

科技部補助

大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

* ***** ***** *
* 計 畫 *
* : 展演場所室內空氣品質改善 *
* 名 稱 *
* ***** ***** *

執行計畫學生： 周珮涵
學生計畫編號： NSC 102-2815-C-041-005-E
研究期間： 102年07月01日至103年02月28日止，計8個月
指導教授： 許菁珊

處理方式： 本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

執行單位： 嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學環境資源管理系(含碩士班)

中華民國

103年03月31日

目錄

摘要.....	02
第一章緒論.....	03
1-1 前言.....	03
1-2 研究目的.....	03
第二章文獻探討.....	04
2-1 室內空氣品質規範.....	04
2-2 一氧化碳.....	04
2-3 微生物.....	04
2-3-1 細菌.....	04
2-3-2 真菌.....	04
2-4 二氧化碳.....	05
2-5 粒徑小於等於 10 微米(μm)之懸浮微粒(PM_{10}).....	05
2-6 粒徑小於等於 2.5 微米(μm)之懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$).....	05
2-7 二氧化氯.....	05
第三章研究方法.....	06
3-1 研究方法概述.....	06
3-2 實驗步驟.....	07
第四章結果與結論.....	08
4-1 演藝廳有觀眾與無觀眾觀賞之差異性.....	08
4-2 環境相關因子針對菌落數之影響.....	10
4-3 利用 SPSS 雙變數 (Person) 分析關聯性.....	10
4-4 應用消毒劑於演藝廳之探討.....	11
4-5 以消毒前無觀眾與消毒後有觀眾進行比較.....	13
4-6 結論與建議.....	14
第五章致謝.....	15
參考文獻.....	15

摘要

現代人的日常生活中，電影院、劇院、演藝廳等展演場所廣受歡迎，也是民眾重要休閒活動之一。因此，本研究選擇屬密閉式的演藝廳(電影院)之空間為主要的研究地點，並利用環檢所公告之室內空氣中細菌濃度檢測方法與室內空氣中真菌濃度檢測方法定量分析展演場所環境中生物氣膠之含量外，亦進行現場檢測室內空氣品質因子(溫度、相對溼度、風速、二氧化碳、一氧化碳、PM_{2.5}、PM₁₀、TSP 等)。利用二氧化氯純淨氣霧滅菌裝置針對演藝廳電影放映次數進行一次與二次不同消毒方法以及消毒前後觀眾進出之差異進行比較；並使用 SPSS 統計軟體統計出環境因子與空氣之相關性以獲得氣態二氧化氯對人員相對密集場所空間環境消毒的較佳殺菌消毒方法。分析結果得知演藝廳之生物氣膠平均背景值分別為 428 ± 97 CFU/m³，和 $297 \pm$ CFU/m³，殺菌後細菌殺菌率與真菌殺菌率在演藝廳有觀眾觀賞的情況下分別為 31.8%、58.3%；另在無觀眾觀賞情況下的細菌殺菌率與真菌殺菌率則分別為 33.2%與 33.5%。其測得濃度大多符合環保署室內空氣品質管理法規定濃度之標準，並也實際驗證二氧化氯氣霧在各類型室內空氣環境中進行消毒後，真菌與細菌殘餘濃度均能減少亦能符合室內空氣品質管理法之規定。

關鍵字：室內空氣品質、展演場所、綠色殺菌消毒劑、生物氣膠

Abstract

Microbial aerosols cause various human and animal health problems, and thus there is a major scientific and technological concern. The air quality with performance places in Taiwan should comply with the guidelines laid down by the Taiwan Environmental Protection Agency (EPA). Accordingly, this study performed an experimental investigation into the efficiency of gaseous chlorine dioxide in disinfecting a local performance places. The air quality before and after disinfection was evaluated in terms of the bioaerosol levels of bacteria and fungus, respectively. The average background levels of 428 ± 97 CFU/m³ and 297 ± 171 CFU/m³, respectively. A single ClO₂ application with audiences was found to reduce the bacteria and fungi concentration levels by as much 31.8 and 58.3%. A single ClO₂ application without audiences was found to reduce the bacteria and fungi concentration levels by as much 32.2 and 33.5%. The statistical analysis results showed that the residual bacteria concentration level was determined primarily by the number of individuals present in the performance places, the relative humidity, CO₂ and the ClO₂ application, while the residual fungi concentration level was determined mainly by the relative humidity and the ClO₂ application. Thus, the integrated results suggest that the air quality guidelines prescribed by Taiwan EPA for performance places can best be achieved by applying ClO₂ every field interval application using an appropriate deployment of aerosol devices.

Keywords: Indoor Air Quality, Performance places, Green Disinfectant, Bioaerosols

一、緒論

1-1 前言

過去政府與民眾多將空氣汙染問題集中在大氣空間，將資源投資於其中之改善。自從 20 世紀末，美國環保署(US EPA)及國家職業安全衛生署(NIOSH)等組織開始注意建築物內密閉/半密閉空的空氣品質後，室內空氣品質的研究工作才逐漸被重視進而管制。近十年來，建築物普遍採用空調設備，使建築物空間內之使用人與室外環境相對隔絕，從外進入室內的空氣有限，不足以代換室內的二氧化碳與其他空氣汙染物。容易造成室內使用人員因為空氣汙染而引發各種疾病[1]。隨著大眾生活型態的改變，使得人們在密閉的居住空間或辦公空間裏享受空調系統帶來的舒適便利之餘，「病態建築物症候群」(Sick Building Syndrome)也應運而生，室內空氣對健康危害的議題逐漸被大家所重視。為有效改善室內空氣品質，維護室內環境品質，依據行政院於中華民國 101 年 11 月 23 日公布室內空氣品質管理法，定期執行室內空氣品質檢測，達到改善空氣品質之效果。

