

IOSH95-H313

拋棄式防塵口罩滅菌再使用之可行性探討

The Study of Germicidal Methods on Filtering-Facepiece Respirators Reuse

中華民國 96 年 2 月

拋棄式防塵口罩滅菌再使用之可行性探討

The Study of Germicidal Methods on Filtering-Facepiece Respirators Reuse

研究主持人：于台珊瑚、陳春萬

計畫主辦單位：行政院勞委會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 95 年 4 月至 95 年 12 月

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
中華民國 96 年 3 月

摘要

92 年 SARS 疫情高原期，由於拋棄式防塵口罩的供應量不足，有人提出將配戴過的口罩滅菌處理再重複使用的建議，雖然有違「拋棄式」防塵口罩的使用理念，但在疫情緊急復資源有限之際，不失為一可能的應變手段。本研究就各種有效滅菌條件對濾材捕集效率之影響，探討拋棄式防塵口罩滅菌後再使用之可能性，以作為未來類似疫情期物資不足時之參考。

本研究將市售六款口罩（兩款 P2、四款 N95 等級）負載上用以模擬病毒的大腸桿菌，經測試乾熱（烘箱）、濕熱（蒸鍋）、高溫高壓滅菌、紫外光及酒精五種滅菌方式的有效滅菌條件後，再觀察口罩經有效滅菌條件處理前後的捕集效率變化。

五種滅菌方法所設定的有效滅菌的條件分別為：乾熱法以 70°C 的烘箱作用 30 分鐘；濕熱法以蒸鍋（96°C）作用 15 分鐘；高溫高壓滅菌方法以溫度 121°C、壓力 1 kg/cm²的條件作用 15 分鐘；紫外線法以波長 254nm、強度 303 μW/cm²的條件作用 30 秒；75%的酒精溶液以噴灑的方式完全接觸口罩。口罩經上述五種條件滅菌後，75% 酒精會使 4 款口罩（4/6）捕集效率降至 95% 以下；濕熱處理及高溫高壓滅菌會造成一款口罩效率降至 95% 以下（1/6），且高溫高壓滅菌會使五款口罩嚴重變形；而乾熱與紫外線兩滅菌方法對 6 款口罩的捕集效率影響較小，都維持在 95% 以上。

本研究所選用的五種滅菌方式在一定的條件下均能完全殺死口罩上的大腸桿菌，但在一般時期並不建議重複使用 N95 口罩，只有在疫情緊急且防疫物資極度缺乏，必須重複使用口罩時，建議以乾熱及紫外線兩種滅菌方式來進行口罩滅菌，以避免口罩過濾效果受影響，致使配戴者增加感染風險。

關鍵字：拋棄式防塵口罩、滅菌、重複使用、捕集效率

Abstract

In the prevalence of SARS, due to being short of Filtering-Facepiece Respirators, someone had suggested to reuse masks which are disinfected. Though the suggestion goes against the concept of disposability, while in the emergency of epidemic situation and limited resource, the suggestion may be accepted as an emergency measure. This study evaluated the possibility of masks reused by effective disinfection methods without destroying the capture efficiency. And the conclusion can be a reference for short of epidemic prevention materials.

Six kinds of respirators loaded *Escherichia coli* are disinfected by dry hot, wet hot, autoclave, UV light and 75% alcohol to confirm the effective disinfection condition. And the influence of capture efficiency is observed after respirators are disinfected by five different effective condition.

The five effective disinfection conditions are as below: 70°C oven by 30 minutes; electric pot(96°C) by 15 minutes; 121°C, 1 kg/cm² by 15 minutes; 254nm, 303μW/cm² UV light by 30 seconds; and 75% alcohol spraying entirely on the respirator. As to the capture efficiency, four kinds of respirators are under 95% after being disinfected by 75% alcohol, and one kind of respirators is under 95% after being disinfected by wet hot and autoclave, and autoclave also makes five kinds of respirators to change shape. Dry hot and UV light disinfection methods hardly affect the capture efficiency of respirators.

Though the five disinfection methods can kill *Escherichia coli* on the respirators, it is not suggested to reuse Filtering-Facepiece Respirators in peacetime. Only if respirators have to be reused inevitably, it is suggested to reuse respirators disinfected by dry hot and UV light.

Key Words: Filtering-Facepiece Respirators, disinfection, reuse, capture efficiency

目錄

摘要	i
Abstract	ii
目錄	iii
圖目錄	iv
表目錄	v
第一章 計畫概述	1
第一節 前言	1
第二節 研究目的	2
第三節 工作項目	2
第二章 文獻回顧	3
第三章 研究方法	6
第一節 實驗設備	6
第二節 實驗材料與製備	8
第三節 實驗方法	9
第四章 結果與討論	15
第一節 各滅菌方法的有效滅菌條件	15
第二節 有效的滅菌方法對口罩效率的影響	16
第五章 結論與建議	21
誌謝	22
參考文獻	23

圖目錄

圖 1 研究架構圖	6
圖 2 決定有效滅菌條件的實驗流程圖	10
圖 3 生物氣膠負載方式	12
圖 4 口罩滅菌處理前後穿透率測試流程圖	12
圖 5 口罩濾材穿透率與空氣阻抗測試艙	13
圖 6 口罩之陽性測試結果	15
圖 7 乾熱處理前、後 6 種口罩效率變化	17
圖 8 濕熱處理前、後 6 種口罩效率變化	17
圖 9 高壓滅菌前、後 6 種口罩效率變化	18
圖 10 UV 照射前、後 6 種口罩效率變化	18
圖 11 酒精處理前、後 6 種口罩效率變化	19

表目錄

表 1 有效滅菌條件的實驗變項	11
表 2 口罩捕集效率試驗條件 (CNS 14755, Z 2125)	14
表 3 各滅菌方法的有效滅菌條件	16
表 4 5 種滅菌方法對 6 種口罩效率之影響	20

第一章 計畫概述

第一節 前言

根據世界衛生組織（WHO）統計，自 1973 年至 1998 年世界上已出現超過二十種新興傳染病，包括以空氣為媒介或是近距離飛沫傳播者，例如嗜肺性退伍軍人菌（*Legionella pneumophila*）和 2003 年導致嚴重急性呼吸道症候群（Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS）的新型冠狀病毒等。

2003 年 SARS 事件除點出醫療人員之高暴露風險外，亦突顯出疫情爆發期間相關防疫物資供給與調度之重要，而做為最後一道防線的防護具使用尤為不可或缺的防護手段，其中拋棄式防塵口罩在生物氣膠防護上使用最為廣泛[1]，然在 SARS 疫情高原期，由於供應量不足，一般民眾與醫療從業人員在無法獲得充足的口罩供應量的情形下，有人提出將使用過的口罩利用如電鍋蒸煮、噴灑酒精、太陽曝曬等滅菌方法處理後再使用的建議。雖然有違「拋棄式」防塵口罩的使用理念，不過在疫情緊急復資源有限之際，不失為一可能的應變手段。

