

逾效期消除劑對化生毒物消除效能之研究

作者簡介



作者吳國輝老師，中正理工正 47 期畢業、國立師範大學碩士、中正理工化學博士；歷任排長、技術官、化參官、化研官、主任教官，現職為國防大學理工學院應化所教授。

提要

- 一、消除化學及生物毒物污染是國軍化學兵部隊平時及戰時主要任務之一，而其中消除劑效能更是影響除污作業成敗的關鍵。
- 二、部隊現有許多逾效期消除劑包含 82 式消除劑、DF-200 泡沫消除劑及 T4-102 消除劑等，本研究評估其抗滅菌及化學模擬劑降解效能，提供國軍運用逾效期消除劑執行除污作業參考。
- 三、本研究以柏油碎石塊、磁磚及水泥塊做為污染測試材料，針對模擬化學戰劑 2-氯乙基乙基硫醚 2-Chloroethyl ethyl sulfide (2-CEES 糜爛性)及甲基磷酸二甲酯 Dimethyl methylphosphonate (DMMP 神經性)等 2 種化學污染物實施毒化物降解研究；選用革蘭氏陰性菌-大腸桿菌(*E. coli*)和綠膿桿菌(*P. aeruginosa*)及革蘭氏陽性菌-枯草桿菌(*B. subtilis*) 和金黃色葡萄球菌(*S. aureus*)等 4 種生物細菌實施抗滅菌研究。
- 四、透過定性試驗(抑菌圈)和定量試驗(平板計數法)評估其抗滅菌效能；使用氣相層析-質譜儀(GC-MS)分析化學模擬戰劑降解效能。結果顯示三種逾效期消除劑都具有 90%以上的抑菌效果及 70%以上的降解效果。

關鍵詞：消除劑、抗菌、毒化物降解。

前言

化學及生物毒物污染所產生的殺傷及危害效應，一直以來是化學兵部隊平時及戰時無可旁貸的職責，面對多樣性挑戰化學兵部隊也具備了先進消除裝備、標準的作業程序及有效的除污能力，不論人力、裝備及技術均能承擔其挑戰，深獲長官及國人肯定。但面對未來多樣性及複雜的化生毒物污染挑戰，化學兵仍需在現有消除技術上精進，不斷地汲取新知及突破。消除作業中最重要的關鍵要項以除污藥劑的效能為首要，快速有效解除及降低化生污染威脅，才能確

保平時及戰時維護民眾安全及國土安全防護。

國軍現有消除裝備及除污藥劑均具有相當規模及完備，但因相關預算獲得不易，常因兵力整建優先不高及軍品效期短、品項多等因素，影響軍品採購與換裝進程。國軍自 85 年起分年採購各式除污藥劑，目前各軍種司令部庫儲藥劑數量均相當龐大，國軍事先已依部隊演訓用量及藥劑效期，採分年補充方式撥發各部隊使用，然自 85 年首批採購藥劑至今，雖經正常演訓消耗然各部隊消除劑存量迄今仍相當鉅量，亟待檢討有效方法解決部隊現存各式藥劑逾效期問題，並驗證其是否仍具有消除化生毒物效能，作為後續使用參考。

當道路及民用設施受到化學及生物毒物污染後，需要實施有效之消除作業，國軍已開發了許多消除劑以提供消除作業使用，但對於此類技術應用於道路及民用設施上的效果如何，了解甚少，且每項藥劑對環境都有一定程度的影響，如未使用消耗，當藥劑逾效期後，為了避免對環境造成傷害及污染，後續的處理將需要龐大的費用，而藥劑的換補及製造亦需要時間，站在化生防護及資源不浪費如何能同時兼顧的角度，逾效期的藥劑如可暫代新品藥劑補充期間之空檔，即可達到避免資源浪費及解除化生危害的功能。本研究之目的在針對 82 式、DF-200 及 T4-102 等三種逾效期制式消除劑，對於受化學毒物或生物細菌污染的柏油碎石塊、磁磚及水泥塊等三種材質表面消除成效之評估，藉以了解及掌握其消除特性、機制與影響因素，以提供化學兵部隊執行消除作業參考依據，進而有效利用逾效期的藥劑。

研究方法

本研究選用 82 式、DF-200 及 T4-102 等三種逾效期制式消除劑，評估其抗滅菌及毒化物降解效能。

一、抗滅菌試驗

利用格蘭氏陰性菌：大腸桿菌(*Escherichia coli*)和綠膿桿菌(*Pseudomonas aeruginosa*)及革蘭氏陽性菌：枯草桿菌(*Bacillus subtilis*)和金黃色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)四種菌株做抗滅菌試驗，透過紙錠擴散法來完成定性試驗確認消除劑抗滅菌性，再以柏油碎石塊、磁磚及水泥塊做為測試材料，將培養 24 小時(37°C)的菌液移植至測試材料上，再使用消除劑實施消除，利用磷酸鹽緩衝溶液(PBS)沖洗出消除作用後的菌液培養再計算菌株，運用定量平板計

