



# 室內空氣污染 與健康

Indoor Air Pollution and Health



# 序

空氣污染（簡稱空污），一直是潛伏在民衆生活中的隱形殺手。整體而言，空污涵蓋室內污染源與室外污染源，此二者皆會對國人的健康造成威脅，尤其對呼吸系統的傷害最爲直接且顯著。鑒此，台灣胸腔暨重症加護醫學會於2017年底設立「肺部環境與職業醫學委員會」，此委員會召集了國內許多在環境與職業醫學領域學有專精的胸腔科醫師，希望能對環境（特別是空污）所帶來的健康威脅共謀對策。

對於民衆愈來愈關心的室外空污議題，我們於2019年推出了『空氣污染與肺部健康』手冊，希望藉由此簡明易懂的空污手冊，能讓國內的醫師們熟悉空氣污染的基礎知識，更加認識空氣污染對於諸如氣喘、肺阻塞以及肺癌等常見肺部疾病的危害，並對如何減少空污危害的策略有正確的認識。此次我們進一步著重於『室內空氣污染』（室內空污）所帶來的健康問題，因爲國人每天有八成以上的時間是處於室內環境之中，室內空氣品質是否良好會直接影響我們的健康、生活品質及工作效率。

在此『室內空氣污染與健康』手冊中，我們將介紹室內空污的相關知識，包括污染來源、污染物種類、其健康效應、對肺部健康的影響，以及室內空污的防治之道。我們希望醫師們在提升自身對室內空污的認識後，能將這些健康知識傳遞給民衆，並教導他們如何遠離室內空污的危害。此手冊簡明易懂，我們也歡迎一般民衆直接閱讀，和我們一起戰勝室內空污。

台灣胸腔暨重症加護醫學會 王鶴健 理事長

王鶴健



# 目錄

---

## Table of Contents

1

空氣污染來源

P.3

2

常見室內空氣污染物

P.8

3

室內空氣污染之  
健康效應

P.13

4

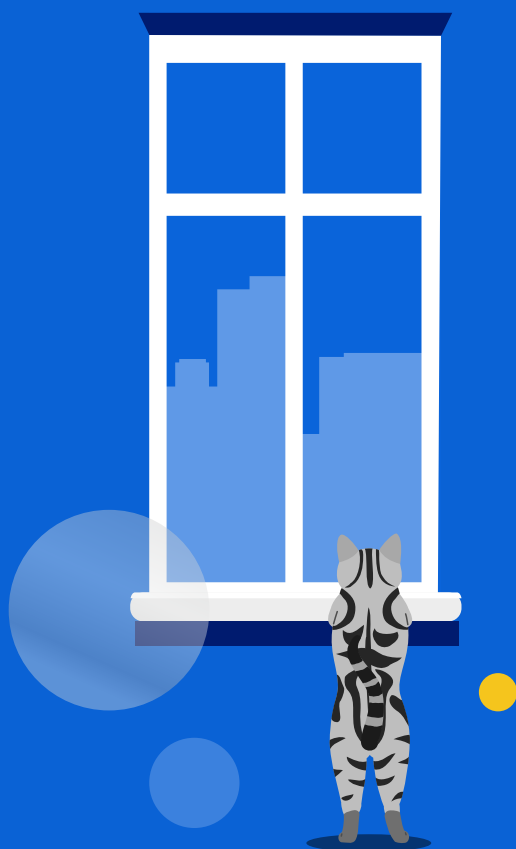
室內空氣污染與  
肺部健康

P.21

5

如何減少室內  
空氣污染的傷害

P.27



## 第一章 空氣污染來源

# 第一章 空氣污染來源

## 第一節 簡介

室內空氣品質(Indoor Air Quality; IAQ) 是指建築物之結構內部和周圍的空氣品質，由於人類活動集中於建築物內，而室內空氣品質會影響居住者的健康和舒適度，因此了解和控制室內常見污染物，有助於降低室內空氣污染所衍伸的相關健康風險。近年室內空氣污染逐漸受到全球重視，一方面是許多已開發國家的室外空氣污染逐漸得到控制，一方面是現代人每天約有80~90%的時間處於室內環境中，因此室內空氣品質對人體的影響也愈顯重要。

最近數十年生活型態改變，人們在密閉空間享受空調帶來的舒適，如果室內通氣量不足，污染物蓄積將導致室內空氣品質惡化。WHO於1982年將病態建築物症候群 (Sick Building Syndrome) 定義為：凡因建築物內空氣污染導致人體異常症狀，如神經毒性症狀(含眼、鼻、喉頭感到刺激等)、不好的味道、氣喘發作等。在建築物中待得愈久愈嚴重，離開建築物則有助於緩解。近來這領域的相關研究增加，更精確的相關名詞與定義可見後續章節詳細介紹。

另外，反覆進出或長時間待在冷氣房中也可能造成不適的症狀，可能與溫濕度調節或是空調系統內的病原菌等因素有關，相關症狀稱為空調病(air conditioning sickness)。

## 第二節 室內空氣污染的歷史

- A.** 早在西元1788年科學家就認為建築物的通氣非常重要，因此建議室內每人要有每秒兩公升的室外通氣量來維持空氣品質，也利用室內二氧化碳數值來代表室內空氣品質。
- B.** 西元1887年，研究發現微生物、揮發性有機物等室內污染物的累積與死亡率增加有關。
- C.** 西元1950年，美國某些地區的建築物由鋁頁岩(Alum shale)構成的輕質混凝土建造，這些鋁頁岩會隨著時間產生氡氣(Radon)，雖為無色、無臭、無味，但因具放射性，可能導致肺癌發生。
- D.** 西元1973年，因為能源短缺，人們開始建造密閉的高樓大廈，使用的建材、家具也含有甲醛及揮發性有機物等，此後逐漸定義出病態建築物症候群。
- E.** 室內空氣污染之觀念由一百年前的通氣概念與微生物累積，演變到五十年前的氡氣、揮發性有機物等所造成的病態建築物症候群，近年來較被關注的則包括揮發性有機物、黴菌、細懸浮微粒等。

### 第三節 室內空氣污染來源

#### A. 燃燒

1. 在家燒香拜拜、點蚊香等都會造成懸浮微粒及相關空氣污染物增加，應避免在通風不佳的室內空間進行燃燒行為。
2. 大油快炒相較於電鍋清水蒸熱，更容易產生懸浮微粒，導致室內空氣品質惡化。
3. 過去使用木材燒火烹煮食物或取暖，若室內通風不足，氧氣不夠造成木材不完全燃燒，就會產生一氧化碳。
4. 現代人的生活環境中，抽菸、瓦斯放在加裝氣密窗的陽台、熱水器裝在室內、地下室停車場車輛怠速、燒炭等，在不通風的地方進行燃燒，過程中都可能產生一氧化碳。
5. 因此瓦斯爐、熱水器要放在開放的陽台，若熱水器安裝於室內則需安裝強制排氣設備；廚房烹煮時要保持空氣流通，若於客廳房間使用蠟燭、精油、燒水泡茶等，也需開啟窗戶保持通風。保持良好的通風，是避免一氧化碳中毒最重要的方法之一。

#### B. 吸菸

1. 於室內抽菸，由於通風不佳，容易累積煙霧，更嚴重影響自己與同住家人健康。二手菸中，特別是粒狀污染物含量高，若有家人於室內抽菸，PM<sub>2.5</sub>可能升高10倍。
2. 若長期暴露於二手菸，也可能增加肺癌、心血管疾病、氣喘等風險。

#### C. 空調

1. 原因可能包含反覆進入冷氣房或對低溫的不適應、空調系統內的細菌、黴菌或蟎蟲導致感染或過敏，症狀包含頭痛、肌肉痠痛、下肢無力、口乾舌燥、咳嗽或類似感冒症狀等，稱為空調病(air conditioning sickness)。
2. 為避免其發生，可將冷氣溫度調在25~26度、每天適當運動讓體溫調節中樞恢復、喝溫熱水、定期清潔空調系統及保持空氣對流等。

#### D. 建材、家具、洗劑中的防腐劑

1. 甲醛可以殺死大多數細菌和真菌(包括其孢子)，因此常用於木質合板、木質傢俱、隔版、天花板中以避免木材腐蝕。甲醛愈少的木材腐蝕風險高，因此製造過程成本較高。
2. 為了讓消費者有所依據，經濟部標準檢驗局於民國105年訂定木製板材類商品檢驗作業規定(經標二字第10520003460號)，明定各類木材根據甲醛釋出量標示甲醛含量等級，如表1-1。
3. 財團法人臺灣建築中心則根據國際趨勢推出綠建材標章，主張健康綠建材需有低逸散、低汙染、低臭氧等特色，其中根據台灣使用環境訂定甲醛逸散量，如表1-1。

表1-1. 甲醛釋出量與甲醛逸散量量測方法與標準比較

	甲醛釋出量	甲醛逸散量
測試方法	將30x60公分板材放入乾燥玻璃器內，測試甲醛釋出量(溶解於300cc水中甲醛含量(mg/l))。	將板材置於環境控制箱中，在一定體積內、散發在空氣中的甲醛濃度值逸散速率(mg/m <sup>2</sup> ·hr)。
最佳等級	F1：平均<0.3，不超過0.4	E1逸散：<0.005
第二等級	F2：平均<0.5，不超過0.7	E2逸散：0.005~0.02 (甲醛) E2逸散：0.005~0.1 (TOVC)
第三等級	F3：平均<1.5，不超過2.1	E3逸散：0.02~0.08 (甲醛) E3逸散：0.1~0.19 (TVOC)
法規標章	台灣法規需F3以下	低逸散健康綠建材標章

