

好檔嘍照—紫外線除菌機應用於紙質文物之妥適性初探

Feasibility of Applying UV Sterilizer on Paper Archives

夏滄琪 Shiah, Tsang-Chy

國立嘉義大學木質材料與設計學系副教授
Associate Professor, Department of Wood Based Materials and Design,
National Chiayi University

許湘澆 Syu, Siang-Ying

國立嘉義大學木質材料與設計學系碩士班研究生
Master Student, Department of Wood Based Materials and Design, National Chiayi University

黃子惠 Huang, Zih-Huei

國立嘉義大學木質材料與設計學系大學部學士
Bachelor, Department of Wood Based Materials and Design, National Chiayi University

陳淑美 Chen, Shu-Mei

國家發展委員會檔案管理局檔案典藏組組長
Division Director, Archives Preservation Division, National Archives Administration,
National Development Council

岩素芬 Yen, Su-Fen

國立故宮博物院登錄保存處處長
Director, Department of Registration and Conservation, National Palace Museum

摘要

現今國內各公、私立圖書館，多購置書籍用紫外線除菌機，以提供讀者借、還書籍時之表面除菌處理。為瞭解紫外線照射劑量對於圖書滅菌效果及紙張性質之影響，本研究以紫外線除菌箱為例，探討紫外線照射對於圖書之黴菌及細菌滅菌效果，並觀察經 UV 照射處理後對紙張之性質影響。由黴菌培育試驗結果知：隨 253.7nm 波長 UV 燈照射時間增長，確實可減緩測試菌種之生長速度。大腸桿菌 (*Escherichia coli*) 菌液經 UV 燈照射 200 sec 處理時對 1×10^5 (CFU/mL) 菌量及 120 sec 處理時對 1×10^7 (CFU/mL) 菌量可達到完全滅菌成效。經測定 UV 照射後之紙張白度、色差值知：隨 UV 照射時間增長，造成紙張白度顯著下降，色差值 (ΔE^*) 顯著增加。圖書實際試驗結果顯示，除菌機對書籍上之黴菌滅菌效果不佳，仍有萌發情形。

Abstract

Recently, more and more public and private libraries purchase UV sterilizer for books so as to enable readers to use whenever they want to. This report not only examines the effect of UV sterilizer to commonly books fungus and bacteria, but also observes the effect of UV sterilizer on paper. The result shows that UV sterilizer can retard fungus growth. The growth rate decreases as exposing time increases. The result of bacteria test shows that UV sterilizer can disinfect *Escherichia coli* completely. The bacteria liquid 1×10^5 (CFU/ mL) and 1×10^7 (CFU/ mL) can disinfect after 120 sec and 200 sec of exposure respectively. Six kinds of paper samples after exposure by UV sterilizer, the result shows that with the increase of UV irradiation time, the whiteness of the paper showed a significant decrease, and the color difference (ΔE^*) increased significantly, and the aging sample shows significantly color difference. The test on books shows that UV sterilizer could not wipe out fungus completely, there's still possibility for mold to germinate.

關鍵字：紫外線除菌機、圖書紙質、黴菌、細菌

Keywords: UV sterilizer, paper of books, fungus, bacteria

壹、前言

繼先人蔡倫改良造紙技術之後，紙張的發展及流通改善了人類的生活方式，無論是時間與空間上的傳遞中皆便利許多。現今大部分圖書以紙質為材料，而紙質文物會因人為或是天然的因素劣化，造成保存上困難，紙質的劣化如：變色、蟲蛀、黴害、紙力弱化等。

圖書、檔案文物是人類重要的文化資產，然而近代圖書文物因儲藏環境及自然劣化之影響，正面臨消失危機。因此，適當之修護及保存以延長使用年限，是現今對於圖書文物維護最重要的課題(黃結財，1992)。圖書館為保存重要知識文化的場所，故圖書館對於圖書的維護必須相當重視。近年來國內有許多公、私立圖書館紛紛設置書籍的「紫外線除菌機」(以下簡稱除菌機)提供讀者使用，據統計，目前約有 200 多台紫外線除菌機設置於公共圖書館內，其目的為避免公用書籍在流通過程中夾帶危害人體的細菌，而圖書上的黴菌，為常見圖書微生物損害，真菌毒素對人體也會造成不良影響。紫外線對纖維材質之文物之破壞力甚大，故須謹慎使用(周寶中，2000)，以避免影響圖書檔案的維護。對此，吾人藉由研究除菌機對於書籍劣化與抗黴抗菌性之

效果，以探討設置於除菌機之妥適性。

本研究之目的為探討除菌機之滅菌效果，藉由改變照射劑量進行滅菌處理，嘗試尋找有效滅菌劑量，並探討該設備建議之劑量是否能達到良好效果，以及分析除菌機紫外線輻射對紙質之劣化程度，及滅菌處理強度之關係。

貳、文獻回顧

一、紙質文物常見之黴害

圖書館、檔案室常因保存環境不良而致黴菌生長，熱帶、亞熱帶區域常處於高溫、高濕環境下，因而助長微生物的生長，只需在環境溫、濕度條件符合情況下，黴菌遂可在基質上進行代謝作用，使其產生黴害。黴菌污染之書本、檔案文件可能對人類健康帶來危害，亦會使古老和珍貴的書籍腐朽(Gonzalez *et al.*, 2002)。黴菌對文物之危害機制，可以分為直接破壞及間接破壞兩種，直接破壞係破壞文物材質作為養分利用、菌落生成色素造成文物汙染及黴菌在新陳代謝中所產生的有機酸腐蝕文物，而黴菌在新陳代謝中所產生的熱量，亦會加速文物裂化速度，為間接破

壞(解惟棠, 2009)。紙張主要組成為纖維素、半纖維素, 為碳水化合物, 可提供真菌生長所需的營養物質, 故只要在適當的環境發育, 就會造成書籍發霉。真菌通常為造成紙質降解的生物劣化, 透過纖維素水解酶的作用溶解纖維素纖維, 或生成色素、有機酸, 使紙質文物材質變色並引起嚴重損害(Michaelsen *et al.*, 2009), 造成紙質文物色斑汙染、腐蝕、脆裂。真菌包含生殖菌絲體及營養菌絲體, 造成損害之形式為生殖菌絲體藉由空氣流通及產生孢子, 營養菌絲體則附著於基質中, 藉由吸收分解基質獲得養分, 所生長之菌絲隨著持續生長而分枝, 相互纏繞形成菌絲體結構(夏滄琪, 2000)。

圖書館常見之黴菌為 *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Alternaria*, *Paecilomyces*, *Neurospora* 等屬腐生黴菌為最常見(蔡文城、顧蕙祺, 1995)。

紙質常見之黴菌有: 黃麴菌、黑麴菌、桔青黴、綠色木黴、毛殼黴屬、芽枝黴屬(蔡佳足, 2009), 楊盛行(1997)確認污染紙張材質之黴菌為 *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium expansum*, *Cladosporium globosum*, *Trichoderma viride*, *Cladosporium herbarum* 等。

解惟棠(2009)之研究中指出, 由典藏機構庫房內之空中落菌中發現, 其中 *Aspergillus* (32.61%), *Penicillium* (18.99%), *Cladosporium* (18.55%) 以及 *Curvularia* (6.23%) 四屬呈現比例較高之優勢菌種。空中真菌相因季節性而變化, 且影響空中真菌相之菌種與孢子量(Medrela-Kuder, 2003)。

二、圖書處理黴害方法

圖書處理黴害方法有許多種, 基本可分為化學法、低溫法、低氧法以及 Co-60 γ -射線等。

目前圖書處理方法多採用化學法及物理法, 而幾種物理方法當中, 低溫冷凍法僅可暫時使黴菌活性降低, 卻無法達到滅菌成效。環氧乙烷處理法雖然對紙質之特性變化微小, 但其具殘留毒性且有致癌疑慮, 影響館員健康而被禁用; 燻蒸法是以瑞香草酚(Thymol)或是對二氯苯(Paradichlorobenzene, PDB)作為殺菌劑, 前者毒性低, 但其燻蒸較費時, 視霉害情況而耗費一天至一星期不等; 後者雖較溫和, 但其燻蒸時間更長, 且兩者皆不具備防禦黴菌的能力, 當黴菌再度滋生就必須再進行燻蒸處理, 且瑞草香酚及對二氯苯皆具毒性, 對人體有害, 操作時需做好防範措施(盛美雲, 1991)。

景正等人(2006)係以探討以臭氧保護檔案圖書文獻, 臭氧滅菌具操作方便、環保性、高效性、壽命長且具理想滅菌效果之特點, 但其造成的氧化及褪色為不足之處, 故為檔案圖書維護所忌諱。