數法來驗證消除效能。

二、毒化物降解

將化學模擬試劑 2-CEES(芥氣模擬劑)及 DMMP(沙林模擬劑)滴在測試材料上 30 分鐘，再使用 100 和 300 ul 消除劑消除 1 小時，另 100 ul 消除劑消除 24 小時，加入萃取液使用超音破震盪 10 分鐘，再透過儀器 GC-MS 分析降解成效。

實驗藥品及材料

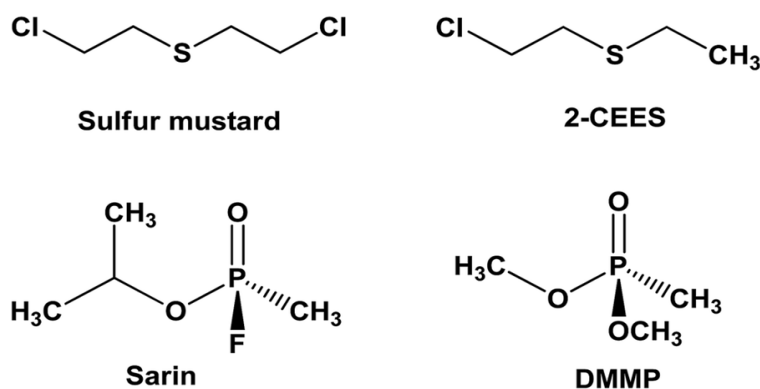
一、82式消除劑:82式清除劑(水、偏矽酸鈉、介面活性劑、二乙二醇丁醚)、82式消除劑(二氯異三聚氰酸鈉)。

二、T4-102:二乙基三胺、丙二醇甲醚、氫氧化鈉。

三、DF-200:A試劑(水及其他8種成分)、B試劑(過氧化氫水溶液)、C試劑(二醋酸甘油酯)。

四、甲基磷酸二甲酯(Dimethyl methylphosphonate, DMMP):純度97%，Strem Chemicals，化學式如圖1。

圖 1 芥氣、沙林、2-CEES 與 DMMP 化學式



五、2-氯乙基乙基硫醚(2-Chloroethyl ethyl sulfide, 2-CEES):純度98%，美國 Aldrich公司，化學式如圖1。

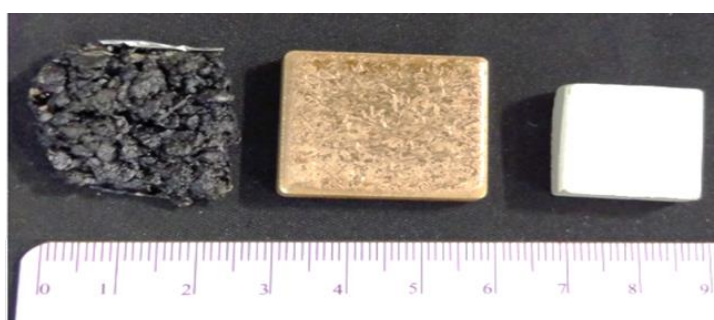
六、PBS溶液:NaCl 8 g、KCl 0.2 g、Na₂HPO₄ 1.42 g、KH₂PO₄ 0.27 g。

七、大腸桿菌(*E. coli*)、綠膿桿菌(*P. aeruginosa*)、枯草桿菌(*B. subtilis*)及金黃色葡萄球菌(*S. aureus*)取自新竹食品科學研究所。

八、測試材料為柏油碎石塊、磁磚及水泥塊，邊長1.5-2.5 cm厚度0.6-1.0 cm，柏油碎石塊為市售柏油碎石貼片分割，磁磚為市售馬賽克磁磚，水泥塊是

使用市售已調和水泥粉使用模具定型後塗上白色水泥漆，如圖2。測試材料於抗菌滅菌實驗時為避免受環境微生物干擾，在測試前均先實施滅菌處理，磁磚及水泥塊在高壓滅菌釜內保持在溫度121°C、壓力15 psi 環境下滅菌45分鐘，滅菌作業完成後移至110°C 烘箱烘乾備用，因柏油放置於高溫會有軟化現象，所以清洗陰乾後放置夾鏈袋使用UV燈照射滅菌，照射12小時後室溫保存。

