# 二氧化氯應用於室內空氣菌落消毒之研究

劉明哲[1] 理筱龍[1] 盧明俊[2] 賴政國[3]

[1]陸軍軍官學校化學系
[2]嘉南藥理科技大學環境資源管理系
[3]陸軍司令部化學兵處核生化防護研究中心

**摘要**

空氣懸浮菌落過高將嚴重影響室內空氣品質(I.A.Q.)，導致疾病防疫與感控困難。活化的二氧化氯溶液是兼具氣體與液體消毒能力的環保消毒劑，本研究蒐整其理化特性與消毒機制的相關文獻，並執行 200-1000 ppm 二氧化氯氣霧在實驗室、醫院與議場中的室內懸浮菌落消毒效能研究。結果顯示活化後的 200ppm、250ppm 與 1000ppm 二氧化氯溶液，分別以超音波震盪方式，釋放 4.0mL/$m^3$、2.5mL/$m^3$ 與 1.0mL/$m^3$ 的氣霧在各類室內空間，均能有效消除空氣懸浮菌落，平均滅菌率為 94.4%；唯室內空間的密閉性、菌落數、人員數、二氧化氯停留時間與空調系統均能影響消毒效能；經實場操作獲得 30 分鐘後達九成消毒率的濃度與釋放量的參考乘積為 625 ppm · mL/$m^3$，該經驗值可提供日後室內空氣消毒規劃依據。

關鍵詞：菌落、室內空氣品質、感控、二氧化氯、消毒

## 一、前言

自 2001 年 9 月美國國會山莊爆發遭炭疽桿菌(Bacillus anthracis)郵包的生物恐怖攻擊事件、2003 年 3 月和平醫院因 SARS 感染擴散而封院事件、2005 年 9 月世界衛生組織(WHO)對全球發佈禽流感(Avian Influenza)疫情將擴大感染上億人的嚴重警訊[1]，面臨這一連串大規模疫病傳染威脅，在在突顯出室內空氣消毒與感染控制(Infection control)作為的重要性，而室內空氣品質(Indoor Air Quality, I.A.Q.)的潔淨度維護，則是感控及預防大型疫病擴散的重要作為[2]。

值得警惕的是，2004 年、2005 年中華民國消基會分別於台北及高雄世貿中心的資訊月展覽會場進行 19 及 16 個採樣點的監測，卻發現空氣中總細菌數均高於環保署建議標準值 500 CFU/ $m^3$，顯示其室內空氣品質極為不佳，更潛藏較高的病菌感染風險。傳統的空氣品質溫濕度控制、加強通風換氣與高效能微粒濾層(HEPA)的空氣循環過濾技術，遭遇人潮擁擠或高傳染性病原(流感病毒、麻疹病毒、退伍軍人肺炎菌與肺結核桿菌等)於空氣中散佈時，恐將不敷使用[3]。

1995 年曾經參與東京地鐵沙林毒氣攻擊恐怖事件鑑定的杜祖健博士等人[4]亦指出：當前恐怖主義橫行，若有人蓄意於地鐵、賣場等室內空間散播致命病原(炭疽桿菌、霍亂菌、班疹傷寒菌、伊波拉病毒與馬爾堡病毒等)，甚至能引發疫病大規模流行，如何研發主動有效的室內空氣消毒技術，實為當務之急。

從 2004 年世界衛生組織的第三版實

驗室生物安全指引(Laboratory biosafety manual) [5]所推薦的生物消毒劑：0.1-0.5 % 次氯酸鈉溶液(NaOCl)、0.1-0.5 %二氯異尿氰酸鈉(NaDCC) 、2 %氯胺(Chloramine)、0.05 %二氧化氯(Chlorine dioxide)、5 %甲醛(Formaldehyde)、70 %乙醇(Ethyl alcohol)與 3 %過氧化氫(Hydrogen peroxide)，以及美國環保署(US.EPA.) [6]所推薦可用於處理炭疽桿菌的消毒劑：二氧化氯($ClO_2$)、環氧乙烯(Ethylene Oxide)、漂白水(Bleach)、甲醛、過氧化氫、溴化甲烷(Methyl Bromide)與汽化過氧化氫(Vaporized Hydrogen Peroxide)中可得知，具有氣體燻蒸消毒能力的為二氧化氯、甲醛、環氧乙烯與汽化過氧化氫，其中甲醛有致癌性，環氧乙烯與汽化過氧化氫具有易燃易爆性，相較之下，二氧化氯應較適用為室內空氣消毒劑。

早在 1967 年，美國環保署[6]已將二氧化氯水溶液登錄為一種消毒劑(Disinfectant)或制菌劑(Sanitizer)，在 1988 年時，美國環保署更將二氧化氯氣體推崇為第三級滅菌劑(Sterilant)，它對於細菌(Bacteria)、病毒(Viruses)、真菌(Fungi)、黴菌(Mold) 孢子(Spores)及原生物，均具有強效殺滅能力。此外，二氧化氯亦為糧食組織(FAO)所推薦的消毒劑，它不受酸鹼度干擾的滅菌性能且不產生致癌性三鹵甲烷(THMs)副產物的特質[7]，也被歐美國家推崇為新一代綠色消毒劑。2001 年 11 月美國環保署[8]即是選用濃度為 500ppm 的二氧化氯氣體為消毒劑，對於遭受炭疽桿菌污染的國會山莊哈特(Hart)參議員辦公室進行燻蒸消毒，成功化解生物恐怖攻擊危機。

在國內的使用規範上[9]，我國環保署於 92 年 8 月 5 日時，已將二氧化氯公告(環署毒字第 0920056920 號)為單一有效成分、濃度在百分之六以下的一種環境衛生用殺菌劑，歸類為不列管環境用藥；衛生署食品藥物管理局則早在 82 年 11 月 15 日，將二氧化氯公告為增列殺菌劑，編號第 4；1999 年 Rutala 等人[10]亦將二氧化氯列為對於危險性醫療器材消毒所使用的一種高層次滅菌劑。

1995 年 ELS [11]曾探討二氧化氯在化學結構上，是一種三原子分子的黃綠色氣體，其氣味與氯氣(Chlorine)相似。二氧化氯極易溶解於水，並且能以氣體分子態溶解在水溶液中(室溫及大氣壓力 30mmHg 時溶解度為 0.29 g/L)而不易水解，但是氯氣一旦溶解在水中，則會逐漸水解而影響作用效能。當二氧化氯處於高於 11℃以上的溫度環境時，即能脫離水溶液，汽化揮發於空氣中(相對於空氣時密度為 2.4)，溶液顏色亦逐漸由黃綠色轉變為無色，此時的二氧化氯氣體分子進入室內空間中迅速擴散。

2006 年 Ison 等人[12]認為二氧化氯能氧化斷裂細胞內的硫氫化學鍵，並藉此研究一系列氧化反應動力常數，他認為當二氧化氯氣體分子碰撞到懸浮的病原菌時，即能輕易地侵入(Penetrate)懸浮於空氣中的病原菌或黴菌細胞壁中，甚至芽胞細菌的莢膜，直接氧化(Oxidize) 葡萄糖氧化脢中的硫氫鍵(-SH)為硫硫鍵(-S-S-)，導致病原菌細胞中的酵素活性崩裂(Disruption)而死亡。因此，二氧化氯的確能夠有效滅除懸浮於空氣中或是躲藏於空調、傢俱等細縫中的黴菌與真菌細胞！

基於上述氣體消毒機制，1998 年 Weaver-Meyers 等人 [13]曾以活化的二氧化氯溶液(200 ppm)為燻蒸劑(Fumigant )，運用擦拭法(Wet wiping)與噴霧法(Fogging)，釋放出 1ppm 二氧化氯的氣體濃度在空氣之中，成功處理美國奧克拉荷

馬州州立大學圖書館空氣系統與藏書櫃的黴菌滋生問題，並去除惱人的臭味(Odor)，這個防治黴菌成功案例(Case)歷經長達 8 年的監測。此外，2002 年 Southwell [14]亦以奧克拉荷馬州圖書館為研究主題，發表以氣態狀活化(Activated)二氧化氯溶液的燻蒸圖書館中的空調系統時，明顯優於使用高效能濾層(HEPA)的空氣循環清淨機，及使用酒精或來舒消毒液(Lysol solution, 酚化合物)擦拭消毒的防治效能，甚至當空氣中出現高濃度的黴菌孢子(spore)導致圖書館員工出現過敏時，二氧化氯的消毒效能都極為明顯有效。

