鎢絲燈或日常室內使用環境下，宣紙的表面會產生酸化作用（acidification），使pH值降低（表2）。比較三種燈源對宣紙表面 pH 值之影響情形，得知日光燈促使宣紙產生酸化作用最爲激烈。再比較六種宣紙之 pH 值變化，在三種燈源下照射後，均以香港玉版單宣的 pH 值變化最爲緩和，而以省產礬宣及台灣仿玉版宣的pH值變化較爲激烈。宣紙表面之pH 值之所以會降低，主要是因爲纖維素受到光線之影響發生劣化分解反應，產生許多含有羧酸類（carboxylic）及羰基類（carbonyl）之衍生物（Hon, 1979；Desai, 1970）。未照光及照光後之省產礬宣表面纖維素以紅外線光譜儀分析，其結果如圖1所示，比較圖1 B與圖1 A的光譜得知，在圖1 B中位於1720 c m^{-1} 處出現額外的吸收峯，以肩帶（shoulder）的方式附於1630 c m^{-1} 寬廣的吸收帶上，此1720 c m^{-1} 之吸收峯即爲羧酸類及羰基類衍生物之特性吸收峯，這表示經過24星期照光後，宣紙表面的羧酸類及羰基類衍生物之含量顯著的增加。

將未照光或日光燈照射24星期後之省產礬宣表面纖維素含浸於水溶液，以紫外線光譜儀分析比較所得到之差異光譜圖(difference spectrum）如圖2 A所示，在260 n m及205 n m處出現水溶性劣解物之吸收峯，這表示省產礬宣表面之纖維素受光影響而產生相當量的水溶酸性劣解物。圖2 B爲香港玉版單宣表面纖維素水溶液之差異光譜，由200～400 n m間之紫外線光譜相當弱，僅在 260 n m 處有微弱的吸收峯，由此得知香港玉版單宣受光影響而產生的水溶性劣解物之含量較少，故其表面pH值降低的較不明顯。

紙張表面一旦酸化後，則會導致纖維素加速酸化水解（acid-catalyzed hydrolysis）（Roberson, 1976），因此受光影響容易酸化的宣紙，一但酸化後，必會促使宣紙加速劣化而喪失其保存性，由此可以得知在六種測試宣紙中，臺灣仿玉版宣及省產礬宣之耐久性較差，而香港玉版單宣的耐久性較優。

㈢宣紙纖維素之黏度變化

Desai（1970）的研究指出，纖維素受光的影響除了發生酸化作用，產生含有羧酸類及羰基類衍生物外，纖維素分子鏈之聚合度（degree of polymerization）亦隨之降低，一般而言，分子鏈之聚合度愈小，其溶液之黏度必愈低。本試驗將照光後宣紙表面之纖維素溶於銅乙二胺（cupriethylene diamine）溶液中，以 Cannon-Fenske 玻璃毛細管測量其黏度，結果如表3所示。比較不同燈源對纖維素黏度之影響，得知經過24星期照射後，置於日光燈下之宣紙纖維素的黏度最低，這表示日光燈使纖維素劣化最爲劇烈，其次爲鎢絲燈，而宣紙置於日常室內使用環境

表1　六種宣紙在不同燈源下照射後之色差值（△E*）及明度留存率（%）

		色差值,△E*						明度留存率,%					
		香版港單玉宣	台玉灣版仿宣	香版港雙玉宣	省宣產紙	機棉製紙	省礬產宣	香版港單玉宣	台玉灣版仿宣	香版港雙玉宣	省宣產紙	機棉製紙	省礬產宣
4 星期	室內光	0.18	1.35	1.00	0.91	0.92	0.45	100.0	99.5	101.0	100.3	99.3	98.9
	日光燈	2.54	2.55	2.28	1.09	1.72	2.70	99.4	98.4	105.5	99.5	96.8	97.2
	鎢絲燈	0.25	1.06	0.45	0.54	1.79	0.74	99.5	99.4	100.9	99.9	97.2	98.8
24 星期	室內光	1.23	2.49	0.41	1.34	2.43	3.00	97.8	95.9	100.4	98.2	94.0	93.4
	日光燈	1.99	5.13	0.96	2.44	5.18	6.54	95.9	90.2	97.9	93.5	90.4	90.2
	鎢絲燈	0.93	2.05	0.51	1.40	3.87	3.14	97.6	95.0	99.0	96.5	91.4	93.8

表2　六種宣紙在不同燈源下照射後之 pH 值

		pH 值					
		香版港單玉宣	台玉灣版仿宣	香版港雙玉宣	省宣產紙	機棉製紙	省礬產宣
對照組		6.8	6.6	6.1	6.8	6.6	6.0
4 星期	室內光	6.8	6.6	6.0	6.6	6.5	6.2
	日光燈	6.5	5.8	5.5	5.8	6.0	5.0
	鎢絲燈	6.6	6.2	6.1	6.2	6.6	5.6
24 星期	室內光	6.6	5.2	5.2	6.0	5.6	5.0
	日光燈	5.8	4.8	5.0	5.6	5.2	4.0
	鎢絲燈	6.4	5.6	5.6	5.8	6.0	5.0