4.市售清潔劑含有防腐劑，防細菌生長以延長保存期限。有些合法使用的防腐劑溶解後會釋放甲醛，例如：Quaternium-15、DMDM Hydantoin、Diazolidinyl urea及Imidazolidinyl urea等，因此有研究指出台灣半數洗碗精可測出微量甲醛。若在較密閉空間使用大量清潔劑，短時間內會暴露於相當高濃度的甲醛。

#### E.日常用品產生之揮發性有機化合物 (volatile organic compound)

- 1.有機物質充斥於現代人的生活中，廚房的瓦斯，房間的化妝品、個人保養清潔用品、香水、髮雕，另外還有清潔劑、油漆、黏著劑、殺蟲劑等，很多現代人習慣使用的物品可能都會產生揮發性有機物。
- 2.除了改善室內通風，也可藉由避免使用含有高揮發性有機物質用品，如修正液、強力去污劑、強力膠等來減少這類型空污暴露。

#### F.室內過敏原

- 1.家中若過於溫暖、潮濕，棉被、地毯等布質家具就容易產生塵蟎，其身體與糞便等都會導致過敏；陰暗的環境可能也會產生黴菌，對人類產生過敏或肺部疾病。
- 2.若有養狗、養貓，狗毛、貓毛也是造成過敏疾病的主要來源之一。
- 3.廚房櫥櫃等處若有蟑螂屍體或糞便，也會造成氣喘及相關症狀。

### G. 高壓放電家電

1. 雷射印表機在使用過程中會產生高壓靜電並透過靜電來吸附碳粉，此時高壓靜電會將周圍空氣中的氧分子電離，形成臭氧。我們熟悉的刺鼻異味，主要便來自印製時產生的臭氧。影印機若位置不佳、通風不良，長期接觸可能對人體有害。
2. 靜電集塵式空氣清淨機產生負離子使空氣懸浮微粒帶電，帶電的空氣懸浮微粒就容易被電極版吸附移除，然而產生負離子的過程中會產生臭氧，若清淨機沒有利用光觸酶等技術移除臭氧，將會溢散出對人體有害的臭氧。
3. 臭氧消毒式的烘碗機藉由產生臭氧幫助碗盤消毒、清洗，但使用上也要留意過程中是否逸散出來。

### H. 戶外空氣污染

1. 戶外空氣品質不良時，也會影響室內空氣品質。門窗緊閉雖能隔絕戶外污染的空氣，但人在室內產生的二氧化碳及諸多行為產生的室內污染物卻也無法排除。





## 第二章

# 常見室內空氣污染物

# 第二章 常見室內空氣污染物

## 第一節 簡介

室內空氣污染物的種類很多，依據物理性質可分為粒狀污染物與氣體狀態污染物，可以是來自於人類活動、建築材料、家中寵物或是室外空氣滲入。常見的室內空氣污染物之來源與健康影響各有所不同，室內污染物來源的辨識有助於污染源的控制，適當的污染物檢測則有助於診斷室內空氣品質與評估控制方法的成效。

## 第二節 常見的室內空氣污染物有哪些

### A. 可吸入粒狀污染物

可吸入性懸浮微粒指粒徑小於10微米( $PM_{10}$ )懸浮於空氣中的粒子，容易被吸入呼吸系統中，可再細分為粗懸浮微粒(粒徑介於2.5~10微米， $PM_{2.5-10}$ )與細懸浮微粒(粒徑小於2.5微米， $PM_{2.5}$ )。粗懸浮微粒主要沉降在鼻咽與大的呼吸道，而細懸浮微粒則可以進入細小支氣管與深部肺部。

常見的粗懸浮微粒，可分為非生物性粒子，例如礦石或金屬切割與研磨、石棉纖維粉塵；及生物性粒子，例如寵物的毛屑或分泌物、昆蟲(塵蟎與蟑螂)的肢體與分泌物、黴菌孢子或菌絲、細菌團塊、與花粉。

常見的細懸浮微粒，通常經由高溫過程產生，例如高溫炒炸與燒烤、抽菸、燒香、與其他加熱器具。

生物性來源的懸浮微粒可以誘發人體過敏，吸入可引起氣喘或過敏性鼻炎發作，當人體產生敏感後，很低的劑量亦可誘發症狀，較好的預防是將已知的過敏物質來源移除，例如廚餘的控制減少蟑螂滋生；室內通風、控制濕度與修補漏水則可減少黴菌生長。雖然空氣的細菌不一定會造成感染，但細菌中的內毒素可以引起發炎、呼吸道症狀與肺功能下降。

礦物性微粒，可能本身具有毒性，例如石棉；或吸附有毒性物質，例如附著有塑化劑或阻燃劑的灰塵。石棉會造成間皮細胞瘤與增加多種癌症風險，一般家中含石棉的建材，如石棉瓦或防火建材，如沒有被破壞或進行拆除，並不易逸散到空氣中，大家不必過度恐慌。家中的灰塵可經由打掃與機器吸塵等過程飛揚而容易吸入。

高溫產生的細懸浮微粒，引起氧化壓力傷害與發炎反應，加重呼吸系統疾病症狀，且可能附著帶有致癌性之多環芳香烴化合物，長期吸入有增加肺癌風險。二手菸的吸入亦可造成胎兒發育不良影響。

## B. 揮發性有機化合物

揮發性有機化合物 (Volatile organic compounds, 簡稱VOCs), 是一群於常溫常壓下容易揮發於空氣中的化學物質, 其室內的來源很廣泛, 包括建築材料、家具、化妝品、清潔劑、殺蟲劑、粘合劑、地毯、打蠟、雷射印表機、油漆、乾洗後的衣物及二手菸等。室內常見揮發性有機化合物, 濃度可以是室外的2~5倍, 且當溫度與濕度增加時, 會提升室內物品內揮發性有機化合物的揮發。

表2-1. 常見一般室內較具有毒性之揮發性有機化合物與其來源

污染物	室內來源
苯	二手菸、汽油、非綠建材之建築板材(礦纖天花板或水泥板等)、聚合物塑膠材料(乙烯基, 聚氯乙烯, 橡膠地板)、油漆、家具塗蠟、清洗劑、合成纖維
甲苯	油漆、有機溶劑(香蕉水、松香水)、噴墨印表機、塑膠(乙烯基)壁紙或地板、填縫劑、地毯、非綠建材之建築板材(礦纖天花板或水泥板等)、指甲油、香水、膠粘劑、二手菸、汽油、雷射印表機
乙苯	清潔劑、油漆、接著劑(地板、地毯)、印表機墨水、表面處理(家具拋光劑)、噴霧殺蟲劑、二手菸、汽油
二甲苯	油漆、有機溶劑(油性水泥漆)、染料、殺蟲劑、膠粘劑、塑膠(乙烯基)壁紙或地板、填縫劑、地毯、非綠建材之建築板材(礦纖天花板或水泥板等)、聚氨酯防水塗層、合成香料、二手菸、汽油、雷射印表機
苯乙烯	塑膠製品、纖維塑膠合成材料、印表機、3D列印、影印機、二手菸、汽油
甲醛	非綠建材之建築板材(合板、人造板材、纖維板)、膠粘劑(尿素甲醛樹脂)、燒香、二手菸、燃氣燃油(瓦斯爐、煤油暖爐)、油漆、貼牆布、貼牆紙、化纖地毯、油漆和塗料、雷射印表機
三氯乙烯	剛經過乾洗後的布料(衣物、地毯、窗簾)、油漆、油漆清除劑、黏合劑、金屬油脂清除溶劑
二氯苯	乾洗劑、去油污劑、殺蟲劑、驅蟲劑、地毯清潔劑、除臭劑、防霉劑

## C. 燃燒產生的氣體

室內燃燒裝置如瓦斯爐、熱水器、煤油暖爐、發電機等, 主要產生的氣體副產物為一氧化碳與氮氧化物(包括二氧化氮)。

一氧化碳是一種無色、無味、無臭、無刺激性的氣體, 進入血液後快速與紅血球內的血紅素結合, 癱瘓血紅素正常運送氧氣的功能, 使得組織缺氧。

氮氧化物則可造成氧化壓力傷害與發炎反應, 以及刺激眼睛與呼吸道黏膜, 增加呼吸道症狀與降低肺功能。

#### D. 呼吸產生的氣體與氣膠

人體吐氣主要成分為二氧化碳，而呼吸間會產生氣膠，其中可能含有具傳染性的病毒顆粒或細菌。二氧化碳常作為室內通風換氣良好狀況的指標。二氧化碳並無明顯毒性，但如果室內累積過高濃度，則可能造成頭痛、頭暈、煩躁、與疲倦等症狀。如果異常濃度過高，則可能合併其他有害物質過量累積或氧氣不足(如室內燃燒狀況)，引起嚴重後果。

表2-2. 環境中二氧化碳濃度與可能產生的健康影響如下表

濃度	健康影響
<300 ppm	大氣環境，終身暴露無健康影響
<1000 ppm	一般室內環境濃度，短期暴露無健康影響
1000~ 2500 ppm	感覺疲勞、想睡、頭痛、下降認知功能、增加血中二氧化碳濃度、引發侷限性換氣功能變化
2500~ 5000 ppm	心跳速率增加、腦電波偵測到嗜睡狀況、決策能力下降
>50000 ppm	引發焦慮感、呼吸困難感覺、抑制腦部造成清醒程度下降

資料來源：

Natthakrit Bamrungwong, et al. The Development of a CO2 Emission Coefficient for Medium- and Heavy-Duty Vehicles with Different Road Slope Conditions Using Multiple Linear Regression, and Considering the Health Effects. Sustainability 2020, 12(17), 6994.