為能因應日後人為或天然疫災發生時，室內空氣環境消毒之所需，本研究首先回顧搜整二氧化氯特性與消毒效能的文獻報告，瞭解二氧化氯對於病原菌或病毒之適當作用劑量與消毒機制(Mechanism)。此外，本研究亦設計實驗實際驗證二氧化氯氣霧在各類型室內空氣環境中的消毒效能，提供適用之二氧化氯氣霧散播模式與有效消毒濃度，俾利未來執行室內空氣消毒與感染控制之重要參考！

## 二、文獻回顧

二氧化氯消毒劑能由氯酸鈉、亞氯酸鈉或市售的穩定化(Stabilized)的二氧化氯試劑，加以鹽酸與硫酸反應生成氣體分子而迅速溶解於水中，成為活化的二氧化氯水溶液[15]。本研究中所使用之 1000ppm 活化二氧化氯儲備液，為使用 EP606 雙試劑藥劑系統所配製而成，相關生成反應方程式請參考式(1)、(2)。

$$5NaClO_2 + 4HCl \text{ -----> } 4ClO_2 + 5NaCl + 2H_2O \quad (1)$$

$$2\ NaClO_2 + Cl_2 \text{ ----> } 2\ ClO_2 + 2\ NaCl \quad (2)$$

二氧化氯分子由 1 個氯原子和 2 個氧原子組成，共結合著 19 個電子，外層軌域上存在一個未成對的活性自由電子，具有很強的氧化作用[11]。同時，由於產生新生態氧，可使微生物內組成蛋白質的氨基酸斷鏈，破壞微生物的酶系統，這種作用力是一般只能使蛋白質變性的含氯消毒劑所不及的[12]。

在消除原理上，二氧化氯是主要是以強氧化能力與單細胞體或病毒表面進行電子奪取，使得細胞酶系統失去活性而自然死亡，達到滅菌效果[15]。消除機制概分為二種[16]：第一種消除機制中，二氧化氯可與含氨基的半胱氨酸、色氨基酸與酪氨酸等胺基酸進行快速的反應，改變原本病毒的蛋白質特性，使病毒活性喪失，例如與小兒麻痺病毒的 RNA 反應，能破壞 RNA 的合成，使其無法進行轉錄複製，第二種消除機制則顯示，二氧化氯能夠與病毒周圍結構的脂肪酸直接反應。

上述兩種模式都有是造成病毒反應不活躍或失活的原因。在另一種消毒機構著重於二氧化氯在生理學上的影響。1967 年 Bernarde 等人[17]認為蛋白質的瓦解是使病毒失活的主要消毒機制，然而在 1980 年 Roller 等人[18]的研究指出這並不是主要的原因。而 1986 年 Aieta 等人[19]的研究則更明確指出，由於二氧化氯能夠破壞外層膜的滲透作用，導致外層膜的蛋白質與脂質滲透率增加，使得病菌逐漸被分解。

微生物的生存與新陳代謝作用，受到它存在的環境介質之氧化還原電位(Oxidation Reduction Potential, ORP)影響甚具[15]，而二氧化氯氣體分子，是氯的正 4 價氧化態的中性化合物，它迫切地希望從環境中獵取 5 個電子，成為氯離子($Cl^-$)的最終穩定狀態，因此具有極高的氧化能力，能殺滅所接觸的微生物[20]。由於

它是單電子的轉移系統，容易經由還原作用形成亞氯酸根($ClO_2^-$)，因此二氧化氯是一種高效率的氧化物[15]。在一系列氧化還原反應中，重要的反應式如下式(3)-(5)所示：

$$ClO_{2(aq)} + e^- = ClO_2^- \quad E_0 = 0.954V \quad (3)$$

$$ClO_2 \xrightarrow{+e^-} ClO_2^- \xrightarrow{+2e^-} OCl^- \xrightarrow{+2e^-} Cl^- \quad (4)$$

$$ClO_2 + 4\,H^+ + 5\,e^- \text{----> } Cl^- + 2\,H_2O \quad (5)$$

1997 年 Huang 等人[21]比較氯氣和二氧化氯對五種菌類的消除效能，發現在相同的濃度(3ppm)和中性的環境下，經消毒 20 分鐘後，二氧化氯幾乎可以達到百分之百的滅菌效果。而在 10ppm 下，包括了像大腸桿菌、金黃色葡萄球菌、枯草桿菌、HBsAg(50ppm)等病原菌，亦可達到百分之百的消除效能。

近期的期刊文獻更突顯二氧化氯優異的消毒效能，2005 年 Gagnon 等人[22]的研究顯示：自來水配水系統中應該添加入 0.52 mg/L 到 1.36 mg/L 的活化二氧化氯(Activated chlorine dioxide)，以避免水塔與水管中繁殖生成大量的異營菌(Heterotrophic bacteria)與生物膜(Bio film)滋生，可以解決現在自來水廠加氯消毒不完全的問題。2006 年 Cho 等人[23]使用活化的二氧化氯($ClO_2$)、氯氣($Cl_2$)、臭氧($O_3$)與紫外光(UV)四種消毒系統，對於最難消毒的微生物-芽孢桿菌(Bacillus subtilis spores)進行一系列的主輔消毒劑搭配滅菌研究，結果顯示以活化二氧化氯為主要消毒劑，搭配氯氣為次要消毒劑，能形成最好的消毒系統。如果遷就各國自來水工業現況，以氯氣為主要消毒劑，則是以搭配活化二氧化氯為次要消毒劑，能形成最好的消毒效能。2006 年 Isomoto 等人[24]對於腸胃內視鏡(Endoscopic)的消毒研究中，使用 30 mg/L 的活化二氧化氯溶液，可在 5 分鐘之內去除在牛血清蛋白中的四種致病微生物菌種(Pseudomonas aeruginosa, Helicobacter pylori, Mycobacterium aviumintracellulare and Bacillus subtilis)，顯示二氧化氯在消毒過程中，避免遭受有機物干擾的效能很優異，對於內視鏡的消毒效能優於現況所使用的戊己醛(Glutaraldehyde)消毒劑！

因此，二氧化氯屬於一種新型的消毒劑，與氯可說是截然不同的化學物質，它對水中的病原微生物，包括病毒、芽孢菌、配水管網中的異養菌及真菌等均有很高的消除制菌作用；且在水中的擴散速度較氯為快，因此在低濃度時較氯更爲有效，且二氧化氯對孢子的殺滅作用比氯強。美國環保署的研究報告[15]亦顯示低劑量的二氧化氯還具有很強的殺蠕蟲效果，如果使用二氧化氯 0.5mg/L，便可將微生物甲殼類中的水生二節虱類殺滅，而用氯殺滅則需 6.0～7.0mg/L。而 1982 年 Akin 和 Hoff 等人[25]對臭氧、二氧化氯、氯及氯胺 4 種消毒劑進行比較，消毒效率：臭氧>二氧化氯>氯>氯胺；穩定性：氯胺>二氧化氯>氯>臭氧。綜合以上兩方面的因素可知，二氧化氯消毒劑應具有比較好的效果和發展潛力。

1946 年 Ridenour 等人[26]的研究報告中就曾指出，二氧化氯能夠使脊髓灰質炎(小兒麻痺症; Poliomyelitiss )的病毒死亡而失去活性，而 1973 年的 Smith 等人[27]則發現，比中性稍高的鹼性環境下，二氧化氯比氯氣在眾多的病毒中，如伊科病毒

7（Echo viruses Type 7）、克沙奇病毒 B3 (Coxsackie virus B3) 與仙台病毒(Sendai virus)具有較佳的滅菌速率；而 1980 年的 Roberts 等人[28]則發表了氯氣和二氧化氯在不同濃度與時間下，對於小兒麻痺病毒 1 型(Polioviruses types 1)消毒的滅菌性能比較（如表 1）。

表 1. 二氧化氯和氯氣對於小兒麻痺病毒的消毒效能比較(資料出處: Roberts 等人[28])

| 消毒藥劑 | 接觸時間 / 濃度 | 2 min | 5 min | 10 min | 30 min |
|---|---|---|---|---|---|
| $ClO_2$ | 2 ppm 病毒殘餘率 | 6.3 % | 1.0 % | 0.4 % | 0.32 % |
| | 5 ppm 病毒殘餘率 | 0.063 % | 0.02 % | 0.01 % | 0.002 % |
| $Cl_2$ | 2 ppm 病毒殘餘率 | 63.1 % | 50.1 % | 39.8 % | 10.0 % |
| | 5 ppm 病毒殘餘率 | 1.26 % | 0.2 % | 0.1 % | 0.1 % |

