

二氧化氯對生化消除之應用研究

作者簡介

蔡佳玲上尉，元智大學化學工程與材料科學所研究生，領有環保署乙級毒性化學物質管理、乙級廢水處理專責證照及經濟部標準局 ISO17025 實驗室品質管理等證照；現任陸軍核生化防護研究中心化學官。

提要

- 一、禽流感疫情急遽蔓延全球，聯合國世界衛生組織(WHO)極力呼籲各國應加強防疫與消毒的準備，更突顯了當前掌握確效生化消毒技術的重要性，而二氧化氯(Chlorine dioxide)為聯合國世界衛生組織(WHO)與糧農組織(FAO)所推薦之消毒劑，效能良好。
- 二、本研究首先探討雙試劑型與穩定化型二氧化氯，其活化後的總氧化力與有效成分濃度轉化率，釐清活化的(active)二氧化氯（註1）與穩定化的(stabilized)二氧化氯（註2）之間的關係。
- 三、以水質中的總菌落數、大腸桿菌、枯草桿菌與有機磷系除草劑-嘉磷塞(glyphosate)為測試對象，驗證其生化消除效能，俾利部隊爾後做為生化防疫消除作業之參考。

壹、前言

繼大陸四川爆發疑似豬鏈球菌的大規模傳染、加拿大多倫多衛生局證實日前發生於老人安養院，造成 20 名死亡案例的傳染疾病，病原菌為退伍軍人肺炎菌、台灣南部因颱風接連過境而淹水導致類鼻疽菌肆虐，引發多起死亡案例後，全球亦將面臨本世紀來最嚴苛的一次禽流感防疫大作戰。世界衛生組織估計此波病毒若變異成人可相互傳染，恐將引發一億五千萬人感染，至少造成 740 萬人死亡，各類防疫消毒物質及技術，屆時將成為各國重要準備課題【1】。

早在 1967 年，美國環保署已將二氧化氯(Chlorine dioxide, ClO₂)水溶液登錄為一種消毒劑(disinfectant)或制菌劑(sanitizer)。1988 年時，美國環保署更將二氧化氯氣體登錄為第三級滅菌劑(sterilant)【2】。此外，二氧化氯亦為聯合國世界衛生組織(WHO)與糧食組織(FAO)所推薦的消毒劑，並為 WHO 的實驗室生物安全指引中表列的消毒劑【3】，因其水溶液具有不受酸鹼度干擾的滅菌性能，以及不產生致癌性三鹵甲烷(THMs)副產物之特質，又由於其消毒能力較臭氧及其他氯系消毒劑為強，故其在食品、醫藥工業及自來水之消毒及除臭作業上有廣泛的運用，也被歐美國家推崇為綠色消毒劑【4】。

註1 活化的(active) 二氧化氯:活化的二氧化氯名詞用來區別有效和無效的二氧化氯，因二氧化氯是經由兩種試劑混合後產生的氣體，濃度會隨時間衰減，故必須在使用前才混合，可以確保是新鮮有效的二氧化氯產品。

註2 穩定化的(stabilized)二氧化氯:正確描述是穩定的亞氯酸離子(chlorite)，在緩衝液(buffer)及過氧化物(peroxide)存在的緩衝液酸鹼度為 7 時會穩定亞氯酸離子；雖然亞氯酸離子或穩定的亞氯酸離子也是一種氧化劑，但它幾乎沒有二氧化氯的效力，是容易使人誤解的名詞。

國內的使用規範與實際經驗上，環保署於 92 年 8 月 5 日，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，且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；國內醫療感控界林金絲等先進，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【5】。在 SARS 期間，國軍化學兵執行和平醫院、陽明醫院、榮民總醫院及替代役中心消毒時，亦曾使用二氧化氯作為除污通道(1000ppm 浸泡消毒作業人員鞋底、500ppm 噴霧消毒穿著防護服人員)與人員消除站(供水系統中添加 10ppm)的消毒劑，成功地完成任務【6】，參見圖一、圖二。