Stephen Snow, et al. Exploring the physiological, neurophysiological and cognitive performance effects of elevated carbon dioxide concentrations indoors. Building and Environment 156 (2019) 243-252.

#### E. 臭氧

臭氧是一種無色氣體，具有強氧化能力，藉由氧化壓力傷害，破壞黏膜組織細胞，增加發炎反應，降低肺部正常功能。室內的臭氧的來源包括影印機、雷射印表機、配有高電壓元件的空氣清淨機、與臭氧殺菌機。

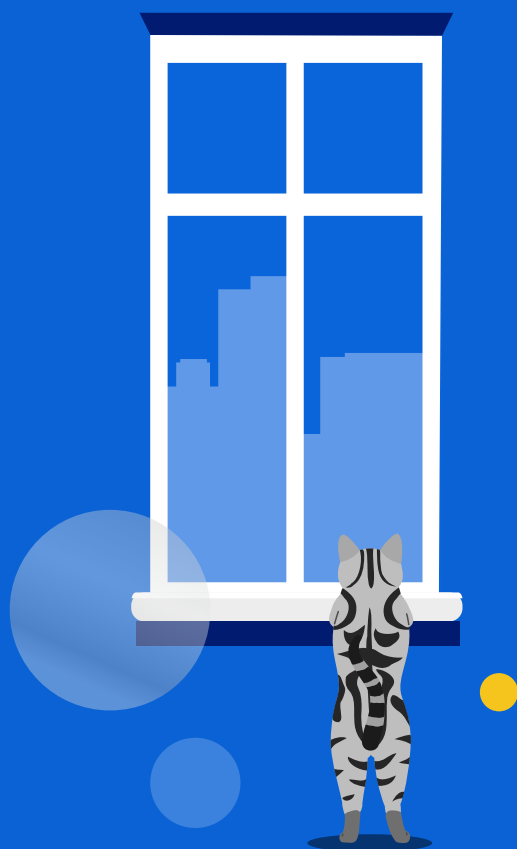
### 第三節 室內常見污染物的檢測方法

我國公告標準的室內空氣品質檢測項目的標準檢測方法如表2-3，可至環保署室內空氣品質資訊網找尋許可檢驗室提供檢測服務。一般市面上值讀式檢測儀於持續使用的情況下可以提供時序上空氣中濃度的變化趨勢，但每台儀器間或不同廠牌間可能存在偵測數值的差異，所檢測的數值不一定能代表真實濃度，除非能夠定期與標準檢測方法進行校正，使用時需要留意可能受到其他環境參數的干擾，例如光學值讀式PM<sub>2.5</sub>偵測器在高濕度的環境下高估數值；電化學法值讀式甲醛偵測器則可能受到環境中甲醇、乙醇或丙酮而增加數值；此外，一般值讀式揮發性有機氣體偵測器，如使用氧化金屬之電化學法偵測原理，可能受到環境中氧化性氣體(如CO、NO、NO<sub>2</sub>)的干擾而增加數值，且可能在使用數分鐘或十多分鐘後失去偵測氣體的穩定性。

表2-3. 室內空氣品質檢測項目對應之標準方法：

項目	檢測方法	描述
二氧化碳	紅外光法	利用二氧化碳 (CO) 吸收紅外光之特性，測定樣品氣體中二氧化碳的濃度。
一氧化碳	紅外光法	利用一氧化碳吸收紅外光之特性，測定樣品氣體中一氧化碳的濃度。
甲醛	高效能液相層析測定法	以定流量之採氣泵收集至含2,4-二硝基苯肼 (2,4-Dinitrophenylhydrazine, DNPH) 和過氯酸溶液之收集瓶中，樣品經0.45 $\mu$ m濾膜過濾後，直接注入高效能液相層析系統，測定樣品中醛類化合物之含量。
總揮發性有機化合物	不銹鋼採樣筒／氣相層析質譜儀法	以真空不銹鋼採樣桶瞬間吸入或固定流量採集方式收集空氣，利用冷凍捕集方式濃縮一定量的空氣樣品再經熱脫附至氣相層析注入口前端再次冷凍聚焦，最後注入氣相層析質譜儀(GC/MS)中測定樣品中揮發性有機化合物的含量。
細菌	衝擊式採樣	以衝擊式採樣器抽吸適量體積之空氣樣本，直接衝擊於適合細菌生長的培養基上。於30 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C 培養48 $\pm$ 2小時後，計數生長於培養基上之細菌菌落數，並換算為每立方公尺空氣中的細菌濃度。
真菌	衝擊式採樣	以衝擊式採樣器抽吸適量體積之空氣樣本，直接衝擊於適合真菌生長的培養基上。於25 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C 培養4至5天後，計數生長於培養基上之真菌菌落數，並換算為每立方公尺空氣中的真菌濃度。
PM <sub>10</sub>	貝他射線衰減法	以貝他射線照射捕集微粒之濾紙，量測採樣前後貝他射線通過濾紙之衰減量，再根據其微粒濃度與輻射強度衰減比率關係由儀器讀出空氣中粒狀污染物的濃度。
PM <sub>2.5</sub>	衝擊式手動法	以定流量抽引空氣進入特定形狀之採樣器進氣口，經慣性微粒分徑器，將氣動粒徑小於或等於2.5微米 ( $\mu$ m) 之細懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> ) 收集於濾紙上。而此濾紙於採樣前、後均於特定溫度與濕度環境中調理後秤重，以決定所收集之PM <sub>2.5</sub> 微粒之淨重，再除以24小時之採樣總體積即得微粒24小時之質量濃度。
臭氧	紫外光吸收法	利用臭氧對紫外光的吸光特性，量測氣體於254nm的吸光強度，以計算空氣中臭氧的濃度。

\*資料來源：行政院環保署環境檢驗所檢測方法



### 第三章

## 室內空氣污染之健康效應

# 第三章 室內空氣污染之健康效應

## 第一節 簡介

由於室內空氣污染物對健康有時間效應的影響，所以可以分成立即效應 (Immediate Effects) 與長期效應 (Long-Term Effects) 兩方面。而不同的室內空氣污染物質會給人體帶來不同的健康衝擊，且不同族群如老人、嬰幼兒以及兒童等，對於空氣污染物質之感受性也不同。本文將從這些面向進行探討，從而探討空氣污染時間效應、不同污染物質之健康衝擊以及室內空氣品質與環境正義等議題，並佐以近期的研究來整理分析 IAQ 對於人體健康效應之影響。

## 第二節 室內空氣污染之時間效應

### A. 立即效應

室內空氣污染對於人體的影響可以分成立即效應與長期效應兩大方面。所謂的立即效應，是指室內空污對於人體的健康影響，可能會在一次接觸或反覆接觸污染物后不久出現，這些包括第一線黏膜屏障如眼睛、鼻子和喉嚨的刺激，以及發生頭痛、頭暈和疲勞等。這種直接影響通常是短期的、可治療的。如果能夠確定污染源並消除患者對污染源的暴露，症狀可以得到立即的改善。但是在一些具有呼吸道過敏性疾病的患者如氣喘病，患者可能在接觸一些室內空氣污染物不久，便會產生氣喘病的立即症狀或急性惡化。影響人體對室內空污發生立即反應的可能性，取決於以下幾個因素：如年齡、已經存在的疾病、個體敏感性。由於上述因素，有些人而個人敏感度因人而異。有些人在反覆接觸到高暴露量的生物或化學污染物，會產生致敏性，導致下次在暴露同樣的室內空污時，立即發生症狀。

由於空污立即效應所表現的症狀與流行性感冒或者其他上呼吸道病毒感染類似，有時很難確認個體產生的急性症狀係由室內空污所致。因此在病史詢問以及理學檢查上，需要觀察症狀出現的時間與地點、加重因子與緩解因子等，已進行鑑別診斷。如果個體在離開具有潛在室內污染物之環境後，症狀逐漸消失或緩解，這時應積極探詢可能的室內空污來源。除此之外，室內空污的健康影響也可能會與季節性的空調或供暖使用有關，如果空調使用會影響室內與室外空氣交換效率，有可能使得室內空污物質在通氣不足時產生濃度上升，進而影響個體健康。



## B. 長期效應

室內空氣污染物對健康的影響除了可能產生立即效應外，其對於健康的影響也可能在數年後出現。這些影響，包括一些呼吸系統疾病，心臟病和癌症疾病，可導致個體產生嚴重衰弱或甚至致命。由於長期暴露的累積會產生不良的健康影響，因此即使室內空污所產生的症狀不明顯，也要盡力改善家中的室內空氣品質。

目前學界對於長期室內空氣污染開始關注，但存在有知識上的缺口，如：要產生特定的健康問題，需要暴露在哪些物質？需要累積多少暴露濃度？暴露期多久以上會對健康產生衝擊…等。此外，不同個體對於室內空氣污染物質的反應也大相徑庭，需要進一步研究，下節我們將介紹不同室內空污物質對於個體的健康衝擊。

## 第二節 室內污染物質之種類、來源與健康效應

室內空污所產生的原因，首先是【製造亦即污染源】，亦即是室內存在有污染源，不斷地向空氣中釋放氣體或顆粒物，進而改變及惡化室內的空氣品質。其次是加重因子，與室內的【通風不足】無法引進戶外空氣已進行稀釋或排放室內污染物，進而導致室內污染物的濃度累積增加。第三是【溫度與濕度的影響】，在室內處於高溫和高濕度的環境下，也會使某些污染物的濃度大幅增加。