1997 年 Huang 等人[29]與 1999 年美國環保署[15]對於二氧化氯殺滅病毒的研究報告中，亦可得知其消毒作用比臭氧($O_3$)和氯更為有效，二氧化氯對於水中克沙奇病毒(腸病毒；Coxsackie virus)、伊科病毒(人類腸道病毒；Echo viruses)、小兒麻痺病毒（Polioviruses）、皰疹病毒（Herpes simples virus HSV）、A 型肝炎病毒（Hepatitis A virus）、B 型肝炎病毒（Hepatitis B virus）、新城病毒（Newcastle disease virus）、噬菌體（Bacteriophage）、牛痘病毒（Vaccinia virus）、脊髓灰質炎病毒（Poliomyelitiss）、仙台病毒（Sendai virus）等眾多病毒，均有很好的殺滅效果。

根據美國環境保護署(US.EPA.)在 1989 年對動物及人體所做的研究發現[15]，100ppm 以上以上的 $ClO_2$ 或 $ClO_2^-$ 才會對白老鼠產生生理上的影響，其半數致死量為($LD_{50}$)為 2%二氧化氯溶液 5mL/kg；以 100ppm 二氧化氯溶液持繼對猴子加注四星期後，才會造成甲狀腺素 T4 的減少。至於在人體的試驗上，在 12 個星期 5ppm 的 $ClO_2$ 接觸下是不會有任何影響的。

動物因為屬於多細胞，酶系統較在細胞內較不易被破壞，因此造成致死的濃度較細菌要高很多。除此之外，根據 2002 年美國健康與人類服務部門(US.HHS.)所提出的「二氧化氯與氯酸鹽毒物學剖析報告」中[30]指出，目前為止，並沒有任何毒理研究顯示口服二氧化氯能導致人類致死或致癌，也沒有報告顯示人類皮膚接觸二氧化氯會致癌及致死，因此它目前被認為是比氯氣更安全的消毒系統。

## 三、實驗規劃

### 1. 儀器藥品

(a)微生物培養室(高溫高壓滅菌釜、無菌工作台、恆溫培養箱、菌落計數器)

(b)碘間接滴定設備及硫代硫酸鈉等試藥。

(c)電子微量天平(小數點下三位)。

(d)二氧化氯分光儀（ODYSSEY DR/2500）:直讀法、CRP 及 DPD 法，HACH 公司。

(e)恆溫採樣箱(控制溫度於 4℃)。

(f)培養皿計數培養基(Plate Count Agar)，啟新生技公司。

(g) 總菌接觸型培養基(Total Viable Counts)，Merck 公司。

(h) EP 828 超音波氣霧機(17000 次/秒高頻超音波分子霧化器)，東北棠公司。

(i) Resun 奈米奈米殺菌機，元茂公司。

(j) 空氣菌落採集機 XMX/2AL (100-1000L/min)，Dycor 公司。

(k) 空氣菌落採集機，MAS-100(100L/min)，Merck 公司。

(l) 空氣菌落採集機，Millipore M air T，頤樺公司。

(m) EP 606®二氧化氯雙試劑型藥劑，高碩實業有限公司。

**2. 實驗方法**

**(a)二氧化氯定量分析：**

係參照美國公共健康協會(APHA)等單位出版的「水和廢水標準測試方法」中的碘滴定法與分光光度計法(4500-$ClO_2$ CHLORINE DIOXIDE) [31]，先以碘滴定定量出二氧化氯總氧化力含量，再以 HACH/75 紫外光光譜儀定量分析實際活化的二氧化氯分子成分。

碘滴定法含量計算：

$$\text{二氧化氯含量} = \frac{(V - V_0) \times C \times 0.01349 \times (\text{稀釋倍數})}{(W)} \times 100\%$$

★ V(mL)：滴定所使用硫代硫酸鈉毫升數

★ $V_0$(mL)：空白實驗所消耗硫代硫酸鈉毫升數

★ W(g)：樣品取量數

★ C：硫代硫鈉之當量濃度(N)

**(b)實驗室及會議場所消毒實驗：**

**I.空氣菌落採樣培養：**採樣對象為消毒前後之室內空氣中懸浮菌落：所使用之器皿設備均經滅菌處理後，操作空氣菌落收集機(MAS-100)於選定區域定點進行採樣收集，設定之流量為 100L/min，採集時間為 10 分鐘(1 $m^3$/min)。將空氣採樣所得的培養樣品，直接放入恆溫培養箱進行培養(35±1℃下培養 48 小時)，培養後之樣品經菌落計數器計數，若菌落較為密集，則以四分法計數培養基上所長出的總菌落數。

**II.表面菌落採樣培養：**採樣對象為消毒前、後之桌面，所使用方法有二種：其一為棉棒塗抹法，經採樣後溶於無菌試劑水中，送回檢驗室取樣塗抹於培養皿計數培養基(Plate Count Agar，PCA)中令其形成菌落，進行計數(NIEA E203.53B)。其二為使用德國 Merck 廠製造的總菌落接觸型培養基(TVC)直接進行沾抹採樣培養菌落。

棉棒塗抹法：將滅菌後之棉花棒於一定面積上(約 100$cm^2$)規則塗抹進行採樣，之後置入已放入 10 ml 保存試劑水之採樣玻管中保存。再將採好的樣品於容器外側貼上「標示標籤」。將採集後之樣品保存於 4 ℃恆溫保溫箱中。由採樣試管吸取 0.2mL 的水樣滴在培養基上，進行菌落培養，每一個採樣點做兩個培養皿(重複實驗)。再將已滅菌之彎曲玻棒放在培養基上，再用手或旋轉桌旋轉培養皿至水樣均勻分佈於培養基表面。先放置一盤去離子水於培養箱底部維持濕度。最後倒置培養皿於培養箱內，在 35±1℃下培養 48 小時。經 48 小時後，取培養後的培養基在菌落計數器中計數，同一培養皿至少應計數兩次，取其平均值。

總菌落接觸型培養基(Total Viable Counts)沾抹法：將 TVC 接觸型培養基(約 10$cm^2$)直接沾抹進行桌面採樣，之後迅速置入培養基之試管。完成試管採樣標示後，送入恆溫培養箱於 48 小時後，比對原廠菌落對照表進行菌落計數。

**III.醫院環境室內空氣消毒實驗：**

本部分實驗以國內北部某醫院為對象，區分為三個階段：其一：背景值測定及二氧化氯滅菌效能評估：使用加拿大Dycor公司的XMX/2AL空氣菌落採集機(100-1000L/min)，於週三早上10點鐘進行空氣中氣膠菌落背景值監測作半封閉式空間(內科候診區)、半封閉式空間(外科候診區)、開放式空間(急診部門)及並選定內科候診區實施250ppm的二氧化氯超音波氣霧滅菌30分鐘後，採樣評估滅菌結果。

其二、環境空氣菌落監測結果：再針對院內設置奈米殺菌活氧機的「內科候診區」、「洗腎中心」與「RCC呼吸治療中心」，以及設置二氧化氯氣霧機的「ICU加護病

其三、二氧化氯氣霧添加滅菌測試：在監測期程最後連續兩天(三月十日、十一日)於奈米殺菌活氧機操作環境的內科候診區中進行添加實驗，使用 EP606 二氧化氯氣霧機及手持式噴霧器在同一環境下釋放出250ppm 的二氧化氯氣霧 1 公升於空間中， 1 小時後採樣驗證其滅菌效能，藉以分析評估兩類型空氣滅菌系統的滅菌效能；除此之外，本次監測作業中亦同時以德國 Merck 的 MAS-100 空氣菌落收集機(採樣流量為 100L/min)，藉以比對原先使用較大流量的加拿大 Dycor 公司 XMX/2AL 空氣菌落採集機(採樣流量為1000L/min)採集效率。