輻射處理(γ -射線)為有效、程序簡單易行, 無殘毒、兼具有安全衛生及特有的殺菌除蟲能力、快速以及可於短時間內大量處理黴害, 可應用於受水災之書籍, 其對紙張之性能的影響, 為近年來研究所關注者。夏滄琪(2015)便曾以 Co-60 γ -射線照射 2008 年卡玫基颱風受水損圖書 4000 冊之黴害滅菌處理。 γ -射線照射水損書黴斑滅菌效果良好, 可充分達於滅菌效果, 成效良好。以輻射方式滅菌, 係考慮水損書籍數量及處理之效率, 非通案性皆需採用, 因放射線劑量過多亦可能造成紙張纖維之直接破壞, 故對此技術使用於重要文物需特別審慎。微生物的防治是文物保護科學技術工作中, 一項具有長期性、普遍性的任務。高效、安全、低毒、簡易的防霉滅菌技術, 尤其是新型長效防霉劑的研製, 仍有待未來繼續發展(夏滄琪, 2007)。

三、紫外線滅菌原理

紫外線之波長介於 400 至 230 nm，其中依波長及臭氧吸收的程度分為三類，分別為：UV-A (400-320nm)、UV-B (320-280nm) 及 UV-C (280-230nm)。UV-A 亦稱近紫外線，對生物體傷害小，具誘導生物體激活 DNA 修復酶，可修復 DNA 之損傷，稱為光復活作用，可用於醫學上的治療；UV-B 亦稱中紫外線，對生物體傷害性較前者強，但太陽輻射中之 UV-B 大部分(約 98.9%) 輻射在進入大氣時會被臭氧層吸收，僅 1.1% 的輻射量可達地球表面(王自存等，2005)；短波長的 UV-C 破壞力最強，亦稱遠紫外線，生物分子之核酸與蛋白質在此範圍具強吸光性，故 UV-C 對生物體傷害性最強，1965 年 Sykes 等人發現波長介於 240-280 nm 之間有殺菌的效果，即屬於 UV-C。紫外線利用游離性的電磁輻射，破壞其生命中樞 DNA (去氧核糖核酸) 及 RNA (核糖核酸) 的結構，使得構成該微生物體的蛋白質無法形成，使其立即死亡或喪失繁殖能力(葉純宜等，2005)。崔素英(2005) 利用紫外線消毒觀察空氣中細菌變化量，經照射 90 min 後空氣中細菌數量較照射前有顯著下降，但細菌數量隨時間增長及人員流通後回復至原有細菌量 71% 以上，故建議採用紫外線消毒法之環境每日應進行 2 次間隔消毒。

以殺菌為目的之醫療用或非醫療用紫外線燈，為使用 UV-C 範圍紫外線之紫外燈，波長接近 254 nm (劉卓文等，2005)。一般無菌室、接菌室、接菌箱內裝置之紫外線燈管，照射 20 至 30 分鐘即可殺死空氣中之微生物。在所有微生物中對紫外線之抵抗能力，以革蘭氏陰性桿菌最敏感，最容易滅除，其次為葡萄球菌屬、鏈球菌屬及細菌孢子，黴菌孢子之抵抗性最高(葉純宜等，2005)，然而，紫外線穿透力弱，水、玻璃或甚至是厚紙，皆能濾除大量的紫外線，且

紫外線對孢子、芽孢等抵抗力較強之物作用不大，故只適用於物體表面及空氣殺菌(陳旭健，2000)。

四、紫外線對紙質之影響

以紙張而言，光線除了會分解木質素外，尚會分解纖維素、半纖維素及存在纖維中之碳水化合物、蠟、油脂、樹脂，而影響紙張保存性(林郁卉，1988)。紫外線為誘發紙漿或紙張產生光黃化的主要因素。紙質文物之黃化、變色之主要原因為發色團，纖維素經由紫外線及氧氣結合形成之光化學效應，經由羰基形成酮基(形成於 C2、C3 的碳原子位置上發生)、醛基(形成於 C6 的碳原子位置上或 C2、C3 位置之鏈結段裂開環形成)及羧酸基(C1、C2、C3、C6 的碳原子氧化形成)；半纖維素在未氧化之情況下不會引起顏色變化，而在氧化或水解時導致黃化現象，半纖維素水解時，可能由單醣類形成糠醛，為紙張黃化之先驅物(夏滄琪，2000)；木質素在黃化反應中扮演之角色影響最大，木質素為一種不定形芳香族化合物，對氧化反應極為敏感，環境中存在氧氣時，紫外線會誘發黃化反應。木質素會吸收紫外線能量，張上鎮(1985) 指出其主要吸收光能之官能基分為下列三種：芳香 α -羰基類(aromatic α -carbonyl groups)、共軛環碳碳雙鍵(ring-conjugated carbon-carbon double bonds) 及駢苯類(biphenyl structures)。吸收光能後進行化學反應，形成鄰苯醌(o-quinonid) 及對苯醌(p-quinonid) 等著色結構，而造成紙張黃化(曾楛敬，2005)。

紫外線會將紙張中成分之化學鍵破壞，紙質長時間曝露於紫外線中，會引發光解作用，使纖維素、半纖維素、木質素分子主鏈上的 C-C 鏈及 O-C 鏈斷裂，使分子間的聚合度下降(徐美文，2012)，造成紙質脆化、強度弱化。除此之外，

紫外線對紙質之破壞亦會引起光敏降解極光氧化作用。紫外線對纖維材質之文物之破壞力甚大，故須謹慎使用(周寶中，2000)。

五、紙質之劣化性質顏色變化評估

根據 1976 年國際照明委員會 (Commission International de l' Eclairage, CIE) 制定，色彩體系 L*、a*、b* 三參數表示物體之顏色。顏色變化差異以色差值 (ΔE*) 表示，公式為：

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

L* 值表示為明度，數值趨近 100 表示愈白，趨近 0 則為愈黑；a* 及 b* 表示彩度值，a* 值為紅綠對立之維度，趨往正值表示接近紅色，趨往負值表示接近綠色；b* 值為黃藍對立之維度，趨往正值表示接近黃色，趨往負值表示接近藍色，如下圖所示：

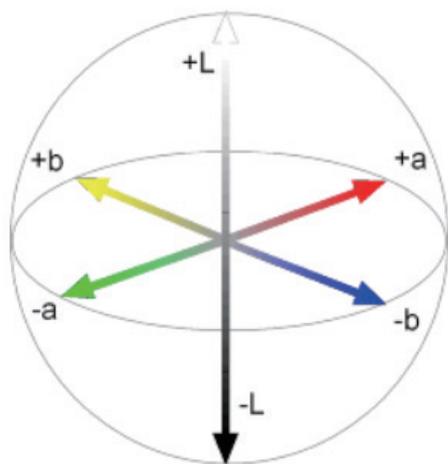


圖 1. CIE LAB 色彩空間示意圖

資料來源：http://www.appstate.edu/~steelekm/classes/psy3215/ColorModels/cie_lab.html

此外，The Post-Color Number (P. C. No.) 也常用於測定紙張劣化變色的指標之一。公式為：

$$k/s = (1 - R_{457})^2 / 2R_{457}$$

k：吸收係數

s：散射係數

R₄₅₇ = 於 457 nm 光波長下測得之紙張反射率

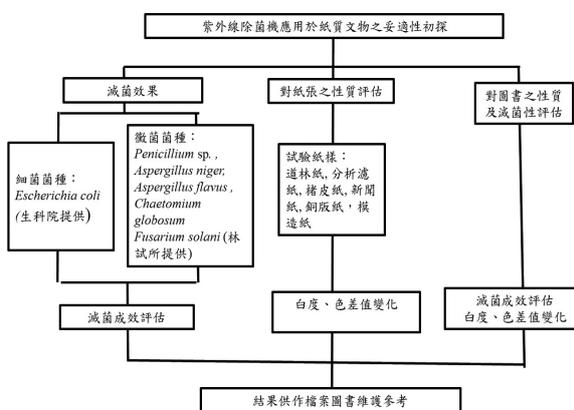
$$P.C.No. = 100[(k/s)_2 - (k/s)_1]$$

其中 (k/s)₁ 為劣化前數據，(k/s)₂ 為劣化後數據，P.C. No. 值越高表示回色越強。

參、試驗材料與方法

本研究以除菌機為例，探討紫外線照射對於圖書檔案，其紙質影響及真菌、大腸桿菌之滅除效果。

本試驗流程圖如下：



一、試驗材料與儀器

(一) 試驗儀器：

1. 生物安全操作台／無菌無塵操作台 (CLEAN BENCH)
2. 溫度控制箱／低溫恆溫培養箱 (Incubator DBL60)
3. 高壓消毒器／高壓滅菌釜 (SPEEDY AVTOCLAVE)
4. 震盪培養箱 (FLRSTK S300R)
5. 熱風循環烘箱 (Circulator Oven D045)
6. 色差儀 (GHROMA METER GR-400)
7. 白度計 (REFLECTOMETER TC-6D)
8. 紫外線除菌機 (STFRILIZER HUV_