圖一、陽明醫院除污通道人員消毒作業

圖二、榮民總醫院通道人員消毒作業

既是如此，二氧化氯卻因易於汽化、不易保存的特性，在產品選擇、效能分析與使用技術方面，較一般消毒劑難度為高，在國內尚未成為一項普及的消毒技術。為使其生化消除效能更為大眾所理解，成為禽流感防疫消毒的實用技術，本文中將彙整國外文獻資料，探究其特殊的理化特性與生化消除效能，並藉由實驗設計，釐清二氧化氯溶液中有效成分的轉化效率(註3)，並以水質中的總菌落數、大腸桿菌、枯草桿菌與有機磷系除草劑-嘉磷塞(glyphosate)為測試對象，驗證其生化消除效能。

貳、二氧化氯的生化消除機制

二氧化氯為三原子分子的黃綠色氣體，氣味與氯氣(Chlorine)相似。二氧化氯在水溶液中並不易水解，仍以溶解性氣體分子溶解在溶液(0.301 g/L)之中，但相反地，氯氣在水中則會水解。當二氧化氯處於高於 11°C 以上的溫度環境時，即脫離水溶液，汽化揮發為氣體，溶液顏色亦逐漸由黃綠色轉變為無色【7】。

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)(註4)影響甚鉅，而帶有 19 個電子

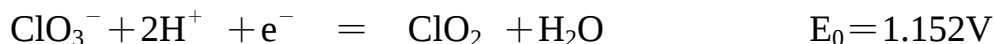
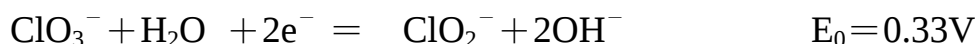
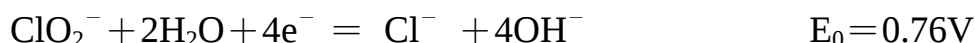
註3 有效成分的轉化效率係指「二氧化氯分子」實際存在溶液中的濃度變化情形。 $\lambda =$

註4 如人體的氧化係指因體內的老舊廢物累積，而造成人體功能退化的現象叫氧化，以「+」表示氧化能力；還原係指透過免疫作用，將老舊廢物與毒素去除，使功能恢復正常的現象叫做還原，以「-」表示還原能力。我們周圍導致身體氧化的物質很多，但還原的物

的二氧化氯分子，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【8】。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相當有效率的氧化物【2】。在氧化還原反應中，重要的反應式如下所示：



其他重要的半反應如下：



在飲用水的消毒系統中，亞氯酸根(ClO_2^-)是主要反應的終端產物，大約有 50 至 70 百分比的二氧化氯會轉換成氯酸根並且有 30 % 的氯酸根(ClO_3^-)與氯離子(Cl^-)生成【2】。因此，當二氧化氯用於微生物的消毒時，二氧化氯能以強氧化力穿透單細胞或病毒表面後奪取代謝系統中的電子，使得細胞酶系統失去活性而自然死亡，達到滅菌效果。其中包括病毒、細菌、孢子、芽孢及原生物都能被殺滅。根據 Junli Huang 在 1997 年所做的實驗中【9】，比較氯氣和二氧化氯對 5 種菌類的消除，發現在相同的濃度(3ppm)和中性的環境下，殺菌 20 分鐘後，二氧化氯幾乎可以達到 100 % 的消除效果。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，亦可達到 100 % 的消除。如果使用劑量為 0.02mg/L 的二氧化氯，可在幾分鐘內將水中病毒及桿菌殺滅，比氯要有效的多。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。

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【2】，100ppm 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。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」中指出【10】，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劑。

在空氣消毒作業方面【7】，則應考慮人體吸入的危害恕限值，1 大氣壓、25℃ 的密閉空間下，宜使用 250ppm 的二氧化氯液體進行空間噴灑，每立方公尺的噴

灑量約 2-4 毫升，靜置 60 分鐘後，即能產生空氣消毒效能並防止作業時吸入過量產生傷害。

二氧化氯對有機物的氧化降解，與氯最大的不同點在於它不會生成有機氯代物，此因二氧化氯可以控制三鹵甲烷(THMs)的形成，減少總有機鹵烷(TOX)的生成【11】。通過研究和試驗顯示，二氧化氯與黃腐酸幾乎不生成氯仿，而液氯與黃腐酸反應，則會生成大量氯仿。以上反應的最後結果是有機酸、水和二氧化碳，通過反應，二氧化氯則被還原成氯離子。因此，二氧化氯與黃腐酸等有機物的反應是以氧化還原反應為主，沒有氯的取代化合物生成。液氯與黃腐酸的作用機制主要表現在液氯與間苯二酚的反應過程，液氯與水中黃腐酸等有機物發生反應是以親電取代反應為主，其結果生成大量的氯仿和有機氯代物等有害物質【11】。而二氧化氯與酚類化合物的反應是“氧化還原反應”，所以不會形成氯代酚；而氯與酚類化合物所產生的是“取代反應”，因此大量氯代酚產生。