表 2. 200 ppm 二氧化氯超音波氣霧於密閉實驗室內消毒效能測試表

| 二氧化氯超音波氣霧實驗一 | 空間中採集菌落數($CFU/m^3$) [1.] | 滅菌率(%) | 二氧化氯超音波氣霧實驗二 | 空間中採集菌落數($CFU/ m^3$) | 滅菌率(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 密閉空間背景值採樣 | 480 | - | 密閉空間背景值採樣 | 560 | - |
| 超音波氣霧產生 10 分鐘 | 130 | 72.9 | 超音波氣霧產生 10 分鐘 | 180 | 67.9 |
| 超音波氣霧產生 30 分鐘 | 20 | 95.8 | 超音波氣霧產生 30 分鐘 | 50 | 91.1 |

註 [1.]：空間總菌落數採樣培養方法為 NIEA E 203.51B 生菌塗抹法。

## 四、 結果與討論

### 1.二氧化氯於實驗室內消毒研究

選擇一個能將空間密閉的實驗室，進行空氣懸浮菌落背景直採樣後，控制溫度為 25℃、相對溼度為 75 %。使用 EP606 超音波氣霧機將 200 ppm 活化後的二氧化氯溶液，經由表面音波震盪產生次微米級的二氧化氯氣霧(Fog)，並使用風扇將其平均釋放於整體空間之中，進行室內空氣消毒[32]。由表 2.可明確得知 22.5 立方公尺的室內空間中，使用超音波氣霧滅菌系統，以中等流量模式操作 30 分鐘之後(每分鐘噴出約 3.0 毫升溶液量，總噴出氣霧量約 90 毫升，空間濃度約為 0.29ppm)，可將現場空間菌落消除九成以上，重複測試後所得結果仍然一致，結果顯示以二氧化氯超音波氣霧滅菌系統，確能有效進行醫療院所或公共場所的空間菌落消毒，提昇微生物感染控制效能。

因為二氧化氯沸點僅為 11℃，25℃常溫下即可自然揮發於空氣中(測試現場溫度：25℃，溼度：75%)[12]，為能進一步瞭解使用 200 ppm 活化二氧化氯超音波氣霧，與使用 1000 ppm 活化二氧化氯消毒液於自然揮發時的消毒效能差異性，因此設計在無菌玻璃片上，先佈菌再燻蒸消毒的實驗，實際比較二氧化氯氣霧與揮發氣體的滅菌效能。由表 3.中得知，使用 1000 ppm 二氧化氯溶液，同樣對於測試玻片距離 6 公分處，進行自然蒸發滅菌測試時，亦發現僅需 10 分鐘即能達到 100 % 的有效滅菌，結果顯示 1000 ppm 的二氧化氯溶液於自然揮發過程中，亦具備良好的空氣滅菌效能！

消毒作用，無論是操作超音波氣霧或是自然揮發方式，皆是運用其低沸點的特性，使其迅速揮發於空氣之中，若是使用其他噴灑機具或是直接潑灑於環境空間，只要能掌握其活化後濃度與釋放時間，同樣能將二氧化氯分子釋放於空間之中，達到空氣消毒的目的[33]。各式噴灑機具之間的功能差異，應在於釋放速度與劑量控制的能力，超音波氣霧機所噴出的液體顆粒因為直徑能達到次微米級，氣霧化效果良好，因此也較能將二氧化氯氣體快速地釋放於空間之中，若加以計時計量的控制設備，頗適合用於特定空間的空氣消毒與感染控制！

表 3. 1000 ppm 活化二氧化氯溶液於自然蒸發法滅菌效能測試表

| 1000 ppm 活化二氧化氯<br>溶液自然蒸發法測試條件 [1.] (25℃) | 總菌落數(塗抹採樣法 [2.])<br>(CFU/cm$^2$) | 滅菌率<br>(%) |
|---|---|---|
| 測試玻片塗抹菌落後十分鐘 | 250 | - |
| 自然揮發滅菌 10 分鐘 | 0 | 100 |
| 自然揮發滅菌 30 分鐘 | 0 | 100 |
| 自然揮發滅菌 60 分鐘 | 0 | 100 |
| 自然揮發滅菌 120 分鐘 | 0 | 100 |
| 自然揮發滅菌 180 分鐘 | 0 | 100 |

註 [1.]：溫水配製 1 公升 1000 ppm 的二氧化氯溶液，裝於 2 公升玻璃燒杯中 12 小時後，再將測試玻片覆蓋於瓶口上(距離約 6 公分)，進行氣體滅菌測試。

註 [2.]：總菌落數採樣培養方法參考 NIEA E 203.51B 生菌塗抹法。

空氣中病原菌的傳播模式，依其粒徑大小有其差異：微粒或直徑大小在 0.2 微米到 5 微米之間的病原菌浮質飛沫，可漂浮的距離達 100 公分，在空氣中更能長時間漂浮，當吸入此類含浮質空氣即可被感染，如天花、肺結核桿菌、退伍軍人菌與德國麻疹等；而空氣中直徑達於大於 5 微米的飛沫顆粒，亦由咳嗽談話散佈於 30 公分距離內，造成疾病傳染如流感與流行性腮腺炎等疾病[34]。

事實上，二氧化氯對於空間中懸浮菌落的

探究二氧化氯對於懸浮菌落消毒能力的優勢機制，應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℃)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 0.2 nm 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胺系運作，達到殺滅菌落的效果。

**2.二氧化氯於醫院室內消毒研究**

**(a)醫院室內候診區的二氧化氯滅菌效能**

生物氣膠(Aerosols)為醫院內細菌、病毒傳播的重要媒介，欲執行具有代表性的醫院內生物氣膠採樣並不容易，因為採樣作業中很容易因時間、空間、溫度、溼度與流動量等因子干擾，進而影響菌落培養的結果代表性。本研究先以隨機採樣方式，操作 XMX/2AL 空氣菌落採集機(1000L/min)，進行背景值隨機採樣收集，內科候診區空間容積約為 445.5 立方公尺，在估算有效的 250 ppm 二氧化氯釋放量(2.5mL/$m^3$)之後[35]，計劃將二氧化氯溶液，使用超音波氣霧與手持噴霧方式，將氣中進行氣體滅菌效能測試。在測得內科候診區的背景值後，開啟 EP 606®超音波氣霧機(3mL/min)進行噴霧，總共釋放出 1090 毫升的 250 ppm 二氧化氯溶液於空間中，因其沸點(11℃)低於室溫 24℃，當溶液氣霧化之後，二氧化氯氣體分子立即揮發出來獵殺空間細菌，將候診區空間靜置 30 分鐘後，此時空間中氣體最大濃度相當於 0.22ppm，仍低於美國勞委會(US.OSHA.)公告容許濃度值 0.30ppm，對於人體應無危害效應，其測試結果參見表 4.。

評估不同區域中每立方公尺氣積量的菌落情形，初步得知屬於開放式空間的急診部門為 58 CFU/$m^3$，半封閉式空間的外科候診區為 183 CFU/$m^3$，半封閉式空間的內科候診區則為 318 CFU/$m^3$，因此最後選擇菌落數最高的內科候診區做為二氧化氯氣體滅菌測試對象。

表 4. 內科候診區的 250 ppm 二氧化氯氣體滅菌效能測試

| 內科候診區測試 | | 採樣點 A | | 採樣點 B | | 平均值 | 平均滅菌率(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 候診區空間 (445.5$m^3$) | 背景值 (CFU/15L) | 750 | 8720 | 1750 | 14040 | 6315 | 94.9 |
| | 滅菌後 (CFU/15L) | 350 | 80 | 750 | 110 | 323 | |

表 4.中所使用的菌落採集機，每次採氣量為 15000 公升，相當於 15 立方公尺，因此，經由換算得知內科候診區的背景值平均約為 421CFU/ $m^3$，尚能符合醫院空氣菌落常態分布的 370 CFU/$m^3$ 至 740 CFU/$m^3$ 個的正常標準；同樣採樣點的菌落數差異現象，應與現場候診人數多寡有關。當進行第一次背景值採樣時，候診區中約有 20 名患者，空間菌落數為 83 個/1090 毫升的二氧化氯溶液揮發釋放於空$m^3$，而進行第二次背景值採樣時，候診區中較多約有 70 名患者，空間菌落數增加為 758 CFU/ $m^3$，由此推測患者愈多，可能染菌的氣膠量將會提昇、流布感染機會也將升高；經過二氧化氯氣體滅菌之後，背景平均值由每立方公尺 421 個，降低為僅有 21 個，遠低於新加坡(500 CFU/$m^3$)與日本(300 CFU/$m^3$)的高品質空氣標準[34]，平均滅菌率高達 94.9 %。