C01)

9. 紙張抗張試驗機 (Tokyo Japan 4L9264861)
10. FT-IR (Digilab FS3000)
11. PIA 影像分析計測系統 (FS-180U)
12. 紫外線強度測定儀 (ELS 764 UV+ Monitor)
13. QUV 耐候試驗機 (QUV/basic)

(二) 培養基：

1. 黴菌培養基：

馬鈴薯葡萄糖瓊脂 (Potato dextrose Agar, PDA)，以 15.6 g PDA 加入 400 mL 蒸餾水，後加入高壓滅菌釜滅菌待冷卻，即可作黴菌培養使用之培養基。

2. 細菌培養基：

LB 培養基 (Lysogeny broth, LB)，以 4 g NaCl、4 g Trypton、2 g Yeast Exatit Powder、0.4 g Glucose、100 μ L NaOH (4N) 配方配製，加入 400 mL 蒸餾水，後加入高壓滅菌釜滅菌待冷卻，即可作大腸桿菌培養用之液體培養基。

LA 培養基 (Lysogeny Agar, LA)，以 3 g Agar、4 g NaCl、4 g Trypton、2 g Yeast Exatit Powder、0.4 g Glucose、100 μ L NaOH (4N) 配方配製，加入 400 mL 蒸餾水，後加入高壓滅菌釜滅菌待冷卻，即可作大腸桿菌培養用之固態培養基。

肉湯液態培養液 (Mueller-Hinton Broth, MHB)，以 8.4 g MHB 加入 400 mL 蒸餾水，後加入高壓滅菌釜滅菌待冷卻，即可作大腸桿菌試驗用之液體培養基。

肉湯培養基 (Mueller-Hinton Agar, MHA)，以 8.4 g MHB、0.5 g Agar 加入 400 mL 蒸餾水，後加入高壓滅菌釜滅菌待冷卻，倒入培養盤後即可作大腸桿菌試驗用之固態培養基。

(三) 黴菌菌種：*Penicillium sp.*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Chaetomium globosum* *Fusarium solani* (林試所提供)

(四) 細菌菌種：*Escherichia coli* (國立嘉義大學生科院提供)

(五) 試驗紙樣：參酌一般圖書館典藏書籍之紙張種類，本研究採用試驗之紙樣如下：道林紙 (基重：81.66 g/m²)、分析濾紙 (基重：90.74)、楮皮紙 (基重：16.50 g/m²)、新聞紙 (基重：65.66 g/m²)、銅版紙 (基重：142.69 g/m²)、模造紙 (基重：84.90 g/m²)

二、試驗方法

(一) 黴害圖書分析

採取國立嘉義大學之黴害圖書每種紙質材料同一書籍各兩本以為重複。封面、封底、裡頁、內頁、底頁及書頭、書根、書背、書口，以透明膠片覆蓋並標註兩點明顯黴害區域及一點空白區域，紀錄採樣位置。以滅菌棉花棒塗抹擦拭標記位置，再接種於 PDA 培養基上，並標示後，將 PDA 培養基送至培養箱 (25 $^{\circ}$ C，無光照環境) 進行培養，數日後純化菌種並鑑別。取樣書籍為五樓國學叢書區：漢書〈卷二十二至卷二十三〉、明史〈卷三百九至卷三百十一〉；二樓過

刊區：中國論壇、中國園藝；地下室
庫房：木材氣乾及窯乾實務、民族與
歷史，共 6 本圖書。

(二) 除菌機對黴菌之滅菌效果評估

取孢子懸浮液調整為 $1 \times 10^{4.5}$ 個 / mL 後，吸取 10 mL 懸浮液至乾淨培養皿。將滅菌紙錠以小攝子夾至懸浮液中浸泡 15 min，浸泡後以小攝子夾取至滅菌分析濾紙上吸取多餘水分後，置於乾淨培養皿內。將培養皿置於除菌機內滅菌，滅菌處理分為未處理(0次)、40 sec(1次)、400 sec(10次)、800 sec(20次)、1,200 sec(30次)、1,600 sec(40次)，分別於照射次數後迅速蓋上蓋子移入無菌操作台，接種於 PDA 培養基上，於 25 °C 無光照之培養箱培養，以觀察其生長情形。

(三) 除菌機對大腸桿菌之滅菌效果評估

取大腸桿菌菌量 1×10^7 (CFU/mL) 及 1×10^5 (CFU/mL) 之菌液，以 10 μ L 滴取至滅菌紙錠上後靜置 15 min，置於乾淨培養皿內。將培養皿置於除菌機內滅菌，滅菌處理分為未處理(0次)、40 sec(1次)、80 sec(2次)、120 sec(3次)、160 sec(4次)、200 sec(5次)、240 sec(6次)、280 sec(7次)、320 sec(8次)、360 sec(9次)、400 sec(10次)、800 sec(20次)，每照射完設定次數後迅速蓋上蓋子移入操作台，接種於 MHA 培養基上，於 37 °C 無光照之培養箱培養 18 hr 後，觀察其生長情形。

(四) 除菌機照射對紙張白度、P.C. No. 及色差值之影響

將各紙樣裁切成 $5 \times 9 \text{ cm}^2$ 大小並在其上面畫四個 50 元(約 2.8 cm)硬幣大小的圓後，將紙樣送至除菌機內進行照射處理，照射次數設定為：未處理(0次)、40 sec(1次)、400 sec(10次)、800 sec(20次)、1,200 sec(30次)、1,600 sec(40次)，達照射次數後以白度計及色差儀測量，測定紙樣之白度、P.C. No.、 $L^*a^*b^*$ 顏色值之變化。

(五) 除菌機照射對經加速劣化之紙張白度、P.C. No. 及色差值之影響

為探討除菌機對已劣化之紙張影響，將各紙樣裁切成 $5 \times 9 \text{ cm}^2$ 大小並在其上面畫四個 50 元硬幣大小(約 2.8 cm)的圓以作為測試位置，將紙樣送 QUV 紫外光加速劣化試驗機以 UVB 照射 72 hr 進行加速劣化處理後，至除菌機內進行照射處理，照射次數設定為：未處理(0次)、40 sec(1次)、400 sec(10次)、800 sec(20次)、1,200 sec(30次)、1,600 sec(40次)，達照射次數後以白度計及色差儀測量，測定紙樣之白度、P.C. No. (Tongrer, 1938)、 $L^*a^*b^*$ 顏色值之變化。

(六) 大腸桿菌模擬圖書環境存活試驗

取大腸桿菌菌量 1×10^5 (CFU/mL) 之菌液，以定量滴管 10 μ L 吸取滴入至滅菌紙錠上後置於乾淨培養皿內並分為有蓋(密封)組及無蓋(開放)組，至於室內環境 1、10、30 日，再接種於 MHA 培養基上，於 37 °C 無光照之培養箱培養 18 hr 後，觀察其生長情形。

(七) 除菌機對圖書之滅菌效果及色差值、白

度影響

選取國立嘉義大學蘭潭校區圖書館地下室(高職國文)、2樓過刊區(明史目錄)、5樓國學叢書區(古今禪藻集之四),照射次數設定為:未處理、40 sec、1,600 sec,達照射條件後以滅菌棉花棒塗抹擦拭書頭、封底、內頁位置,再接種於 PDA 培養基上,25 °C 無光照之培養箱培養,觀察其生長情形。同時檢測圖書之色差值、白度。

肆、結果與討論

一、圖書落菌調查及圖書徵害分析

本試驗徵害書籍經純化分離後,經鑑定分屬於下列菌種:*Penicillium* sp.、*Alternaria* sp.、*Aspergillus flavus*、*Aspergillus niger*、*Fusarium culmorum*、*Fusarium oxysporum*、*Mucor* sp.、*Colletotrichum* sp.、*Arthrinium marii*、*Cladosporium cladosporioides*、*Penicillium citrinum*、*Cladosporium perangustum*、*Penicillium janthinellum*、*Cladosporium* sp.、*Cladosporium perangustum*、*Penicillium virgatum*、*Fungal endophyte* sp.、*Penicillium pulvillorum*、*Penicillium chermesinum*、*Cladosporium halotolerans*、*Myrmecridium flexuosum*、*Fusicladium* sp.、*Aspergillus versicolor*、*Fungal endophyte*、*Eutypa* sp.、*Xylariales* sp.,其中以 *Penicillium* sp. 與 *Alternaria* sp. 所占比例最高,結果如圖 2 所示。圖書館徵害書籍之採樣,發生徵害位置大多為圖書表面,其中以封底、封面、書頭及書底部位為主。地下室落菌以 *Penicillium* sp. 為大部分,五樓國學叢書區則