簡易型防塵口罩（filtering facepiece）又稱為「拋棄式防塵口罩」，在一般的使用狀況下，當有下列任何狀況發生時就應該停止使用：濾材效率明顯下降時、濾材阻抗明顯增加時、口罩結構變形、損壞時、基於個人衛生的考量、有接觸口罩表面而感染之虞時。

目前市售的防塵口罩大部分都是以帶電材料所製成，由於多了靜電作用力，因此濾材可以在比較低的空氣阻抗下獲得較高的過濾效率。不過，該濾材的效率會因為微粒的負載或是暴露在較高的溫、濕度下而逐漸下降[2]。若基於濾材過濾效率的觀點，口罩在有明顯的污染或損壞（如有折痕或破損）或濾材效率明顯下降之前是可以重複使用的。在 SARS 事件中，口罩重複使用雖然會增加感染的風險，但在口罩供應量無法滿足需求之下，上述情況勢必需要取得一個平衡點。且從減少感染性廢棄物數量與提高口罩使用效益來看，若能有一有效消毒口罩的手段，亦可作為口罩使用後的第二種選擇。可惜的是，截至目前為止，並沒有相關的文獻資料來支持或證明防塵口罩用於感染性物質防護時，其重複使用的可行性。

第二節 研究目的

為因應傳染病疫情爆發可能之防疫物資不足，且避免錯誤滅菌方法造成口罩濾材受損因而導致使用者蒙受感染風險，就不同滅菌方式進行濾材捕集效率之影響評估，探討拋棄式防塵口罩滅菌後再使用之可能性。

第三節 工作項目

1. 蒐集整理滅菌方式及濾材捕集之相關文獻。
2. 建立濾材負載生物氣膠實驗系統及捕集效率測試系統。
3. 確立各滅菌方式之有效滅菌條件。
4. 評估各有效滅菌條件下，拋棄式防塵口罩之濾材捕集效率變化。

第二章 文獻回顧

目前市售的防塵口罩大部分都是以帶電材料製成，由於多了靜電作用力，濾材可以在較低的空氣阻抗下獲得較高的過濾效率，但其作用也會因為微粒的負載或是暴露在較高的溫、濕度下而逐漸下降[2]，研究中也發現液態 DOP (Dioctyl Phthalate) 對於濾材的帶電量具有高度的消除能力，而固態 NaCl 微粒對於濾材帶電量的消除能力並不大，故美國國家職業安全衛生研究所 (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 將非動力型淨氣式呼吸防護具 (non-powered air-purifying respirators) 以三類 (N 、 R 、 P) 三級 (95 、 99 、 100) 的方式共分成九個類別 [3] ，其中 N 、 R 、 P 三類即是考量不同濾材之帶電量受到微粒負載而消失程度的差異，從效率的觀點， N 、 R 系列之防塵口罩的最高微粒負載量為 200mg ，而 P 系列並無限制。在實際使用上， N 系列口罩僅能夠用於不含有油性微粒的環境而 R 、 P 系列則無限制。

傳統工業衛生概念上，拋棄式防塵口罩的置換時機完全取決於濾材效率，一般的使用狀況下，除有明顯的污染或損壞（如有折痕、破損或結構變形）、濾材效率明顯下降時或基於個人衛生的考量外，原則上是可以重複使用的，以 N95 為例，假設空氣微粒濃度為 10 mg/m^3 (勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準中厭惡性總粉塵之濃度標準) 、配戴人員的潮氣容積為 750ml/ 次、呼吸的頻率為 15 次 / 分鐘、每天配戴 8 小時，經由下式 (1) 計算結果可知該口罩在該理想的條件下約可使用 3.7 天，而事實上在一般的環境之中，空氣中的微粒濃度一般均遠低於上述所假設的條件，因此口罩使用的時間勢必可以更久。

$$\frac{200\text{mg}}{\frac{10\text{mg}}{\text{m}^3} \times \frac{7.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{\text{次}} \times \frac{15\text{次}}{\text{min}} \times \frac{60\text{ min}}{\text{hr}} \times \frac{8\text{hr}}{\text{day}}} = 3.7\text{ day} \quad (1)$$

然而此一原則應用於生物氣膠防護的使用上，則需考慮重複使用時所增加的感染風險。基於避免感染的考量，拋棄式防塵口罩應為用過即拋，但在供應量不足時，即陷入該丟還是該再重複使用的兩難，滅菌後再使用即為折衝後可能之解決方法。

SARS 疫情高峯期物資缺乏時即有人提出將使用過的口罩利用如電鍋蒸煮、噴灑酒精、太陽曝曬等方法滅菌，希望能夠藉著滅菌以延長口罩能夠被安全使用的壽命，

雖然有違「拋棄式」防塵口罩的使用原則，但若能在不影響口罩濾材的捕集效率前提下尋得一適當的滅菌方法，「再使用」亦不失為一可行的應變手段，且亦能夠減少醫院成本負擔與感染性廢棄物的大量增加。目前僅郭崇文等[4]曾針對市售奈米光觸媒口罩進行再生處理後微粒過濾性能測試，結果發現乾蒸處理對於濾材捕集微粒的效率影響不大，但若經酒精及漂白水處理，該濾材的捕集效率則受影響較大，然該研究模擬之再生處理方式並未以生物氣膠確定該實驗條件足以達成滅菌效果，且多偏重於化學藥劑類處理，諸如醫療機構或微生物相關實驗室常見之紫外線等滅菌方式未列入實驗變項。

生物氣膠的控制技術通常可以分為收集以及滅菌兩類，所謂的收集，就是以過濾的方式將氣懸微粒收集至濾材上，雖然可以將生物氣膠收集到濾材上以降低生物氣膠的濃度，但卻無法將生物氣膠去活化，因此為達到良好的生物氣膠控制效果，還需要各種不同的滅菌方式來去除微生物。

使微生物去活化的方式相當多，常見的方式有加熱（或輔以高壓）、添加產生氯離子之化學藥劑、紫外線滅菌、臭氧滅菌及新興的光觸媒滅菌等。加熱為最簡單且易實施之滅菌方法，多應用在水體上，應用於空氣中則受限於輻射傳熱均溫不易；餘氯滅菌也是極為常見用於水體中的滅菌方式，原理是對微生物細胞膜造成損傷後，再進一步攻擊蛋白質，一般自來水體在兼顧人體健康考量下規定須維持 2 ppm 的自由餘氯，非飲用水體則多建議在 2~6ppm 間，然缺點在於餘氯濃度不易維持，且會造成管線腐蝕，濃度過高時甚至可能產生三氯甲烷等致癌物質[5][6]，常用的消毒劑等清潔用品(如次氯酸鈉)等則是攻擊微生物細胞膜上蛋白質的-SH group，對細胞膜產生損傷後，再進一步攻擊蛋白質，以達到微生物去活化的目的；紫外線滅菌原理為破壞菌體核酸，最佳滅菌波長約在 254 nm，缺點為滅菌範圍小、不具持續性[7]，且紫外光 UV-C 的強能會對人體造成傷害，應用於空氣中滅菌時，溼度大於 60%時亦會降低其效率[8]；臭氧滅菌為侵入細胞膜進而破壞 DNA，高濃度時且具毒性，但因不穩定且具高度氧化力，短時間內即和周遭的雜質反應而降解，作用範圍小且亦不具持續性；光觸媒滅菌由於可將污染物完全降解成無污染之二氧化碳和水，因此近年成為廣為研究探討的熱門滅菌技術，其原理為經光催化產生高活性之氫氧根及超氧離子分解微生物[9] 這對於分解某些微生物本身即是過敏原的生物氣膠來說，是一個相當具有潛力