1-2 研究目的

根據統計，人們在一生中將會有 90%的時間處於居家住宅、辦公室等的室內環境，因此受室內空氣汙染物影響的機率比室外高出許多，所以室內空氣汙染物被認為是危害人體健康的主要來源[2]。而導致室內空氣品質下滑的汙染源廣泛，除了室內空間的密閉性、通風量與空間使用人數的多寡影響外，空間內之空調與建築所使用之建材、家具也都成為了汙染源的重要影響之一；其次則可能為空氣中所存在的少量微生物細菌、真菌與塵蹣等。建築物裡各種室內空間常因需求不同，其所需的建築材料也因應跟著配合多元化，加上近年來室內設計的美化講求，常常需搭配不同的裝飾品來陪襯室內空間。而室外的汙染物也有可能是影響室內空氣品質的因素，包括戶外汽機車、工廠排放的廢氣，或是因中央空調冷氣系統的外氣進氣口或濾網未定期清理而孳生的微生物等。台灣因地處亞熱帶，屬於長年潮濕高溫的氣候型態，黴菌及細菌尤其容易孳生，因此必須更注意空調通風系統的定期維護[3]。

電影院場所建築物屬於商業類建築物，依照建築技術規則分類，屬於公共使用之特定建築物，主要空間包括放映室、觀眾席、舞台、廁所、電影院、售票室、入口玄關、機械設備室、販賣空間、餐飲空間等，在場所特性上，電影院為「高隔音性」、「高氣密性」及「全空調式」的建築設計方式，空間的大小與觀眾席人數及防火區劃設計相關。因此若能針對造成室內空氣品質汙染的來源進行避免或選用可取代之方法，將可改善室內空氣品質，以建築建材、空調設備、建築物之通風量控制等非生物性因素，人數多寡與微生物等生物性因素，林林種種的汙染來源都可能影響室內空氣品質的優劣，應從可控制的地方著手改進，以提升室內空氣的品質，讓每一個建築室內使用者都可以達到身心的舒暢[1]。

二、文獻探討

2-1 室內空氣品質規範

為了促使公共場所能重視室內空氣品質的問題，進而有效的進行改善，依據行政院環保署於 101 年 6 月 4 日訂定「室內空氣品質管理法施行細則」草案，並將配合「室內空氣品質管理法」於 101 年 11 月 23 日同步實施。規範項目包刮：二氧化碳(CO₂)、一氧化碳(CO)、甲醛(HCHO)、總揮發性有機化合物(TVOC)、細菌(Bacteria)、真菌(Fungi)、粒徑小於等於 10 微米(μm)之懸浮微粒(PM₁₀)、粒徑小於等於 2.5 微米(μm)之懸浮微粒(PM_{2.5})、臭氧(O₃)等 9 項；草案規定經中央主管機關指定的公私場所應自主管理室內空氣品質，擬定室內空氣品質維護管理措施計畫，定期執行室內空氣品質檢測及監測[4]。此外，該草案中也要求，公共場所於改善的期間，應在該場所入口明顯處，公布室內空氣品質不合格正在改善中的標示，讓進出民眾瞭解其室內空氣品質的狀況。對於一些公眾聚集量大、進出量高，或對空氣品質有特殊需求的公共場所，將進一步要求應設置自動監測設施，連續監測室內空氣品質，其監測結果，亦應及時公布於該場所或入口明顯處，供民眾瞭解。

2-2 一氧化碳(CO)

室外空氣污染中的一氧化碳主要來自於機動車輛的引擎，室內一氧化碳的來源主要來自於吸菸及其他燃燒不完全的現象，為無色無味之氣體。由於一氧化碳對血色素的親合力為氧氣的 200 倍以上，因此會搶先與血色素結合而形成一氧化碳血色素，體內組織由於無氧可用便造成缺氧反應。一般而言，正常的身體代謝下，血液中 COHb%濃度大約為 0.5%~1%，根據世界衛生組織 (WHO) 建議，對人體無影響之血液中 COHb%濃度為 2%。而有研究指出，若持續暴露在一氧化碳濃度 10ppm 的空氣中，會導致血液中 COHb%濃度到達 2% [5]。將對人體大動脈產生病症之危害[6]。

2-3 微生物

空氣中無固定之微生物群，一般情況下空氣缺乏微生物能利用的養分，因此它不能在空氣中生長繁殖[7]。台灣地處亞熱帶海島型氣候，年平均相對濕度多達80%以上，因此外在環境形成易孳生生物性污染物之溫床，國內長時間監測結果顯示，普遍生物性污染物濃度高於WHO (World Health Organization) 建議規範使用之1000CFU/m³之狀態[8]現今則以環保署公告室內空氣品質建議值為基準值。

2-3-1 細菌

細菌是屬單細胞的原核生物，不具有細胞核，大小約直徑1-5μm，具有無色透明且堅韌富有彈性的細胞壁。細菌大多是從戶外植物表面所釋放，其中大部分為革蘭氏陰性或陽性之桿菌，大海、湖泊與河川也是細菌之主要來源，而室內之通風系統亦可能排放細菌至戶外[8]

2-3-2 真菌

真菌是形態較大的微生物，有單細胞（酵母菌）與多細胞（多細胞的絲狀生物）兩大類。真菌種類繁多，廣佈於大自然中，大部分為腐生菌，無論在大小、形態、結構、細胞和構造及化學組成上都異於細菌。真菌為真核生物，具有發展完全的細胞膜，多數真菌需氧性，生長溫度為 $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。真菌的種類可藉由孢子的形成及形態來做初步的判斷，孢子的大小約在 $2\text{-}10\mu\text{m}$ 之間，可進入人體的下呼吸道而造成傷害 [8]。

2-4 二氧化碳(CO_2)

大氣中二氧化碳的含量約在 $0.03\sim 0.04\%$ ($300\sim 400\text{ppm}$) 之間，在清淨的室內環境中，二氧化碳濃度會接近大氣中之濃度。室內二氧化碳的來源主要來自於人類呼吸、吸菸、及其他燃燒行為。當室內人員密度過高或是換氣效率不佳時，容易造成二氧化碳濃度累積，同時其他的污染物濃度也相對地提高。辦公大樓 CO_2 污染來源絕大多數是由室內工作人員產生，因此由 CO_2 濃度變化可作為管制室內空氣品質代表指標。當人員暴露於較高濃度二氧化碳時（如：辦公大樓），當濃度高於 1000ppm 時，可能會導致超過 20% 的室內人員產生不舒服感，並且產生不舒服感的人數比例會隨著二氧化碳濃度升高而增加。但是這些不舒服感可能是由多種室內污染物所造成的。當濃度高達 2000ppm 時，大部份辦公室人員會感到顯著的不舒服感，並且產生噁心與頭痛的症狀。有時候，在室內場所的人員所暴露的二氧化碳濃度可能高於室外的乾淨空氣。室內二氧化碳濃度，環保署建議值不得超過 1000ppm [5]。