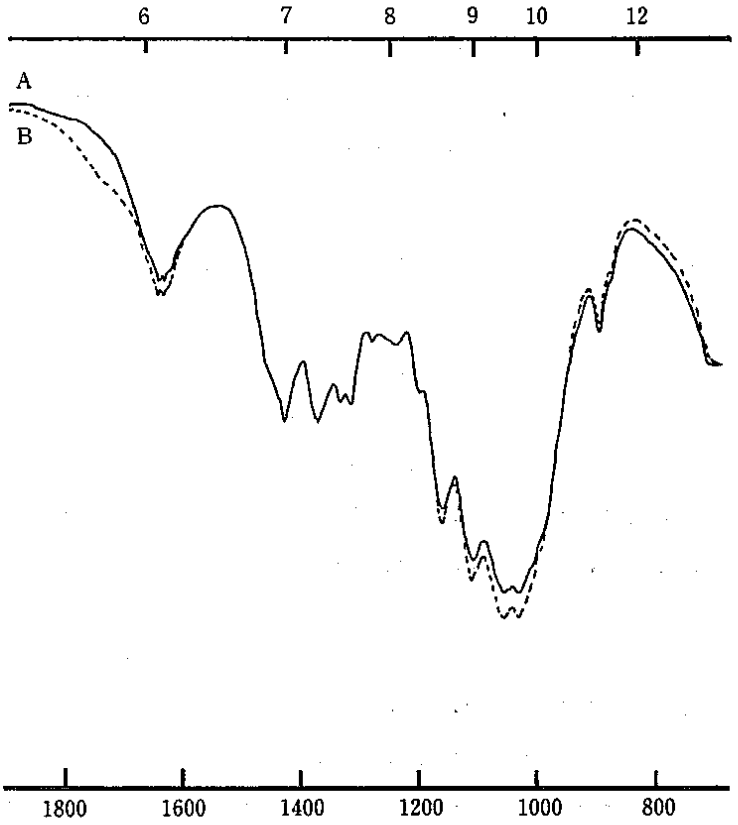


圖 1　未照光（——）及照光（……）省產礬宣之紅外線光譜

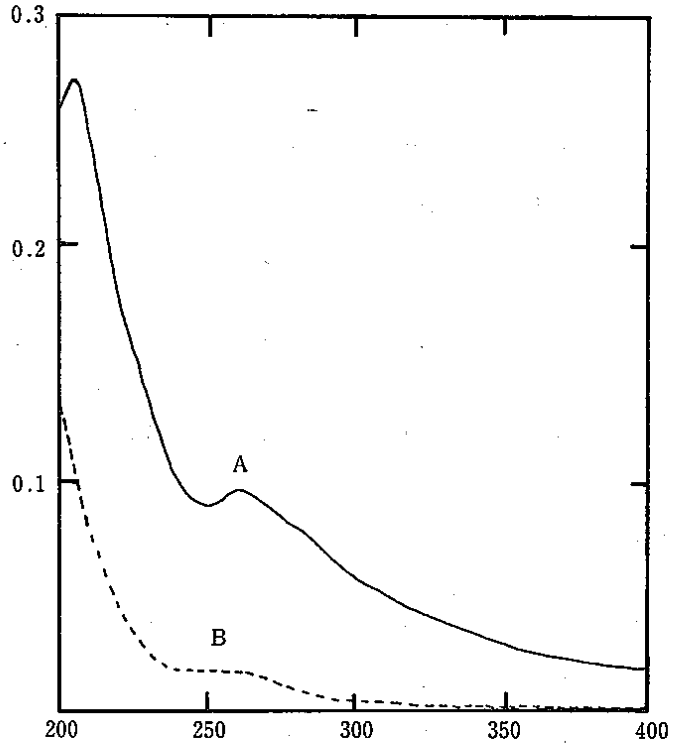


圖 2　經照光後宣紙之水溶液與未經過照光宣紙水溶液之紫外線差異光譜圖。
——，省產礬宣；……，香港玉版單宣。

表3　六種宣紙在不同燈源下照射後之纖維素黏度（mPa．s）

	纖維素黏度，mPa・s					
	香版港單玉宣	台玉灣版仿宣	香版港雙玉宣	省宣產紙	機棉製紙	省礬產宣
對照組	8.2701	7.8725	6.9057	8.3580	11.9205	10.1105
室內光 24星期	6.5281 (78.94)*	5.1584 (65.52)	6.2545 (90.57)	5.7136 (68.36)	9.6556 (81.00)	7.6679 (75.84)
日光燈 24星期	4.1702 (50.43)	2.6249 (33.34)	3.7947 (54.95)	3.0324 (36.28)	5.5493 (46.55)	4.4583 (44.10)
鎢絲燈 24星期	6.7894 (82.10)	5.6380 (71.62)	6.3490 (91.94)	5.8060 (69.47)	10.5181 (88.24)	7.4844 (74.07)
UVCON 32天	4.8576 (58.74)	3.4481 (43.80)	5.2080 (75.42)	5.1639 (61.78)	7.5812 (63.60)	4.7096 (46.58)