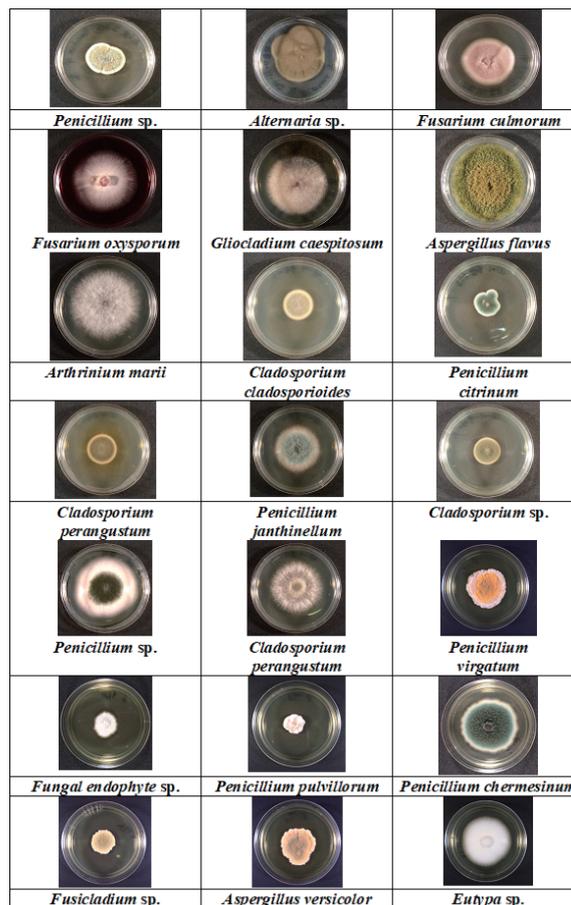


圖 2. 國立嘉義大學之徵害書籍採樣結果

以 *Alternaria* sp. 為多數,二樓過刊區則較無落菌情形,研判係因有空調之過濾網及溫溼度控制之故。

二、除菌機對徵菌之滅菌效果

對徵菌之滅菌效果,發現對於 *Fusarium solani* (鐮孢菌)之抑菌效果良好,照射 400 sec 即可達到良好抑菌成效,而 *Chaetomium globosum* (球毛殼菌)抑菌效果最差,照射 1,600 sec 仍無法減緩其生長速率,推測其生長構造之莖膜可能遭受紫外線照射後破壞,反而促進其生長。*Aspergillus niger* (黑麴菌)僅有生長減緩之情形,*Aspergillus niger* 照射 1,600 sec 之樣本在 72 hr 內萌發,*Aspergillus flavus* 照射 1,600 sec 之樣本經 96 hr PDA 培養仍無萌發情形,*Penicillium* sp. (青黴菌)照射劑量 1,200

表 1. 經除菌機照射後黴菌之生長情形

<i>Aspergillus niger</i>	未處理	40 sec	400 sec	800 sec	1200 sec	1600 sec
24 hr	+	+	-	-	-	-
48 hr	1+	1+	+	+	+	-
72 hr	2+	2+	1+	1+	1+	+
96 hr	3+	3+	2+	2+	2+	1+
<i>Aspergillus flavus</i>	未處理	40 sec	400 sec	800 sec	1200 sec	1600 sec
24 hr	+	+	-	-	-	-
48 hr	1+	1+	+	+	-	-
72 hr	2+	2+	1+	+	+	-
96 hr	4+	3+	2+	1+	1+	-
<i>Penicillium sp.</i>	未處理	40 sec	400 sec	800 sec	1200 sec	1600 sec
24 hr	+	-	-	-	-	-
48 hr	1+	+	-	-	-	-
72 hr	1+	1+	+	-	-	-
96 hr	2+	1+	1+	+	-	-
<i>Chaetomium sp.</i>	未處理	40 sec	400 sec	800 sec	1200 sec	1600 sec
24 hr	+	+	-	-	-	-
48 hr	1+	1+	+	+	+	+
72 hr	3+	3+	2+	2+	2+	2+
96 hr	4+	4+	4+	4+	3+	3+
<i>Fusarium solani</i>	未處理	40 sec	400 sec	800 sec	1200 sec	1600 sec
24 hr	-	-	-	-	-	-
48 hr	1+	+	-	-	-	-
72 hr	2+	1+	-	-	-	-
96 hr	3+	2+	-	-	-	-

註：“+”代表有菌絲萌發，“1+”表示黴菌生長面積佔培養皿盤 20%，“2+”表示黴菌生長面積佔培養皿盤 40%，“3+”表示黴菌生長面積佔培養皿盤 60%，“4+”表示黴菌生長面積佔培養皿盤 80%。

sec 照射後 96 hr 仍無菌絲萌發，顯示照射劑量增加僅能減緩其生長速率，且不同菌種可達到之滅菌劑量不同，未來仍有可能會繼續生長。本結果顯示紫外線對於部分真菌無法達到完全滅菌效果。

三、除菌機對大腸桿菌之滅菌效果

大腸桿菌 (*Escherichia coli*) 為艾歇利希氏菌屬之腸道桿菌科，葛蘭氏陰性菌，一般生長範圍為 7 至 43 °C，37 °C 為最適溫度，pH 值範圍為 4.4 至 9.0。大腸桿菌為人類及動物腸胃道中常見需氣菌，其中有五型可引起腹瀉 (陳吉平，1995)。感染引發症狀包含：腹瀉、嘔吐、腹絞痛、噁心倦怠、高燒甚至休克死亡。大腸桿菌之感染途徑藉由人體或動物大量排出體外，於衛生不良區域進入水源或汙水遍布環境，因此可作為飲水及食品安全檢查之指示菌 (詹前朕，1991)。圖書館界為滅除致病細菌而採用除菌箱對大腸桿菌進行滅菌處理，為評估其滅

菌效果，故本研究進行大腸桿菌生長觀察試驗。

實驗結果由圖 3 顯示，大腸桿菌菌液菌量 1×10^7 (CFU/ mL) 濃度及 1×10^5 (CFU/ mL) 濃度經照射後培養結果，兩種濃度於照射 40 sec 後仍有大腸桿菌生長，顯示該照射計量並無法達到滅菌效果，而照射 200 sec 後經培養後皆無大腸桿菌生長，可知菌液 1×10^7 (CFU/ mL) 經照射 200 sec 可達到明顯滅菌成效；菌液 1×10^5 (CFU/ mL) 則在照射 120 sec 後可達到滅菌之效果。

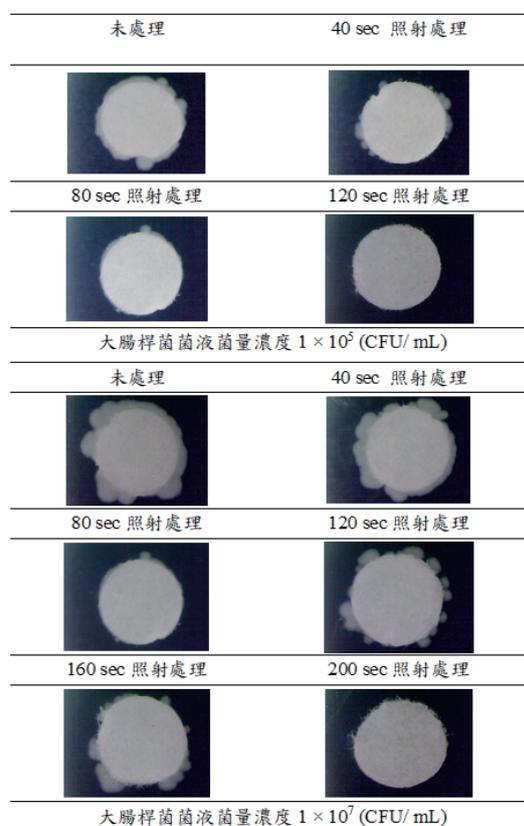


圖 3. 除菌機對大腸桿菌之滅菌效果 (50X)
註：37°C 無光照 MHA 培養基培養 18 hr 後。

四、UV-C 照射對紙張白度及色差值之影響

由紙樣白度及 $L^*a^*b^*$ 色差值之測定顯示，6 種紙樣中之色差值 ΔE^* 大小可得知紙樣經 UV-C 照射後的顏色差異程度 (圖 7)，由 $L^*a^*b^*$ 值之變化可知，各紙樣之顏色朝向黃色 (+ b^* 方向) 及綠色 (- a^* 方向) 發展， a^* 值以

