

博物館常用除蟲方法介紹

■ 呂釗君

國立故宮博物院（以下簡稱本院），目前進行藏品除蟲的情況多屬於預防性除蟲處理。指的是當藏品離開安全的庫房，外出展示結束要回到庫房之前，為了避免藏品在過程中受到蟲害感染而將害蟲夾帶進入庫房，因此在藏品歸庫前進行的預防性除蟲作業。另外，本院的文物徵集過程中，亦不排除有機會遇到新購藏文物遭害蟲感染的狀態，因此了解與選擇不損傷藏品的除蟲方法十分重要。簡單的說，本院的除蟲方法不外乎將害蟲毒死、熱死、冷死與渴死。

前言

臺灣氣候高溫多雨，高濕高熱不僅培育了充足的食物供昆蟲生長，也極適合昆蟲繁殖。有機材質的藏品不僅易受到害蟲蛀蝕，昆蟲排遺也會對藏品造成破壞，例如排遺可能在藏品表面造成漬痕或鏽蝕。除了藏品外，害蟲亦可能潛藏於建築物或地板的縫隙內，因此清潔與定期檢視環境，乃防止蟲害發生的重要方法，但百密仍有一疏，若仍不幸遭遇蟲害，便需要考量採用何種方式滅蟲。

以下介紹本院使用的四種除蟲方式，分別為：化學藥劑除蟲、加熱除蟲、冷凍除蟲與低氧除蟲，並分別說明適合使用的場合、造成昆蟲死亡的機制、處理流程及注意事項等。（圖1）

一、化學藥劑除蟲

以往藏品除蟲藥劑包括環氧乙烷（ethylene oxide）、溴化甲烷（methyl bromide）、硫酰氟（sulfuryl fluoride）、磷化氫（phosphine）等毒性高、滲透性佳、除蟲效果良好的燻蒸劑，可單次處理大量藏品，省時省力。但部分燻蒸劑

易燃且具爆炸性，¹或因環保因素列為禁用，²或會鏽蝕金屬材質藏品，³現此類藥劑較少用於博物館藏品除蟲。

雖然也有除蟲菊類的半燻蒸藥劑可取代燻蒸劑進行藏品除蟲，優點是使用時不含水氣，但其滲透性不比燻蒸劑，且可能造成銅製品變色。⁴此外在展櫃燻蒸的實務經驗中，若藥劑未能混合均勻或施用過量，玻璃與展櫃會產生沾黏感，因此除非特殊或急迫性需求，較不建議直接應用在藏品上。

目前本院使用化學藥劑除蟲時，偏好毒性較低的除蟲菊類藥劑，並以環境防治為主。為了防止展場裝潢過程中有害蟲入侵或遭材料夾帶進入展場並停留繁殖，會在佈展前委託專業的病媒防治業者，視需求選擇使用較不刺鼻的水性藥劑，噴灑沿牆側之地面，或使用工具將藥劑細霧化，進行空間防治作業。（圖2、3）

除蟲菊類藥劑成份分為天然的除蟲菊素或人工合成的類除蟲菊素，皆具速效與廣效性，可以快速擊昏多數害蟲，且此類藥劑可自然分解，殘留性低。對於害蟲來說，除蟲菊是種神經毒

素，有觸殺與燻蒸等作用，藥劑透過接觸或以氣態經由氣孔進入害蟲體內，使其中毒死亡。⁵

不論採取何種藥劑與施作方式，施作前須先確認病媒防治業者是否具許可執照，並由業者提供施作計畫書予館方審核，載明藥劑資訊、施作方式等資料；且依規定施作現場應至少一人具備病媒防治業專業技術人員資格，其餘施作人員亦須提供有效的施藥人員訓練證明。⁶

除蟲菊類藥劑雖然毒性較低，但少量接觸時仍可能有咳嗽等刺激性反應，大量接觸時亦可能造成頭昏、頭痛、噁心、抽搐等症狀，⁷因此建議館員監工時配戴活性炭口罩等安全防護設備，並於施作前確認現場空調與消防偵煙設備是否確實關閉。噴藥後展場靜置一段時間，讓藥劑發揮作用，地面殘效會於施作後靜置12小時，櫃內燻蒸則會靜置24小時，靜置結束並開啓空調通風後，才開放工作人員與藏品進場佈展。