參、實驗設計

一、儀器藥品

- (一) 微生物培養室
- (二) 碘間接滴定設備及藥品
- (三) 電子微量天平
- (四) 高效能液相層析儀
- (五) 超音波震盪器
- (六) 高溫高壓滅菌釜
- (七) 空氣菌落採集機
- (八) EP 606®雙試劑型二氧化氯，高碩實業有限公司。
- (九) ATCC 9372 枯草芽孢桿菌(*Bacillus subtilis*)
- (十) 枯草芽孢桿菌培養基
- (十一) 0.5%與 1M 硫代硫酸鈉
- (十二) 有機磷系農藥嘉磷塞(glyphosate)。

二、實驗程序

- (一) 有效二氧化氯的定量分析，使用美國公共健康協會(APHA)出版的「水和廢水標準測試方法」中的碘滴定法測定二氧化氯總氧化能力與分光光度計法(4500-ClO₂ CHLORINE DIOXIDE)測定二氧化氯氣體分子濃度【12】。

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

- ★ V(mL)：滴定所使用之硫代硫酸鈉毫升數
- ★ V₀(mL)：空白實驗所消耗硫代硫酸鈉毫升數
- ★ W(g)：樣品取樣重量

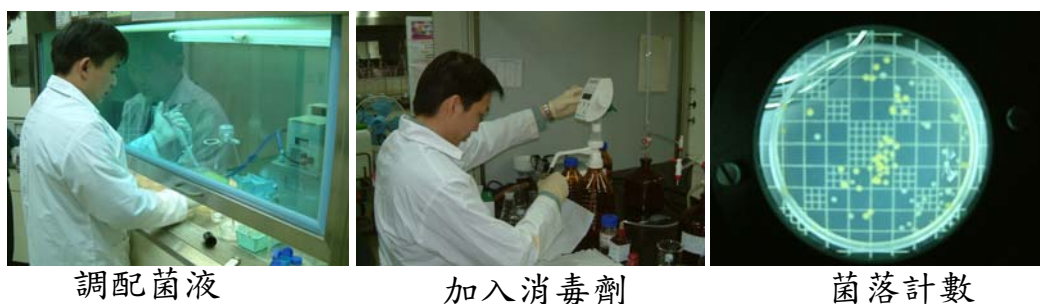
★ C：硫代硫酸鈉之當量濃度(N)

(二) 二氧化氯滅菌測試：各種濃度的二氧化氯溶液滅菌測試方法如下

1. 打開 EP 606® 雙試劑型藥劑，A 劑、B 劑各一包，分別加入 1000 毫升水中，配製成 1000ppm 黃綠色的二氧化氯儲備水溶液。
2. 上述儲備液分別稀釋 10000 倍、4000 倍、2000 倍、1000 倍、100 倍後，配製成濃度 0.10、0.25、0.5、1.0、10 ppm 各 50 毫升為消除液備用，另取 50 毫升無菌水為對照組。
3. 量取 1 毫升地下水原液，分別加入上述各種二氧化氯濃度組中，予以充分混合搖勻，再靜置 10 分鐘與 30 分鐘後，各取出 0.2 毫升混合液塗抹於培養基上，進行 35°C、48 小時的生菌菌落培養；另外配置 100 毫升的一系列濃度消除液〔同(2)〕，進行添加地下水混合後的大腸菌培養測試。

(三) 枯草芽孢桿菌滅菌效能測試：

1. 調配枯草桿菌懸浮菌液，與 Marfarland 0.5 標準液比對下，將其濃度調配至大約 1.5×10^8 CFU/100mL。
2. 將此原液作 10 倍序列稀釋，將 1 mL 10^6 級數的菌液加入 9 mL 二氧化氯當中，在所需作用時間當中持續震盪混和，於每個取樣時間點將菌液取出，再做兩次十倍序列稀釋。
3. 最後將每管取出 0.2 mL 菌液塗抹至培養基上，培養 24 小時後，進行結果判讀，參見圖三。