依據郭昭吟等學者的研究中[35]指

出，醫院內生物氣膠中所鑑定出的菌類包括不動桿菌屬(Acinetobacter spp.)、伯克霍爾德菌屬(Burkholderia)、大腸桿菌(E. coli)、腸球菌(Entercoccus)、克雷伯士氏桿菌屬(Klebsiella spp.)、綠膿桿菌(Ps. aeruginosa)、金黃色葡萄球菌(S. aureus)、表皮葡萄球菌(Sta. epidermidis)等，其致病能力已經相當可觀，若再加上其他未能鑑定出來的病毒、真菌、細菌孢子等微生物，對於醫護人員與病患的威脅更大，流行性感冒病毒、腸病毒甚至 SARS 病毒均可能藉此途徑傳布，要落實感染控制，生物氣膠的監視與有效地消毒作為不容忽視。

**(b)環境空氣菌落監測結果：**

醫院各類型環境區域的空氣品質要求規範並不相同，吾國上為加以區隔細分，若以環保署公告的第一類空氣中細菌(GB15982，1995)，「內科候診區」與「洗腎中心」管制菌落數為 500 個/立方公尺，而「RCC 呼吸治療中心」與「ICU 加護病房」則為 200 個/立方公尺。

表 5.桃園某地區醫院環境空氣懸浮菌落監測結果表

| 監測區域 / 監測日期 | 內科候診區 (CFU/$m^3$) | | 洗腎中心 (CFU/$m^3$) | | RCC呼吸治療中心 (CFU/$m^3$) | | ICU-加護病房(CFU/$m^3$) | | 當日空氣平均菌落數 (CFU/$m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 內* | 外* | 內 | 外 | 內 | 外 | 內 | 外 | |
| 2 月 18 日 | 447 | 473 | 160 | 293 | 193 | 197 | 187 | 177 | 266 |
| (1100) | 460 | | 227 | | 195 | | 182 | | |
| 2 月 25 日 | 304 | 227 | 220 | 314 | 440 | 438 | 287 | 170 | 300 |
| (0945) | 266 | | 267 | | 439 | | 229 | | |
| 3 月 03 日 | 650 | 500 | 664 | 310 | 221 | 211 | 184 | 218 | 370 |
| (1020) | 575 | | 487 | | 216 | | 201 | | |
| 3 月 10 日 | 606 | 922 | 767 | 438 | 67 | 452 | 214 | 200 | 458 |
| (1000) | 764 | | 603 | | 259 | | 207 | | |
| 3 月 11 日 | 443 | 98 | 150 | 247 | 97 | 58 | 108 | 70 | 159 |
| (1030) | 271 | | 198 | | 78 | | 89 | | |
| 監測四週各區平均菌落數 (CFU/m3) | 467 | | 356 | | 237 | | 182 | | 311 |

註：“內* ”：採樣區域內距離門口較遠的六分交叉點

“外* ”：採樣區域內距離門口較近的六分交叉點

由表 5 針對醫院進行連續四週的空氣監測資料可得知:「內科候診區」與「洗腎中心」的平均菌落數分別為 467 個/立方公尺與 356 個/立方公尺，尚符合管制標準(圖 1、圖 2)，而「RCC 呼吸治療中心」與「ICU 加護病房」則分別為 237 個/立方公尺與 182 個/立方公尺(圖 3、圖 4)。RCC 呼吸治療中心雖然已經設置有奈米殺菌活氧機，但其空氣菌落數仍超過該區域的建議管制標準(200 個/立方公尺)，而設置二氧化氯氣霧機的 ICU 加護病房則低於建議管制標準。

此外，在設置有二氧化氯氣霧機的 ICU 加護病房中，所進行五次監測的平均菌落數為 182、229、201、207、89 個/立方公尺均低於監測當日的各區平均菌落數 266、300、370、458、159 個/立方公尺，由圖 5.顯示 ICU 加護病房空氣中的菌落數消毒效能穩定。而設置有奈米殺菌活氧機的內科候診區，連續四週的空氣菌落監測平均值為 467 個/立方公尺，雖仍符合管制標準 500 個/立方公尺，但是也相當的接近前次實驗中所測得背景值 421 個/立方公尺。因此，就半封閉性的內科候診區監測結果判斷，奈米殺菌活氧機在該區的滅菌效能可能不佳。就整體而言，經由一個月的空氣懸浮菌落監測，結果顯示二氧化氯氣霧機在醫院室內的環境滅菌運作效能較優於奈米殺菌活氧機。

探究上述監測環境中所使用的二種滅菌系統的性能評析如下：奈米殺菌活氧機屬於被動式滅菌機制，主要是利用進氣幫浦先將室內空氣循環抽入離化吸附區與活性碳濾網過濾後，再進入紫外光所照射的奈米光觸媒通道，藉以分解臭味與殺菌[36]，若定期更換濾層，對於空氣中的塵粒異味濾除，促進空氣清潔，應有不錯效能；但是此類型殺菌機其滅菌盲點，可能會出現在其一、操作環境空間密閉性不足時，會導致室內空氣無法徹底進入機器內循環滅菌，且有經由門窗抽入室外空氣的疑慮，若再加上病人出入頻繁，其換氣滅菌能力將更為有限！

其二、奈米光觸媒的有效滅菌運作條件較為嚴格，除了空氣的塵埃量不能過高，否則容易造成奈米觸媒的照光作用障礙之外，醫院空間中的揮發性有機溶劑等化學物質(醇、醛、醚)，更容易造成光觸媒的毒化作用 (Toxic action)與鈍化作用(Deactivation) [37]，即是光觸媒表面發生遭分解與未分解的化學物質覆蓋，導致光觸媒失效的反應，因此光觸媒的壽命，在實際的醫院工作環境中，可能變得十分短暫。

雖然燻蒸作業時的空間密閉性十分重要，但因二氧化氯氣體分子的產生釋放會立即擴散到空間各處，二氧化氯亦可在空氣中存在數小時，進而主動擴散至各處分解臭味與殺滅細菌病毒，若非進行全面淨空消毒，其滅菌效能仍能於密閉或半密閉式空間中得以發揮，唯須採取人工定時加藥與開關機作業，較奈米殺菌活氧機多了人為的操作影響效應，增加人力與藥劑成本！

**(c)內科候診區中二氧化氯氣霧添加滅菌效能**

在本次空氣監測作業的最後連續兩天，選定奈米殺菌活氧機效能較不易發揮的內科候診區為測定環境，在奈米殺菌活氧機開機運轉狀態下，先完成現場空氣菌落背景值採樣後，將奈米殺菌活氧機予以關機，再使用二氧化氯氣霧機與手動噴霧器，釋放出 250ppm 的二氧化氯氣霧 1 公升於空間中，靜置 1 小時後採樣驗證其滅菌率分別為 69.6％ 與 59.4％，(參見表 6.所示)，滅菌率低於前一次測得的 94.6%，

推測可能為內候候診區中較多的患者(約 70 名)，在系統靜置一小時後，二氧化氯隨著半封閉式的空氣的流動而降低滅菌效能；但結果仍顯示二氧化氯氣霧系統，確能有效降低內科候診區的空氣菌落數。