常見的室內空污物質以及所產生的健康效應整理如表3-1，污染物的來源請參見本手冊其他章節。

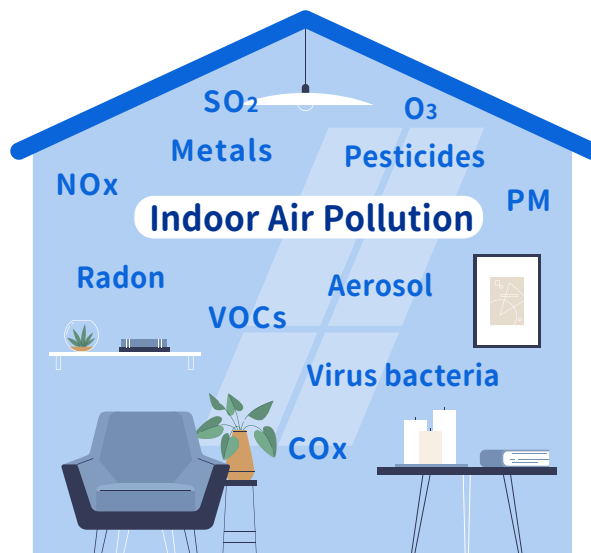
表3-1. 常見的戶內污染物質所產生的健康效應 (出處: Front Public Health. 2020;8:14)

污染物質	健康效應
PM (懸浮微粒)	對於有心臟或肺臟疾病者導致過早死亡、非致死性心臟病發作、心律不整、氣喘惡化、肺功能受損、呼吸道症狀加劇
VOCs(揮發性有機物)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 對於眼睛、鼻子和喉嚨的刺激</li> <li>- 頭痛、失去協調和噁心</li> <li>- 對肝臟、腎臟和中樞神經系統的損害</li> <li>- 一些有機物會致癌</li> </ul>
NO <sub>2</sub> (二氧化氮)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 氣喘反應增強</li> <li>- 呼吸系統受損產生呼吸道症狀</li> </ul>
O <sub>3</sub> (臭氧)	DNA損傷、肺損傷、氣喘惡化、肺功能受損
SO <sub>2</sub> (二氧化硫)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 肺功能受損</li> <li>- 氣喘、慢性阻塞性肺病以及心血管疾病</li> </ul>
COx(碳氧化物)	疲勞、胸痛、視力受損、腦功能下降
Heavy metals(重金屬)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 癌症，腦損傷</li> <li>- 致突變和致癌作用、呼吸系統疾病，心血管死亡</li> </ul>
Aerosols(氣溶膠)	心血管疾病、呼吸系統疾病、過敏、肺癌、刺激和不適
Radon (Rn)(氡)	肺癌



污染物質	健康效應
Pesticides(農藥-殺蟲劑)	刺激眼睛、鼻子和喉嚨；損害中樞神經系統和腎臟；罹患癌症的風險增加
Biological allergens (生物性致敏物)	氣喘和過敏、呼吸道感染、致敏、呼吸道過敏性疾病、哮喘
Microorganism (微生物)	發燒、消化問題、傳染病、慢性病呼吸系統疾病

Modified from: Front Public Health. 2020;8:14.



圖一、室內空氣污染物. (出處Int J Environ Res Public Health. 2020 Apr 23;17(8):2927)

### 第三節 室內空氣品質指引與標準 (IAQ Guidelines and Standards)

即使在低濃度的空氣污染物濃度下，人體經由長期暴露與室內活動相結合，也可以使人體因為室內空氣品質下降而導致重大的健康風險。面對這些室內空氣品質的問題，國際上已建立相對應的室內空氣品質標準和指引。根據世界衛生組織(WHO)以及美國環境保護署(USEPA)的建議，IAQ指引可以做為關鍵數據庫以作為預防室內空污所造成健康損害的參考，該指引的目標是消除室內空污之有害後果、減少對人類可能造成的風險、提高整體健康。表3-2為WHO以及USEPA之IAQ指引，表3-3為我國、香港與新加坡公告的室內空氣品質指標，其內容包含常見污染物的定義以及污染物濃度指標。由於室內環境分成職業（工業）與非職業（即住宅、學校、辦公室）兩大部分，指引的標準也有些不同。WHO 和 USEPA 的 IAQ 指引只適用於非職業的範疇，主要是針對家庭、學校、醫院、公共建築和辦公室內的空氣品質進行規範與建議。一般而言，WHO 和 USEPA 指南中的最大濃度是特定的持續時間（即 1 小時、24 小時或 1 年）。此外，每個國家須制定適合自己特定情況的具體標準或指引。

表3-2. 常見的戶內污染物質之室內空氣品質定義

污染物質	濃度 (Concentration Levels (mg/m <sup>3</sup> ))	暴露時間	指引建議出處
CO	100 60 30 10	15 min 30 min 1 h 108 h	WHO
	29 10	1 h 8 h	USPEA
CO <sub>2</sub>	1800	1 h	WHO
NO <sub>2</sub>	0.4 0.15	1 h 24 h	WHO
	0.1	1 year	USEPA
PM	0.15 0.05	24 h 1 year	USEPA
	0.15-0.2 0.1-0.12	1 h 8 h	WHO
O <sub>3</sub>	0.235	1 h	USEPA
	0.5 0.35	10 min 1 h	WHO
SO <sub>2</sub>	0.365 0.08	24 h 1 year	USEPA
	0.0005-0.001 0.0015	1 year 3 months	WHO USPEA
Xylene	8	24 h	WHO
Formaldehyde	0.1	30 min	WHO
Radon	100 Bq/m <sup>3</sup>	1 year	WHO

表3-3. 我國、香港與新加坡公告的室內空氣品質指標

項目	台灣	香港	新加坡	單位	標準值
二氧化碳	1000	1000	1000	ppm	八小時值
一氧化碳	9	6.1	9	ppm	八小時值
甲醛	0.08	0.08	0.1	ppm	一小時值
總揮發性有機化合物**	0.56	0.26	0.087	ppm	一小時值
細菌	1500	1000	500	CFU/m <sup>3</sup>	最高值
真菌	1000*		500	CFU/m <sup>3</sup>	最高值
PM10	75	100	150	μg/m <sup>3</sup>	24小時值
PM2.5	35			μg/m <sup>3</sup>	24小時值
臭氧	0.06	0.06	0.05	ppm	八小時值
二氧化氮		80	21	ppm	八小時值

ppm：體積濃度百萬分之一；CFU/m<sup>3</sup>：菌落數/立方公尺；ug/m<sup>3</sup>：微克/立方公尺

\*真菌室內與室外比小於等於1.3者不在此限

\*\*總揮發性有機化合物 (TVOC，包含：十二種揮發性有機物之總和)：指總揮發性有機化合物之標準值係採計苯(Benzene)、四氯化碳(Carbon tetrachloride)、氯仿(三氯甲烷)(Chloroform)、1,2-二氯苯(1,2-Dichlorobenzene)、1,4-二氯苯(1,4-Dichlorobenzene)、二氯甲烷(Dichloromethane)、乙苯(Ethyl Benzene)、苯乙烯(Styrene)、四氯乙烯(Tetrachloroethylene)、三氯乙烯(Trichloroethylene)、甲苯(Toluene)及二甲苯(對、間、鄰)(Xylenes)等十二種化合物之濃度測值總和者。

## 第四節 室內空氣污染與疾病的關係

### A. 建築物相關疾病 (Building-Associated Illness; BAI)

在過去幾十年的研究發現，各種症狀和疾病都與室內空氣品質下降有關。在建築物與室內，雖然無機物、有機物與生物性污染物的濃度很低，但是卻是普遍存在且與人體會產生長期接觸，最後還是會影響健康。根據世界衛生組織(WHO)的分類，建築物相關的疾病(Building-Associated Illness; BAI)是指長期暴露在室內空氣污染物質所致的疾病，可以分為兩大類：建築疾病症候群(Sick building syndrome; SBS)以及建築相關疾病(Building-related illness; BRI)兩大類。茲就其分類與定義整理如下：

## 1. 病態建築症候群 (Sick Building Syndrome ; SBS)

SBS通常是指一組症候群，其產生的原因與特定的物理環境接觸有關。SBS對人體的急性健康衝擊與不適，通常會在個體進入到建築物累積暴露一段時間後出現，但真正導致SBS的原因或污染物，往往很難界定清楚。SBS的症狀往往會隨著人體在建築物中暴露時間的增加而惡化，但只要離開建築物越久，症狀就會消失。根據國際勞工組織的調查報告指出，從嬰兒、老人、慢性病患者和大多數城市居民，只要居住在空氣品質不良的建築物中，任何年齡都會產生SBS症狀相關，甚至引發更高的健康風險。如果建築物屬於低通風率、高濕度和高室溫，也往往會增加SBS的罹病率。根據WHO的分類，由室內空污(IAP)所引起的SBS症狀可分為四類：

- A. 粘膜刺激：對於眼睛、喉嚨和鼻子黏膜產生刺激；
- B. 神經毒性作用：對於神經系統產生刺激，如頭痛、煩躁和疲勞
- C. 氣喘或類氣喘症狀：對於呼吸系統產生刺激，如胸悶和喘息；
- D. 皮膚刺激和乾燥以及胃腸道問題（即腹瀉）等。