2-5 粒徑小於等於 $10\mu\text{m}$ 之懸浮微粒(PM_{10})

懸浮微粒依其粒徑大小而對呼吸道的影響有所差異，一般將粒徑小於或等 $10\mu\text{m}$ 的微粒稱之為呼吸性微粒，因為這些微粒可隨著呼吸作用進入呼吸系統，並依其粒徑由大至小分別沉降於鼻腔、呼吸道及肺泡細胞，而對於呼吸道有所危害。室內環境中呼吸性懸浮微粒的來源有吸煙、烹煮、建材中之石綿、人造礦物纖維、植物花粉、動物性過敏原、微生物之細菌、真菌、病毒等，依其性質不同而對人體有不同形式之危害[9]。

2-6 粒徑小於等於 $2.5\mu\text{m}$ 之懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)

空氣中存在許多污染物，其中漂浮在空氣中類似灰塵的粒狀物稱為懸浮微粒 (particulate matter, PM)，PM 粒徑大小有別，小於或等於 $2.5\mu\text{m}$ 的粒子，就稱為 $\text{PM}_{2.5}$ ，通稱細懸浮微粒，單位以微克/立方公尺 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 表示，它的直徑還不到人的頭髮絲粗細的 $1/28$ 。許多流行病理學研究結果顯示， $\text{PM}_{2.5}$ 之健康效應包括：早逝、支氣管炎、氣喘、心血管疾病、肺癌等，無論長期或短期暴露在空氣污染物的環境之下，皆會提高呼吸道疾病及死亡的風險[10]。

2-7 綠色消毒劑-二氧化氯(ClO_2)

二氧化氯是一種高效、普遍、快速的消毒劑，發現其殺菌作用已有一百多年歷史，最早只用於水的消毒，可以殺滅各種微生物，包括各種細菌繁殖體、芽孢

、真菌、病毒甚至原蟲等。由於氣體二氧化氯比液體二氧化氯更具有良好的擴散性、穿透性和暴露均勻性等優點[11]，其殺滅微生物之作用機制為對微生物細胞壁有較強的吸附穿透能力，可有效的氧化細胞內含巰基的酶，還可快速抑制微生物蛋白質的合成而破壞微生物[12-13]。二氧化氯為目前國際上所公認較為安全、環保之較新之殺菌劑，且經過美國環境保護署 (EPA)核准用於醫療衛生業儀器設備的消毒之後，更獲得許多國家與地區之使用。又依據文獻，二氧化氯具有強氧化能力，氣態易溶於水、穩定性高、無爆炸性，無腐蝕性等特性。以及消毒功能強，且不產生抗藥性等優點；是一種綠色殺菌消毒劑。它幾乎對真菌、病毒等都有很強的殺滅作用，但它對動植物機體卻不產生毒效，對高等動物細胞無“三致”作用，作為第四代消毒劑，世界衛生組織(WHO)認為該物質完全沒有致癌、致畸性，把它排在安全消毒方法的首位，列為A1級安全消毒劑[14]。二氧化氯對於空氣中懸浮菌落消毒優勢在於二氧化氯在水溶液中能溶解形成穩定的小分子態，而二氧化氯氣體分子則具有搶奪5個電子的強勢氧化能力，室溫時(25°C)即能由水溶液中蒸發汽化，散播於空間之中後並能以極微小的0.2nm氣體分子狀態輕易地穿透滲入病原菌細胞內，以它比氯液高約2.6倍的氧化能力，即能快速地氧化破壞細菌的葡萄糖酶系作用，達到殺滅菌落的效果[15-16]。

三、 研究方法

3-1 研究方法概述

本研究以嘉南藥理大學圖書館演藝廳相對密集的公共場所作為研究對象，並利用環檢所公告之室內空氣中細菌濃度檢測方法(NIEA E301.12C)與室內空氣中真菌濃度檢測方法(NIEA E401.12C)定量分析展演場所環境中微生物之含量外，亦進行現場檢測室內空氣品質因子(溫度、相對溼度、風速、二氧化碳、一氧化碳、PM_{2.5}、PM₁₀、TSP等)。演藝廳體積為348.41m³；得知測試區域之微生物污染情形之後，提供0.3mg/m³二氧化氯消毒劑應用於演藝廳室內活動空間進行殺菌消毒，並探討消毒方式對環境生物性污染物存活之影響及殺菌效果，以便獲得綠色殺菌消毒氣態二氧化氯對公共場所環境空間進行動態空氣消毒技術，為了確保達到環保署所公告之室內空氣品質管理法規定，實驗皆進行一式三份的採樣分析，以符合細菌標準值最高值1500CFU/m³，真菌標準值最高值1000CFU/m³的法規規範；從而切斷病毒微生物的傳播途徑，控制傳染疾病流行。