圖2測試材料照片由左至右為柏油碎石塊、磁磚及水泥塊。



資料來源：作者自製。

抑菌圈實驗

實驗使用之菌種冷凍貯藏於營養肉湯和 15 % 甘油中，本實驗採用紙錠擴散法來測試各菌種對消除劑感受性試驗，其實驗步驟如下。

- 一、取大腸桿菌、綠膿桿菌、枯草桿菌及金黃色葡萄球菌菌株，放入有10 ml 液態培養基的玻璃試管中震盪後，置於培養箱以37 °C、80 rpm培養18-24 小時。
- 二、將培養好的細菌取100 ul接種到培養皿中的固態培養基上，使用L形無菌玻璃棒均勻塗佈至固態培養基完全吸收。
- 三、分別取20 ul消除劑滴至紙錠上一次4枚，置於塗有細菌的培養皿中，置於37°C培養箱培養18-24小時，觀察並測量其抑菌圈直徑。

平板計數法實驗

為了模擬受到生物戰劑攻擊後的道路及民用設施消除，使用消除劑滅菌後的效果如何，故設計了後續滅菌實驗步驟如下：

- 一、取大腸桿菌、綠膿桿菌、枯草桿菌及金黃色葡萄球菌菌株，放入10 ml液態培養基玻璃試管中震盪後，置於培養箱以37 °C、80 rpm培養18-24小時。

- 二、把柏油碎石塊、磁磚及水泥塊等測試材料放置60 ml寬口瓶內，將培養18-24小時後之菌液，吸取100 ul分別接種至各種測試材料上一次4份，1份接種後不消除作為對照組，其餘3份操作組則分別使用100 ul的82式、T4-102及DF-200消除劑實施消除。
- 三、菌株接種10分鐘後對照組加入20 ml的PBS溶液，將寬口瓶移置定軌震盪器150 rpm震盪10分鐘萃取，操作組於消除10分鐘後萃取程序同對照組。
- 四、經滅菌實驗後之對照組及操作組，使用平板計數法，一系列10倍稀釋並取100 ul滴至固態培養基上，使用L型無菌玻璃棒塗抹至固態培養基完全吸收後，放置37°C培養箱18-24小時後計算菌株數量。

化學模擬劑降解實驗

為了瞭解遭受到化學戰劑攻擊後的道路及民用設施消除，使用消除劑去污後的效果如何，故設計了後續毒化物降解實驗步驟如下：

- 一、首先將測試材料(柏油碎石塊、磁磚及水泥塊)放入60 ml寬口瓶內。
- 二、取DMMP或2-CEES 20 ul滴於測試材料上，污染30分鐘一次2份，1份不實施消除為對照組，另1份為操作組。
- 三、污染30分鐘後DMMP或2-CEES對照組加入20 ml二丁氧基乙醇萃取液，使用超音波震盪10分鐘完成萃取。
- 四、承步驟(三)，操作組使用消除劑100 或300 ul實施消除並靜置1或24小時後加入二丁氧基乙醇20 ml萃取液，並超音波震盪10分鐘完成萃取。
- 五、使用GC-MS分析結果。

生物抗滅菌結果與討論

圖 3 為三種消除劑對各菌種抑菌圈大小圖片，數據結果如表 1 所示。紙錠擴散法因為技術簡單、不需特殊儀器、操作容易所以是測試微生物實驗常用的一種方法，本實驗將 20 uL 消除劑滴至紙錠一次 4 錠，放置於已塗抹 100 ul 原始菌液固態培養基上，經 37°C 恆溫培養箱培養 24 小時後，可以發現 DF-200 及 T4-102 等兩種消除劑均有明顯的抑菌圈，4 錠平均抑菌圈直徑約 19-23 mm，表示有良好的殺滅細菌之效能，抑菌圈直徑越大表示抑菌效果越好。82 式消除劑紙錠平均抑菌圈直徑約 19-20 mm，但抑菌圈呈現出不如 DF-200 及 T4-102

等兩種消除劑般清晰，故 82 式消除劑抑制及殺滅細菌之效能不如 DF-200 及 T4-102，可能是 82 式消除劑逾效期太長(超過 15 年以上)造成效能不如 DF-200 及 T4-102，但是基本上 82 式消除劑還是有其殺滅細菌效能。