圖三、枯草芽孢桿菌滅菌效能實驗程序

(四) 嘉磷塞農藥分解率測試

1. 配置 50ppm 之嘉磷塞溶液，1.4ppm 二氧化氯溶液。
2. 調整高效能液相層析儀 (HPLC)，實驗條件如表一。
3. 將嘉磷塞溶液與二氧化氯溶液混合(v/v =1:1) 震盪反應，分別於 1、5、15、25、40、60 分鐘取樣，並加入 0.1M 硫代硫酸鈉終止劑，取樣後立即進行儀器分析。

表一、高效能液相層析儀操作條件

類別	操作條件	備註
儀器編號	LC295	PE 公司
偵測器	UV/VIS	PE 公司
分離管柱	陰離子層析管柱	250mm×4.6mm 10m ioron Nucleosil 10μ SB 100A
偵測器波長	195 nm	
流速	1.0 ml/min	
流動相	0.05M 磷酸二氫鉀溶液	酸鹼度 1.9

肆、結果討論

一、二氧化氯轉化率研究

二氧化氯消毒劑若沒有經過正確的配製過程，將會嚴重影響其生化消毒效能，無色的穩定化試劑經常被誤以為是高濃度的二氧化氯溶液，所含二氧化氯濃度可高達 2% 及 5%，這是對於穩定化二氧化氯(stabilized chlorine dioxide)的特性產生了誤解，事實上，二氧化氯於水中最大溶解度約為 0.29% (2900ppm)；它是將二氧化氯氣體通入過碳酸鈉或硼酸鈉溶液中所製成，在鹼性條件下，多以亞氯酸離子(chlorite)狀態存在於穩定化試劑之中，雖然這時仍為高氧化力的溶液，但是僅有微量的二氧化氯存在，尚無法完全發揮其優異的消毒效能。

為探究上述二型消毒劑實際的化學成分，先量取冷水(約 15℃)及溫水(約 35℃)分別依各廠商配製指引進行配藥，並操作「碘滴定設備」與「紫外光譜儀」，分別監測其二氧化氯「總氧化力」與「二氧化氯分子」實際存在溶液中的濃度變化情形。實驗結果顯示，總氧化力與二氧化氯分子實際產生濃度，雙試劑系統較優於穩定化試劑系統；至於在溶液中「導電度」上的明顯差異，更顯示穩定型二氧化氯成分中，擁有大量地吸附性鹽類，其詳細分析結果如表二所示！

表二、二氧化氯轉化效能比較表

條 件 濃度(ppm)	雙試劑型二氧化氯			穩定化二氧化氯溶液		
	總氧 化力	二氧化 氯含量	轉化率 ⁵ (%)	總氧 化力	二氧化 氯含量	轉化率 (%)

註5 轉化率:實際轉化成二氧化氯分子濃度於二氧化氯溶液中存在的比率。

配製濃度	1000	-	-	2000	-	-
實際濃度	1502	173	11.5	1746	25	1.43
1 小時後	1463	219	15.0	1687	42	1.7
4 小時後	1386	255	18.4	1650	75	4.5
14 小時後	1209	381	31.5	1316	174	13.4
酸鹼度	7.8			7.2		
導電度(us/cm)	3.86			5124		

資料來源:作者自製

由以上表可得知,穩定型二氧化氯的整體總氧化能力為配製期望值 2000ppm 的 87.3%,若未加酸活化,其二氧化氯分子濃度更僅佔期望值的 1.25%,其消毒能力自然是遠低於加酸活化之後。綜上二型消毒劑,雖為混合後均立即能產生具高消毒能力的活性二氧化氯,但是仍須給予一定反應時間,其轉化率較佳,以雙試劑系統為例 14 小時之後可達 31.5%,48 小時之後可達 51.7%。

二、二氧化氯生化消除效能

表三結果顯示:水質中添加成為 1ppm 的二氧化氯能有效地在 10 分鐘後,百分之百消除水中之總菌落群(8.2×10^6 CFU/100mL)與大腸桿菌菌落群(6.2×10^4 CFU/100mL);當使用 0.5ppm 的二氧化氯處理水質時,亦能分別去除總菌落與大腸桿菌菌落數 97.2%與 98.4%,堪稱為低濃度而具高效能的消毒劑。本研究結果與目前美國所規範的飲用水二氧化氯的殘餘濃度上限為 0.8 ppm 的數值【2】,十分契合,證明飲用水中若含有 0.5 ppm 的二氧化氯消毒液,確能有效抑制菌類生長!