二、加熱除蟲

加熱除蟲，就是提升微環境的溫度，當溫度升至50°C，昆蟲即進入熱麻痺狀態停止活動。高溫亦能導致昆蟲體脂層或蠟層融解，加速體內水份散失，使昆蟲因蛋白質變性而死。⁸雖然研究指出多數博物館藏品在適當濕度調整的情況下可耐熱至60°C，但30°C以上的高溫會加速藏品老化、使部分黏著劑失去作用，溫度快速變化也會導致不同材質間的脹縮，造成藏品破裂、變形。因此加熱不適用於含金屬、樹脂、膠或壓克力的藏品，蠟、劣化的蛋白質或遇熱會溶解的材質亦不適用超過60°C的高溫，⁹建議的處理溫度應於50°C~60°C間（圖4），以55~60°C較佳。¹⁰雖然限制多，但在設備資金侷限與昆蟲蛀蝕的即時威脅下，加熱仍不失為有效的除蟲方法，若能謹慎處理，仍能維護藏品安全無虞。



圖1 故宮南院設有冷凍除蟲、加熱除蟲、氮氣（低氧）除蟲等除蟲設備。作者攝



圖2 故宮北院展存環境病媒防治作業工作照 作者攝



圖3 故宮南院展存環境病媒防治作業工作照 作者攝

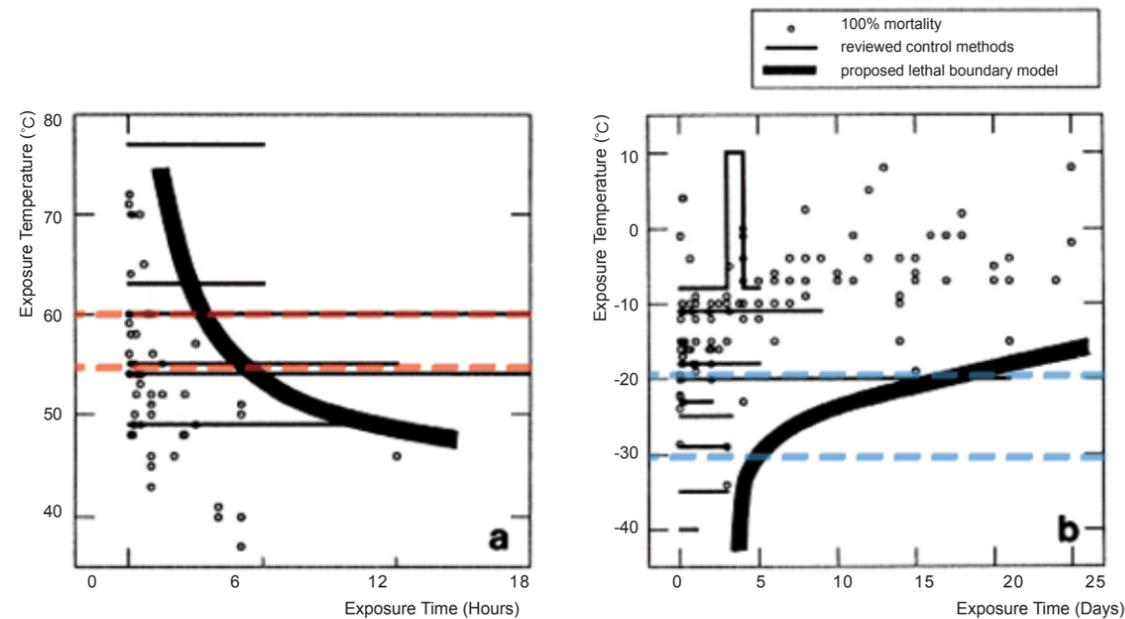


圖4 不同處理溫度與處理時間之博物館害蟲死亡率統計圖（空心圓標示死亡率達100%，細黑線為文獻紀錄溫控方法，粗黑線為建議致死曲線，圖取自 Thomas J. K. Strang, "A Review of Published Temperatures for the Control of Pest Insects in Museums," *Collection Forum* 8:2 (1992), 48.）。紅色虛線與藍色虛線之間分別為博物館害蟲的加熱與冷凍致死建議溫度與處理時間。