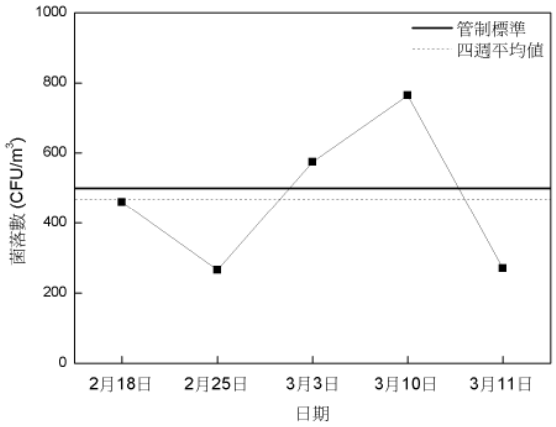


圖 1. 內科候診區空氣懸浮菌落監測圖

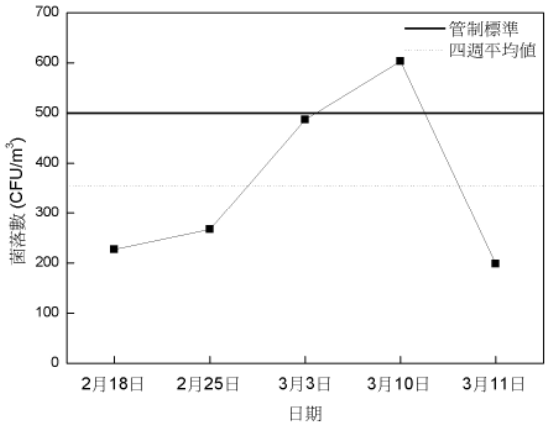


圖 2. 洗腎中心空氣懸浮菌落監測圖

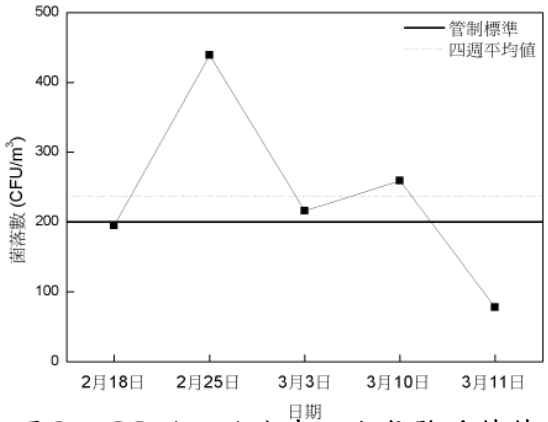


圖 3. RCC 呼吸治療中心空氣懸浮菌落監測圖

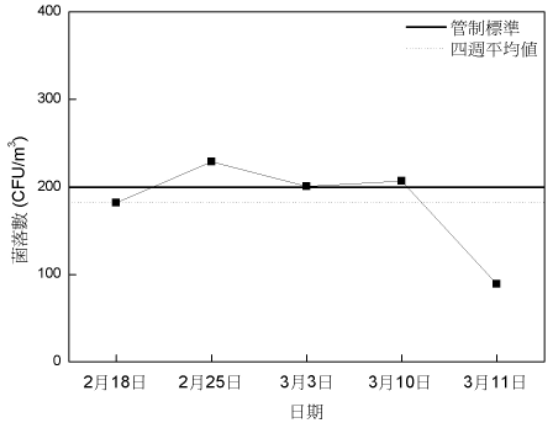


圖 4. ICU 加護病房空氣懸浮菌落監測圖

此外，在設置有二氧化氯氣霧機的 ICU 加護病房中，所進行五次監測的平均菌落數為 182、229、201、207、89 個/立方公尺均低於監測當日的各區平均菌落數 266、300、370、458、159 個/立方公尺，由圖 4.顯示 ICU 加護病房空氣中的菌落數消毒效能穩定。而設置有奈米殺菌活氧機的內科候診區，連續四週的空氣菌落監測平均值為 467 個/立方公尺，雖仍符合管制標準 500 個/立方公尺，但是也相當的接近前次實驗中所測得背景值 421 個/立方公尺。因此，就半封閉性的內科候診區監測結果判斷，奈米殺菌活氧機在該區的滅菌效能可能不佳！就整體而言，經由一個月的空氣懸浮菌落監測，結果顯示二氧化氯氣霧機在醫院室內的環境滅菌運作效能較優於奈米殺菌活氧機。

探究上述監測環境中所使用的二種滅菌系統的性能評析如下：奈米殺菌活氧機屬於被動式滅菌機制，主要是利用進氣幫浦先將室內空氣循環抽入離化吸附區與活性碳濾網過濾後，再進入紫外光所照射的奈米光觸媒通道，藉以分解臭味與殺菌[36]，若定期更換濾層，對於空氣中的塵粒異味濾除，促進空氣清潔，應有不錯效能；但是此類型殺菌機其滅菌盲點，可能會出現在其一、操作環境空間密閉性不足

時，會導致室內空氣無法徹底進入機器內循環滅菌，且有經由門窗抽入室外空氣的疑慮，若再加上病人出入頻繁，其換氣滅菌能力將更為有限！

其二、奈米光觸媒的有效滅菌運作條件較為嚴格，除了空氣的塵埃量不能過高，否則容易造成奈米觸媒的照光作用障礙之外，醫院空間中的揮發性有機溶劑等化學物質(醇、醛、醚)，更容易造成光觸媒的毒化作用與鈍化作用 [37]，即是光觸媒表面發生遭分解與未分解的化學物質覆蓋，導致光觸媒失效的反應，因此光觸媒的壽命，在實際的醫院工作環境中，可能變得十分短暫。

雖然燻蒸作業時的空間密閉性十分重要，但因二氧化氯氣體分子的產生釋放會立即擴散到空間各處，二氧化氯亦可在空氣中存在數小時，進而主動擴散至各處分解臭味與殺滅細菌病毒，若非進行全面淨空消毒，其滅菌效能仍能於密閉或半密閉式空間中得以發揮，唯須採取人工定時加藥與開關機作業，較奈米殺菌活氧機多了人為的操作影響效應，增加人力與藥劑成本！

**(c)內科候診區中二氧化氯氣霧添加滅菌效能**

在本次空氣監測作業的最後連續兩天，選定奈米殺菌活氧機效能較不易發揮的內科候診區為測定環境，在奈米殺菌活氧機開機運轉狀態下，先完成現場空氣菌落背景值採樣後，將奈米殺菌活氧機予以關機，再使用二氧化氯氣霧機與手動噴霧器，釋放出 250ppm 的二氧化氯氣霧 1 公升於空間中，靜置 1 小時後採樣驗證其滅菌率分別為 69.6 % 與 59.4 %，(參見表 6. 所示)，滅菌率低於前一次測得的 94.6%，推測可能為內候候診區中較多的患者(約 70 名)，在系統靜置一小時後，二氧化氯隨著半封閉式的空氣的流動而降低滅菌效能；但結果仍顯示二氧化氯氣霧系統，確能有效降低內科候診區的空氣菌落數。

表 6. 250ppm 二氧化氯氣霧添加於內科候診區滅菌測試結果表

| 內科候診區(445.5m$^3$) | | 採樣點 A | 採樣點 B | 平均值 | 平均滅菌率(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 月 10 日 (1000) | 背景值(CFU) | 606 | 922 | 764 | 69.6 |
| | 滅菌後(CFU) | 346 | 118 | 232 | |
| 3 月 11 日 (1030) | 背景值(CFU) | 443 | 98 | 271 | 59.4 |
| | 滅菌後(CFU) | 150 | 70 | 110 | |

在三月十一日的採樣過程中，同時以 MAS-100 空氣菌落收集機(採樣流量為 100L/min)，進行菌落收集能力比對實驗，結果發現內科候診區背景值為 182 個/立方公尺、二氧化氯滅菌後為 88 個/立方公尺，滅菌率顯示為 51.7%，兩種滅菌系統均能合乎該區域的建議管制標準的 500 個/立方公尺；就上述兩型菌落採集機的效能比對結果，德國默克 MAS-100 的採集效能約為加拿大 Dycor 公司 XMX/2AL 空氣菌落採集機的 73.6 %，顯示出不同進氣流量的空氣採樣機具對於最終的菌落結果，仍

然有所差異，進行監測作為時必須加以注意！

**(d)高雄某大學醫務所二氧化氯氣霧滅菌效能**

在醫務所的各區間空氣菌落採樣顯示為 78-280 個/立方公尺，均符合環保署空氣菌落建議標準 500 個/立方公尺以下。使用 2mL/$m^3$ 的 500ppm 二氧化氯超音波氣霧進行消毒 15 分鐘後，平均消毒效能為 63.1%，表 7.結果顯示並不如預期之九成消毒滅菌效能，而急診室為拉簾式的隔間更不屬於密閉式空間，其藥劑釋放量無法精確估算，其消毒效能自為最低。

二氧化氯氣霧空氣消毒與空氣中懸浮菌落採樣作業，請參見圖 5 及圖 6。探究醫務所整體室內空氣消毒效能降低的主要原因，應在於釋放二氧化氯氣霧時間不足與空調系統未能關閉所致，因二氧化氯氣體分子必須先脫離水霧，揮發與擴散至該區間中，方能執行菌落消毒作用，若未能封閉該區間 30 分鐘以上，給與二氧化氯作用時間，勢必造成消毒效能嚴重影響；另外，空調系統的循環擾動也會影響採樣的穩定性，若該區間未裝設 HEPA 濾網或濾網未定期更換，都可能影響消毒效能。