表三、二氧化氯添加滅菌報告(大腸菌落數)

地下水 濃度	總菌落數 (CFU/100mL)		大腸菌落數 (CFU/100mL)	
原液	8.2×10^6	滅菌率(%)	6.2×10^4	滅菌率(%)
0.25ppm	9.4×10^5	88.5	6.0×10^3	90.3
0.5 ppm	2.3×10^5	97.2	1.0×10^3	98.4
1 ppm	0	100	0	100
10 ppm	0	100	0	100

資料來源:作者自製

再以二氧化氯對於枯草芽孢桿菌(*Bacillus subtilis*)進行滅菌效能測試,由表四的結果中顯示:100 ppm 二氧化氯的 2 分鐘枯草桿菌消毒率為 99.4%,5 分鐘

消毒率為 100%，實驗中若未添加 0.5% 硫代硫酸鈉中和劑，於接觸 2 分鐘後其消毒率即達到 100%，此乃因二氧化氯仍於培養皿中殘存微量濃度，能繼續於培養基上，抑制菌類生長之故。因此，添加 0.5% 硫代硫酸鈉中和劑，中止二氧化氯的消毒反應，在進行滅菌效能實驗上確有其必要性。

表四、100 ppm 二氧化氯對枯草芽孢桿菌滅菌效能測試

條件 時間(分)	100ppm 二氧化氯溶液			
	添加中和劑	滅菌率(%)	未添加中和劑	滅菌率(%)
0	3.5×10^4	-	3.5×10^4	-
1	1.5×10^4	57.1	0	100
2	2.0×10^2	99.4	0	100
5	0	100	0	100
10	0	100	0	100
20	0	100	0	100
30	0	100	0	100

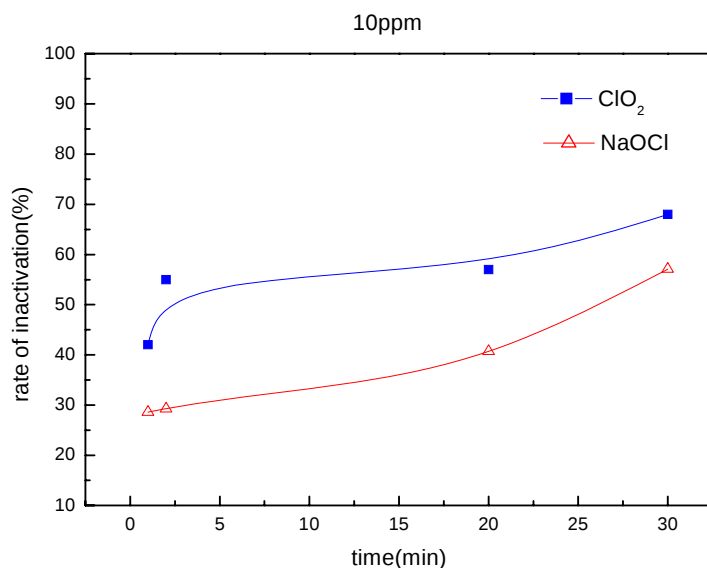
資料來源：作者自製

表五、10 ppm 二氧化氯與次氯酸鈉對枯草芽孢桿菌滅菌效能測試

條件 時間(分)	二氧化氯(ClO_2)		次氯酸鈉(NaOCl)	
	10 ppm	殺菌率(%)	10 ppm	殺菌率(%)
0	1.4×10^5	-	1.4×10^5	-
1	5.8×10^4	58.6	1.0×10^5	28.6
2	4.5×10^4	67.9	9.9×10^4	29.3
20	4.3×10^4	69.3	8.3×10^4	40.7
30	3.2×10^4	77.2	6.0×10^4	57.1