圖5 故宮南院加熱除蟲用烘箱（無溼度調整功能） 作者攝

加熱處理時，先將藏品送至加熱庫後，加熱至其內部溫度升至目標值，維持目標溫度一定時間後關閉加熱器，待其自然回溫後再取出。即使沒有加熱設備，只要在待處理物件外加覆黑色塑膠袋，亦能於晴天時在戶外進行處理，惟需注意應架高加熱物件不直接接觸地面，持續監控溫度變化，並注意天氣變化，避免加熱過程中突遇下雨。

由於本院藏品多為敏感類材質，因此目前僅有展存材料以加熱方式除蟲，木料核心溫度達 60°C 起算持續至少 3 小時的處理，例如故宮南院開館初期兒童創意中心展示的織品原料，樹皮等便經加熱處理。（圖 5）至於展存環境裝潢使用的大量木料，則是在入館前皆要求廠商先行加熱，確認無害蟲後方可搬運入館施工。（圖 6、7）

三、冷凍除蟲

冷凍法指將溫度急速降低至 -20°C 至 -30°C，使昆蟲體內自由水結冰，破壞細胞膜，造成蟲

加熱處理時，密閉空間內的相對濕度會隨著溫度升高而下降，但相對濕度過低會造成藏品脫水變形，幸好加熱處理時間短暫，且建議在待藏品外覆緩衝材料，如無酸紙、棉布等，最外層再套塑膠袋或以塑膠布包裝密封，避免藏品水分因高溫散失，讓藏品受到溫度與相對濕度的變化衝擊。若使用可控制相對溼度的加熱設備，能將此類衝擊降至最低。