道林紙及模造紙有下降之趨勢(如圖 5 所示), b^* 值中銅版紙、新聞紙以及楮皮紙黃化程度較明顯(如圖 6 所示), 皆大幅往正值(黃色)上升, 顯示紙張黃化, 其原因可能為紙漿成分中含有較多木質素。明度(L^* 方向)變化較小, 僅有小幅下降趨勢, 如圖 4 及表 2 所示。照射對白度及色差之結果如表 2 所示, 隨累積照射時間增長, 所有紙樣之色差值越大, 六種測定紙樣中, 模造紙(ΔE^* 值為 2.34)及道林紙(ΔE^* 值為 2.27)之色差值較為顯著。白度除了分析濾紙變化較小之外, 其他紙樣模造紙、銅版紙、新聞紙、楮皮紙及道林紙皆呈現顯著的下降趨勢, 試驗結果如表 2 及圖 8 所示。

表 2. UV-C 照射對紙質白度及色差值之影響

紙樣	照射時間 (sec)	白度 GB %	P.C. No.	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
楮皮紙	未處理	69.3		91.68	0.97	10.33	
	40	67.8	0.85	91.53	0.93	10.48	0.23
	400	66.5	1.64	91.18	0.83	11.00	0.86
	800	64.2	3.18	91.07	0.91	11.05	0.96
	1200	65.1	2.55	90.96	0.88	11.21	1.15
	1600	64.4	3.04	90.88	0.88	11.33	1.29
模造紙	未處理	86.7		92.72	1.07	-2.43	
	40	86.6	0.02	92.62	0.95	-1.81	0.65
	400	85.3	0.25	92.57	0.77	-0.80	1.67
	800	84.8	0.34	92.60	0.67	-0.33	2.14
	1200	84.9	0.32	92.66	0.63	-0.07	2.40
	1600	84.8	0.34	92.71	0.57	-0.15	2.34
銅版紙	未處理	83.6		93.19	0.82	2.34	
	40	81.8	0.42	93.14	0.80	2.39	0.07
	400	80.5	0.75	92.98	0.78	2.65	0.38
	800	79.6	1.01	92.88	0.80	2.81	0.56
	1200	79.0	1.18	92.84	0.75	2.91	0.67
	1600	78.4	1.37	92.79	0.72	3.01	0.78
分析濾紙	未處理	91.8		97.21	-0.06	2.30	
	40	91.4	0.04	97.19	-0.07	2.44	0.15
	400	91.1	0.07	97.16	-0.10	2.46	0.17
	800	91.2	0.06	97.21	-0.10	2.41	0.12
	1200	91.4	0.04	97.24	-0.09	2.33	0.07
	1600	91.7	0.01	97.28	-0.08	2.29	0.07
新聞紙	未處理	50.4		80.72	1.22	9.45	
	40	48.4	3.10	80.57	1.18	9.58	0.22
	400	46.7	6.01	80.31	1.11	9.94	0.65
	800	45.1	9.01	80.15	1.24	9.98	0.78
	1200	45.5	8.23	80.02	1.21	10.45	1.23
	1600	44.5	10.20	79.99	1.24	10.37	1.17
道林紙	未處理	88.1		91.32	1.13	-4.67	
	40	87.6	0.07	91.26	1.03	-4.27	0.42
	400	86.0	0.34	91.20	0.77	-3.36	1.36
	800	85.6	0.41	91.18	0.63	-2.73	2.01
	1200	85.0	0.52	91.20	0.53	-2.62	2.14
	1600	84.7	0.58	91.23	0.46	-2.50	2.27

註：照射 1 次之劑量實測為 16.05 mw/m²。

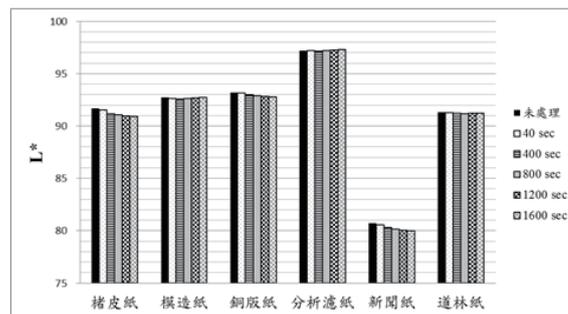


圖 4. 各紙樣經除菌機處理後之 L^* 值變化

五、除菌機照射對經加速劣化之紙質白度及色差值之影響

經 QUV 耐候試驗機以紫外燈劣化 72 hr 之各紙樣照射對白度及 P.C. No. 之結果如表 3 所示。紙樣之白度(圖 9)銅版紙、新聞紙、道林紙有下降趨勢。六種紙樣中經除菌機照射後的顏色差異程度, P.C. No. 值除分析濾紙外其他紙樣皆有明顯變化情形, 分析濾紙變化較不明顯, 可能因其製造成分為純纖維素故無明顯反應。紙樣中新聞紙變化較為顯著, 與未經劣化處理者相當, 其他紙樣與未經劣化者相比較, 顯示變化值較小。顯示除菌機對於已劣化之紙樣, 雖然造成之色差影響較小, 但仍會造成劣化。另外, 從白度變化結果發現, 紙樣中的楮皮紙、模造紙和分析濾紙, 似有非連續性反應之變化情形, 是否與材質等因素有關, 仍有待後續再做進一步研究分析。

六、大腸桿菌模擬圖書環境存活試驗：

為瞭解大腸桿菌存活於圖書紙質上之可能情形, 本研究觀察大腸桿菌於開、關蓋培養基之 30 天內存活狀態。本試驗結果顯示(圖 10), 開蓋的樣本於 1 天、10 天、30 天皆無大腸桿菌生長情形, 顯示開蓋 1 天暴露於環境中及無法生存, 而加蓋之樣本 1 天、10 天、30 天皆有大腸桿菌仍會生長, 但隨放值時間增長, 菌落生長速率有

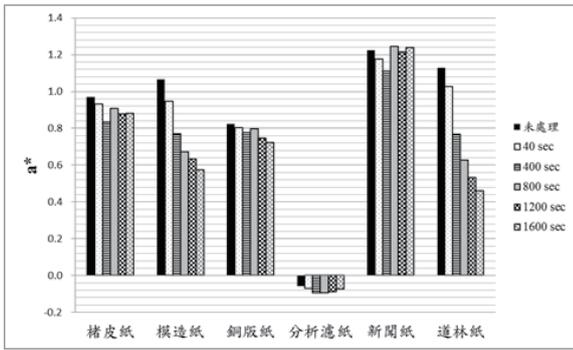


圖 5. 各紙樣經除菌箱照射後之 a* 值變化

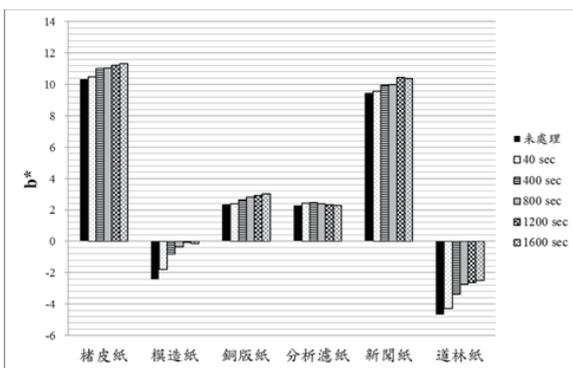


圖 6. 各紙樣經除菌機處理後之 b* 值變化

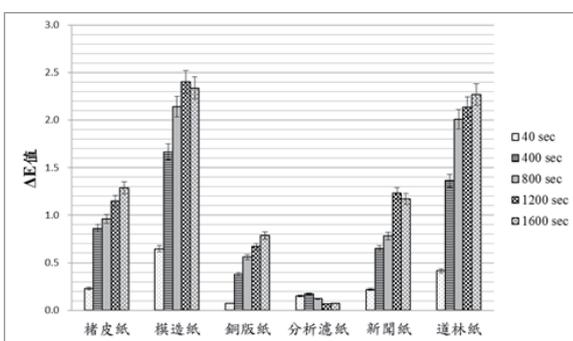


圖 7. 各紙樣經除菌機處理後之色差值變化

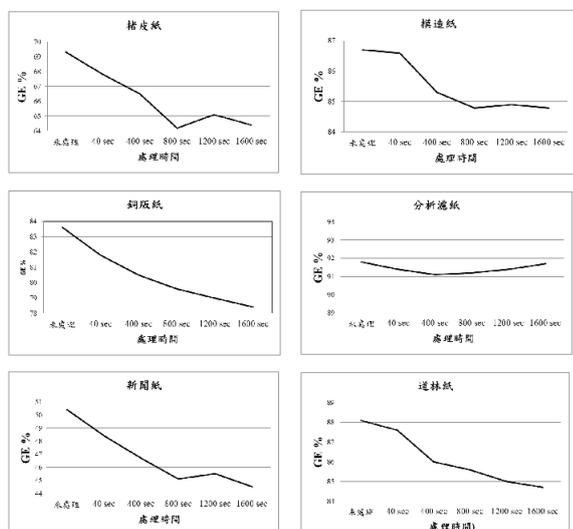


圖 8. 各紙樣經除菌機處理後之白度變化

減緩趨勢，達 30 天之樣本存活之菌落數微乎其微，顯示大腸桿菌於開放環境中無法生存，可能為空氣中的真菌與其抗衡，且大腸桿菌於密閉中存活時間不長，故大腸桿菌於透過書本流通之機率極小。