## 2. 建築相關疾病 (Building-related illness ; BRI)

BRI是指一組與建築物內IAP的暴露所致的疾病，可以再建築物內標記出特定的IAP，並確定這些IAP可以導致相關的症狀或疾病。致病物質可以是化學品，例如甲醛、二甲苯、殺蟲劑和苯等，但生物性致病物更為普遍。在建築物中，室內生物污染物排放的典型來源是冷卻塔、加濕系統、過濾器、排水盤、潮濕與受水損壞的建築材料等。BRI可以出現類似流感的徵兆，包括發燒、發冷、胸悶、肌肉酸痛和咳嗽等。此外，也可能會出現嚴重的肺部和呼吸系統問題。常見的BRI疾病包括退伍軍人病、過敏性肺炎和加濕器熱(humidifier fever)等。根據過去的研究，室內環境污染物可通過四種主要機制引起 BRI 症狀：A.過敏免疫反應、B.傳染性、C.致毒性與D.刺激性。在時序上，刺激性反應，特別是呼吸道、黏膜等是最常出現的症狀，隨後會出現致毒性、過敏性與傳染性機制，這四類機制的出現取決於污染物類型和個體易感性。

### B. 急性呼吸道感染

呼吸系統通常是 IAP 影響的主要器官與系統，因為污染物通常通過吸入方式進入人體。根據受影響呼吸道的區域，急性呼吸道感染可分為急性下呼吸道感染 (ALRI) 和上呼吸道感染(URI)。URI常見病症有咳嗽、鼻竇炎和中耳炎，通常症狀很輕微，與室內環境中的生物污染物的刺激有關如病毒、細菌、真菌、真菌孢子和蟎蟲等。ALRI通常就比較嚴重，屬於肺部的急性感染症，通常由病毒或細菌引起，會導致肺部發炎。過去研究已發現 IAP 使5歲以下的兒童 ALRI 的風險增加78%、導致每年100 萬人死亡。兒童由於相對的肺表面積比率較大，所以是易感受族群。過去的研究也證明，居住在使用生質燃料的建築物中的兒童與燃燒清潔燃料的兒童相比，發生ALRI的風險高 2-3 倍。長期暴露在IAP高濃度的環境中，會增加呼吸道感染的風險與嚴重度，在這個環境下的婦女，有較高的機率會合併產生其他慢性病，以及慢性支氣管炎。

### C. 肺部疾病

吸入的空氣污染物與過敏性疾病與肺部疾病有關，如氣喘、異位性皮膚炎和過敏性鼻炎等。室內吸菸也是一個重要的IAP來源，會導致慢性阻塞性肺疾病(COPD)、哮喘和肺癌的產生。長期IAP暴露會顯著影響肺功能導致肺功能下降。IAP當中的有害顆粒，如PM和CO，會影響子宮內胎兒的肺部發育，這也是孕婦吸菸或者同住家人吸菸對於胎兒或兒童的不良影響。至於IAP對COPD、肺癌與氣喘等肺部疾病的影響，請參見本手冊專門章節。

### D. 心血管疾病 (CVD)

在家庭中使用固體燃料會排放各種與 CVD 相關的污染物，包括PM、PAHs、CO、重金屬和其他有機污染物等。長期暴露於PM<sub>2.5</sub>會增加特定急性心血管疾病的發生率，例如缺血性中風、心肌梗塞、心律失常、心力衰竭和心房顫動。有報導稱PM可導致心血管疾病、誘導氧化傷害反應、全身發炎反應、增加血液凝固性、導致自主神經和血管異常[162]。PM也是導致纖維蛋白原顯著增加的主要因素，會使血小板活化、血漿粘度和內皮素的釋放，造成血管收縮、血栓產生。此外，室內空氣環境中的CO可能會影響組織氧合通過產生碳氧血紅蛋白，從而對心血管功能產生重大影響。使用燃料烹飪而接觸PAH和Pb也會增強氧化損傷，刺激腎素-血管緊張素系統，並使一氧化氮濃度下降，進而導致血管張力和外周血管阻力增加。

## 第四節 總結

過去在污染物質對於人體的健康衝擊上，學界與政府大多著重於室外的空氣污染，並制定相關的法規對於空氣品質進行監測。然而，近年來環保團體與學界也開始重視室內的空氣品質，除了建築物室內室人類主要活動的區域外，室內污染物質的長期接觸，即便濃度不高也會達到長期的劑量累積效應。美國環境保護署(USEPA)提出【環境正義】，其定義為：「所有人在制定、執行和執行環境法律、法規和政策方面，無論種族、膚色、民族血統或收入如何，都受到公平對待和有意義的參與」。為了有效解決環境正義的問題，社區與家庭的環境健康衝擊，必須受到重視，且成為實施行動解決方案的主要場域。這是因為許多報告和研究指出，居住於建築物的兒童、老人、低社經階層民衆，可能因非常惡劣的室內居住環境，以及大量的室內哮喘誘發物、二手煙、黴菌、氫氣和其他污染物影響，而使其健康狀態惡化。本文詳列了室內污染物質之種類、來源與健康效應，並整理了國際上對於室內空氣品質指引與標準，希望能拋磚引玉，對於我國室內空氣污染議題能夠受到更多的重視，並進行相關流行病學探討與研究。



## 第四章

# 室內空氣污染與肺部健康



# 第四章 室內空氣污染與肺部健康

## 第一節 簡介

據WHO(世界衛生組織)估計全球每年約有4百萬人死於因烹煮過程產生中不完全燃燒衍生的室內空氣污染微粒，其中約有20%死於COPD(慢性阻塞性肺病)，而有8%死於肺癌(圖4-1)。空氣污染對於肺部的健康影響是不分年齡的，對於兒童時期的影響，從造成肺部發展遲緩開始，隨着年齡增長會加速肺功能的衰退速度，到晚年則呈現COPD。根據一項世代研究發現，使用固態燃料作為烹調或暖氣來源的家庭，在使用過程中形成的室內空氣污染造成兒童的肺部功能無法正常發育；但在具備通風換氣設備的家庭，其肺部功能則可以獲得明顯改善。有關室內空氣污染形成的種類，除了考量每個居家的環境特性之外，還有家用固態燃料燃燒、食物烹煮方式、以及是否存在屋內一些小害蟲製造出來的過敏原微粒。根據一項「2010年全球疾病負擔的相對風險評估報告」(the Comparative Risk Assessment for the 2010 Global Burden of Diseases)調查發現，全球疾病負擔的4.5%是由這類可避免的空氣污染風險造成的。室內空氣污染的問題無遠弗屆，即便在高度工業化國家，仍有多數的人每天生活的大半時間以上(90%)待在室內環境，其中又以待在居家環境的時間最長。有鑑於室內空氣污染對於呼吸道疾病的廣泛影響，釐清室內空氣污染的來源以及它對於不同家庭環境可能造成不同層次的呼吸系統影響，已經是必須關注的全球化健康議題。

## HOUSEHOLD AIR POLLUTION

**3.8 million** die prematurely every year from household air pollution from cooking(2016).

Household air pollution is mostly created by using kerosene and solid fuels such as wood with polluting stoves, open fires and lamps.



(圖4-1. 室內空氣污染對於全球人口的年均致死影響分析)

資料來源：WHO ([https://www.who.int/images/default-source/infographics/air-pollution/household-air-pollution-en.jpg?sfvrsn=d3871fee\\_8](https://www.who.int/images/default-source/infographics/air-pollution/household-air-pollution-en.jpg?sfvrsn=d3871fee_8))

## 第二節 室內空氣污染影響肺部健康的機轉

### A. 免疫系統與發炎感染機轉

室內空氣污染可以透過不同的機轉來影響呼吸道疾病並改變人體的免疫模式。目前發現這類的暴露物質可以增強嗜中性球、基質金屬蛋白酶 (matrix metalloproteinases) 的蛋白裂解反應、氧化壓力 (oxidative stress) 及增加細胞凋亡 (apoptosis) 速率，讓肺部細胞處於發炎前期狀態 (proinflammatory state)。此外，它也會透過破壞人類免疫系統協調的機制，引起肺部反覆感染的問題，例如：室內空氣污染會抑制巨噬細胞的吞噬能力、降低細微纖毛廓清細菌能力、破壞肺泡壁與週邊微血管的障蔽；這些免疫系統的變化也會讓肺部對抗病毒的能力下降，例如：肺泡巨噬細胞在長期暴露 PM<sub>10</sub> 的空污懸浮微粒環境下，對於呼吸道融合病毒的抵禦能力變得遲鈍；在印度的研究也發現，因為免疫系統的破壞，讓家用固態燃煤的成員罹患開放性肺結核風險增高。(圖4-2)

綜合言之，長時間暴露在室內空氣污染環境下，肺部罹患細菌性或病毒性感染的風險會明顯增高；此外，也有研究發現空氣污染會透過改變基因表現的模式，造成持久性的發炎及氧化壓力反應，因此在努力停止或改善人體遭受空氣污染暴露狀況之後，仍可發現遺存長遠性的肺部健康影響，而基因的表現的多樣性，可以解釋為何在不同個體身上會觀察到不同的暴露健康效應。



圖4-2. 常見的室內空氣污染物質對於肺部健康的影響

(資料來源：Marion Hulin, et al. European Respiratory Journal 2012 40: 1033-1045)



### B. 氣喘與呼吸道敏感症狀

暴露在較高PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>懸浮微粒濃度的環境中，明顯的容易誘發氣喘發病或加重其症狀。長時間的室內空氣污染被認為會提升呼吸道的敏感程度，同時也出現呼吸道重組(remodeling)效應，並且在細小呼吸道產生類似氣喘的發炎反應。在推廣綠色能源的政策下，生物質燃料(例如：生質柴油、氫氣及處理後的牛糞…)的使用愈來愈普及，但是源自使用生物質(biomass)燃料所產生的室內空氣污染物質含有內毒素及若干有機物，兩者都會增加氣喘的罹病風險。