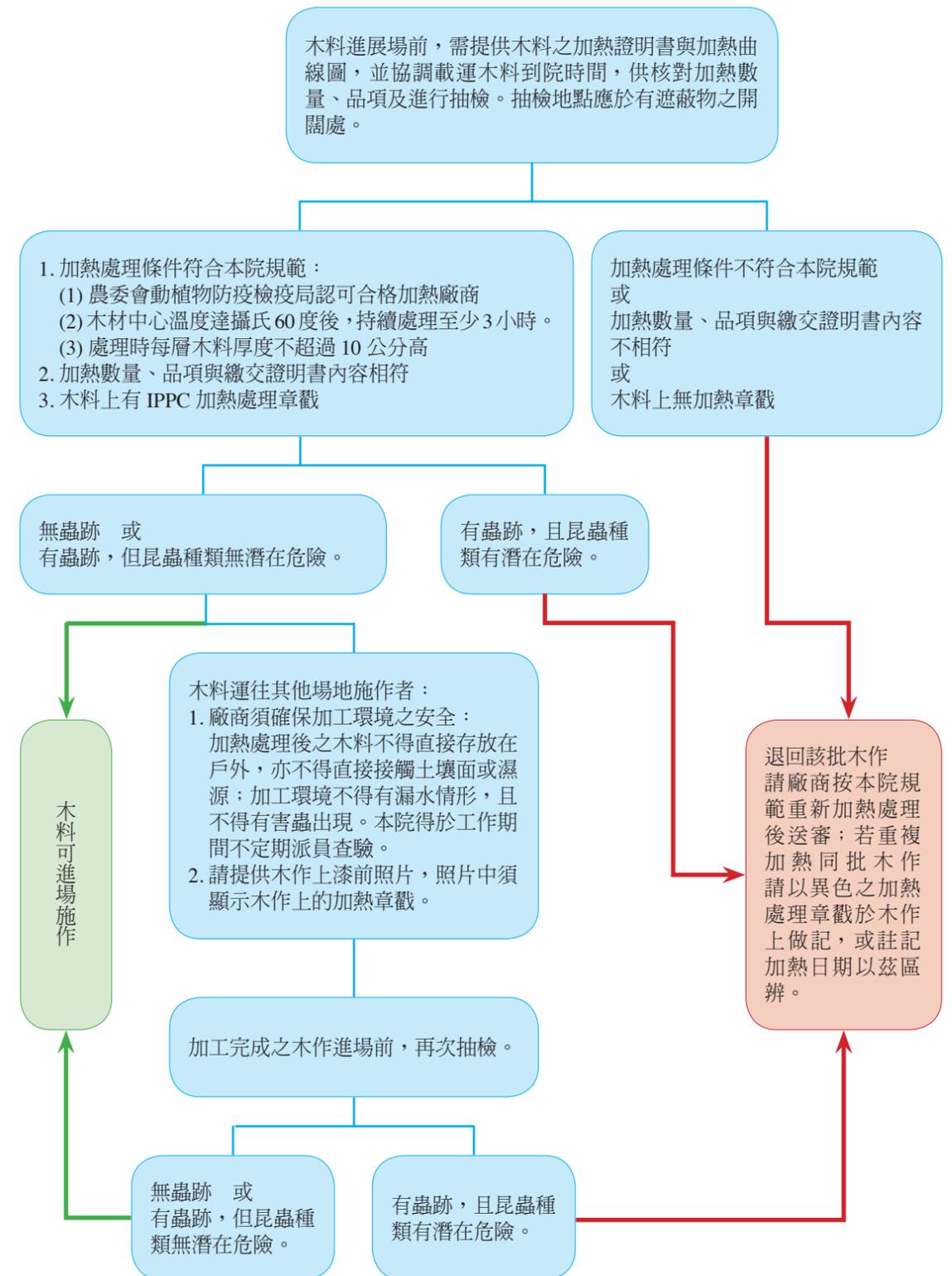


圖6 本院展存環境裝潢木料加熱處理與入館前檢驗流程 作者提供



圖7 加熱完成的木板(左)與角材(右)：木板分層可增加熱對流空間，確保受熱均勻，並於處理後加蓋加熱處理章戳。 作者攝

體的pH值改變、蛋白質變性等，中斷新陳代謝而亡。¹¹

冷凍處理時，必須將藏品密封在聚乙烯袋內，盡量壓擠出裡面的空氣，避免降溫後水氣含量過高，密封也能避免外在水氣滲入。因收縮率的不一致，複合材質的藏品可於外表包覆緩衝材質，如無酸紙、棉布，避免溫濕度變化造成的冷凝現象對藏品產生衝擊，因此冷凍特別適合處理大批的藏品，且可處理的藏品種類限制較少，僅有油畫、含水量高、部分照片等類型不適合冷凍。另外，在密封前建議先測試密封用的膠帶是否可耐低溫，避免黏膠因低溫失效，或者改用繩子綁袋口，或者重複包裝，利用兩層的聚乙烯袋確保水分不會進入。密封後的藏品不能直接放在地上，建議置於層架或棧板，且不可直接接觸冷凍庫壁面。

冷凍時處理時間的長短會隨著溫度的降低而縮短，例如 -18°C 時可能需要凍至少14日，但 -25°C 只需至少7日， -30°C 甚至最少只需3日。以本院的冷凍處理為例(圖8)，由於冷凍庫的運作模式是先降溫至設定溫度後停機，待溫度稍微回升，方再次啟動壓縮機降溫，因此將冷凍溫度設定為 -35°C ，此舉可確保庫內溫度循環不會高於 -30°C 。雖說 -30°C 的低溫處理最少僅需3日，但為了確保除蟲效果，本院會延長冷凍時間至7日。

在藏品送入冷凍庫前，先開機預冷冷凍庫，避免降溫過於緩慢，促使害蟲適應低溫，反而存活率增加。在預冷至設定溫度後，將待處理藏品送入冷凍庫除蟲，處理期滿，會直接關機，待庫內藏品回溫後再開庫取物，避免冷凍庫內外溫差過大產生凝露，使藏品表面濕度過高而變形。

四、低氧除蟲

低氧處理剛開始應用於軍用糧食的保存，後來被食品工業大量運用，延長袋裝食品的保存期限。在我們的生活中也隨處可見，例如含水率較高的食物在包裝中加入脫氧劑以延長保存。(圖9)

低氧，顧名思義就是將氧氣濃度降低至0.3%以下，製造不利發展蟲害的環境。然而一般容易誤會低氧除蟲是讓昆蟲無法呼吸到氧氣而窒息死亡，但其實低氧只是手段，昆蟲的死亡實際上為脫水。因為昆蟲是透過氣管系統交換體內外的二氧化碳與氧氣，在交換的過程中，昆蟲體內的水分容易經由氣孔散失。一般昆蟲體內的含水率約為體重的80%，當含水率降到體重的50%時昆蟲便會死亡。¹²低氧除蟲便是利用這點特性，降低微環境的氧氣濃度，迫使昆蟲張開氣孔以獲得足夠的氧氣，同時卻因氣孔打開而大量流失體內水分，最後脫水死亡。