圖 3 三種消除劑對各菌種抑菌圈大小圖片

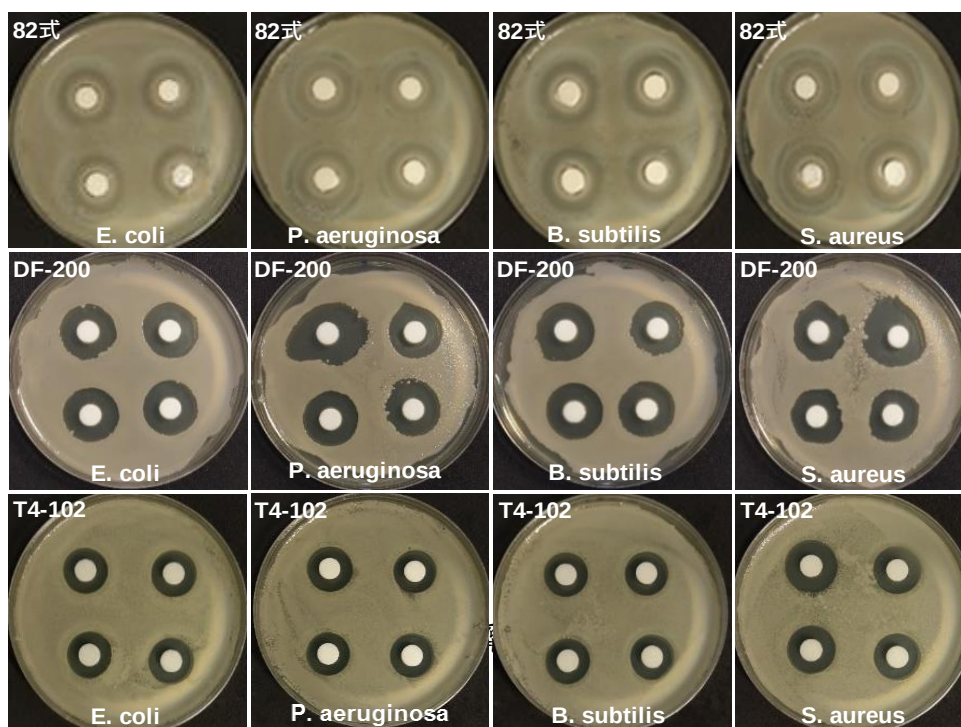


表 1 消除劑抑菌圈尺寸 (單位 mm)

細菌	E. coli	P. aeruginosa	B. subtilis	S. aureus
82 式	18.94	20.12	20.45	20.30
DF-200	21.07	22.63	20.20	21.32
T4-102	19.36	19.76	18.92	20.20

將四種菌液移植至柏油碎石塊、磁磚及水泥塊等測試材料上，再使用 100 ul 的消除劑對各測試材料滅菌 1 小時後，然後萃取出滅菌後的菌液移植至固態培養基上 37°C 培養 18-24 小時後計算菌落數(CFU)，透過比較對照組(無添加消除劑)培養的菌落數(log10CFU 對照)及操作組(有添加消除劑)消除後減少的菌落數(log10CFU 減少)，計算每種介質材料的消除效能(消除率):消除率=(Log10CFU 減少)/(Log10CFU 對照)X100%，結果如表 2 所示。結果顯示這三種消除劑對三種介面材質四種菌株消除效力均有達到 80%以上，消除效能 DF-200 > T4-102 > 82 式消除劑，尤其逾效期的 DF-200 和 T4-102 消除劑的消除效能幾乎達

100%。DF-200 抗菌機制主要是以過氧化氫的氧化效果達到抑菌效果，T4-102 主要成分為二乙基三胺和氫氧化鈉具強鹼性(pH 值 13.8)，鹼性物質具有溶解蛋白質能力，所以能破壞細菌的蛋白質使其內部作用失效而達到殺菌效果，82 式消除劑主要是以二氯異三聚氰酸鈉為主，抑菌效果較為溫和。以材質來看磁磚的消除效能優於柏油碎石塊和水泥塊，可能是受到材質孔隙的影響，整體而言這三種消除劑對生物細菌仍具有一定的消除效能，其差異性主要是受到消除劑逾效期時間長短的影響，逾效期時間 82 式 > T4-102 > DF-200，因此若要提升逾效期 82 式消除劑的消除效能可考慮增加使用量(濃度)來解決。