七、除菌機對圖書之滅菌效果及白度、色差值影響

除菌機對圖書之滅菌效果，如表 4 所示，經過 1,600 sec 照射後，古文禪藻集 - 四、明史目錄、高職國文三本圖書，仍然有菌種萌發之情形，顯示除菌機無法達到完全滅菌成效。由色差值檢測顯示，古今禪藻集 - 四之書頭 L* 值有下降的趨勢，a* 值上升、b* 值有上升趨勢，表示紙張趨於黃化，而封面及內頁並無明顯差異，書頭之色差值 ΔE^* 最為明顯，封面及內頁變化性較小(如圖 11、12、13、14 所示)。明史目錄 L* 值，以書頭之表現為明顯，有上升趨勢，a* 值有下降趨勢，以書頭為明顯，b* 值則較無明顯變化，色差值 ΔE^* 變化書頭有明顯上升趨勢(如圖 15、16、17、18 所示)。高職國文一書之變化，L* 值之表現以書頭為明顯，有下降趨勢，a* 值呈上升趨勢，以書頭為明顯，b* 值變化往正值發展，以書頭最為明顯，色差值 ΔE^* 書頭、封面、內頁有增加趨勢，其中以書頭最為明顯(如圖 19、20、21、22 所示)，三種圖書經除菌機處理後顯示，封面及內頁之 L*a*b* 值及色差值 ΔE^* 變化較不明顯，而三種圖書書頭之影響皆最為明顯，顯示除菌機無法達到照射均勻之效果，且造成圖書書頭劣化性最為嚴重。白度之影響則無明顯影響(如圖 23、24、25 所示)。顯示除菌機對於圖書並無完全的滅菌成效，且在累積照射下，會對圖書紙張產生黃化、色變等劣化影響。

表 3. 經 QUV 耐候試驗機加速劣化 72 hr 後各紙樣再經除菌機處理後各紙樣之白度及色差值

紙樣	照射時間 (sec)	白度 GE %	P. C. No.
捲皮紙	未照射	67.4	
	40	67.4	0.00
	400	66.4	0.62
	800	66.9	0.30
	1200	66.9	0.30
	1600	66.7	0.43
模造紙	未照射	84.4	
	40	84.3	0.02
	400	83.9	0.10
	800	85	-0.12
	1200	84.9	-0.10
	1600	84.8	-0.08
銅版紙	未照射	68	
	40	67.9	0.06
	400	67.5	0.29
	800	66.6	0.85
	1200	66.7	0.78
	1600	66.8	0.72
分析濾紙	未照射	82.1	
	40	81.9	0.05
	400	81.7	0.10
	800	82.6	-0.12
	1200	82.5	-0.10
	1600	82.6	-0.12
新聞紙	未照射	31.5	
	40	30.3	5.69
	400	28.9	12.98
	800	27.7	19.88
	1200	27.7	19.88
	1600	27.7	19.88
道林紙	未照射	82.4	
	40	81.2	0.30
	400	81.1	0.32
	800	81.4	0.25
	1200	81.2	0.30
	1600	81	0.35

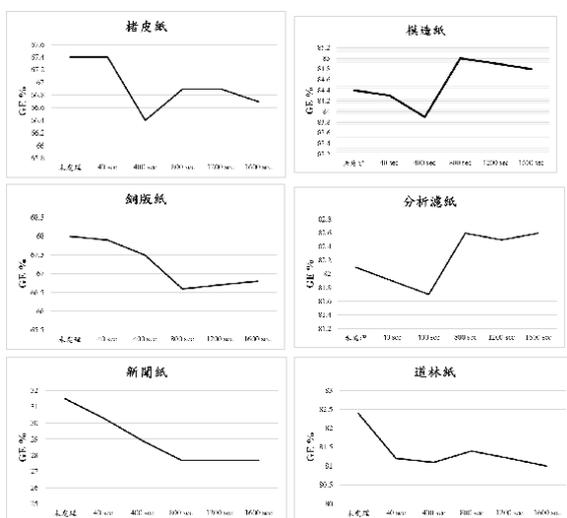


圖 9. 經 QUV 劣化之除菌機處理各紙樣之白度變化

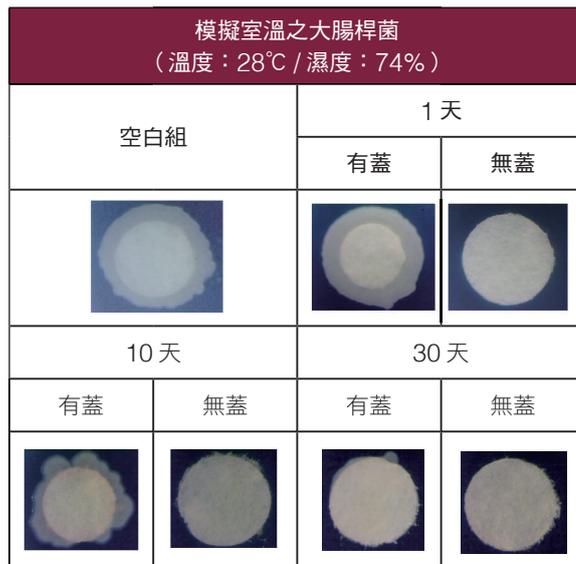


圖 10. 模擬室溫之大腸桿菌存活結果觀察

伍、結語

由國立嘉義大學蘭潭校區圖書館之落菌調查顯示，黴害菌種中以 *Penicillium sp.* 及 *Alternaria sp.* 所占比例較高，而發生黴害位置大多為圖書表面，其中以封底、封面、書頭及書底部位為主，有空調及溫濕度控制之採樣地點則較無黴害發生情形。紫外線除菌機照射黴菌之滅菌效果，顯示對 *Fusarium solani* (鐮孢菌) 效果良好，照射 400 sec 內可達到滅菌效果，對其他菌種僅能抑制其生長情形，且未來仍有萌發生長之可能經 1,600 sec 照射後除 *Aspergillus niger* (黑麴菌)、*Chaetomium globosum* (球毛殼菌) 僅能延緩生長外，其餘者如 *Aspergillus flavus* (黃麴菌)、*Penicillium sp.* (青黴菌) 皆可達於完全滅菌之效果。除菌機照射對大腸桿菌可達到有效滅菌，但至少需照射 200 sec 以上才可達到滅菌效果，且照射劑量隨菌液濃度增加。然而大腸桿菌模擬圖書環境結果顯示，大腸桿菌於曝露環境中無法生存，故於圖書上流通之機率極低。除菌機對紙質之性質影響顯示，各紙樣皆趨向黃化，白度除了分析濾紙變化較小之外，

其餘紙樣白度皆下降。示除菌機對於紙張之結構，會造成破壞，且對於劣化之紙張為嚴重。圖書試驗結果顯示，除菌機對於書上之黴害滅菌效果並不佳，黴菌仍有萌發之情形，圖書之色差及白度試驗結果顯示，對於書籍之白度變化，書頭有下降趨勢，對於書頭之色差最為顯著，且有黃化情形，顯示經累積照射下除菌機對於書即會產生危害。

綜合以上結果，除菌機對於細菌具有殺菌效果，而細菌於圖書上存活流通率，目前以大腸桿菌為細菌試驗，顯示流通機率極低。而除菌機對黴菌僅有抑制作用，且顯示了照射一次並無法達到最佳效果，然而紫外線穿透率極低，僅能對圖書表面進行殺菌，對於圖書內部之黴害影響不大，而高劑量照射對紙質之外觀會有黃化情形，導致圖書受損。因此，除菌機雖然可達滅菌及抑菌效果，但對圖書性質影響甚大，故必須謹慎使用。