### C. 致癌性

室內空氣污染可能影響人體若干基因型的表現，而特定基因型表現則與癌症的發生有關。例如：MUC16的基因表現與多種癌症(包括：肺部非小細胞癌)有關，而且這類基因表現通常意味着有較為不良的預後。有研究發現在室內空氣污染暴露的對象中，有明顯的MUC16基因過度表現(overexpression)，而且存在「發病年齡較低」及「預後不良」的傾向。而在若干針對非抽菸者的觀察研究中發現，暴露在室內的氡(Radon)環境中，罹患肺癌的相對風險會增加。

家庭常用的固態燃料(例如：燃煤與木材)燃燒的煙，已經被IARC認定為人類的致癌物；在引用25個全球不同區域的病例對照研究所作的綜合分析(meta-analysis)發現，使用燃煤的確造成罹患肺癌風險明顯增加的趨勢出現，這類風險增加顯然與燃煤產生的「煙」多寡有關。

### D. 對肺功能影響

室內空氣污染對於兒童及成人的肺功能都有不良的影響。以二手菸為例，在一項以將近7,800位六至十歲的兒童作為觀察對象的研究發現，母親每天至少抽一包菸的八歲兒童，其肺功能FEV<sub>1</sub>相較於對照組減少了0.81%( $p < 0.0001$ )，而其FEV<sub>1</sub>及FVC隨着年齡成長的年增率相較於對照組則出現每年減少0.17%的差距，這些兒童在成年後，FEV<sub>1</sub>的減損程度可以高達3%，顯見二手菸形成的室內空污對於兒童肺功能的影響巨大；另以家用燃煤、生物質燃料 (biomass fuel) 也會造成FVC及FEV<sub>1</sub>明顯下降(31.7%, 42%)。不同的家用燃料對於肺功能的影響各有差異，大部分使用天然氣或液化石油氣的家庭，兒童並沒有出現明顯的肺功能障礙。

## 第三節 室內空氣污染與肺部疾病

室內環境不同的空氣污染來源對於人體可能產生的健康影響包括直接的呼吸道刺激作用(支氣管炎)、咳嗽、肺癌致癌性、呼吸道感染、氣喘等問題。(圖4-3)

### A. 慢性阻塞性肺病 (COPD)

COPD一直是全球死因的重要成員，不同於男性大多因抽菸造成COPD，而造成婦女罹患COPD最重要原因為室內空氣污染。根據系統性回顧資料發現長期的室內空氣污染暴露，會加重COPD臨床症狀、致死率(Odds Ratio: 2.13)及疾病盛行率(Odds Ratio: 2.08)。對開發中國家來說，使用固態燃料所產生的煙，是造成室內空氣污染的主要來源，因此鼓勵使用更乾淨的燃料取代固態燃料之後，對於改善肺功能及降低COPD的罹病風險極為重要。其他尚有若干室內空氣污染物質，如：二氧化氮、懸浮微粒，也都與COPD發病有關。

## B. 氣喘

室內的懸浮微粒、源自老鼠的生物性致敏懸浮微粒、黴菌、甲醛、VOCs(揮發性有機化合物)、二手菸，以及使用燃料產生的二氧化氮、一氧化碳，與氣喘發作有關，這些物質可能透過對於呼吸道的直接刺激作用或誘發特定的免疫反應，使得氣喘發作或加重。使用高效能過濾懸浮微粒的空氣濾淨裝置、防塵蟎枕頭(寢具)對於改善兒童氣喘的發作有所助益。臨床上，利用檢測血液中特定IgE抗體，或過敏原皮膚測試，有助於釐清室內空氣污染潛在的致病因子。

## C. 肺癌

小細胞肺癌與抽菸有強烈的相關性，但根據西元2000年一項全球統計數據顯示，診斷為肺癌的患者當中有25%並無抽菸史，其中又以女性居多，而室內空氣污染被認為是非吸菸者罹患肺癌的重要危險因子之一。各式的家用燃料燃燒過程以及食用油烹煮過程所產生的煙煙，在長期暴露之下，會對人體產生致癌(肺癌)風險；而人體暴觸煙煙量的多寡，則和風險有關，如同前面章節討論提到，在比較各種燃料當中，又以使用生物質燃料的罹癌風險最為明顯。



圖4-3. 室內環境常見的空氣污染來源示意圖：

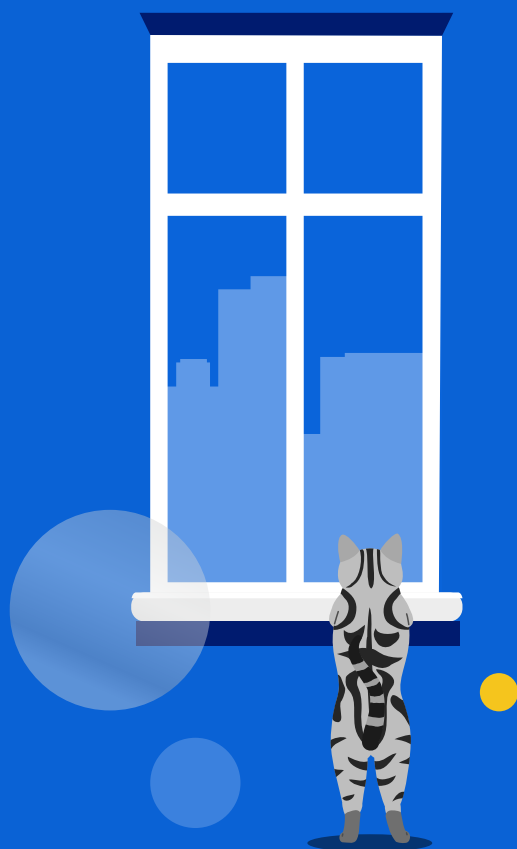
- ①香菸、煙煙：誘發呼吸道症狀氣喘發作，致癌，眼睛刺激，頭痛，喉嚨痛
- ②致敏原/花粉：誘發呼吸道症狀、咳嗽、胸悶，眼睛刺激，皮膚疹
- ③一氧化碳：頭痛、頭暈、噁心/二氧化氮：眼睛與喉嚨刺激、呼吸困難、肺部感染
- ④潮溼環境：有利於細菌、黴菌、真菌生長，可誘發咳嗽、呼吸困難、氣喘，免疫系統問題
- ⑤源自清潔劑、傢俱及地毯的合成有害化學物：破壞肝、腎、神經系統，誘發頭痛、噁心，刺激眼睛及呼吸道，致癌
- ⑥氡：破壞肺部組織、致癌(肺癌)

資料來源：The European Commission, Joint Research Centre

(<https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2013/infographics/indoor-air-pollution/view>)

### 第四節 總結

室內空氣污染對於肺部健康的影響層面涵蓋兒童與成年人，除了影響兒童早期的肺部發展之外，對於後續肺功能也可產生持續性影響。它也會誘發肺部的發炎反應、減少對於細菌及病毒的抵禦能力，使得肺部更容易遭受感染。使用容易產生燻煙的燃料或接觸二手菸都會增加COPD、氣喘及肺癌的罹病風險。整體而言，選擇使用乾淨的燃料作為替代能源、避免二手菸暴露、改善室內的通風換氣條件與淨化空氣設備、注意室內環境除黴、選擇防塵蟎寢具，都可以有效改善室內空氣品質，維護肺部健康。



## 第五章

# 如何減少室內空氣污染的傷害

# 第五章 如何減少室內空氣污染的傷害

## 第一節 簡介

空氣污染目前已是世界最大的死因之一，世界衛生組織預估空氣污染每年造成超過700萬人死亡，而民衆所不知道的是室內空氣污染的傷害可能高於室外空氣污染，根據美國聯邦政府環境保護署研究的報告發現室內空污的嚴重程度常常是室外的2~5倍高，許多國家對於室外空氣品質已有了完善監測與規範，但對室內空氣污染的防治則容易被忽視。

我們一般能將室內空氣污染的來源分為以下幾大類：室外空氣污染源；室內燃燒源；建材與油漆及塗料；室內家電及事務機等；化學產品清潔產品等；黴菌、真菌、細菌、病毒、毛髮、皮屑、塵蟎等生物污染物。面對以上的室內空氣污染，最常見的有以下幾種防護方式：

### A. 控制室內外空氣流通

許多室內空氣污染來源也來自室外空氣污染，譬如：懸浮微粒、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、硫氧化物(SO<sub>x</sub>)、碳氫化合物(HC)、一氧化碳(CO)、重金屬等等，以上這類空氣污染所多來自戶外的空氣污染，此時如何隔絕室內外的空氣流通就是非常重要的減少室內空氣污染的方法。

**1. 開門窗增加空氣流通：**從另一方面來說增加室內外空氣流通，也是最快改善室內空氣污染的方法之一，有許多的室內空氣污染物質無法使用過濾去除，譬如：人生物呼吸產生的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)或者不完全燃燒產生的一氧化碳(CO)、或者是室內的揮發性有機物(Volatile Organic Compounds, VOCs)，一般室內空氣清淨機都無法去除以上的污染物質，最有效的去除方式就是打開門窗增加室內外的空氣流通。

而短時間室內產生的大量空氣污染，譬如：室內燃燒產生的煙霧廢氣、裝潢產生的粉塵等等，此時打開門窗增加室內外的空氣流通也是最重要的去除室內空氣污染方式，目前許多工廠或特殊場所會使用中央空調通風系統搭配空氣清淨系統來提供乾淨的空氣。