的控制技術，但因為游離基作用範圍極小，故與微生物接觸的滯留時間一直為該技術應用在滅菌上極需突破之關鍵瓶頸[10]。

第三章 研究方法

本研究主要分成兩個部分，如下圖 1 所示，第一部分主要的目的在決定各個滅菌方法用在口罩濾材上的有效條件，在作法上是先讓生物性氣懸微粒噴附於口罩濾材上，再經過固定條件之滅菌方法處理後，利用培養的方式觀察有無菌落的形成來決定有效的滅菌條件。當有效的滅菌條件決定之後，則進入第二部分的測試，以評估有效的滅菌的方法是否會影響口罩對微粒的捕集效率，若否，則該滅菌方法是謂「可行」。以下就實驗中所使用的儀器設備與器材以及各部分的實驗進行方法作進一步的敘述。

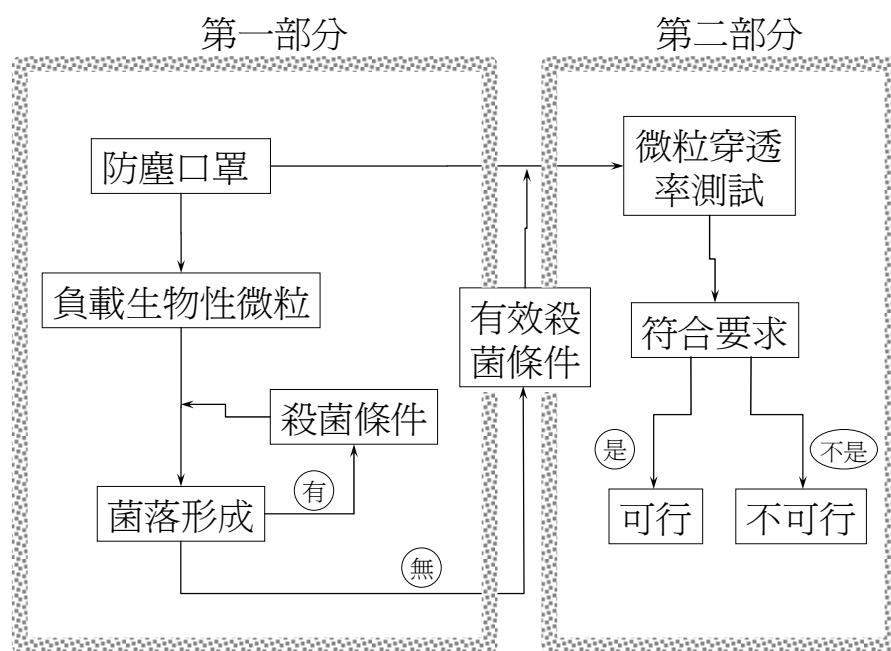


圖 1 研究架構圖

第一節 實驗設備

- TSI 8130 AFT (Automated Filter Tester, Model 8130, TSI Inc., St., Paul, MN, USA) :

TSI 8130 AFT 是目前市售根據美國聯邦法案 42 CFR part 84[3]中對於拋棄式防塵口罩性能測試條件所設計的直讀式儀器。TSI 8130 AFT 的原理是利用霧化器產生計數中位粒徑 (count median diameter, CMD) 為 $0.075 \pm 0.02 \mu\text{m}$ 、幾何標準偏 (geometric standard deviation) 不超過 200 mg/m^3 之 NaCl 做為測試微粒，

並藉著微粒散光光度計 (light scattering photometer) 分別量測濾材樣本上、下游之微粒的相對濃度，以求得濾材樣本之微粒穿透率。該儀器在設計上特別針對濾材樣本上、下游微粒濃度的差異，使用 2 組具有不同解析度的光度計，也因此將該儀器的靈敏度增加至 0.001%，換句話說，對於效率在 99.999% 以下的濾材樣本均可以利用該儀器來進行評估。TSI 8130 雖然具有快速、操作簡易等優點，但是其缺點是無法量測個別微粒粒徑的大小。

2. 微粒電移動度掃瞄分徑器 (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS, Model 3936, TSI Inc., St. Paul, MN, U.S.A.) :

SMPS 包括靜電分徑儀 (Electrostatic Classifier Model 3080, TSI Inc., St. Paul, MN) 和凝結核微粒計數器(Condensation Particle Counter Model 3025A, TSI Inc., St. Paul, MN)兩個部分。多粒徑分佈之微粒首先經由靜電分徑儀依微粒之電移動度的差異區分出不同大小的微粒，被分離之微粒再送至凝結核微粒計數器以計算微粒之數目濃度。靜電分徑儀中主要的結構為 DMA (differential mobility analyzer)，DMA 的原理是利用微粒電移動度的不同來區分微粒的粒徑。所謂電移動度 (Z) 即是描述帶電微粒在電場中的移動能力： $Z = V_{TE}/E$ (V_{TE} ：微粒之靜飄移速度； E ：電場強度)。再由儀器之幾何形狀與操作條件可得到： $Z = [q_c \ln(r_2/r_1)]/(2\pi VL)$ 其中 q_c ：護套空氣流率； r_1 ：DMA 內管柱半徑； r_2 ：DMA 外管柱半徑； V ：供應電壓； L ：DMA 管柱長度。因為 r_1 、 r_2 與 L 均為定值，因此在固定的 q_c 之下可以藉著調整不同的操作電壓，以取得不同電移動度的微粒，即不同粒徑大小的微粒（假設每一個微粒的帶電量均相同）。凝結核微粒計數器的原理是讓微粒通過一充滿正丁醇飽和蒸氣的管子，在 37°C 下與飽和正丁醇蒸汽混合，此混合氣體通過一溫度為 10°C 的管子，使正丁醇凝結於微粒表面，微粒因而長大至可偵測的範圍，再利用光偵測器可得知微粒的數目，Model 3025A CPC 偵測微粒濃度的範圍為 $0 \sim 10^5 \text{#/cm}^3$ ，所量測的粒徑範圍是 $2 \sim 1000 \text{ nm}$ 。

3. 自製簡易霧化器 (Nebulizer)

利用噴霧—乾躁 (spray-drying) 之原理，產生次微米之多粒徑分佈微粒，粒徑大小主要依據溶液中不揮發性溶質所佔比率決定。

4. 卡里森霧化器 (Refluxing 6-jet modified MRE-type short-form Collison nebulizer, Model NSF CN-31/1, BGI Inc.)