*：括號內之值爲與對照組之百分比

表4　六種宣紙在不同燈源下照射後之抗張指數（N・m/g）

		抗張指數，N・m/g					
		香版港單玉宣	台玉灣版仿宣	香版港雙玉宣	省宣產紙	機棉製紙	省礬產宣
對照組		31.96	32.74	32.90	18.25	22.91	24.07
4星期	室內光	30.25	24.28	31.15	16.34	18.37	24.18
	日光燈	28.22	23.52	26.55	14.45	17.28	21.69
	鎢絲燈	29.21	21.99	26.63	14.55	18.09	21.48
24星期	室內燈	31.12	21.54	28.40	12.95	21.12	23.17
	日光燈	25.73	18.47	23.12	10.83	14.55	17.33
	鎢絲燈	31.54	20.95	24.83	15.45	19.18	19.48

下，纖維素的劣化最爲輕微。比較六種測試宣紙，無論在日常室內光、日光燈或鎢絲燈下經過24星期照射後，均以香港玉版雙宣的纖維素黏度變化最爲輕微，其次爲香港玉版單宣及機製棉紙，而變化較爲明顯的爲臺灣仿玉版宣及省產宣紙。

當宣紙置於UVCON 加速照光時，雖然只有32天，纖維素黏度降低的程度亦相當明顯，比經過24星期鎢絲燈照射的結果還要激烈，趨近於經過24星期日光燈照射的結果。其中以香港玉版雙宣的纖維素黏度變化較輕微，而以臺灣仿玉版宣的纖維素黏度變化較激烈。

㈣宣紙之抗張指數之變化

本試驗所測試的六種宣紙之縱向抗張指數不盡相同，省產宣紙僅爲18.25N· m／g，而臺灣仿玉版宣則爲32.74N· m／g（表4）。經過三種不同光源照射24星期後，由於宣紙受到光線之影響而破壞，因此六種宣紙之縱向抗張指數均降低，其中又以日光燈照射之宣紙降低的最爲明顯。六種測試之宣紙當中，則以香港玉版單宣之縱向抗張紙數之變化最爲輕微，而臺灣仿玉版宣之變化最爲明顯。

四、結　論

宣紙很容易受光線之影響而產生劣化，欲使中國書法、國畫藝術流傳千古，選用宣紙時，除了要注意吸墨、色澤等品質外，更應把耐光性列入考慮的項目之一。六種市面上所能買到之宣紙置於不同燈源下進行耐光性試驗，其結論如下：

一、日光燈較鎢絲燈容易誘使宣紙產生劣化，故名家字畫之展示不宜置於近距離之日光燈源下。

二、六種受測試之宣紙在不同燈源下，其性質之變化不盡相同。

三、比較六種宣紙之表面顏色變化，以香港玉版雙宣的色變最爲輕微，而省產礬宣的色變最爲明顯。

四、宣紙經過光線照射後，即產生酸化作用，使得宣紙表面之 pH 值降低，其中以香港玉版單宣之 pH 值變化最爲輕微，而省產礬宣與臺灣仿玉版宣之變化最爲明顯。

五、宣紙經過光線照射後，纖維素受到破壞而使得聚合度降低，其中以香港玉版雙宣的變化最爲輕微，而臺灣仿玉版宣及省產宣紙較爲明顯。

六、比較此六種宣紙之抗張指數，以香港玉版單宣之變化最爲輕微，而臺灣仿玉版宣之變化最爲明顯。

引用文獻

Arney, J.S. and C.L. Novak 1982 . Accelerated Aging of Paper: The Influence of Acidity on the Relative Contribution of Oxygen-Independent and Oxygen-Dependent Processes. Tappi. 65(3):113–115.

Desai, R.L. 1970 . Photodegradation of Cellulose-A Surface Effect. Pulp Paper Mag. Can. 71(14):51–52.

Hon, D.N.-S. and S.-T. Chang 1982 . Participation of Singlet Oxygen in the Photodegradation of Wood Surfaces. Wood Sci. Technol. 16(3):193–201.

Hon, D.N.-S. 1979 . Photo-oxidative Degradation of Cellulose. J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. 17:441–454.

Hon, D.N.-S. 1981 . Yellowing of Modern Papers. In J.C. Williams ed. "Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II". Adv. Chem. Ser. 193: 119–141.

Kringsted, K.P. and S.Y. Lin 1970 . Mechanism in the Yellowing of High-Yield Pulps by Light. Tappi. 53(12):2296–2301.

Leary, G.J. 1967 . The Yellowing of Wood by Light. Tappi. 50(1):17–19.

Leary, G.J. 1968 . The Yellowing of Wood by Light: Part II. Tappi. 51(6):257–260.

Roberson, D.D. 1976 . The Evaluation of Paper Permanence and Durability. Tappi. 59(12):63–69.

Usuda, M. 1984 . The Current Trend of Book Preservation and the Mechanism of Degradation of Paper. Japan Tappi. 38(1): 48–57.