資料來源：作者自製

由表五結果中顯示，10 ppm 二氧化氯與次氯酸鈉溶液的 2 分鐘枯草桿菌消毒率，分別為 67.9% 與 29.3%，對於枯草桿菌的消毒能力，二氧化氯約為次氯酸鈉溶液的 2.3 倍，30 分鐘後消毒率則同步提升至 77.2% 與 57.1%，但是隨時間提升率為 1.14 與 1.95，反而是低於次氯酸鈉溶液。綜合顯示低濃度二氧化氯於液態中，消毒能力確實優於相同濃度的次氯酸鈉溶液，但具有易揮發衰減的特性，操作時必須注意時間的掌握與揮發逸散的控制問題，如圖四所示。



圖四、10ppm 二氧化氯與次氯酸鈉溶液隨時間的滅菌效能比較

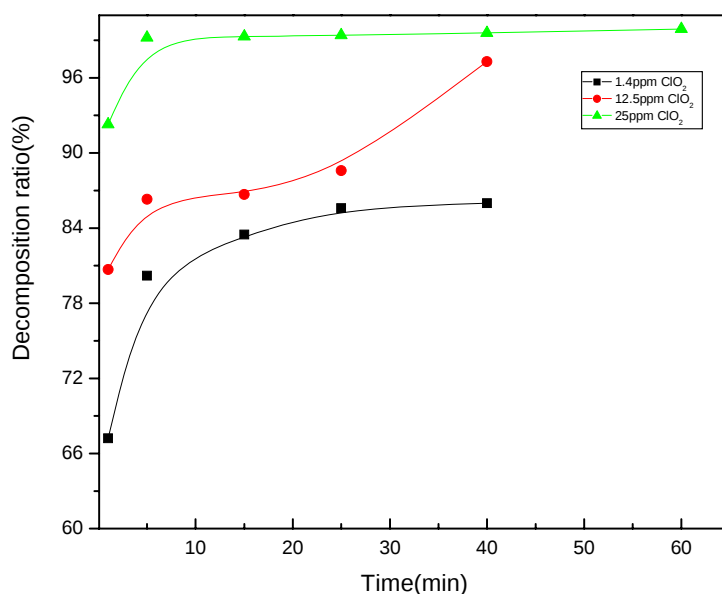
資料來源:作者自製

枯草桿菌與炭疽桿菌同樣屬於芽胞菌(*Bacillus*)，大小約為 300-500 nm，其外在包覆莢膜能於乾燥土壤中倖存數年不失去活性，對熱及部份化學消毒劑有較強的抵抗性【7】，探究其滅菌機制應為 0.2nm 大的二氧化氯氣體分子，是少數能輕易穿透大於它 600-1000 倍的桿菌莢膜，侵入細胞膜系中掠奪電子，進行氧化反應、中止其活性的消毒劑，因此在低濃度的二氧化氯情況下，亦能對於枯草桿菌快速地發揮消毒效能。

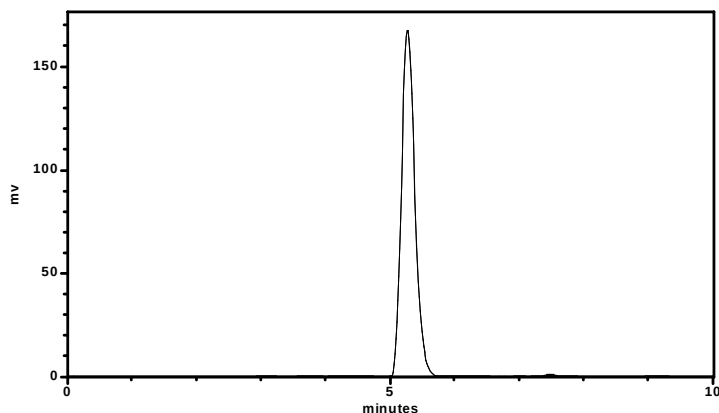
三、嘉磷塞分解效能測試

本段實驗使用有機磷系殺草劑-嘉磷塞進行二氧化氯分解效能測試，嘉磷塞對人體之毒性極低，使用上應屬於安全之藥劑。本藥劑雖然毒性低，但若刻意大量服食，將對口腔、咽喉黏膜造成強刺激，對表皮造成損傷，並使口腔產生流涎及喉部灼燒感，且可引起低血壓及低血溶性及休克，肺水腫等中毒現象，嚴重時可因呼吸衰竭死亡。