**2. 開門窗的時間：**面對空氣污染許多人會疑惑的是到底哪時應該開窗，首先該不該開窗我們要先得知戶外的空氣品質如何，一般來說室內如果有空氣污染物的製造情況下，譬如：室內裝潢、燒香、抽菸、室內打掃、主菜油煙…等等，一律建議應該要開窗，因為此時的PM<sub>2.5</sub>濃度可超過100以上，而平時如果室內人口眾多時，也會使室內的二氧化碳濃度增加，使人有頭暈昏昏欲睡的感覺，此外室內裝潢油漆或購買新家具的時候，也要注意甲醛等等揮發有機物的濃度會增加，此時也建議應該要開窗來減少室內的空氣污染。但是如果在一概無室內污染源的狀況之下，室外的空污指數如果偏高(譬如：AQI指數大於100以上)，此時開窗反而增加室內空氣污染的問題。

**3.開門窗的替代方法：**如果室內二氧化碳濃度增加，需要開窗增加室內外空氣流通，但是此時室外空氣污染又嚴重的時候該怎麼辦？此時可以選擇加裝有濾網的抽風機，把室內外的空氣流通，又使用濾網將空氣中的髒污(如：懸浮微粒等等)阻擋下，讓新鮮的空氣進入室內。而目前有一種新的科技產品叫做「全熱交換機」，可以流通室內外的空氣，並且加裝過濾功能，讓室內無法被過濾的壞空氣(譬如：太高的二氧化碳)，與室外的空氣互相流通減少，減少室內的二氧化碳濃度，讓新鮮的氧氣進入室內。

## B.口罩的防護效果：

防止室內空氣污染的傷害，口罩是最常使用的方法之一，目前市售口罩大致可以分為下列數種(表5-1)：

- 1.紙口罩：**優點便宜、但是過濾微粒的效果最差，但容易潮濕。對於飛沫、唾液、血液…等等缺乏保護力。
- 2.布口罩：**常見使用的不織布口罩，布口罩的優點是可重複水洗，但是過濾能力差，但可以阻擋一般的飛沫，但是對懸浮微粒的空氣污染效果差，無法阻擋小顆粒的空氣污染。
- 3.活性炭口罩：**活性炭口罩本身的設計雖然是吸附有機氣體、惡臭分子和毒性粉塵，但是事實上的吸附能力非常有限，而單層活性炭口罩的過濾能力不佳，需要合併有過濾層，才能對空氣污染產生足夠的防護作用，活性炭口罩如果無過濾層則對懸浮微粒缺乏有效防護效果。
- 4.醫療級口罩(外科口罩)：**常見於醫院、醫療人員所使用的口罩，通常有三層構造：外層為PP防潑水材質，目的在於阻隔飛沫或體液，中層為特殊濾網阻擋層，能阻隔微小的顆粒譬如細菌與粉塵等等，內層則是能吸收濕氣汗水油脂的柔細纖維。醫療口罩大顆粒的懸浮微粒，而醫療口罩對於PM<sub>2.5</sub>雖然稱有七成的防護力，但實際醫療口罩使用上並無法與臉部緊密貼合，實際的保護能力應該低於七成。
- 5.N95口罩：**N95口罩是最常使用的高防護口罩，指的就是可以阻擋超過95%奈米級顆粒(0.1~0.3 $\mu$ m)，而面對PM<sub>2.5</sub>使用N95口罩的優點是可以到達有效阻擋的效果，但是缺點則是N95口罩呼吸阻力大，戴上之後換氣阻力大，心肺功能不佳者或老人小孩都難以使用。
- 6.防霾口罩：**有鑑於市面上口罩品牌良莠不齊全，經濟部標準檢驗局於民國106年制定CNS 15980「防霾口罩檢測標準，將口罩之防護效果分為A、B、C、D四個等級(A防護力最強)。而A、B、C、D四個等級口罩，也設置四種選用時機(表5-2)。



表5-1. 常用口罩功能區分

	效果	PM <sub>2.5</sub>	優缺點
紙口罩	阻擋水滴 大顆粒灰塵	無效	便宜 阻擋力差 遇水易破
布口罩	阻擋水滴 大顆粒灰塵	無效	可重複水洗使用 無法阻擋PM <sub>2.5</sub>
活性炭口罩 (無過濾層)	活性炭吸附	效果差	可吸附有毒物質 但阻擋效果有限
活性炭口罩 (含過濾層)	先以過濾層過濾粉塵 活性炭吸附	一半的阻擋效果	吸附有毒物質、 能阻擋細小粉塵
醫療口罩	三層構造可防飛沫 過濾層可過濾物質	一半的阻擋效果	阻擋病菌粉塵 但密合度較差
高階口罩 (N95以上)	對於PM <sub>0.3</sub> 可以有效 阻擋達95%以上	可以阻擋絕 大部分PM <sub>2.5</sub>	阻擋效果最強 造成呼吸費力
防霾口罩	國家檢測阻擋效果 分ABCD等級(A最好)	可以有效 阻擋PM <sub>2.5</sub>	阻擋效果需國家認證 目前許多市售口罩未認證

表5-2. 防霾口罩等級與使用建議

	A	B	C	D
使用時機 PM <sub>2.5</sub> 濃度	350以下	230以下	140以下	70以下
PM <sub>2.5</sub> 阻擋效果	≥99%	≥95%	≥90%	≥90%
PM <sub>0.1</sub> 阻擋效果	≥95%	≥90%	≥80%	≥80%
PM <sub>2.5</sub> 指數	褐爆	紫爆	紅色警示	橘色提醒
使用時機 AQI指標	超過300	201-300	151-200	150以下

目前面對空氣污染，如要防止無孔不入的PM<sub>2.5</sub>，最有力的選擇應該是N95口罩，但是若要兼顧便利與防護力的平衡，醫療口罩或防霾口罩才是最適合的選擇，目前台灣也正在進行防霾口罩的相關認證。

### C. 空氣清淨機對於室內空氣污染的防護效果：

目前市面上的空氣清淨機種類眾多，可以使用以下幾點評估空氣清淨機的功能：

**1. CADR (Clean air delivery rate 乾淨空氣排放率)：**CADR是美國家電協會AHAM所制定出一項標準，拿來比較各廠牌的效能；CADR數值愈高，代表能過濾空氣速度愈快；CADR有兩種單位：立方英尺/分鐘 (ft<sup>3</sup>/min) 或立方公尺/小時 (m<sup>3</sup>/hr)，簡單換算的方式是：  
m<sup>3</sup>/hr = ft<sup>3</sup>/min X 1.7。(圖5-1)

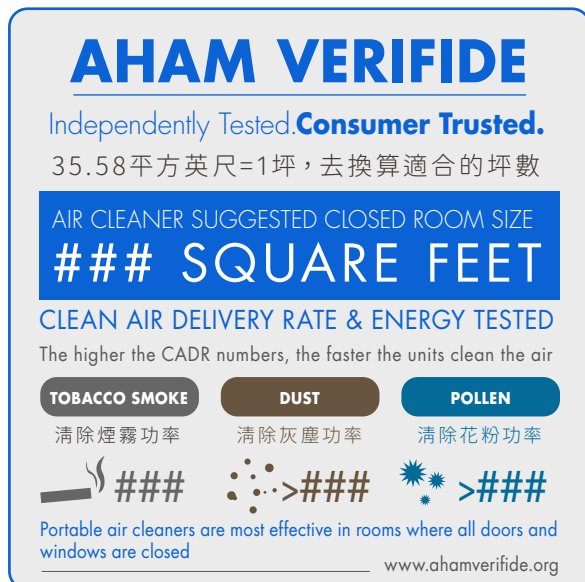


圖5-1. 乾淨空氣排放率 (CADR)

資料來源：修改自美國家電協會的官方圖片

但大家需要去注意的是，CADR的數字通常是最大運轉下所得出的數據。平常使用空氣清淨機時常是在低速運轉模式，而低速運轉的CADR數字約只有最高速運轉的20%-30%之間。

**2. 認識濾網：**一般來說的空氣清淨機所使用的清潔空氣方式，最常使用的就是濾網過濾空氣中的物質，而目前常見搭載的濾網有以下幾種分類：

- ① 前置濾網或預濾網 (Pre-filter)：一般空氣清淨機中通常會設計一層前置濾網，此濾網的空隙較大肉眼可見，主要的過濾目標是大體積的毛髮等等，因此對於較小的物質(譬如：PM<sub>2.5</sub>等等)，則無法過濾阻擋，而這片濾網的好處是可以清洗後繼續使用，且使用壽命較長。
- ② 高效濾網(核心濾網)：是空氣清淨機的核心，主要肩負過濾與吸附空氣中顆粒物質的任務，目前市面上有許多濾網能有效過濾PM<sub>2.5</sub>等等物質，HEPA (High-Efficiency Particulate Air)濾網是常使用的高效濾網，而HEPA濾網的標準依據美國能源部的定義是指【能夠把超過99.7%，0.3微米(=PM<sub>0.3</sub>)的懸浮微粒擋下來的濾網】，就是HEPA濾網了。而除了HEPA濾網之外，更上去還有一個等級稱為ULPA濾網 (Ultra-Low Penetration Air超低穿透空氣過濾網)，主要是能【能夠把超過99.995%，0.1微米(=PM<sub>0.1</sub>)的懸浮微粒擋下來的濾網】。

雖然濾網越細能過濾越多物質，仍然無法阻擋揮發有機物與有害氣體，而高效濾網另一個缺點是，濾網等級越高越緻密風阻也越大，使得空氣清淨機馬達需要輸出更大的功率去過濾，增加耗能與噪音的問題；高階的濾網一般價格較高也無法水洗重複使用，增加耗材的費用。