表 4. 除菌機對圖書之滅菌效果

書名	部位	照射時間(sec)	培養時間(hr)			
			24	48	72	96
古今禪藻集-四	書頭	未處理	-	+	+	2+
		40	-	+	2+	3+
		1600	-	-	-	-
	封面/底	未處理	-	+	+	+
		40	-	+	+	+
		1600	-	-	-	-
	內頁	未處理	-	+	+	+
		40	-	1+	2+	3+
		1600	-	-	-	-
明史目錄	書頭	未處理	-	+	+	+
		40	-	+	1+	2+
		1600	-	-	-	1+
	封面/底	未處理	-	-	1+	2+
		40	-	-	+	2+
		1600	-	-	-	-
	內頁	未處理	-	-	+	+
		40	-	+	+	+
		1600	-	-	+	+
高職國文	書頭	未處理	-	+	1+	3+
		40	-	-	-	-
		1600	-	-	-	-
	封面/底	未處理	-	-	+	+
		40	-	-	-	+
		1600	-	-	-	-
	內頁	未處理	-	+	+	+
		40	-	-	+	1+
		1600	-	+	+	+

註：“+”代表有菌絲萌發，“1+”表示黴菌生長面積佔培養皿盤 20%，“2+”表示黴菌生長面積佔培養皿盤 40%，“3+”表示黴菌生長面積佔培養皿盤 60%，“4+”表示黴菌生長面積佔培養皿盤 80%