今以 50ppm 嘉磷塞溶液與二氧化氯溶液混合進行分解效能探討，嘉磷塞的分解率如圖五顯示：使用 1.4 ppm 的二氧化氯溶液於 25 分鐘反應後，分解率為 85.6%；使用 12.5 ppm 的二氧化氯溶液於 25 分鐘反應後，分解率為 88.6%；使用 25 ppm 的二氧化氯溶液於 25 分鐘反應後，分解率為 99.4%。雖然嘉磷塞溶液亦會隨時間自行光分解作用，空白對照實驗分解率高達 65.5 %，但仍能確定提升二氧化氯使用濃度時，分解率亦能隨之提升。由圖五亦顯示，12.5 ppm 的二氧化氯，隨時間增加的分解率提升能力，較優於 1.4 ppm 的二氧化氯溶液，此亦與二氧化氯容易隨時間揮發，減低其分解能力有關，嘉磷塞反應前之高效能液相層析圖譜如圖六。



圖五、50ppm 嘉磷塞與不同濃度的二氧化氯分解效能圖(資料來源:作者自製)



圖六、嘉磷塞的高效能液相層析圖譜(資料來源:作者自製)

伍、結論

研究顯示水質中若添加已活化後的二氧化氯 1.0 mg/L 以上，即能於 10 分鐘後有效殺滅其中總菌落數與大腸桿菌，適合運用於疫區水源的消毒作業；對於環境中存在較危險的致病微生物狀況，則參酌對於枯草桿菌具有快速殺滅效能的 100 ppm 以上二氧化氯溶液，使用噴灑或浸泡方式，進行表面接觸消毒；而對於 50 ppm 有機磷系毒劑-嘉磷塞的分解性能研究顯示 25 ppm 已活化後的二氧化氯溶液能在接觸 25 分鐘後，分解率達 99.4%。

本研究綜合了國外相關研究文獻與實驗測試得知，活化後的二氧化氯溶液兼

具氣體與液體消毒的運用潛勢，若能妥善運用其小分子、高氧化能力的活躍特性，進而掌握對於各類型病菌與病毒的消毒適切濃度與作業時間，相信將成為空氣消毒與表面消毒的重要防疫技術。

陸、參考文獻

- 【1】樊劍萍，禽流感可能奪走上億人命 聯合國積極備戰，法新社紐約聯合國總部，2005.09.30。
- 【2】USEPA, “Guidance Manual Alternative Disinfectants and Oxidants: 4. Chlorine Dioxide.” , US EPA 815-R-99-014, (April 1999).
- 【3】World Health Organization (WHO). “Laboratory Biosafety Manual: Disinfection and sterilization” , 2nd ed. Geneva Chapter 14: 59-66, 2003.
- 【4】高碩實業有限公司網站資料庫，〈<http://www.gosh.com.tw>〉
- 【5】林金絲，醫院感染與環境監視-再版，藝軒出版社，台北，頁 7- 85，(1999)。
- 【6】劉明哲、賴政國，「環境消毒劑-二氧化氯藥效試驗探討」，《環保署環境檢驗季刊》，48 期，p.16-23 (2003)。
- 【7】劉明哲，「二氧化氯(Chlorine Dioxide)生物除污滅菌效能研究」，《核生化防護學術半年刊》，77 期，陸軍化學兵學校編印，p.78-93 (2004)。
- 【8】Hoehn, R.C.; Rosenblatt, A.A.; Gates, D.J.; “Considerations for Chlorine Dioxide Treatment of Drinking Water.” Conference proceedings, AWWA Water Quality Technology Conference, Boston, MA(1996).
- 【9】Huang, J., Wang, L., Ren, N., Ma, F., Juli., ” Disinfection effect of chlorine dioxide bacteria in water,” Wat. Res., 31(3), pp. 607-613 (1997)
- 【10】ATSDR, (September 2002); “ Draft Toxicological profiles for Chlorine Dioxide.” U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service.
- 【11】賴政國，「生化消毒劑之淺談比較」，《核生化防護學術半年刊》，76 期，陸軍化學兵學校， p 51-62 (2003)。
- 【12】APHA, AWWA, WEA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1998; Chapter 4: 73-8.