低氧除蟲的處理時間會視環境條件變化作調整，溫度越高、相對濕度與氧氣濃度越低，昆蟲死亡時間越短。氣體種類也會影響處理時間，常使用的氮氣比重輕於氧氣，因此汰換氧氣的時間較長；氬氣可提升除蟲效率，縮短至少四分之一的處理時間，惟其價格偏高，約為氮氣的一倍。以往除蟲時間多參考Michael K. Rust等人的研究報告，¹³該報告測試十種各生長階段的博物館常見昆蟲在低氧環境中需要的死亡時間，不僅證明低氧除蟲可有效取代化學藥劑除蟲，並提出在溫度 25.5°C ，相對濕度55%，氧氣濃度小於0.1%的環境中持續8~10日即可有效除蟲。本院的低氧處理設定在溫度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 間，相對濕度55%，氧氣濃度0.3%，本院實務處理時間約14日，然而2017年美國文物保存學會(American Institute for Conservation



圖8 故宮南院冷凍庫 作者攝



圖9 利用脫氧劑延長保存期限的蛋糕 作者攝

of Historic and Artistic Works) 年會的藏品維護講座，不僅分享數館與修護工作室的除蟲實務經驗，並建議低氧處理時間應予延長至28~30日，方能確保效果；¹⁴本院將綜合考量臺灣氣候



圖10 故宮南院氮氣庫，左側為氮氣生成機，右側黃色儲藏櫃放置液態氮。 作者攝

環境與博物館常見昆蟲種類與耐受性，考慮是否跟進延長處理時間。

目前本院採取兩種不同的低氧除蟲方式：一種是使用液態氮與氮氣生成機，將純氮氣先送至調濕裝置調整相對濕度後，持續充灌汰洗，將微環境內的氧氣量維持在 0.3% 以下，此類處理方式可同時處理大批的藏品（圖 10）；另一種低氧法則是應用在數量較少或尺寸特殊以至於無法置入氮氣櫃之藏品，採靜態低氧除蟲法，在絕氧袋內置入藏品、脫氧劑、濕度指示卡與氧氣濃度檢測劑，利用脫氧劑的氧化反應吸收袋內氧氣。

結語

目前臺灣博物館最常使用的除蟲方法不外乎化學藥劑、冷凍與低氧三種，其中後兩種專門針對藏品使用。表一分析比較文中的四種除蟲方法，但實際上如何選擇合用的除蟲方法，除了考量藏品材質與尺寸、害蟲的種類與威脅程度之外，還須考量現有設備、經費與處理時

間是否充足。若對於除蟲的方式有疑慮，建議先與修復師討論是否適合，尤其是修復過的藏品，除了原素材外，尚須考慮使用的修復材料是否會受影響。

遇有突發的嚴重蟲害大量發生時，若無法同時處理大批藏品，建議可先密封隔絕受感染的藏品，控制受害範圍，並將密封後的藏品暫置於約 5°C 的低溫冷藏處，降低昆蟲活動力，減少對藏品的損害。待冷凍或低氧處理空間空出後，先將冷藏的藏品回復至室溫，再進行下一階段的除蟲處理。除蟲結束後的藏品，建議先隔離觀察，確認無蟲跡再度發生後，再自密封袋移出清潔後入藏。

除了藏品的安全，工作人員的健康安全也很重要！過去歐美使用的除蟲藥劑五花八門，DDT、砒霜、水銀皆曾用於除蟲過程，造成藏品有藥劑或重金屬殘留的問題，且透過文物買賣等全球流通，這類藏品已不只存在於歐美，嚴重威脅典藏人員的健康。尤其是購藏的有機類藏品因為材質本易受蟲害威脅且不易追溯除蟲歷史，因此強烈建議執行藏品相關工作時應配戴手套、口罩等安全防護設備。

作者任職於本院南院處

註釋

1. 環氧乙烷易燃、磷化氫易燃易爆。《國家環境毒物研究中心》<http://nehrc.nhri.org.tw/toxic/>（檢索日期：2018年1月6日）
2. 蒙特利爾議定書第 2H 條關於溴化甲烷的管制。《臭氧層保護在臺灣》<https://ozone.epa.gov.tw/>（檢索日期：2017年12月28日）
3. 溴化甲烷、硫磺氣、磷化氫會鏽蝕金屬。David Pinniger and Adrian Meyer, *Integrated Pest Management in Cultural Heritage* (London: Archetype, 2015), 85.
4. 岩素芬，〈圖書蛀蟲、防蟲處理〉，《佛教圖書館館刊》，43 期（2006.6），<http://www.gaya.org.tw/journal/m43/43-main3.htm>（檢索日期：2018年1月6日）
5. 〈環境衛生用藥簡介〉，《台灣環境有害生物管理協會》<http://www.tepma.org.tw/html/front/bin/ptlist.phtml?Category=337207>（檢索日期：2018年1月6日）