表 2 消除劑對不同污染介面及生物細菌的消除效能

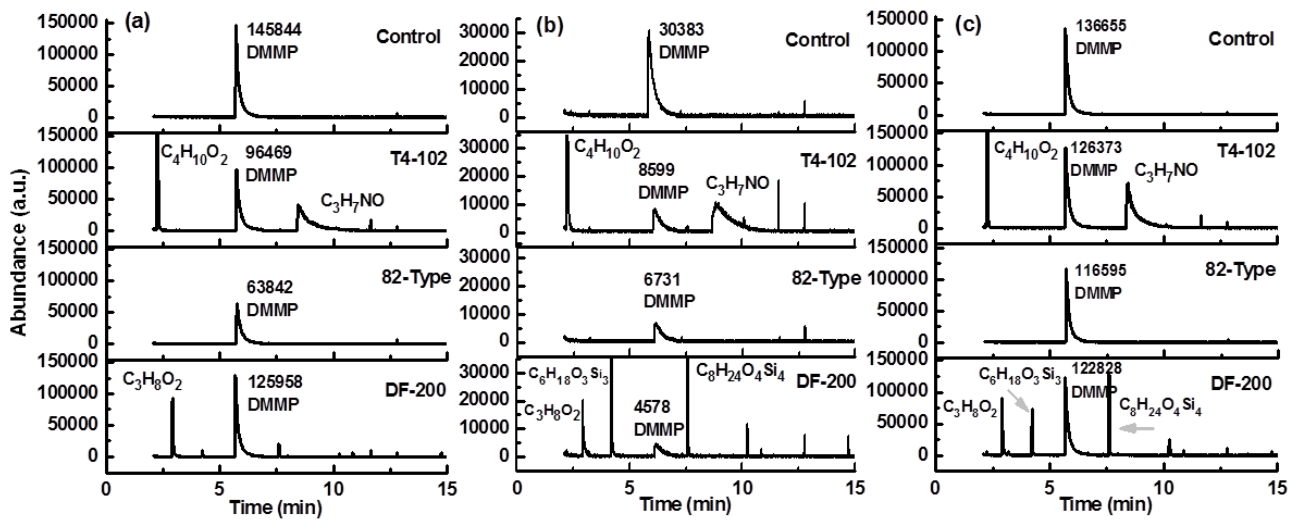
生物細菌	消除劑	汙染介面	對照組菌量 (Log ₁₀ CFU _{對照})	操作組減少菌量 (Log ₁₀ CFU _{減少})	消除率
<i>E. coli</i> 大腸桿菌	82 式	柏油碎石塊	6.08	5.06	83.22%
		水泥塊	6.04	4.98	82.45%
		磁磚	6.20	5.25	84.47%
	DF-200	柏油碎石塊	6.08	6.02	99.01%
		水泥塊	6.04	6.02	99.67%
		磁磚	6.20	6.20	100%
	T4-102	柏油碎石塊	6.08	6.06	99.67%
		水泥塊	6.04	5.98	99.01%
		磁磚	6.20	6.16	99.35%
<i>P. aeruginosa</i> 綠濃桿菌	82 式	柏油碎石塊	6.62	5.56	83.99%
		水泥塊	5.70	4.78	83.39%
		磁磚	5.79	4.92	84.97%
	DF-200	柏油碎石塊	6.62	6.62	100%
		水泥塊	5.70	5.69	99.82%
		磁磚	5.79	5.79	100%
	T4-102	柏油碎石塊	6.62	6.61	99.85%
		水泥塊	5.70	5.67	99.47%
		磁磚	5.79	5.73	98.96%
<i>B. subtilis</i> 枯草桿菌	82 式	柏油碎石塊	5.97	5.06	84.76%
		水泥塊	6.20	5.18	83.55%
		磁磚	6.18	5.25	84.95%
	DF-200	柏油碎石塊	5.97	5.97	100%
		水泥塊	6.20	6.20	100%
		磁磚	6.18	6.18	100%
	T4-102	柏油碎石塊	5.97	5.94	99.50%
		水泥塊	6.20	6.18	99.68%
		磁磚	6.18	6.16	99.68%
<i>S. aureus</i> 金黃色 葡萄球菌	82 式	柏油碎石塊	5.80	4.76	82.09%
		水泥塊	5.61	4.58	81.64%
		磁磚	6.11	5.10	83.35%
	DF-200	柏油碎石塊	5.80	5.80	100%
		水泥塊	5.61	5.61	100%
		磁磚	6.11	6.11	100%
	T4-102	柏油碎石塊	5.80	5.75	99.14%
		水泥塊	5.61	5.56	99.11%
		磁磚	6.11	6.08	99.51%