- ③靜電空氣濾網：在高階濾網的過濾基礎上，合併使用靜電吸附空氣中的懸浮微粒，加強過濾髒空氣的效果。
  - ④活性炭除臭濾網：活性炭本身具有吸附物質的特性，在空氣清淨機的濾網中被選用來吸附無法過濾的有毒物質（譬如：甲醛等揮發性氣體），但是其缺點是活性炭在高濕度環境下壽命縮短，而台灣海島國家空氣濕度高，另外的一個缺點是活性炭的空氣濾網上，沒有量化的標準規範，而另一方面活性炭也會提高濾網耗材的售價。
  - ⑤靜電集塵板(非濾網)：以高壓的電流產生靜電，使靜電集塵板吸附空氣中帶電的微粒達到清潔空氣的目的，但缺點是過濾能無法與高效濾網相比，無法像濾網能做到>99%，普遍能達到90%左右的過濾效果，時常搭配其他附加濾網加強過濾效果，而優點是靜電集塵板可重複清洗，所以耗材費用較省而且噪音較低，但缺點是會產生臭氧對呼吸道有刺激性，且靜電集塵板若無定時清理將使黏附的顆粒回到空氣中。
  - ⑥光觸媒：光觸媒的機轉為利用二氧化鈦經過紫外線照射後，產生電子電洞將空氣中的有機物質（細菌、有機揮發氣體等有機物）分解破壞變成對人體無害的水和二氧化碳，優點是無毒價格較便宜又環保，但缺點是分解效率是否能足夠處理較嚴重空氣污染且有紫外線。
  - ⑦冷觸媒：冷觸媒(自然觸媒)是新型空氣淨化材料，號稱能在常溫條件下使多種有害有味氣體分解成水和二氧化碳等無害無味物質，但是目前冷觸媒的研究很少，實際的作用效果仍需要更多檢驗。
  - ⑧負離子：帶負電荷的分子稱為負離子，其背後的原理在於產生電子與氧分子結合成負氧離子，負離子與空氣污染物質結合之後，一方面能產生化學反應消毒殺菌，負離子能使懸浮物質帶電吸附到家具與地板牆壁表面，達到淨化空氣的效果，但缺點是過程會產生臭氧增加呼吸道的刺激，而落到家具與地板的懸浮物質若沒有後續的清理，之後會再次揚起成為空氣的污染物質。
- 此外大家還必須注意的是，空氣清淨機的測試數據都是在密閉室內測試，一般如果窗戶內外空氣流通量大，則空氣清淨機就會難以發揮該有的效果，最後把優缺點比較如下供大家參考(表5-3)。

表5-3. 空氣清淨機濾網與相關功能比較

	原理	優點	缺點
普通濾網	大顆粒灰塵與毛髮進行過濾	可重複清洗 耗材花費少	無法過濾小顆粒
高效濾網	使用精密的濾網過濾空氣	有效過濾細微物質	耗材昂貴 風阻大噪音大 無法分解揮發氣體
靜電濾網	靜電吸附物質	可加強濾網的過濾效果、減少風阻	耗材昂貴 無法分解揮發氣體
活性炭濾網	活性炭具有吸附物質的特性	可以吸附有毒物質與有機揮發氣體	活性炭壽命較短 耗材昂貴
靜電集塵板	產生靜電吸附物質	可重複清洗 耗材花費少	過濾能力有限 產生臭氧
光觸媒	紫外線照射產生電洞分解有機物質	便宜又環保 可分解有機物	分解效果有限 需紫外線照射
冷觸媒	自然分解有機物質	便宜又環保 且不需紫外線照射	機轉與實際效果仍有待驗證
負離子	產生電子與空氣分子結合成負離子	使汙染物質吸附家具或地板 可分解有機物	效果有限 產生臭氧 落塵會再次揚起

#### D. 疫情期間如何進行室內病毒減量：

而疫情期間室內空氣中的病毒懸浮濃度也是大家關心的室內空氣污染議題，我們知道呼吸道病毒與病菌的傳染途徑，不外乎是接觸傳染、飛沫傳染(Droplet)與氣溶膠(Aerosol)傳染(表5-4)。飛沫本身是顆粒較大，在空中飛行的時間有限只能飛行數分鐘，所以移動的距離也有限最多只有1~2公尺，而氣溶膠是顆粒更小的懸浮顆粒，氣溶膠因為顆粒小在空氣中飛行時間中會比較長，且飛行距離也更遠，甚至可以漂散到數十公尺。

而面對室內的空氣污染中的細菌與病毒，戴口罩是最有效的方式，許多研究都指出，生病的人戴口罩可以阻擋最多的感染飛沫與氣溶膠，而健康的人也戴上口罩也能阻擋吸入感染的飛沫與氣溶膠，除了戴口罩之外開窗或者使用空氣清淨機都是有效能減少懸浮病毒的方法，瑞士的研究發現在160立方公尺的教室中整天開6個窗戶可讓病毒大幅減少93%，戴口罩病毒可減少88%，擺兩台HEPA空氣清淨機(CADR=400立方公尺/小時)可以把病毒減少75%，使用一台空氣清淨機則可以減少60%，而以上的措施累積還有加成作用，多重配合使用可以達到更好的防護效果，所以在疫情期間要室內活動時，只要注意戴上口罩常洗手，開窗或使用空氣清淨機都是很有效的防疫方法。

表5-4. 空氣傳染比較圖

	飛沫(Droplet)	氣溶膠(Aerosol)
一般大小(直徑)	大於5-10微米	5-10微米以下
飛行時間	數分鐘蒸發或落地	數十分鐘或幾小時
飛行距離	1-2公尺內	5-10公尺到更遠
防護方式	一般醫療口罩	N95口罩
常見疾病	細菌、流感病毒、 上呼吸道病毒	流感病毒、肺結核菌、 麻疹
病房需求	一般隔離病房	負壓隔離病房
傳染能力	較能預防	難預防、易造成大流行

### 第三節 總結

室內空氣污染對身體傷害的預防，首先著重減少室內空氣污染，口罩仍然無法做到完全阻擋空氣污染在身體之外，疫情期間室內戴口罩也能有效的阻止感染，開門窗增加室內外空氣的流通是最有效的方法之一，但是必須參考室外空氣品質來決定要不要開門窗。

**發行單位：**台灣胸腔暨重症加護醫學會

**地址：**100229台北市常德街一號台大景福館四樓413室

**電話：**02-2314-4089

**傳真：**02-2314-1289

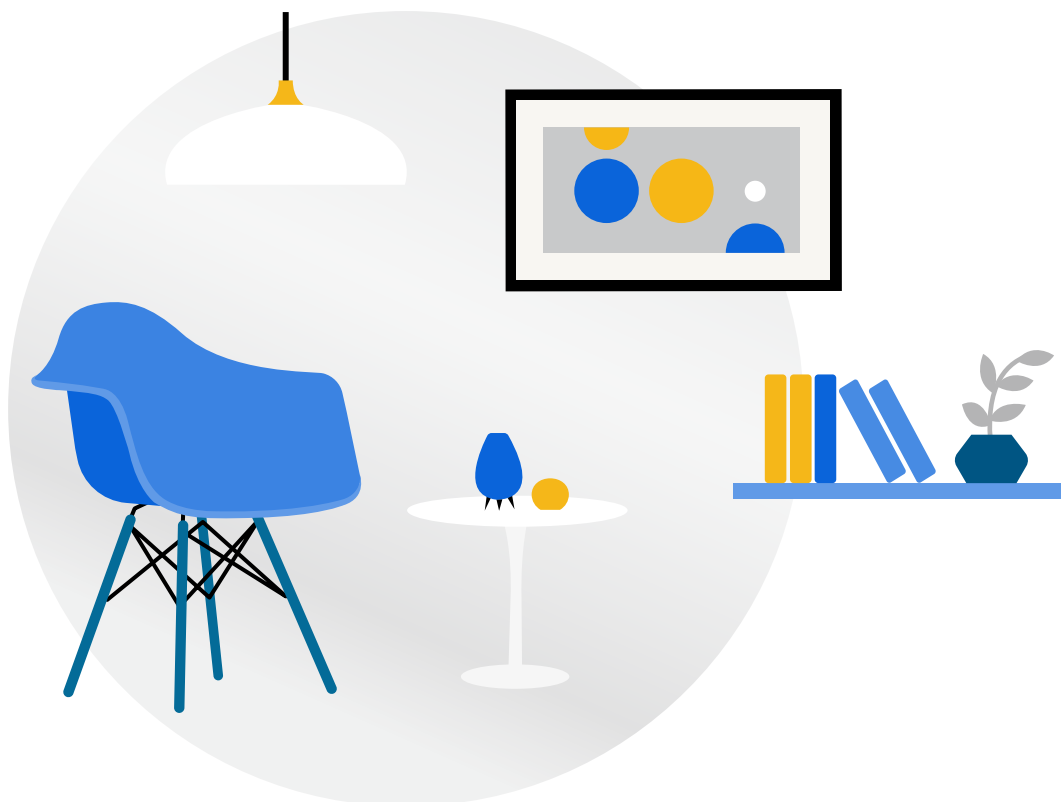
**網址：**[www.tspccm.org.tw](http://www.tspccm.org.tw)

**發行人：**王鶴健

**總編輯：**許超群

**編輯委員：**曾健華、陳啟信、傅彬貴、郭耀昌、蘇一峰、魏裕峰、王金洲

**出版日期：**西元2021年12月





# 台灣胸腔暨重症加護醫學會

Taiwan Society of Pulmonary and Critical Care Medicine