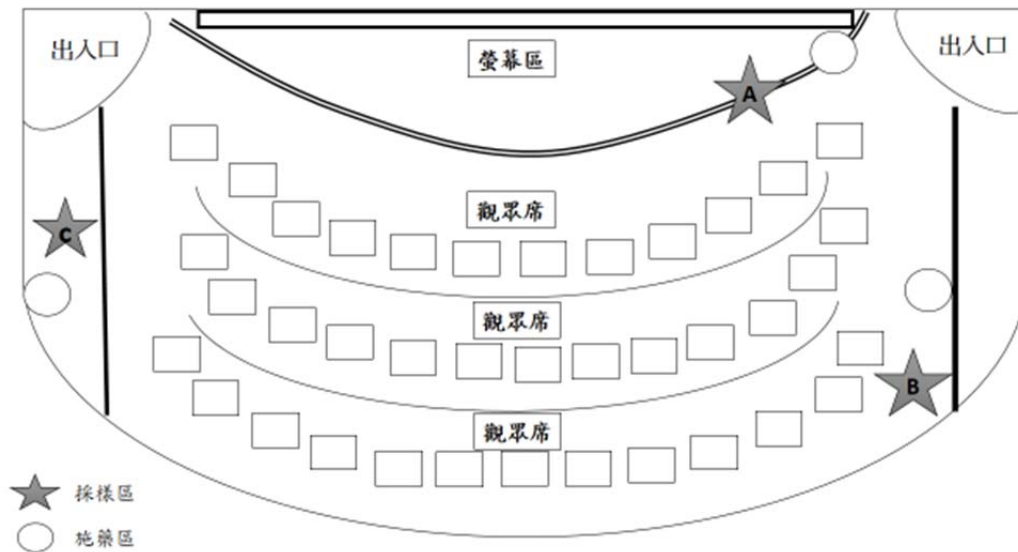


圖 1 圖書館之演藝廳平面圖
(★為採樣點) (○為施藥點)

3-2 實驗步驟

基於前述之研究方法，本研究之實驗步驟其細節分別說明之：

- 3-2-1 由於演藝廳場所室內人員相對集中、走動頻繁、流量大，因此，使用微生物空氣採樣器，採樣佈點按室內面積 $\geq 30\text{m}^2$ ，在四周各設一點及中心點處共設五個採樣點，均距牆 1m ；室內面積 $\leq 30\text{m}^2$ ，即一對角線上選三個採樣點，即心選一個採樣點、兩端距牆 1m 處各選一個採樣點，所採集的點置於呼吸帶的高度。
- 3-2-2 針對此演藝廳內殺菌消毒前之空氣中細菌、真菌含量進行檢測取得背景值；檢測時採用微生物空氣採樣器(MAS-100 Eco Microbial Air Sampler (Merck, Germany, 100L/min)在不同時間點對所測空間環境的空氣進行定時定量採集空氣樣本，抽取定量之空氣流量為 100 公升/分鐘將其衝擊至培養基中進行樣本之採樣，其採樣時間依環境中生物氣膠濃度經培養後，採用平板計數法記取原始空氣中微生物的菌落數，作為殺菌消毒前的對照組。在獲得原始菌落數後，以氣態二氧化氯對選定場所進行殺菌消毒。一為二氧化氯放置於室溫中會以自然燻蒸方式，自然揮發散佈於整個室內之空間，而達到獵殺細菌的目的。另以氣霧機氣霧方式將二氧化氯散佈於整個室內之空間進行消毒，而達到獵殺細菌的目的。
- 3-2-3 在圖書館演藝廳開放時段每小時均進行採樣作業，並在採樣區分別放置二氧化氯消毒劑進行殺菌消毒，消毒時間為演藝廳開放時間：
- 演藝廳放映前 30 分鐘採取生物氣膠背景值，監測環境因子，隨即進行消毒試驗。並於消毒完畢 0.5 個小時後、1 小時、2 小時依此類推分別再次進行監測分析。

- b. 演藝廳開放前 30 分鐘採取生物氣膠背景值，並於放映時觀眾就坐完畢後重複採取背景值，隨即進行第一次投藥消毒法，並於消毒後 30 分鐘後再重複採取生物氣膠，待電影放映完畢觀眾離開時，即再進行第二次投藥消毒法，及監測環境因子，並於觀眾再次入場後，重複每小時採取一次生物氣膠，期望能獲得在較低的殺菌濃度、合理的殺菌時間內，殺菌消毒效果最好。
- 3-2-4 殺菌消毒完成後半小時，按照殺菌前的採樣方法採集殺菌後的空氣樣品，分析檢測其中細菌的菌落數，與對照組對比，即可知氣態二氧化氯對空間環境殺菌消毒的影響因素，並使用 SPSS 統計軟體統計出環境因子與空氣之相關性以獲得氣態二氧化氯對人員相對密集場所空間環境消毒的較佳殺菌消毒方法。
- 3-2-5 消毒方式對殺菌消毒效果的影響：經生物氣膠採樣分析結果，即可進行比較兩種不同消毒方式之消毒殺菌效能。
- 3-2-6 另因空氣中之細菌與真菌因生存狀況不同之性質，因此本實驗將針對演藝廳室內空氣，皆進行採樣並且重複分析，以明確比較演藝廳室內空間之汙染，在空間使用的濃度變化，以做為公共場所空氣消毒提供重要的理論依據和確實可行的方法。

四、結果與討論

本研究以嘉南藥理大學演藝廳為研究對象，因展演場所之演藝廳屬於公共場所，檢測之室內空氣中微生物含量是否過高，應依環保署最新公佈之室內空氣品質管理法為依據，細菌的標準最高值為 1500 CFU/m³ 及真菌的標準最高值為 1000 CFU/m³。為了保護圖書館演藝廳工作人員及觀賞者的安全，在消毒期間，使用氣體二氧化氯安全的濃度 0.3 mg/m³ 作為試驗，當氣體二氧化氯消毒後，開始計時消毒後 0.5 小時、1 小時、2 小時、3 小時、4 小時，對空氣採樣配置平面圖（如圖 1）進行一式三份採樣，並依電影播放次數之不同，分為一次投藥消毒法與二次投藥消毒法之情況，檢測在不同消毒情況下之室內空氣中微生物含量變化情形與消毒之效果。另由於二氧化氯對光線十分敏感，在保存或使用過程中，若二氧化氯溶液受日光或強人工光線照射很快被就會分解失效。但因本實驗之研究地點為圖書館演藝廳，因應放映觀賞所需，其室內空間幾乎未有日照光及開燈次數較不頻繁，因此針對本實驗二氧化氯對於光解速率之影響，暫可忽略。

4-1 演藝廳有觀眾與無觀眾觀賞之差異性

演藝廳之建築設計以「高隔音性」、「高氣密性」及「全空調式」為主，全密閉式的空間容易累積各式空氣中的汙染物，倚賴空調設備的通風亦不足以稀釋所有汙染物；而高隔音性的要求使得演藝廳必須加裝具有隔音效果的窗簾，雖然兼具美化與隔音的效果但卻也間接增加真菌生長的機會；室內空間種種原因都將可能成為危害室內空氣品質的因素之一。其中又以人體本身為最大因素，除了進出演藝廳可能從室外帶入各式粉塵或懸浮微粒之外，人體本身呼吸會產生二氧化