高壓空氣 (20Pa) 經一微孔以高速射出將液體噴碎，每分鐘約可產生 3~9 公升的氣膠，平均粒徑約為 $2 \mu\text{m}$ ，氣膠中所含微粒濃度約為 6 至 8 公克/立方米。

5. 安德森一階生物氣膠採樣器(Andersen Viable(microbial) Particle Sizing Sampler, Model 10-709, Andersen Samplers Inc, Atlanta, GS)。

此採樣器為六階 AMS 僅取其最後一階改良而來，其衝擊板上有 400 個小孔，每個小孔的孔徑為 0.025 cm 。操作流量 28.3 lpm 。採樣時置入含有 20 ml 培養基的培養皿。採樣後經適當培養，依下列公式計算得濃度 (CFU/m^3)：

$$\text{濃度} = \text{菌落數 (CFU)} / [28.3 (\text{lpm}) \times t (\text{min}) \times 10^{-3} (\text{m}^3 / \text{l})]$$

6. 高溫高壓滅菌鍋 (Model TM-329, Tomin Medical Equipment Co, LTD.)

7. 紫外線偵測器 (UVX Radiometer, Part # 97-0015-02, UVP Inc) 及 254nm 感應器 (Sensor UVX-25, UVP Inc)

8. 電鍋

9. 烘箱 (Model DOS-45)

10. 生物安全櫃 (class II type A2, Model Nu-425-600, NuAir) 內之紫外線燈管

第二節 實驗材料與製備

- 氯化鈉 (Sodium Chloride, NaCl)：依測試所需粒徑調配不同濃度之溶液。
- Trypticase Soy Agar (TSA, Difco, Detroit MI, USA)：每公升二次去離子水中加入 40 g ，其成分中含有 Tryptone 15 g 、Soytone 5 g 、Sodium Chloride 5g 、Agar 15g ，作為細菌培養基。
- 細菌培養液 (Nutrient Broth)：每公升二次去離子水中加入 8 g ，作為細菌液態培養。
- PBS 緩衝液 (Phosphate Buffered Saline)：每公升純水中加入 80 g NaCl 、 2 g

KCl、11.5 g Na₂HPO₄ · 2H₂O 以及 2 g KH₂PO₄，配置好的溶液以 pH meter 確定其 pH 值為 PH7.2。

5. 六款測試口罩分述如下：

口罩 A 屬歐規 P2 級，為碗狀白色口罩；口罩 B 屬美規 N95 級，為碗狀白色口罩；口罩 C 屬美規 N95 級，為網狀支撐碗型白色口罩；口罩 D 屬美規 N95 級，為船型白色口罩；口罩 E 屬美規 N95 級，為碗狀白色口罩；口罩 F 屬歐規 P2 級，為鳥嘴型藍色口罩。

6. 大腸桿菌 (*Escherichia coli*, ATCC25922) 懸浮液：

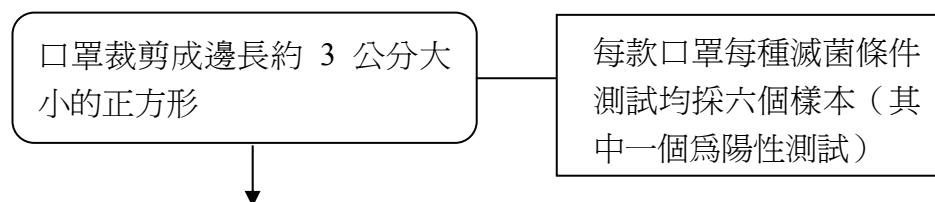
- (1) 於-70 °C 的冰箱中取一小管菌種於室溫下解凍，以接菌環取出接種量劃在數個 TSA 上活化。
- (2) 每次實驗時於 TSA 上活化後（於 37 ± 0.5 °C 的培養箱中培養 24 小時）再取單一菌落於 200 ml 的培養液(Nutrient Broth)中，並將其置於 37 ± 0.5 °C 的培養箱以 85 rpm 轉速的旋轉器上培養 48 小時後待用。
- (3) 以 2500 rpm 離心 5 min，去除上清液，加入 PBS 緩衝液並重覆此離心步驟 2 次，再以 PBS 緩衝液混勻至 55mL 後待用。

上述不含菌體之營養液、培養液及 PHS 緩衝液等皆需先於高壓滅菌釜中，滅菌 15 分鐘以上後冷卻使用。

第三節 實驗方法

第一部份：有效滅菌條件參數設定

1. 實驗流程圖



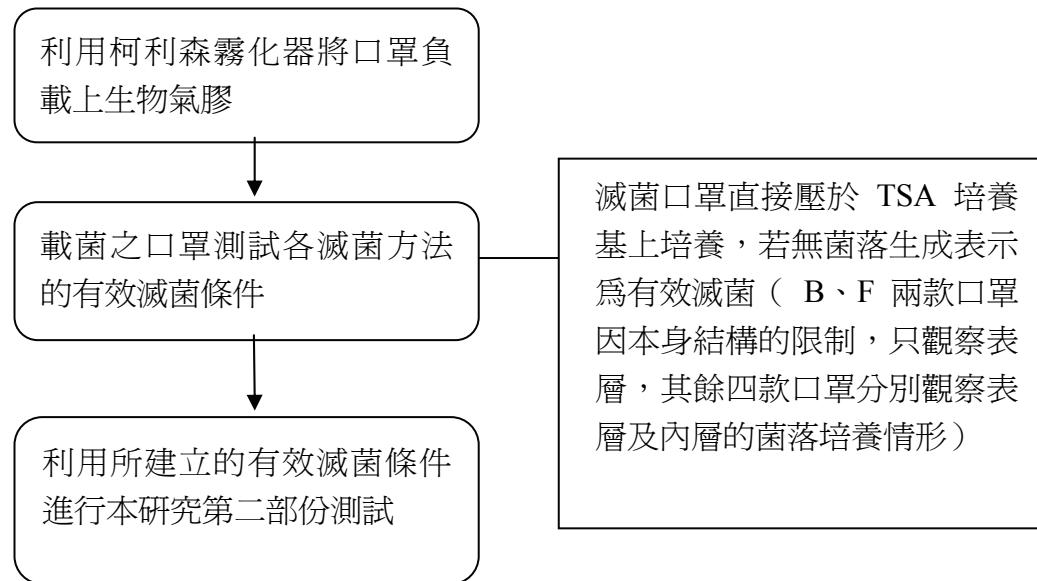


圖 2 決定有效滅菌條件的實驗流程圖

2. 實驗變項

各滅菌條件實驗變項如表 1 所列，口罩負載菌種選擇較為敏感的大腸桿菌 (*E. coli*) 用以模擬病毒；實驗濾材選擇美規 N95 及歐規 P2 級拋棄式防塵口罩，從市售產品中挑選六種無氣閥之款式；滅菌方式的選擇則以傳統常見且方便可行的滅菌方法作考量，包括乾熱（烘箱）、溼熱（電鍋）、高壓滅菌、紫外線及酒精滅菌五種方式。