表 7.某校醫務所各區間 500ppm 二氧化氯氣霧空氣消毒效能比較表

| 項次 / 採樣點 | 消毒前 (CFU/$m^3$) | 消毒後 (CFU/$m^3$) | 滅菌率 (%) | 平均滅菌率 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 隔離病房 | 264 | 96 | 63.6 | 63.1 |
| 觀察病房 | 186 | 68 | 63.4 | |
| 急診室 | 212 | 116 | 45.3 | |
| 候診室 | 280 | 84 | 70 | |
| 內科問診室 | 220 | 72 | 67.3 | |
| 二樓辦公室 | 78 | 24 | 69.2 | |

圖 5 以 500ppm 二氧化氯氣霧執行候診室空氣消毒

圖 6 空氣中懸浮菌落採樣作業圖

**3.二氧化氯於議場室內消毒研究**

為維護空氣品質的高潔淨度與盡量避免將議場室內的環境噴濕，影響許多電信通訊與影音傳輸器材設施之正常運作，本空氣消毒的實場研究案例，採用高濃度低劑量方式[32]，釋放二氧化氯氣霧於室內空間之中，測試空氣與桌面菌落的消毒效能。因此，將活化後的 1000ppm 高濃度二氧化氯消毒液搭配能產生次微米級氣霧的 EP828 大型移動式超音波震盪氣霧機，將二氧化氯以分子方式快速地釋放於專案會議場的各區會議室與辦公室空間之中，每立方公尺釋放 1 毫升 1000ppm 活化後二氧化氯溶液(整體空間體積約 17600 立方公尺)，消毒之後將空間封閉 30 分鐘，再以德國默克(Merck)的 MAS-100 空氣菌落收集機(採樣流量為 100L/min)進行空氣菌落採樣分析，結果顯示消毒後空氣中懸浮菌落均明顯降低，各區室內平均滅菌率為 92.5%，空氣消毒效能亦為良好，相關結果請參見表 8.。

將本段實場消毒效能與前段醫務所環境空氣消毒比較得知：消毒後的空間封閉時間確為重要之控制因子，封閉時間為 15 分鐘時，平均滅菌率為 63.1%，而封閉時間為 30 分鐘後，平均滅菌率提昇為 92.5%，顯示消毒時間加倍後，消毒效能提升 1.47 倍，相當於實驗室所測得的 1.32 倍，可知實場空氣消毒作業時間的控制，將造成消毒效能重要影響。

此外，在釋放出適量之二氧化氯氣霧後，同時發現桌面因氣霧液滴沈降效應而出現一層極薄的二氧化氯液膜，為瞭解這層薄膜的消毒效能，在消毒前即先針對各區會議室與辦公室執行桌面菌落採樣作業，執行二氧化氯氣霧消毒過後，再進行表面塗抹採樣與總菌落型菌落採樣確認表面消毒效能，表 9.顯示各區間桌面檢測點均無菌落出現，滅菌率 100 %，顯示高濃度的二氧化氯超音波氣霧消毒作業方式，確能對於堅硬表面物體上的菌落，亦能產生良好的表面消毒效能，避免菌落遭沾染而擴散傳染。

表 8. 專案議場各區間二氧化氯氣霧消毒前後空氣菌落比較表

| 項次 / 採樣點 | 消毒前 ($CFU/m^3$) | 消毒後 ($CFU/m^3$) | 滅菌率 (%) | 平均滅菌率 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 會議室 A | 49 | 0 | 100 | 92.5 |
| 會議室 B | 83 | 0 | 100 | |
| 議場通道 C | 104 | 0 | 100 | |
| 辦公室 A | 89 | 4 | 95.6 | |
| 辦公室 B | 84 | 17 | 79.8 | |
| 辦公室 C | 135 | 49 | 63.8 | |
| 辦公室 D | 319 | 14 | 95.7 | |
| 辦公室 E | 285 | 8 | 97.2 | |
| 辦公室 F | 191 | 0 | 100 | |

表 9. 專案議場各區間二氧化氯氣霧消毒前後桌面菌落比較表

| 項次 / 採樣點 | 塗抹採樣(PVC) | | | 總菌接觸型培養(TVC) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 消毒前 ($CFU/100cm^2$) | 消毒後 ($CFU/100cm^2$) | 滅菌率 (%) | 消毒前 ($CFU/cm^2$) | 消毒後 ($CFU/cm^2$) | 滅菌率 (%) |
| 會議室 A | 350 | 0 | 100 | 4 | 0 | 100 |
| 會議室 B | 4400 | 0 | 100 | 442 | 0 | 100 |
| 辦公室 A | 200 | 0 | 100 | 7 | 0 | 100 |
| 辦公室 B | 150 | 0 | 100 | 11 | 0 | 100 |
| 辦公室 C | 50 | 0 | 100 | 1411 | 0 | 100 |
| 辦公室 D | 50 | 0 | 100 | 1037 | 1 | 100 |
| 辦公室 E | 250 | 0 | 100 | 7 | 0 | 100 |
| 辦公室 F | 100 | 0 | 100 | 4 | 0 | 100 |

## 五、結論

恆溫、恆濕的密閉的實驗室內，以超音波震盪機釋放 4.0 $mL/m^3$ 的 200 ppm 二氧化氯氣霧，30 分鐘後可將實驗室空間菌落消除九成以上，而 1 公升 1000 ppm 的活化二氧化氯溶液，裝於 2 公升玻璃燒杯中 10 分鐘後，亦能將覆蓋於瓶口上的測試玻片 (距離約 6 公分)上的菌落完全滅除。

半密閉性的醫院室內「內科候診區」(445.5 立方公尺)，以活化後的 250 ppm 二氧化氯溶液，釋放 2.5 $mL/m^3$ 氣霧滅菌 30 分鐘後，平均滅菌率達 94.9 %。設置有奈米殺菌活氧機的「RCC 中心」空氣菌落監測值則超過該區域建議管制標準 200 個/立方公尺。而設置二氧化氯氣霧機的「ICU 加護病房」則低於管制標準，顯示二氧化氯氣霧機的滅菌運作效能較為良好。將 1 公升的 250 ppm 二氧化氯氣霧，添加於原已裝設奈米殺菌活氧機的「內科候診區」空間中，1 小時後滅菌率分別為 69.6 % 與 59.4 %，顯示二氧化氯氣霧確有添加消毒之效能。而醫務所空氣菌落消毒研究則因二氧化氯氣霧釋放停留時間減少 50%，造成其效能僅達預期之 66.7%。

專案議場的各區間辦公室與會議室中，以每立方公尺空間氣積、釋放出 1 毫升活化後 1000 ppm 的二氧化氯氣霧方式消毒 30 分鐘後，平均空氣滅菌率為 92.5 %，顯示消毒時間加倍後，消毒效能提升 1.47 倍。而桌面表面菌落滅菌率為 100 %，顯示高濃度的二氧化氯的氣霧空氣消毒方式，同樣能有表面環境消毒的功效。

綜合上述研究，得知將活化後的 200 ppm、250 ppm 與 1000 ppm 二氧化氯溶液，分別以超音波震盪方式，釋放 4.0 $mL/m^3$、2.5 $mL/m^3$ 與 1.0 $mL/m^3$ 的氣霧在各類室內空間 30 分鐘後，均能有效消除空氣懸浮菌落，平均滅菌率為 94.4 %；唯室內空間的密閉性、菌落數、人員數、停留時間與空調系統均能影響消毒效能，本研究經由實場操作，獲得 30 分鐘後能達九成消毒率的二氧化氯濃度與釋放量的參考乘積為 625 ppm · $mL/m^3$，可提供日後室內空氣消毒規劃依據。

## 誌謝

感謝陸軍司令部化學兵處處長徐群星將軍與前處長陳國增將軍，在生物除污與分析技術之指導。

## 參考文獻


[1] 劉明哲，”禽流感防護消毒作業研究”，核生化防護半年刊，第 81 期，頁 61-81(2006)。

[2] 黃若筑，”掃除室內空氣品質殺手”，消費者報導，第 312 期，頁 10-14(2007)。

[3] 陳文政，”透視空氣清靜機功能”，消費者報導，第 312 期，頁 5-9(2007)。

[4] 杜祖健，井上尚英，化學生物兵器概論，台北：藝軒圖書出版社，頁 127-135(2002)。

[5] World Health Organization, Laboratory Biosafety Manual: Disinfection and sterilization, 3nd ed., Geneva: WHO.; Chapter 14, pp. 82-93(2004).