碳，而造成密閉空間二氧化碳過多的情形。因此本實驗亦在實驗過程中記錄每場次的觀眾人數，觀察在消毒前後有無觀眾之情形；透過菌落數與環境因子相關分析(如表一)可得知，在消毒前無觀眾觀賞時，室內溫度只有 $21.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ，然而隨著觀眾的入場觀賞溫度亦逐漸增加為 $30.5 \pm 0.08^\circ\text{C}$ ，表示觀眾對於室內溫度之提升有明顯之影響；而二氧化碳在消毒前無觀眾之情形時，濃度較低為 578 ± 183 ppm，隨著觀眾的入場，二氧化碳濃度亦逐漸增加為 703 ± 63 ppm，表示觀眾容易為室內空間之環境帶來較多的二氧化碳濃度，當人群長時間暴露時便容易帶來疾病與不適感；懸浮微粒(TSP)方面，同樣在消毒前無觀眾時，空氣中的懸浮微粒 $0.035 \pm 0.062 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 較偏低，當觀眾逐漸入場後，容易因為走動以及從室外帶入的空氣污染物而干擾，造成消毒前有觀眾觀賞時的懸浮微粒增加到 $0.645 \pm 0.219 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在使用二氧化氯進行消毒後，可得知當消毒後無觀眾觀賞時其溫度維持在 $20.9 \pm 0.09^\circ\text{C}$ ，隨著觀眾的入場人數的多寡也讓溫度逐漸升高至 $22.5 \pm 0.05^\circ\text{C}$ ；二氧化碳在觀眾尚未進入以前，消毒後之濃度為 649 ± 40 ppm，隨著觀眾的進入、人數的增加，二氧化碳之濃度也逐漸攀升到了 954 ± 381 ppm，而消毒後無觀眾時，懸浮微粒含量只有 $0.316 \pm 0.002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，當觀眾逐漸增加，其懸浮微粒之含量也提高為 $0.517 \pm 0.084 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，藉由消毒前後與有無觀眾對於環境中各項環境因子進行比較，即可得知除了觀眾是首要干擾外其它環境因子也都是影響室內空氣品質之原因之一。

表一 展演廳之二氧化氯處理前後之檢測情況(mean±SD)

	項目	有觀眾	無觀眾
消毒前	在場人數	5.8 ± 0.06^a	-
	溫度($^\circ\text{C}$)	30.5 ± 0.08^a	21 ± 0.1^a
	濕度(%)	63.0 ± 4^b	67.9 ± 3.3^b
	風速(ft/min)	2.3 ± 1.3^c	13.4 ± 1.1^c
	CO ₂ (ppm)	$703 \pm 63^{a-b}$	$578 \pm 183^{a-b}$
	TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.645 ± 0.219^a	0.035 ± 0.062^c
消毒後	在場人數	12.1 ± 6.3^a	-
	溫度($^\circ\text{C}$)	22.5 ± 0.05^a	20.9 ± 0.09^a
	濕度(%)	69.5 ± 2.8^b	69.5 ± 3.5^b
	風速(ft/min)	6.0 ± 3.0^c	2.0 ± 1.0^c
	CO ₂ (ppm)	$954 \pm 381^{a-b}$	$649 \pm 40^{a-b}$
	TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$0.517 \pm 0.084^{c-d}$	$0.316 \pm 0.002^{c-d}$
	總細菌殺菌率(%)	31.8%	33.2%
總真菌殺菌率(%)	58.3%	33.5%	

4-2 環境相關因子針對菌落數之影響

藉由菌落數與環境因子相關分析(如表二),可得知本實驗中相互影響之環境因子關係。其中人數的多寡是最直接影響細菌的變化;而濕度的高低亦容易影響細菌與真菌的潛藏;二氧化氯消毒劑對於細菌與真菌之影響則為負偏差有顯著差異,證明二氧化氯消毒劑用以氣霧的方式對於演藝廳進行消毒殺菌是有效果的;了解環境之相互影響因子,在往後即可將其運用於展演場所的消毒上,以達到保護觀眾健康之目的亦能確實掌控室內空氣品質之優劣。根據表一可明確比較有無觀眾演藝廳觀賞情形,在演藝廳不論消毒前後,在無觀眾觀賞的情形下,其溫度、二氧化碳與懸浮微粒含量均不高,另比較於有觀眾觀賞時,可明顯發現溫度與二氧化碳及懸浮微粒分別高於無觀眾之情形,因此人數對於溫度、二氧化碳與總懸浮微粒等環境因子有相當顯著之影響。

4-3 利用SPSS 雙變數 (Person) 分析關聯性

由表二分析具有極佳顯著性的參數敘述如下:

4-3-1 人數對於溫度、二氧化碳、懸浮微粒以及細菌($p < 0.05$),說明在演藝廳有觀眾觀賞時,容易對環境造成溫度上升、二氧化碳含量濃度及懸浮微粒的濃度增加與細菌含量等影響。

4-3-2 濕度與懸浮微粒之關聯性

- a. 濕度對於懸浮微粒($p < 0.01$),可得知濕度的高低會影響空氣中的懸浮微粒,濕度越高空氣中的懸浮微粒越高,因此保持空氣中低溼度即可降低懸浮微粒的含量。
- b. 濕度對於細菌與真菌($p < 0.01$)濕度對於細菌、真菌,可得知濕度的高低會影響細菌與真菌的生長情形,濕度越高更容易提供細菌與真菌的生長環境,因此保持空氣中低濕度即可降低細菌與真菌之生長。
- c. 濕度對於二氧化氯($p < 0.01$)濕度對於二氧化氯,可得知在使用二氧化氯進行氣霧消毒時,與空氣中濕度的高低造成影響。

4-3-3 風速與懸浮微粒之關聯性($p < 0.01$)

風速具有高度之擴散性及流動性因此風速的大小會影響懸浮微粒的多寡,風速越大空氣中的懸浮微粒較容易逸散,風速越小則容易使懸浮微粒充滿在空氣中而沉降,因此控制風速的大小即可降低空氣中的懸浮微粒含量。