化學毒物降解結果與討論

DMMP 降解測試對照組，使用模擬劑污染測試材料後未實施消除，使用二丁氧基乙醇 20 ml 萃取後經 GC-MS 分析結果，約 5 分 47 秒(滯留時間)左右出現峰值如圖 4，透過資料庫比對該峰值為 DMMP，吸收峰強度代表 DMMP 的量，依序為柏油(145844 吸收單位) > 磁磚(136655 吸收單位) > 水泥塊(30383 吸收單位)。圖 4 為使用柏油碎石塊、水泥塊、磁磚為載體經模擬劑 DMMP 污染 30 分鐘後，使用 T4-102 等三種消除劑 100 ul 消除 1 小時，使用二丁氧基乙醇溶劑及超音波震盪萃取 10 分鐘後，透過 GC-MS 分析之結果，除了 DMMP 的吸收峰之外，其餘為萃取液和消除劑內有機物的吸收峰，在此不予討論。因為各材質孔隙大小不同故影響萃取的效果，磁磚因孔隙較小模擬劑不易滲透而較不易殘留，故 DMMP 峰值較高，反之水泥塊孔隙小比表面積大，所以模擬劑滲入後因毛細現象(液體對物體的附著性大於液體的內聚力)故較具吸附性而較難被萃取，而柏油雖然孔隙比水泥塊大但因為表面有一層焦油，焦油表面張力較小如同表面有一層蠟所以不易產生毛細現象，故模擬劑較易被萃取。從圖 4(a)可以觀察到在柏油上對照組吸收峰值為 145844 吸收單位，消除效果最好的是 82 式消除劑峰值剩下 63842 吸收單位，消除效能依序是 82 式 > T4-102 > DF-200 >。圖 4(b)在水泥塊上對照組吸收峰值為 30383 吸收單位，消除效果最好的是 DF-200 峰值剩下 4578 吸收單位，消除效能依序是 DF-200 > 82 式 > T4-102。圖 4(c)在磁磚上對照組吸收峰值為 136655 吸收單位，消除效果最好的是 82 式峰值剩下 116595 吸收單位，消除效能依序是 82 式 > DF-200 > T4-102。綜合而言三種消除劑對模擬劑 DMMP 均有消除效能，尤其對柏油碎石塊和水泥塊材質，磁磚材質因較平滑致使模擬劑和消除劑在材質上停留和反應時間太短，造成消除效能較差，82 式消除劑對 DMMP 的消除效能優於 DF-200 和 T4-102。