表 1 有效滅菌條件的實驗變項

實驗變項	內容
------	----

測試菌種	<i>E. coli</i>	
實驗濾材	P2 兩款、N95 四款	
滅菌方式	1).乾熱 ^a	溫度：100°C、70°C 作用時間：30 分鐘、60 分鐘
	2).溼熱 ^b	溫度： 作用時間：15 分鐘、30 分鐘
	3).高溫高壓滅菌	溫度：121°C 壓力：1 kg/cm ² 作用時間：15 分鐘
	4).紫外線 ^c	波長：254nm 強度：303μW/cm ² 作用時間：30 秒、1 分鐘
	5).75%酒精	作用方式：浸泡、噴灑

^a 烘箱

^b 電鍋蒸煮（口罩未直接接觸水）

^c 利用生物安全櫃內的紫外線燈管

3. 測試菌之負載

如圖 3 所示，將 55mL 製備好之 *E. coli* 生物氣膠懸浮液置入柯里森霧化器 (Collison six-jet nebulizer, BGI Inc.) 中，以經 HEPA 過濾之壓縮空氣衝擊產生氣膠（進行每批實驗時，均以安德森一階生物氣膠採樣器進行採樣，以確定空氣中菌液濃度達 10^4 CFU/m³ 以上）。測試口罩置於離霧化器約 10 公分位置，啓動霧化器，15 秒後關閉，靜置片刻後取出口罩進行滅菌條件測試，每款口罩每種滅菌條件均依上述步驟置備 6 個，其中一個作為載菌之陽性測試。

受測口罩

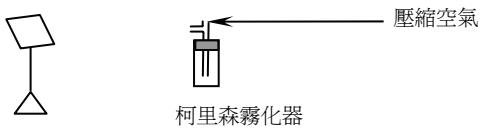


圖 3 生物氣膠負載方式

第二部份、口罩經滅菌處理後的穿透率測試

1. 實驗流程

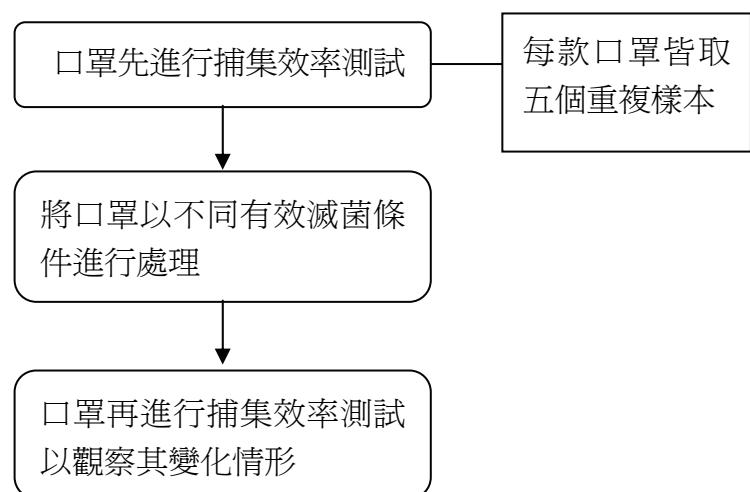


圖 4 口罩滅菌處理前後穿透率測試流程圖

進行測試時，因為經溼熱、酒精及高壓滅菌三種方式處理後，會造成口罩本體潮濕，故將口罩置於生物安全櫃內靜置隔夜待完全乾燥後再進行捕集效率測試。

2. 口罩捕集效率測試系統

氯化鈉水溶液經由微粒產生器霧化後，利用氣膠中和器（Aerosol Neutralizer, Model 8113, TSI Inc., St. Paul, MN, USA）以中和微粒在產生過程中獲得的帶電，再經過較高溫的乾淨空器稀釋、乾燥之後即為口罩測試所需之氣膠微粒。測試氣膠在進入測試腔前可藉由調整流量閥以控制氣流量的大小（0

$\sim 100 \text{ L/min}$)，多餘的氣流則由系統的下游排除。在測試腔中，分別於口罩的上、下游設有壓力以及氣膠微粒的採樣孔，以測量口罩之阻抗與微粒穿透率。

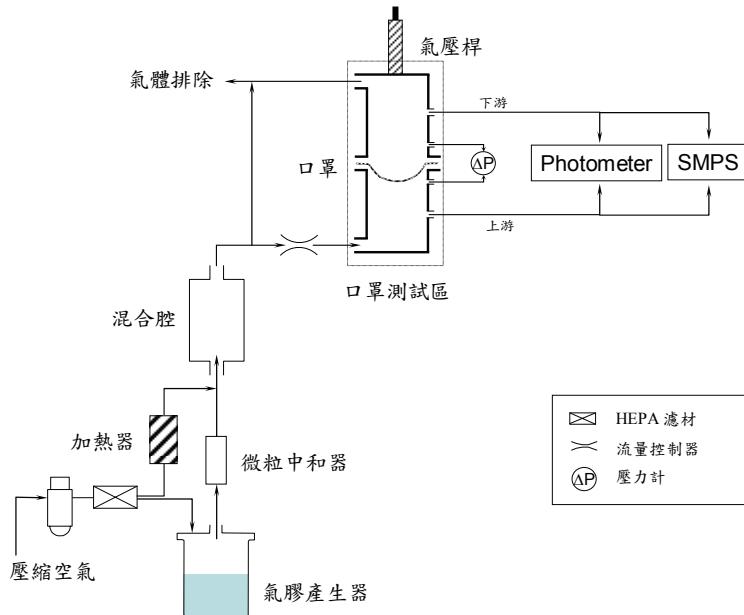


圖 5 口罩濾材穿透率與空氣阻抗測試艙（黃盛修，2005）

口罩防護效率測試條件如表2所示，欲測試口罩置於溫度 $38 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對濕度 $85 \pm 5\%$ 之環境24-26小時，而後取出密封，並於10小時內進行試驗，將含微粒之試驗空氣通過口罩，以TSI 8130 (Automated Filter Tester, Model 8130, TSI Inc., St., Paul, MN, USA) 分別測量口罩濾材上下游微粒濃度，依下式計算口罩防護效率(protection efficiency)：

$$PE = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \times 100\%$$

其中， PE ： 口罩的防護效率(%)