4-3-4 懸浮微粒與細菌之關聯性($p < 0.01$)

空氣中懸浮微粒的多寡會影響空氣中細菌的含量,懸浮微粒越多越容易增加細菌的生長,造成細菌含量較高的情形。

4-3-5 二氧化氯與細菌、真菌、懸浮微粒之關聯性

- a. 二氧化氯與細菌及真菌($p < 0.01$),本實驗採用二氧化氯以氣霧的方式對於演藝廳進行消毒,二氧化氯可有效的降低空氣中的細菌與真菌含量,因此只要適時的利用二氧化氯進行殺菌消毒,即可控制室內細菌與真菌之含

量。

- b. 二氧化氯與懸浮微粒($p < 0.01$) 二氧化氯對於空氣中之懸浮微粒可得知二氧化氯透過氣霧的消毒可有效的減少空氣中的懸浮微粒含量。

表二、菌落數與環境因子相關分析

項目	人數	溫度	濕度	風速	CO ₂	TSP	細菌	真菌
溫度	0.041**							
濕度	1.356	-0.003**						
風速	2.375	3.481	0.047*					
CO ₂	0.029*	0.029*	0.084	2.120				
TSP	-0.043**	1.830	0.002*	-0.038**	-0.027			
細菌	0.003**	0.020	-0.034**	0.021*	0.035**	0.019*		
真菌	0.050	0.044	-0.025**	0.033*	0.041*	0.357		
ClO ₂	0.723	0.104	0.002*	2.353	3.182	0.005**	-0.104**	-0.353**

**顯著性 ($p < 0.01$)

*顯著性 ($p < 0.05$)

4-4 應用消毒劑於演藝廳之探討

實驗中採用二氧化氯投藥進行殺菌消毒，分別為一次投藥消毒法與二次投藥消毒法，其對室內空氣中細菌與真菌濃度之影響如圖2、圖3所示。從一次投藥消毒法細菌殘餘量來看，其背景值為 428 ± 97 CFU/m³，在經過一次投藥消毒法後即明顯下降至 218 ± 99 CFU/m³；另在真菌總殘餘量方面，一次投藥消毒法前其背景值為 297 ± 171 CFU/m³，經由一次投藥消毒法後菌落數亦明顯下降至 204 ± 81 CFU/m³；經由一次投藥消毒法後，可明顯比較細菌與真菌在往後的三小時內，慢慢有下降之趨勢，但到了第四個小時發現細菌為 223 ± 92 CFU/m³，真菌為 131 ± 41 CFU/m³，表示消毒劑對於細菌的殺菌效果在第三個小時後即慢慢失效，而對於真菌效果較趨穩定，因此針對細菌殘留量應在第三個小時後，再行補充消毒劑以進行消毒殺菌之動作，對於細菌之殘留量即可持續作用。嘉南藥理大學圖書館之演藝廳內約有80個觀眾席提供師生觀賞影片，每部影片播放時間平均約在2小時上下，即在同一個時間點將有多數人集中在此空間內，長時間的暴露與密閉式空間，加上觀眾數的多寡都將會使空間內之空氣品質劣壞，引起空氣中各種微生物的散佈，使觀眾容易感染或不適而影響健康。一般我們所常見的電影院就以其中一個觀賞廳而言，一天下來所播放的場次與觀眾數量相對較於龐大，加上因為營業所之需要，整理與休息的時間並不長造成室內中的空氣污染物未逸散完全，下一場次的觀眾又隨即進入，因此容易因為這些污染物而造成身體不適的狀況。為了有效改善此類情況，本實驗模擬一般電影院場次情形，如實驗步驟(3b)，在第一場影片放映結束後清場隨即進行二次投藥消毒法；從二次投藥消毒法細菌總殘餘量來看，其背景值為 428 ± 97 CFU/m³，經過第一次投藥消毒法後明顯下降

至 $256 \pm 117 \text{ CFU/m}^3$ ，待清場時段再次消毒後菌落數更下降為 $186 \pm 96 \text{ CFU/m}^3$ 甚為顯著，又以二次真菌消毒總殘餘量而言，其背景值為 $225 \pm 171 \text{ CFU/m}^3$ ，經過一次投藥消毒法後下降為 $155 \pm 87 \text{ CFU/m}^3$ ，再次消毒後只剩下 $86 \pm 34 \text{ CFU/m}^3$ ，效果更為明顯；再經過兩次投藥消毒法後，細菌在第二次投藥消毒後其菌落數 $117 \pm 28 \text{ CFU/m}^3$ 較具明顯效果；而真菌方面再經過第二次投藥消毒法後，在第4個小時菌落數也明顯為 $69 \pm 42 \text{ CFU/m}^3$ 藉由此兩種不同消毒時間可得知，一部影片在放映時的一次投藥消毒法是有明顯殺菌效果的，而在兩部影片中間清場時段再次投藥消毒，更能延長消毒劑於室內所停留的時間而讓藥效能夠持續進行殺菌，藉以保護觀眾的健康。