圖 4 三種消除劑對模擬劑 DMMP 消除後 GC-MS 吸收強度結果

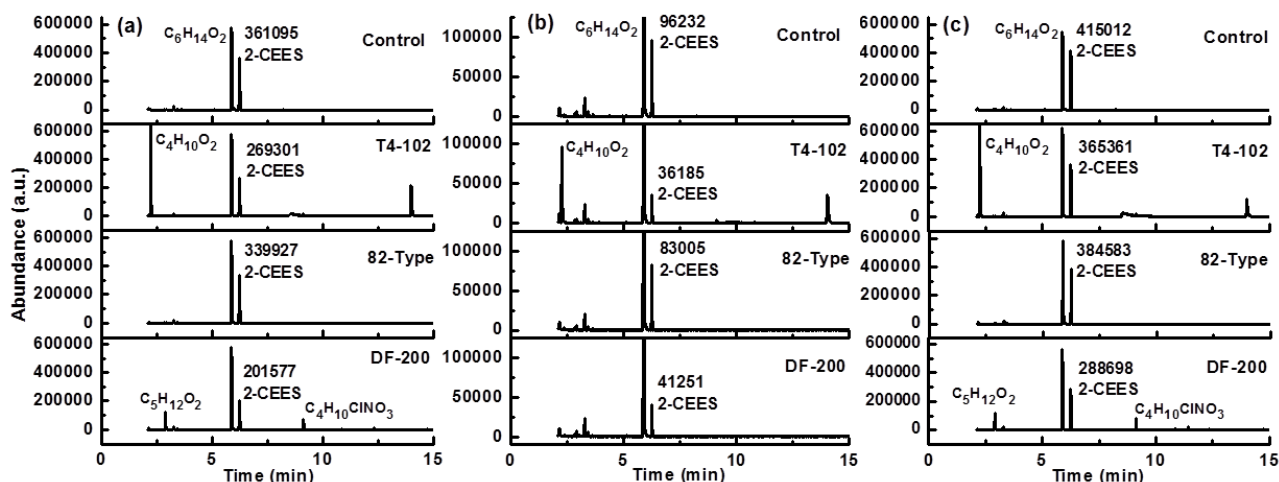
(a) 柏油碎石塊, (b) 水泥塊, (c) 磁磚。



2-CEES 降解測試對照組，使用模擬劑污染測試材料後未實施消除，使用二丁氧基乙醇萃取後經 GC-MS 分析，結果約 6 分 14 秒(滯留時間)的峰值透過資料庫比對該峰值為 2-CEES 吸收峰，如圖 5。圖 5 為使用柏油碎石塊、水泥塊、磁磚為載體經模擬劑 2-CEES 污染 30 分鐘後，使用 T4-102 等三種消除劑 100 μ l 消除 1 小時，使用二丁氧基乙醇溶劑及超音波震盪萃取 10 分鐘後，透過 GC-MS 分析之結果。從圖 5(a)得到在柏油上對照組吸收峰值為 361095 吸收單位，消除效果最好的是 DF-200 消除劑，2-CEES 峰值剩下 201577 吸收單位，消除效能依序是 DF-200 > T4-102 > 82 式。圖 5(b)在水泥塊上對照組吸收峰值為 96232 吸收單位，消除效果最好的是 T4-102 峰值剩下 36185 吸收單位，消除效能依序是 T4-102 > DF-200 > 82 式。圖 5(c)在磁磚上對照組吸收峰值為 415012 吸收單位，消除效果最好的是 DF-200 峰值剩下 288698 吸收單位，消除效能依序是 DF-200 > T4-102 > 82 式。綜合而言三種消除劑對模擬劑 2-CEES 消除效能類似 DMMP，除了受材質孔隙度影響之外，DF-200 和 T4-102 有較佳的消除效能。

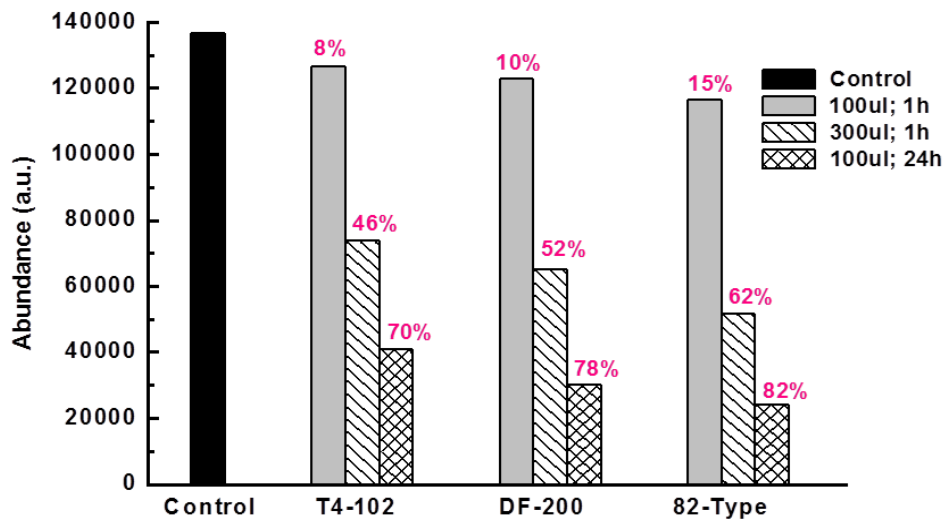
圖 5 各種消除劑對模擬劑 2-CEES 消除後 GC-MS 吸收強度結果

(a) 柏油碎石塊，(b) 水泥塊，(c) 磁磚。



經模擬劑降解實驗發現三種消除劑消除效能並未達理想狀況，可能是消除劑劑量不足或是消除時間不夠，故改變測試條件觀察其差異，測試材料選定表面孔洞較小且材質單純的磁磚做為測試體，DMMP 為污染物，將測試條件區分消除劑劑量增加 3 倍及消除時間延長至 24 小時等兩種，測試後觀察結果。從圖 6 結果明顯發現三種消除劑消除效能隨著消除劑劑量增加或是消除時間增加均有顯著增加，T4-102、DF-200 和 82 式消除劑劑量從 100 μ L 增加至 300 μ L(消除時間不變)，消除效能分別由 8% 增加至 46%、10% 增加至 52% 和 15% 增加至 62%; 消除時間從 1 小時增加至 24 小時(劑量不變)，消除效能分別由 8% 增加至 70%、10% 增加至 78% 和 15% 增加至 82%。因此在適當的消除劑量和消除時間條件下，逾效期的 T4-102、DF-200 和 82 式消除劑仍然有不錯的消除效能。本實驗選擇了三種受污染介質和三種消除劑來驗證其逾效期後的消除效能，結論是逾效期的 T4-102、DF-200 和 82 式消除劑仍然有不錯的消除效能，但若消除條件不同(污染介質、消除劑量或消除時間)則會有不同的消除效能，因此無法概括性地比較逾效期的 T4-102、DF-200 和 82 式消除劑的消除效能優劣。