C_0 ： 試驗氣體之微粒濃度(mg/m^3 ，或每毫升個數)

C_i ：透過口罩氣體之微粒濃度(mg/m^3 ，或每毫升個數)

表2 口罩捕集效率試驗條件 (CNS 14755, Z 2125)

微粒之種類	氯化鈉(NaCl) 微粒： 計數中微粒徑(CMD) $0.075 \pm 0.02\mu\text{m}$ ， 標準差(GSD)1.86 以下。
微粒之帶電性質	微粒呈波茲漫帶電平衡分布(Boltzmann equilibrium state)
試驗空氣中之微粒平均濃度	$200\text{mg}/\text{m}^3$ 以下
試驗氣體溫度	$25 \pm 5^\circ\text{C}$
試驗氣體相對濕度	$30 \pm 10\%$
試驗氣體流量	$85 \pm 4\text{L}/\text{min}$
試驗時間	通氣開始後 2 分鐘至 4 分鐘間實施量測，且量測超過 1 分鐘以上。

第四章 結果與討論

第一節 各滅菌方法的有效滅菌條件

1.陽性測試培養結果

圖 6 為口罩之陽性測試結果，將載菌之口罩直接按壓於培養基上，置於 37°C 培養箱培養兩天後，可觀察到密密麻麻的大腸桿菌。

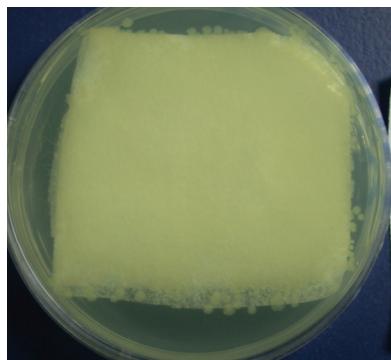


圖 6 口罩之陽性測試結果

2.各滅菌方法完全滅菌之條件

下表 3 為乾熱、濕熱、高壓滅菌、紫外線、以及酒精等 5 種滅菌方法可以完全殺死口罩上大腸桿菌的條件，因本研究目的並非探討各種滅菌方法的最低滅菌條件，所以表中所列條件並不一定為各種滅菌方式可達完全滅菌的最低要求。

乾熱法在 70°C 的條件下，30 分鐘能將口罩上的大腸桿菌完全殺死；濕熱法在 15 分鐘就可達到滅菌的目的，不過在滅菌的過程中由於部分的水蒸氣會凝結在口罩上，因此必須讓口罩完全乾燥後才能使用，否則根據過去的研究經驗，不但空氣阻抗會增加，口罩效率也會明顯地降低；紫外線法是所使用的 5 種滅菌方法中最快速者，其在 254nm、強度 $303 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 下所需的作用時間為 30 秒，但由於紫外線的穿透性弱，近距離照射僅對表層的微生物有殺滅作用，對於一些厚度較大的口罩其效果可能會明顯地降低，此外，實際使用時必需配戴眼鏡或護目鏡避免產生危害；75% 酒精溶液雖為一種常用之簡易滅菌劑，但是其必須能夠與口罩上的微生物確實接觸才能夠達到滅菌的目的，因此，噴灑的量與均勻度都會影響實際滅菌的效果，而且與濕熱的一樣需要讓口罩完全乾燥後才能再次使用，在時間上經常需要數小時以上。

表 3 各滅菌方法的有效滅菌條件

滅菌方法	達完全滅菌之條件
1.乾熱	溫度：70°C 作用時間：30 分鐘
2.濕熱	溫度：96°C 作用時間：15 分鐘
3.高壓滅菌	溫度：121°C 壓力： 1 kg/cm^2 作用時間：15 分鐘
4.紫外線	波長：254nm 強度： $303\mu\text{W/cm}^2$ 作用時間：30 秒
5.75%酒精	作用方式：完全噴灑後自然乾燥

第二節 有效的滅菌方法對口罩效率的影響

下圖 7~圖 11 分別為口罩經過乾熱、濕熱、高壓滅菌、紫外線及酒精五種方法依前述之有效條件滅菌前、後的捕集效率變化，詳細的數值整理成表 4。由於所使用的 6 款口罩（編號為 A、B、C、D、E、F）為 N95 或 P2 等級，因此，以效率 95% 做為參考的指標。

圖 7 為乾熱方式，結果顯示所測試的 6 款口罩的效率以這兩種方法處理前、後並無顯著的差異，不過，E 款口罩仍呈現較大的變異。圖 8 為口罩在濕熱滅菌法前、後效率的變化，口罩 A、B、C、D 等 4 款基本上沒有顯著的變化，F 款口罩雖然標準差較大，但效率亦都在 95% 以上。而 E 款口罩處理後的平均效率雖然仍大於 95%，但所測試的 5 個口罩樣本中仍有部分的效率低於 95%（最低 94.35%、最高 97.54%），因此在標準差方面呈現更大的變異。圖 9 為高壓滅菌處理的結果，其中只有 E 款口罩在處理後效率低於 95%；圖 10 為紫外線方式，與乾熱方式相同，結果顯示所測試的 6 款口罩的效率以這兩種方法處理前、後並無顯著的差異，不過，E 款口罩仍呈現較