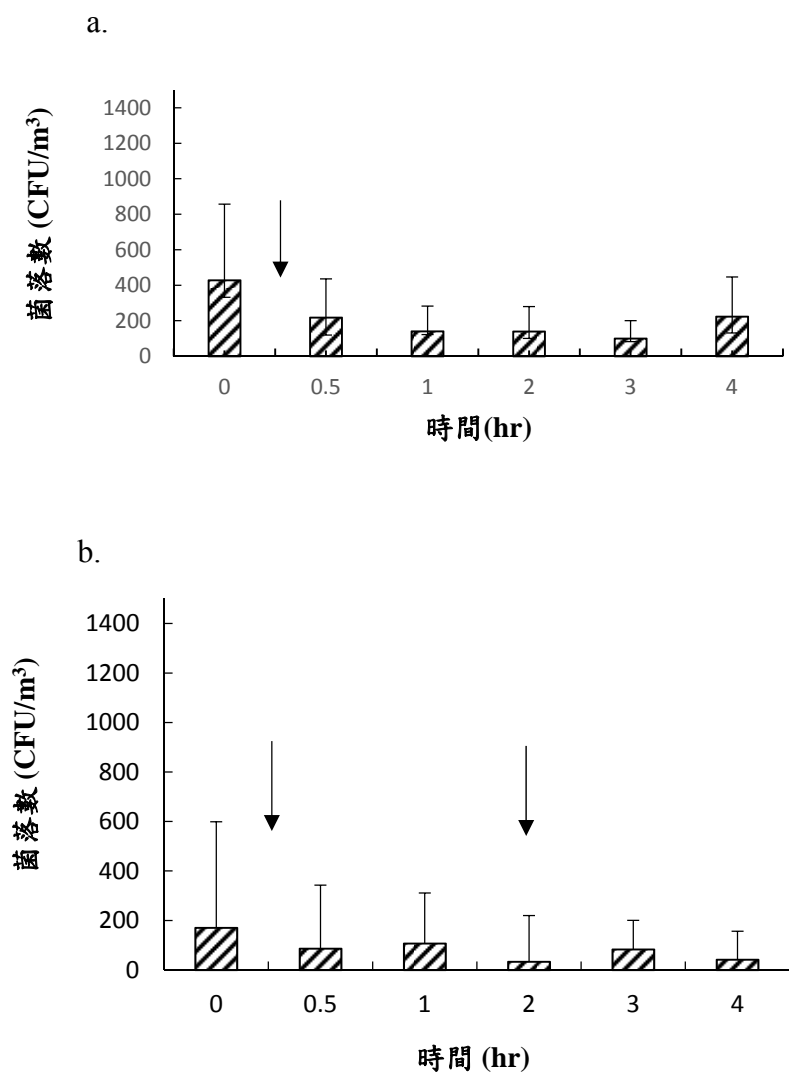


圖 2 一次與二次投藥消毒法之細菌變化量
(a. 一次投藥消毒法 b. 二次投藥消毒法)

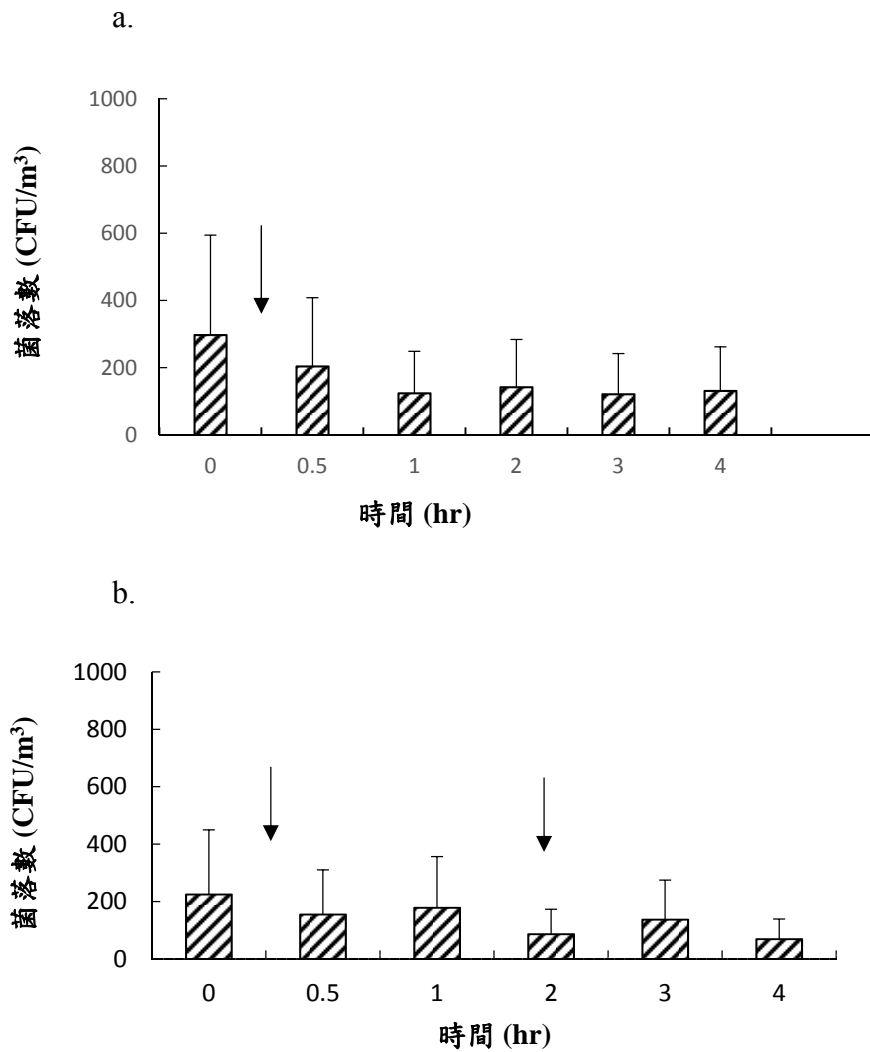


圖3 一次與二次投藥消毒法之真菌變化量
(a. 一次投藥消毒法 b. 二次投藥消毒法)

4-5 以消毒前無觀眾與消毒後有觀眾進行比較

透過圖4、圖5結果可明確比較細菌與真菌在有無觀眾時菌落數的變化情形，在消毒前無觀眾的情況下，所測得之平均細菌與真菌分別為317CFU/m³與456 CFU/m³，觀眾進場經過消毒後所測得細菌又分別降至153 CFU/m³與真菌147CFU/m³；透過觀眾的進出場與消毒後之殺菌效果顯示在觀眾未入場前，演藝廳之菌落數較高，而當觀眾進場後再次消毒所測得菌落數明顯下降；因此若能善於運用觀眾進出場之情形與消毒時間之恰當，將可針對演藝廳室內達到更佳的殺菌效果。