表一 本院常用除蟲方法比較表

除蟲方法	優點	缺點	對象	中心溫度或環境達標後之處理時間	注意事項
加熱	處理時間短，成本低	可能加速文物劣化	不含漆、膠、蠟的藏品；展存裝潢木料	60°C：3 小時	持續監控溫度
化學藥劑	立即有效	較不適合處理藏品蟲害	展存環境	處理後靜置 12 ~ 24 小時	施作時需關閉空調、消防偵煙系統
冷凍	可大批處理	不適用油畫、照片與含水率高的藏品	適合大多數材質	-30°C：7 日	藏品需確實密封，避免冷凝結露
低氧（氮氣）	可大批處理與控制相對濕度	不適合含鉛黃、硃砂、赭石的藏品	適合大多數材質	氧氣 < 0.3%：14 日	持續監控氧氣濃度，並注意人員安全

6. 中華民國行政院環境保護署，《病媒防治業管理辦法》，2016 年 12 月 30 日修正。
7. 《國家環境毒物研究中心》<http://nehrc.nhri.org.tw/toxic/>（檢索日期：2018 年 1 月 6 日）
8. Mary-Lou Florian, *Heritage Eaters: Insects & Fungi in Heritage Collections* (London: James & James, 1997), 95-96.
9. Charles Selwitz and Shin Maekawa, *Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests* (Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute, 1998), 13-45. Accessed December 28th, 2017. http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/inert_gases.
10. Rika Kigawa et al., "Investigation of Effects of Fumigants on Proteinaceous Components of Museum Objects (Muscle, Animal Glue and Silk) in Comparison with Other Non-chemical Pest Eradicating Measures", *Studies in Conservation* 56 (2011), 191-215.
11. Mary-Lou Florian, op. cit., 81-90.
12. Mary-Lou Florian, op. cit., 25.
13. Michael K. Rust and Janice M. Kennedy, *The Feasibility of Using Modified Atmospheres to Control Insect Pests in Museums*, GCI Scientific Program Reports (Riverside, CA; Marina del Rey, CA: Dept. of Entomology, University of California, Riverside; Getty Conservation Institute, 1993). Accessed December 28th, 2017. http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/modified_atmospheres.
14. Elena Torok, Laura Mina, Eric Breitung, Rachael Perkins Arenstein, William Donnelly, Arlen Heginbotham, and Bret Headley. "Panel Discussion: A Review and Comparison of Anoxic Treatment Methods for Pest Management." Panel discussion at the Collection Care Session, AIC's 45th Annual Meeting, Chicago, Illinois, May 28-June 2, 2017.

參考書目

1. 岩素芬，《紙質類檔案蟲菌害防治處理》，臺北：檔案管理局，2004；郭宏，《文物保存環境概論》，北京：科學出版社，2001。
2. Gullan, P. J. and P. S. Cranston 著、徐培峰譯，《昆蟲學概論》，臺北：合記圖書出版社，2002。
3. Maekawa, Shin. *The Use of Oxygen-Free Environments in the Control of Museum Insect Pests*. CA: Getty Conservation Institute, 2003.
4. Kigawa, R., Tom Strang, Noriko Hayakawa, Naoto Yoshida, Hiroshi Kimura and Gregory Young. "Investigation of Effects of Fumigants on Proteinaceous Components of Museum Objects (Muscle, Animal Glue and Silk) in Comparison with Other Non-chemical Pest Eradicating Measures." *Studies in Conservation* 56 (2011): 191-215.
5. "MuseumPest.Net." Last modified December 25th, 2017. <https://museumpests.net/>.
6. Strang, Tom. *Studies in Pest Control for Cultural Property*. Doctoral Thesis. Gothenburg Studies in Conservation 30. Gothenburg, Sweden: University of Gothenburg, 2012. Accessed December 28th, 2017. <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/31500>.