大的變異。

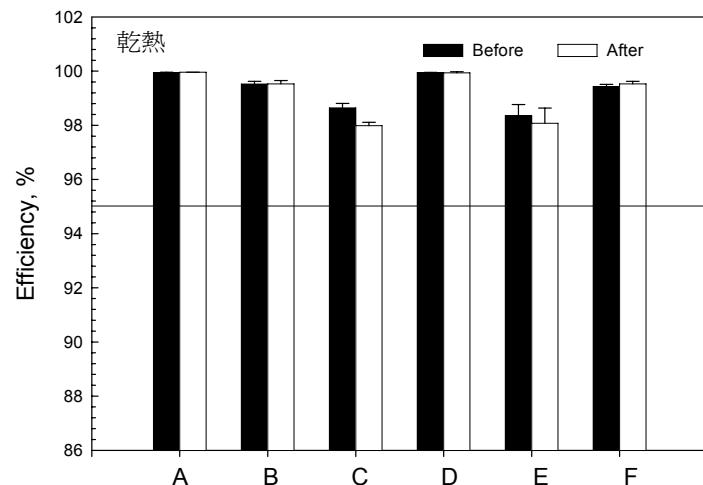


圖 7 乾熱處理前、後 6 種口罩效率變化

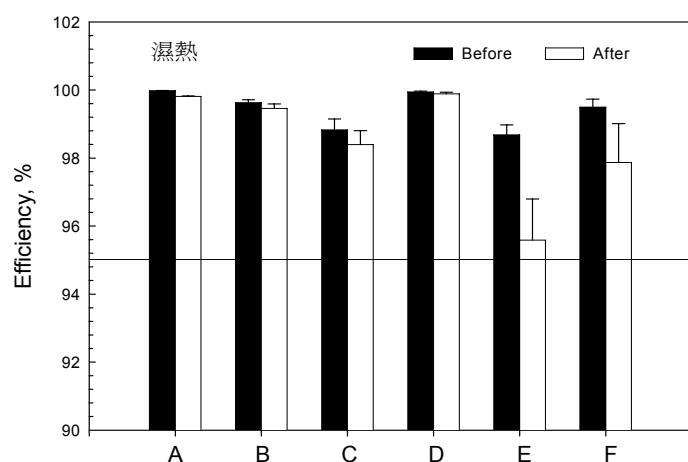


圖 8 濕熱處理前、後 6 種口罩效率變化

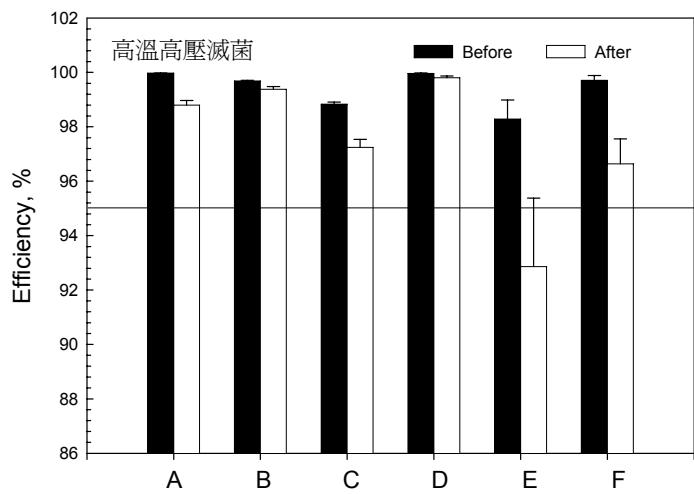


圖 9 高溫高壓滅菌前、後 6 種口罩效率變化

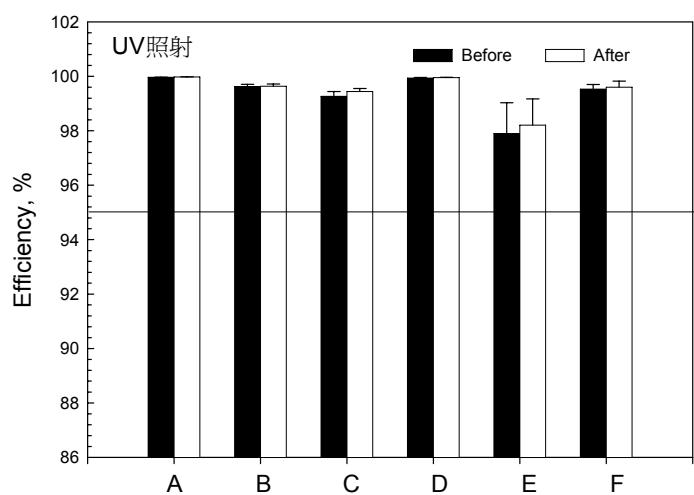


圖 10 UV 照射前、後 6 種口罩效率變化

酒精處理方面（圖 11），是本研究所使用的 5 種方法中影響口罩效率最顯著者，其中 A、B、E、F 等 4 款口罩經過酒精處理後效率會低於 95%，而另外 2 款處理過的口罩效率雖然仍高於 95%，但相較於處理前的效率有些許的降低。根據過去的研究 [11-13]，經常使用異丙醇（isopropanol）浸泡的方法將口罩濾材上的帶電去除，雖然在帶電去除的機制方面尚無定論，但一般相信是因為異丙醇會使部分的口罩濾材纖維的表面溶融，因而降低在製造過程中被植入的離子（正離子或負離子）逃脫的能量，再加上異丙醇溶液中的一些不純物的作用，使得纖維上的帶電逐漸消失，而同屬於醇類的酒精應該也會有相似的作用。

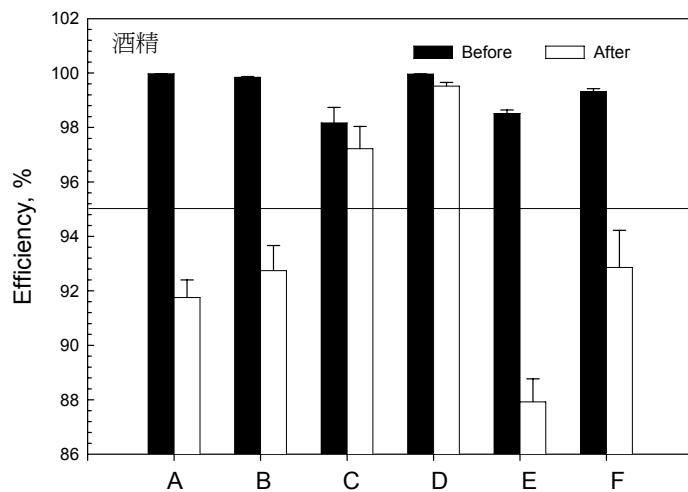


圖 11 酒精處理前、後 6 種口罩效率變化

理論上，濾材中纖維帶電後所形成的電場會迫使存在此電場中的帶電體（屬於較高能階）往較低能階的狀態（不帶電）發展，而該過程中所需要的能量大小則稱之為能量障礙（energy barriers, ΔE ）。根據文獻指出[14]，當濾材中所有帶電所存在的能量障礙均相同時，在經過時間 t 後，能夠維持最初帶電狀態的機率可由下式表示：

$$P(t) = \exp - \frac{t}{\tau}$$

$$\frac{1}{\tau} \sim v \exp \left(\frac{\Delta E}{k_B T} \right)$$

其中 τ 是指能維持最初帶電狀態的時間； v 是指帶電體的特徵頻率； T 則是溫度。因此，從上式的討論中可以看出，口罩能夠維持帶電的時間取決於能量障礙 ΔE 的大小以及環境溫度的高低。此外，文獻中也指出[15]，對於親水性較高的帶電材料而言，高溫高濕條件對其帶電量的衰減程度會比個別因子單獨作用下來得顯著。然而，以目前纖維性濾材最常用之聚丙烯（polypropylene）而言，由於其回潮率（回潮率指在華氏 70 度，60% 的相對溼度下，絕乾纖維所吸收空氣中水分的量。可用下列公式計算：回潮率 = 水分重 / 絶乾纖維重 × 100%）介於 0.01~0.1% 之間，幾乎是不吸水，因此，相對濕度對其帶電量的影響比較不顯著。