圖 6 改變消除劑量及時間對 DMMP 消除效能(磁磚)結果。



結論與建議

本研究選用 T4-102、DF-200 和 82 式等三種逾效期消除劑，驗證其是否仍具有消除化生毒物效能。實驗區分兩個部分，第一部份為抗滅菌實驗，利用消除劑對附著在載體上的細菌實施抗滅菌試驗，菌種選用常見的革蘭氏陰性菌-大腸桿菌和綠膿桿菌及革蘭氏陽性菌-金黃色葡萄球菌和枯草桿菌等四種菌株做抗滅菌試驗，透過定性試驗(抑菌圈)判定抑菌的效果，結果顯示三種逾效期消除劑均有抑菌效果，抑制圈範圍約 19-23 mm，以 T4-102 和 DF-200 效能較佳。而定量實驗(平板計數法)結果顯示這三種消除劑對三種介面材質和四種菌株消除效能均有達到 80% 以上，消除效能 DF-200 > T4-102 > 82 式消除劑，逾效期的 DF-200 和 T4-102 消除劑的消除效能幾乎達 100%，82 式消除劑的消除效能較低主要是抑菌效能較溫和及逾效期時間較長，因此建議使用逾效期 82 式消除劑需增加使用量(濃度)，才能達到要求的消除效能。

第二部份為毒化物降解試驗，本研究選用化學模擬試劑-甲基磷酸二甲酯 (DMMP) 及 2-氯乙基乙基硫醚(2-CEES)，驗證逾效期消除劑降解化學戰劑的效能。先將化學模擬劑污染介質材料 30 分鐘後，再使用消除劑不同劑量(100 和 300 μ L)和不同消除時間(1 和 24 小時)消除，經由 GC-MS 儀器分析峰值的變化(吸收強度)觀察結果，結果證實三種消除劑均具有降解的效果，但是劑量和消除時間決定消除效能，另外測試材料結構也會影響消除效能。實驗結果也發現逾

效期 82 式消除劑對化學模擬劑的消除效能優於對生物細菌的消除效能，整體來說 T4-102、DF-200 和 82 式等三種逾效期消除劑仍具有消除化生毒物效能。建議使用這三種逾效期消除劑需增加劑量和消除時間，同時調整不同的消除介面選擇不同的消除劑，才能達到最佳的消除效能。實驗結果了解各種逾效期消除劑對於抗滅菌或毒化物降解有不同的特性，可提供消除劑使用參考，有效提升逾效期消除劑使用價值。

參考文獻

- 一、E.L. Toquin, S. Faure, N. Orange, F. Gas, New biocide foam containing hydrogen peroxide for the decontamination of vertical surface contaminated with *Bacillus thuringiensis* spores, *Frontiers in Microbiology* 9 (2018) 2295.
- 二、M.D. Fernandes, A.C.C. Alvares, J.G.M. Manoel, L.M.R. Esper, D.Y. Kabuki, A.Y. Kuaye, Formation of multi-species biofilms by *Enterococcus faecium*, *Enterococcus faecalis*, and *Bacillus cereus* isolated from ricotta processing and effectiveness of chemical sanitation procedures. *Int. Dairy J.* 72 (2017) 23.
- 三、W.R. Richter, J.P. Wood, M.Q.S. Wendling, J.V. Rogers, Inactivation of *Bacillus anthracis* spores to decontaminate subway railcar and related materials via the fogging of peracetic acid and hydrogen peroxide sporicidal liquids, *Journal of Environmental Management* 206 (2018) 800.
- 四、M.P. Wylie, R.A. Craig, S.P. Gorman, C.P. McCoy, Development of a high-level light-activated disinfectant for hard surfaces and medical devices, *International Journal of Antimicrobial Agents* 57 (2021) 106360.
- 五、G.K. Abdel-Latef, A.N. Mohammed, Efficiency evaluation of some novel disinfectants and anti-bacterial nanocomposite on zoonotic bacterial pathogens in commercial Mallard duck pens for efficient control, *J Adv Vet Anim Res.* 8 (2021) 105.
- 六、V. Drauch, C. besich, C. Vogl, M. Hess, C. Hess, In vitro testing of bacteriostatic and bactericidal efficacy of commercial disinfectants against *Salmonella Infantis* reveals substantial differences between products and bacterial strains, *International Journal of Food Microbiology* 328 (2020) 108660.
- 七、S. Zhao, H. Xi, Y. Zuo, Q. Wang, Z. Wang, Z. Yan, Bicarbonate-activated hydrogen peroxide and efficient decontamination of toxic sulfur mustard and nerve gas simulants, *Journal of Hazardous Materials*

344 (2018) 136.

- 八、L.A. Hernon-Kenny, D.L. Behringer, M.D. Crenshaw, Comparison of latex body paint with wetted gauze wipes for sampling the chemical warfare agents VX and sulfur mustard from common indoor surfaces, *Forensic Science International* 262 (2016) 143.
- 九、H. Stone, D. See, A. Smiley, A. Ellingson, J. Schimmoeller, L. Oudejans, Surface decontamination for blister agents Lewisite, sulfur mustard and agent yellow, a Lewisite and sulfur mustard mixture, *Journal of Hazardous Materials* 314 (2016) 59.