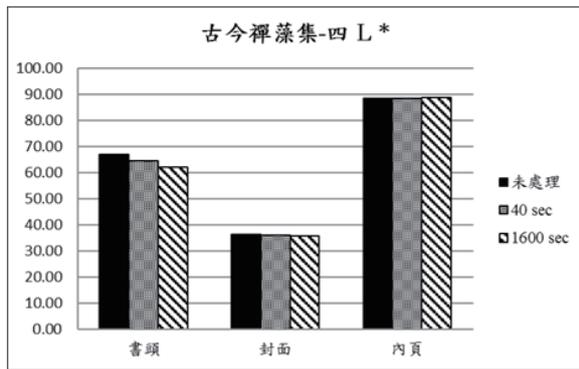


圖 11. 古今禪藻集 - 四一書經除菌機處理後之 L* 值變化

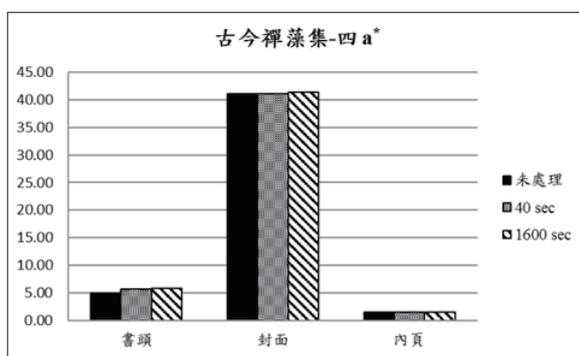


圖 12. 古今禪藻集 - 四一書經除菌機處理後之 a* 值變化

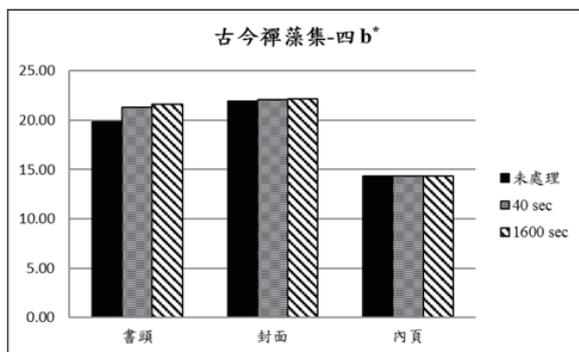


圖 13. 古今禪藻集 - 四一書經除菌機處理後之 b* 值變化

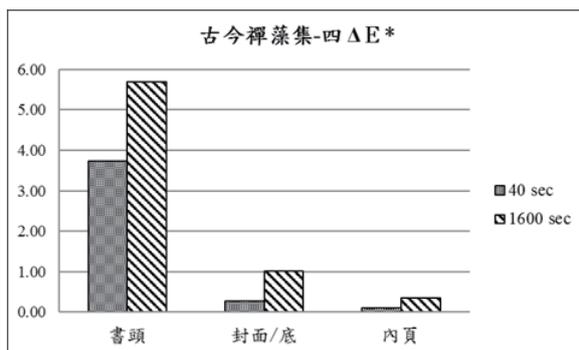


圖 14. 古今禪藻集 - 四一書經除菌機處理後之 ΔE* 值變化

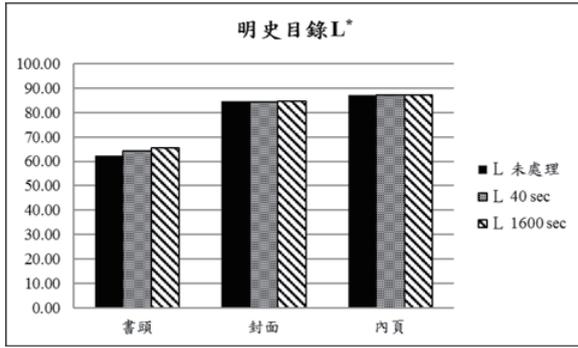


圖 15. 明史目錄一書經除菌機處理後之 L* 值變化

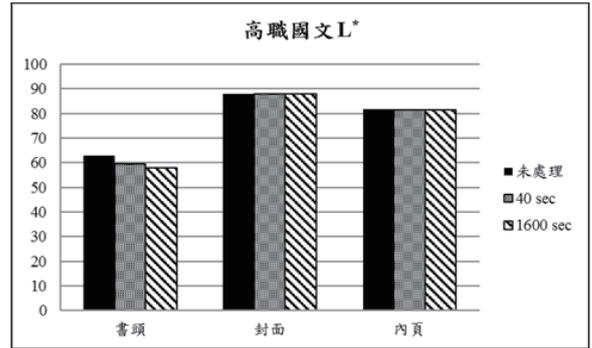


圖 19. 高職國文一書經除菌機處理後之 L* 值變化

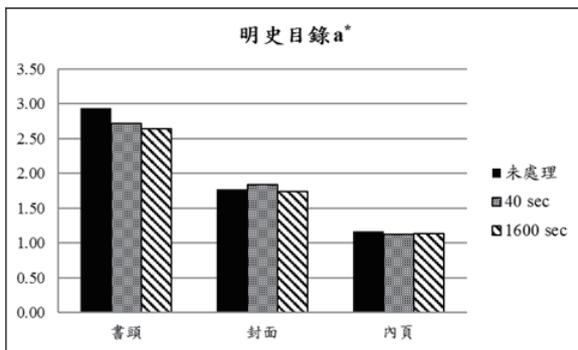


圖 16. 明史目錄一書經除菌機處理後之 a* 值變化

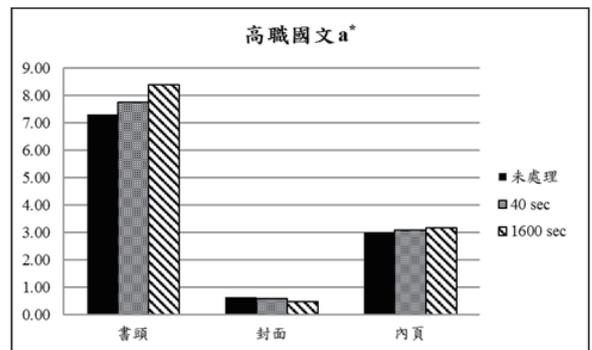


圖 20. 高職國文一書經除菌機處理後之 a* 值變化

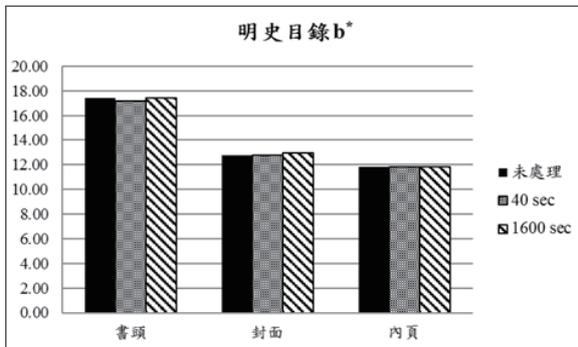


圖 17. 明史目錄一書經除菌機處理後之 b* 值變化

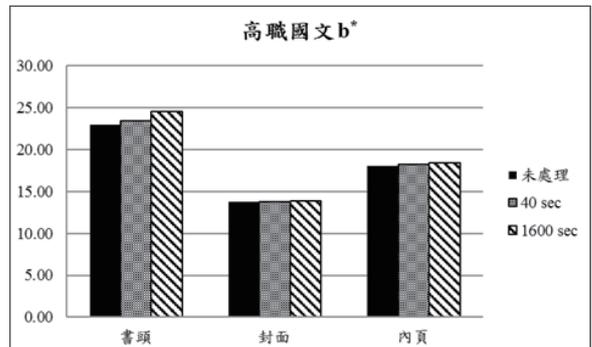


圖 21. 高職國文一書經除菌機處理後之 b* 值變化

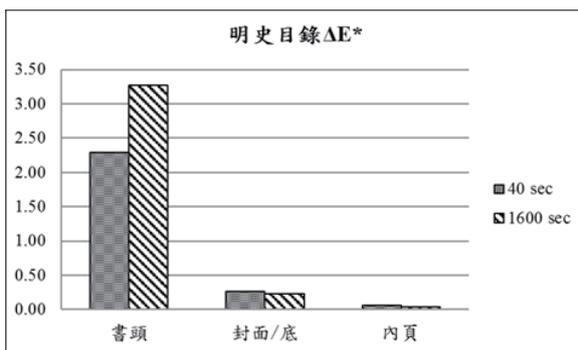


圖 18. 明史目錄一書經除菌機處理後之 ΔE* 值變化

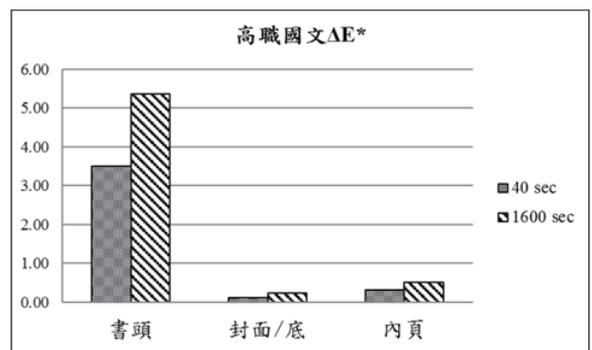


圖 22. 高職國文一書經除菌機處理後之 ΔE* 值變化

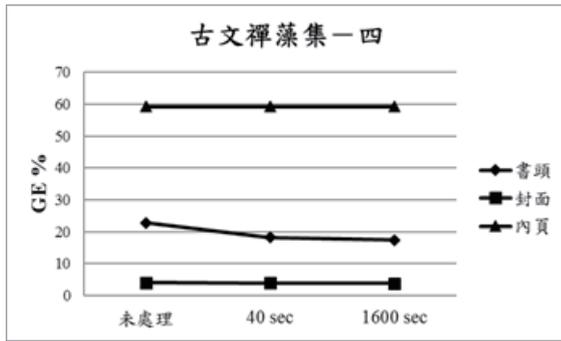


圖 23. 今禪藻集 - 一四書經除菌機處理後之白度變化

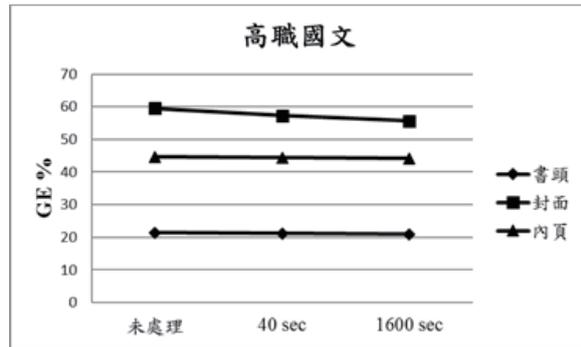


圖 25. 高職國文一書經除菌機處理後之白度變化

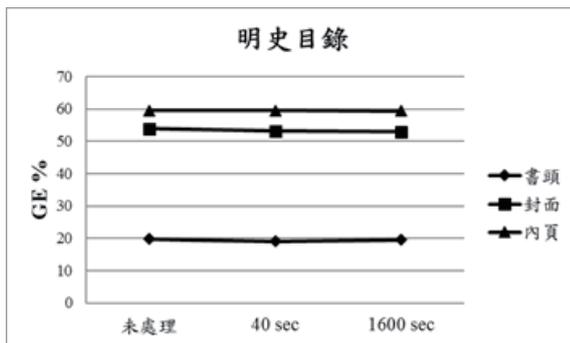


圖 24. 明史目錄一書經除菌機處理後之白度變化

參考文獻

1. 王自存、梁穎芝、梁淑惠、鄧國同、黃錦傑(2005)。短波紫外線(UV-C)照射處理技術在園產品保鮮之應用。黃肇家、黃錦杰、歐錫坤、林俊義主編, *園產品採後處理技術之研究與應用研討會專刊*(頁 233-241)。臺中市: 行政院農業委員會農業試驗所。
2. 中華民國國家標準 CNS1354 (1990)。紙之抗張強度及伸長率試驗法。經濟部中央標準局。
3. 林育卉(1988)。紙張劣化性質之探討(未出版之碩士論文)。國立中興大學, 臺中市。
4. 周寶中(2000)。 *文物保護科技文集*。臺北市: 國立歷史博物館。
5. 徐美文(2012)。光線對書本的影響—淺談古人與今人曝書。 *科學月刊*, 43 (11): 856-857。
6. 夏滄琪(2007)。 *紙質文物微害之防治*。國立嘉義大學執行教育部教學卓越計畫補助成果。
7. 夏滄琪(2015)。水損微害圖書之 γ -射線滅菌處理與修復保存。國家圖書館特藏文獻組編。 *鑑藏—兩岸古籍整理與維護研討會會議論文集*。臺北市: 國家圖書館。
8. 許育晏(2008)。阿里山十大功勞與臺灣黃蘗乙醇萃取液抗黴及抑菌性之研究(未出版之碩士論文)。國立嘉義大學, 嘉義市。
9. 崔素英(2005)。紫外線消毒前後空氣中細菌數量變化觀察。 *九江學院學報(自然科學版)*, 20 (2), 79-79。
10. 曾培敬(2005)。 *紙質文物之光劣化防治*(未出版之碩士論文)。國立中興大學, 臺中市。
11. 盛美雲(1991)。 *圖書維護之紙質酸化及保存環境問題之研究*。漢美圖書有限公司。
12. 景正、景衛東(2006)。臭氧保護檔案圖書文獻的可比性探討。 *光碟技術*, 2006年(3), 15-16。
13. 楊盛行(1997)。黴菌的檢測與生物腐蝕。文物的庫存與維護。中小型博物館營運管理研習會。
14. 詹前朕(1991)。 *簡明微生物學*。臺北市: 華杏出版社。
15. 莊明福(2005)。南臺灣某博物館室內環境空中真菌之調查研究(未出版之碩士論文)。國立臺南大學, 臺南市。

16. 解惟棠 (2007)。典藏庫房菌相調查及幾丁聚醣抗黴性之探討(未出版之碩士論文)。國立嘉義大學, 嘉義市。
17. 葉純宜、林明澄、陳小妮、王復德 (2005) 紫外線殺菌效能探討。《感染控制雜誌》, 15 (5), 293-300。
18. 蔡文城、顧蕙祺 (1995)。圖書館空氣微生物總含量分析及其影響因素。《中國圖書館學會會報》, 54, 5-12。
19. 蔡佳足 (2009)。國立嘉義大學國學叢書區藏書微生物劣化之調查與防治(未出版之碩士論文)。國立嘉義大學, 嘉義市。
20. 陳吉平 (1995)。《食物媒致病原》。屏東縣: 瑞煜出版社。
21. 陳旭健 (2009)。常用滅菌法操作中常見錯誤的分析及對策。《玉林師範學院學報》, (3)。
22. 劉卓文、林鴻儒、陳宣志、陳俊傑 (2005)。門診個案報告 - 紫外線輻射傷害。《基層醫學》, 20 (7), 174-178。
23. CIE L*A*B model (n.d). Retrieved from http://www.appstate.edu/~steelekm/classes/psy3215/ColorModels/cie_lab.html (Aug. 25, 2017)
24. Gonzalez, M. E., Calvo, A. M., & Kairiyama, E. (2002). Gamma radiation for preservation of biologically damaged paper. *Radiation physics and chemistry*, 63 (3), 263-265.
25. Medrela-Kuder, E. (2003). Seasonal variations in the occurrence of culturable airborne fungi in outdoor and indoor air in Cracow. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 52 (4), 203-205.
26. Tongrer, J.W., (1938). *Paper Trade J.* 107, No.8, 34-42.