表 4 5 種滅菌方法對 6 種口罩捕集效率之影響

		UV		酒精		高壓滅菌		乾熱		濕熱	
		平均值	標準偏差	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差
A	滅菌前	99.96	0.01	99.97	0.01	99.97	0.01	99.95	0.01	99.98	0.00
	滅菌後	99.98	0.01	91.76*	0.65	98.79	0.18	99.96	0.00	99.81	0.02
B	滅菌前	99.62	0.09	99.84	0.03	99.68	0.03	99.52	0.11	99.63	0.09
	滅菌後	99.64	0.08	92.75*	0.92	99.38	0.10	99.53	0.12	99.46	0.13
C	滅菌前	99.26	0.18	98.17	0.57	98.83	0.08	98.64	0.17	98.83	0.32
	滅菌後	99.44	0.11	97.23	0.81	97.24	0.29	97.99	0.12	98.39	0.41
D	滅菌前	99.93	0.03	99.96	0.01	99.96	0.02	99.94	0.01	99.95	0.02
	滅菌後	99.96	0.01	99.52	0.13	99.80	0.07	99.94	0.04	99.89	0.05
E	滅菌前	97.90	1.14	98.52	0.13	98.29	0.70	98.35	0.42	98.68	0.29
	滅菌後	98.21	0.96	87.92*	0.85	92.86*	2.52	98.07	0.57	95.59*	1.21
F	滅菌前	99.53	0.17	99.32	0.11	99.71	0.18	99.43	0.09	99.49	0.24
	滅菌後	99.60	0.23	92.86*	1.36	96.64	0.92	99.53	0.09	97.87	1.14

*該款口罩的五片重複試驗中，平均或下限數據低於 95%

第五章 結論與建議

研究中探討乾熱、濕熱、高壓滅菌、紫外線、酒精等 5 種方法對防塵口罩進行滅菌再使用的可行性，一個可行的方法不但能夠有效地殺死口罩濾材上的微生物，而且不能造成口罩效率顯著地降低。以下為該研究所得的結論：

1. 單從滅菌的角度，本研究所選用的五種滅菌方法，能將口罩上的大腸桿菌完全滅菌的條件如下：乾熱法以設定 70°C 的烘箱作用 30 分鐘；濕熱法以蒸鍋（96°C）加水蒸煮 15 分鐘；高溫高壓滅菌方法以溫度 121°C、壓力 1 kg/cm² 的條件作用 15 分鐘；紫外線法在波長 254nm、強度 303 μW/cm² 下，作用 30 秒；75%的酒精溶液只要能夠與口罩上的微生物確實接觸基本上就能夠達到滅菌的目的。
2. 對於口罩效率的影響上，75%酒精會讓所使用 6 款口罩中的 4 款（4/6）效率降至 95%以下；濕熱處理及高溫高壓滅菌，會造成其中一款口罩效率降至 95%以下，且高溫高壓滅菌方式會使口罩嚴重變形，不適宜再重複使用；而乾熱與紫外線兩法對這 6 款口罩的效率影響最小。
3. 本研究所選用的五種滅菌方式在一定的條件下均能完全殺死口罩上的大腸桿菌，但在一般時期並不建議重複使用 N95 口罩，只有在疫情緊急且防疫物資極度缺乏，必須重複使用口罩時，建議以乾熱及紫外線兩種滅菌方式來進行口罩滅菌，以避免口罩過濾效果受影響，致使配戴者增加感染風險。

誌 謝

本研究計畫參與人員為本所陳春萬研究員、于台珊副研究員、何雨芳助理研究員。在研究過程中，感謝參與本計畫審查之所有委員提供寶貴之審查意見，使得本研究得以順利進行。對於本研究貢獻心力的所有人士，謹此致上十二萬分的謝忱。

參考文獻

- [1] Willeke, K., Qian, Y., Donnelly, J., Grinshpun, S., and Ulevicius, V., 1996. Penetration of Airborne Microorganisms through a Surgical Mask and a Dust/Mist Respirator. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 57(4): 348–355.
- [2] Brown, R.C., Wake, D., Gray, R., Blackford, D.B., Bostock, G.J. 1988. Effect of Industrial Aerosols on the Performance of Electrically Charged Filter Material. *Ann. Occup. Hyg.*, 32: 271-294
- [3] Code of Federal Regulations: Respiratory Protective Devices. Title 42 Part. 84, Public Health Service, U.S.A., 1995.
- [4] 郭崇文，黃盛修，林文印，陳志傑，2005：“奈米光觸媒口罩再生之過濾性能研究”，台北，第 12 屆國際氣膠研討會。
- [5] 蔣本基，張怡怡等，2003，“飲用水水質中生物性與適飲性標準管制項目級標準之評估”，環保署計劃，EPA-92-J105-02-101。
- [6] 王根樹等，2003，”飲用水中三鹵甲烷及含鹵乙酸之生成、散佈及健康風險評估”，國科會計劃，92WFA0101529。
- [7] 林家妤，2002，“以紫外光及二氧化鈦光觸媒對生物氣膠控制技術之探討”，台灣大學公共衛生學院博士論文。
- [8] Riley,R.L., J. E., 1972 ; “Effect of Relative Humidity on the Inactivation of Airborne *Serratia Marcescens* by Ultraviolet Radiation”, *Applied Microbiology*, 23(6): 1113-1120.
- [9] Matsunaga, T., Tomoda. R., etc. “ Continuous-Sterilization System that Use Photosemiconductor Powers ”, *Appl. Enviro. Microbiol.* 54:1330-1333.
- [10] 勞工安全衛生研究所，2005，“奈米光觸媒滅菌效能評估研究”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所計畫，IOSH94-H310。
- [11] Chen, C.C., Lehtimaki, M. and Willeke, K. 1993. Loading and Filtration Characteristics of Filtering Facepiece. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 54: 51-60.
- [12] Chen, C.C. and Huang, S.H., 1998. The Effect of Particle Charge on the Performance of an Electret Filtering Facepiece. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 59, 227-233.
- [13] Martin, S.B. and Moyer, E.S., 2000. Electrostatic Respirator Filter Media: Filter

Efficiency and Most Penetrating Particle Size Effects. **Appl. Occup. Environ. Hyg.** **15**, **609-617**.

- [14] Brown, R.C. 1989. Modern Concepts of Air Filtration Applied to Dust Respirators. *Ann. Occup. Hyg.* 33(4):615-644.
- [15] Brown, R.C. 1993. "Air filtration: an integrated approach to the theory and applications of fibrous filters". Oxford, New York. P108.

拋棄式防塵口罩滅菌再使用之可行性探討
著（編、譯）者：陳春萬、于台珊、何雨芳

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
221 台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號
電話：02-26607600 http://www.iosh.gov.tw/

出版年月：中華民國 96 年 3 月

版（刷）次：初版 1 刷

定價：80 元

展售處：

國家書坊台視總店
<http://www.govbooks.com.tw/>
台北市松山區八德路三段 10 號 B1
電話：02-25781515#643

五南文化廣場
台中市中區中山路 6 號
電話：04-22260330

行政院勞工委員會員工消費合作社
台北市大同區延平北路二段 83 號 9 樓
電話：02-85902770、85902794

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為 <http://www.iosh.gov.tw/>。
- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】