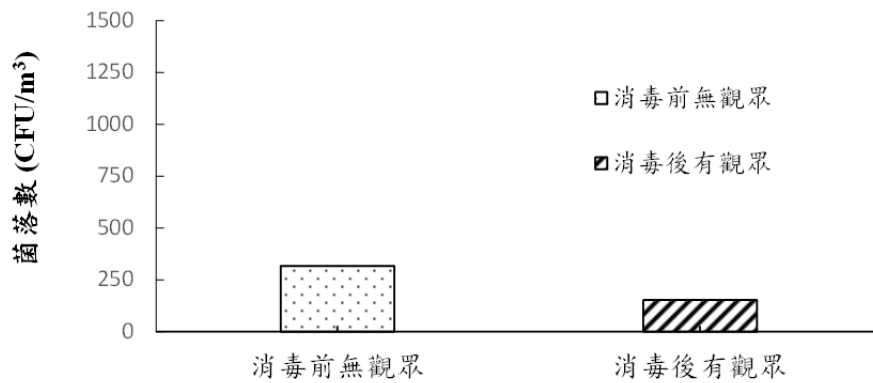


圖 4 演藝廳觀眾對細菌殘留量濃度之影響

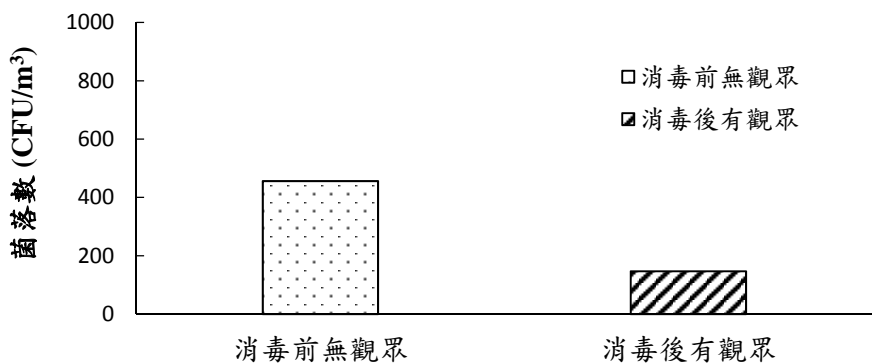


圖 5 演藝廳觀眾對真菌殘留量濃度之影響

4-6 結論與建議

1. 本研究以二氧化氯純淨氣霧滅菌裝置針對演藝廳電影放映次數進行一次與二次不同消毒以及消毒前與消毒後觀眾進出之差異進行比較；平均結果顯示，總細菌殺菌率與總真菌殺菌率在有觀眾的情形下分別為 31.8%、58.3%；另在無觀眾的總細菌殺菌率與總真菌殺菌率則分別為 33.2%與 33.5%。演藝廳之生物氣膠背景值測得濃度大多符合環保署室內空氣品質管理法規定之標準，經實際驗證二氧化氯氣霧在各類型室內空氣環境中進行消毒後，真菌與細菌濃度均能符合室內空氣品質管理法規定。
2. 本研究利用二氧化氯消毒劑釋放於室內空氣進行消毒，二氧化氯與細菌及真菌呈負相關顯著差異($p < 0.01$)，對於演藝廳進行消毒，二氧化氯可有效的降低空氣中的細菌與真菌含量，因此只要適時的利用二氧化氯進行殺菌消毒，即可控制室內細菌與真菌之含量而達到降低演藝廳內生物氣膠濃度之目的。
3. 由於圖書館人員平時對於演藝廳的空氣生物氣膠控制良好，因此室內生物氣膠的濃度不高，利用二氧化氯對演藝廳進行消毒，依然有相當良好的顯著效果，殺菌消毒效果符合環保署室內空氣品質管理法規定濃度之標準。
4. 利用氣霧的方式將二氧化氯均勻氣霧於室內各角落，可達到相當範圍的殺菌效果。並提供適用之二氧化氯有效率氣霧散播模式與有效消毒濃度，以供未來室內空氣消毒之重要參考。

五、致謝

本研究感謝國家科學發展委員會給予機會，通過大專生申請計畫，過程中非常感謝許菁珊老師的指導和C401 實驗室夥伴們無怨無悔的付出，讓此份計畫結案報告書得以順利如期完成。僅此謝忱。

參考文獻

- [1] 行政院環境保護署，空氣品質指引，2008。
- [2] 李信緯，探討室內空氣品質與通風稀釋改善之研究，臺北科技大學優質電力供電產業研發碩士專班學位論文，2007。
- [3] 行政院環境保護署，室內空氣品質介紹，2008。
- [4] 行政院環境保護署，室內空氣品質標準草案總說明，2011。
- [5] 龔聖祐，張嘉智，陳成裕，談室內空氣品質，勞工安全衛生簡訊第 103 期，2014。
- [6] 涂玉峰，室內空氣環境綜合評估指標之探討-以台灣南部工業區辦公大樓為例，國立成功大學建築研究所，第三十屆碩士論文，1999。
- [7] 張靜文，空氣中生物性危害與呼吸防護(下)，北市衛生，46，19-22，1999。
- [8] 江至欽，台灣南部地區室內空氣中生物氣膠特徵之研究，崑山科技大學，環境工程研究所 碩士論文，2011。
- [9] 行政院環境保護署，室內空氣品質資訊網 (搜尋日期 2014/03/12)
<http://iaq.epa.gov.tw/indoorair/index.html>
- [10] 黃小林，職場室內空氣污染預防與管理，行政院勞工委員會安全衛生專業人員訓練教材研究與南區推廣中心，2007。
- [11] 陳宗明，二氧化氯空氣燻蒸消毒動力學探討，中華醫事科技大學生物安全衛生研究所 碩士論文，2009。
- [12] Franke, DL., Cole, EC., Leese, KE., Cleaning for improved indoor air quality and initial assessment of effectiveness, *Indoor Air*, 7(1), 41, 1997.
- [13] Southwell, B., The use of chlorine dioxide as a mold treatment and its effect on paper acidity: A case study, *The journal of academic librarianship*, 28(6), 400-405, 2002.
- [14] USEPA Dioxin Workshop, November 1996, Summary.
- [15] US. EPA., Guidance Manual Alternative Disinfectants and Oxidants: 4. Chlorine Dioxide, US EPA 815-R-99-014, 1999.
- [16] Hoehn, RC. Rosenblatt, AA. and Gates, DJ., Considerations for Chlorine Dioxide Treatment of Drinking Water, Conference proceeding, AWWA Water Quality Technology Conference, Boston, MA, 1996.