[6] US.EPA.,”Pesticides: Topical & Chemical Fact Sheets”, http://www.epa.gov/pesticides/factsheets/chemicals.htm(2003).

[7] Li, J.W., Yu, Z., and Cai, X.,” Trihalomethanes Formation In Water Treated With Chlorine Dioxide”, *Wat Res*; Vol.30 (10), pp. 2371-6(1996).

[8] US.EPA., ”Chlorine Dioxide”, http://www.epa.gov/pesticides/factsheets/chemicals/chlorinedioxidefactsheet.htm(2003)

[9] 劉明哲，”二氧化氯(Chlorine Dioxide)生物除污滅菌效能研究”，核生化防護半年刊，第 77 期，頁 78-93(2004)。

[10] Rutala, W.A., Weber, D.J.,”Disinfection of Endoscopes: Review of new chemical sterilants used for high-level disinfection”, *Infect Control Hosp Epidemiol*., Vol. 20, pp 69-76(1999).

[11] ELS, B, R., *Innovative Engineering Technologies for Hazardous Waste Remediation*, New York:O’Brien &Gere Engineers, Inc.(1995).

[12] Ison, A., Odeh, I. N., Margerum D. W., “Kinetic and mechanisms of chlorine dioxide and chlorite oxidation of cysteine and glutathione” *Inorg. Chem.* 45, pp. 8768-75(2006).

[13] A. Weaver-Meyer, P. L., Stolt W. A., Kowaleski, B.,“Controlling Mold on Library Maters with Chlorine dioxide: An Eight-Year Case Study”, *The journal of Academic Librarianship*, November, pp. 455-8(1998).

[14] B. Southwell, K. L., “The use of chlorine dioxide as a mold treatment and its effect on paper acidity: A case study”, *The journal of Academic Librarianship*, November Vol. 28, No. 6, pp 400-5(2002).

[15] US.EPA., “Guidance Manual Alternative Disinfectants and Oxidants: 4. Chlorine Dioxide.”, US EPA 815-R-99-014(1999).

[16] Alvarez, M.E., O’Brien, R.T., “Mechanism of Inactivation of Poliovirus by Chlorine Dioxide and Iodine.” *Appl. Envir. Microbiol*. Vol. 44, pp.1064-7(1982).

[17] Bernarde, M.A., “Kinetics and Mechanism of Bacterial Disinfection by Chlorine Dioxide.” *J. Appl. Microbiol.* Vol.15(2), pp. 257-61(1967).

[18] Roller, S. D., “Mode of Bacterial Inactivation by Chlorine Dioxide.” *Wat Res.*, Vol. 14, pp. 635-42(1980).

[19] Aieta, E. and Berg, J. D., “A Review of Chlorine Dioxide in Drinking Water Treatment.”, *Jour. Amer. Wat. Works. Assoc. (AWWA)*, Vol. 78(6), pp. 62-72(1986).

[20] Hoehn, R.C., Rosenblatt, A.A. and Gates, D.J., Considerations for Chlorine Dioxide Treatment of Drinking Water. Conference proceedings, AWWA Water Quality Technology Conference, Boston, MA(1996).

[21] Huang, J., Wang, L., Ren, N.,"Disinfect ion Effect of Chlorine Dioxide on Bacteria in Water. *Wat Res.*, Vol. 33(3), pp.607-13(1997).

[22] Gagnon, G. A., Rand, J. L., O'Leary, K. C., Rygel, A. C., Chauret, C., and Andrews,R. C., "Disinfectant efficacy of chlorite and chlorine dioxide in drinking water biofilms", *Wat Res.*, Vol. 39, pp. 1809–1817(2005).

[23] Cho,M., Kim,J-H. and Yoon, J., "Investigating synergism during sequential inactivation of Bacillus subtilis spores with several disinfectants", *Wat Res.*, Vol. 40, pp. 2911–20(2006).

[24] Isomoto, H., Urata, M., and Kohno, S.,"Endoscope disinfectant using chlorine dioxide in an automated washer-disinfector", *Journal of Hospital Infection*, Vol. 63, pp. 298-305(2006).

[25] Akin, E.,W., Hoff, J. C., and Lippy, E.,C., "Waterborne outbreak control: which disinfectant ", *Environ. Health Perspective*, Vol. 46, pp. 7-12(1982).

[26] Ridenour, G., M. and Ingols, R., "Inactivation of Poliomyelitis Virus by Free Chlorine", *Amer Public Health*, Vol. 36, pp. 639-44(1946).

[27] Smith, J. E. and McVey, J. L.,"Virus Inactivation by Chlorine Dioxide and Its Application to Storm Water Overflow", Proceeding, ACS Annual Meeting, Vol. 13(2), pp. 177-82(1973).

[28] Roberts, P. V., Aieta, E. M., Berg, J. D., "Chlorine Dioxide for Wastewater Disinfection: A Feasibility Evaluation", Stanford University Technical Report. October: 251(1980).

[29] Huang, J., Wang, L., and Ren, N., "Disinfection Effect of Chlorine Dioxide on Viruses, Algae and Animal Planktons in Water", *Wat. Res.*, Vol. 31(3), pp. 455-60(1997).

[30] ATSDR.,"Draft Toxicological profiles for Chlorine Dioxide", U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service, September(2002).

[31] APHA.,"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater." AWWA. WEA., Chapter 4, pp. 73-8(1998).

[32] United States Postal Service, Chlorine Dioxide, Washington, D.C., March (2002).

[33] United States Postal Service, Building Fumigation: Chlorine Dioxide Delivery, Washington, D.C., March (2002).

[34] 林金絲，醫院環境空氣之評估，*醫院感染與環境監視*，台北:藝軒出版社，頁 77-85(1998)。

[35] 劉明哲，賴政國，"環境消毒劑：二氧化氯藥效試驗探討"，環保署環檢季刊，第 48 期，頁 16-23(2003)。

[36] 郭昭吟，梁進生，陳玉娟，"醫院內生物氣膠流佈之調查研究"， 2003 安全衛生論文研討會，台北：公務人力發展中心。

[37] Lu, M. C., Roam, G. D., Chen, J. N.

and Huang, C. P. “Factors affecting the photocatalytic degradation of dichlorvos over titanium dioxide supported on glass”, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.,* Vol. 76, pp. 103-110(1993).

# Investigating the disinfection effect of chlorine dioxide in indoor air suspension bacteria

**Ming- Jer Liou[1], Sheau-Long Lee[1], Ming-Chun Lu[2] and Cheng-Kuo Lai[3]**

**[1] Department of Chemistry, Chinese Military Academy, Taiwan 830 , R.O.C.**

**[2] Department of Environmental Resources Management,**
**Chia Nan University of Pharmacy and Science,**
**Tainan 717, Taiwan.**

**[3]Army NBC Protection Research Center, Taiwan 334, R.O.C.**

## ABSTRACT

Excess amount of bacteria colonies suspended in indoor air space severely affect indoor air quality (I.A.Q.), which leads to difficulties in epidemic prevention and infection control. Chlorine dioxide is a disinfectant which maintains its disinfection capability both in gas and solution states. In this study we collected relevant references about the physicochemical properties and the disinfection mechanisms of chlorine. Moreover, we further conducted the investigation of the disinfection effect of 200-1000 ppm chlorine dioxide fog in the indoor air of laboratories, hospitals and conference rooms.

Activated chlorine dioxide solution of 200 ppm, 250 ppm and 1000 ppm were released by using ultrasonic machine with various amount, 4.0 mL/$m^3$, 2.5 mL/$m^3$ and 1.0 mL/$m^3$ into different indoor spaces. We found that chlorine dioxide vapor can effectively disinfect the suspended bacteria colonies, resulted in an average disinfection rate of 94.4 %. However, factors such as the closeness, original bacteria colonies, staff number, contact time and circulation of personnel can affect the disinfection efficiency. We concluded the product of concentration and release amount should be 625 ppm · mL/$m^3$ to reach the disinfection rate of 90 % in 30 minutes. This experimental number can serve as a reference to future use of indoor air disinfection.

***Keywords***：Bacteria, Indoor Air Quality, Infection control, Chlorine dioxide, Disinfection