

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

空氣負離子對生物氣膠殺菌及去除效率之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-002-028-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學環境工程學研究所

計畫主持人：李慧梅

共同主持人：李芝珊

計畫參與人員：吳致呈

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 11 月 4 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

空氣負離子對生物氣膠殺菌及去除效率之研究

Germicidal and Removal Efficiencies of Bioaerosols using Negative Air Ions

計畫編號：NSC 93-2211-E-002-028

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人：李慧梅

國立台灣大學環境工程學研究所

共同主持人：李芝珊

國立台灣大學環境衛生研究所

計畫參與人員：吳致呈

國立台灣大學環境工程學研究所

一、中英文摘要

關鍵詞：空氣負離子、負極針尖放電、生物氣膠、殺菌率、移除率

本研究探討空氣負離子(NAIs)對生物氣膠之移除與殺菌效能。生物氣膠分別以兩種細菌(*Escherichia coli* (*E. coli*), *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) endospores)與兩種真菌(spores of *Penicillium citrinum* (*P. citrinum*), yeast cells of *Candida famata* (*C. famata*) var. *flareri*)作為實驗之標的。實驗之 NAIs 利用負極高壓放電產生(5×10^5 ions cm^{-3})，放電電壓為 10.0 kV。反應器中的放電裝置以 dark discharge 設計，用以防止 O_3 與 NO_x 副產物之產生。本研究分別利用 APS (aerodynamic particle sizer)與高速衝擊器(AGI-30)探討空氣負離子對生物氣膠之移除效能與殺菌效能。實驗結果顯示 NAIs 對四種生物氣膠之移除效率隨生物氣膠在空氣負離子反應器中的停留時間增加而增加，例如 *E. coli* 在停留時間為 3.1, 6.2, 7.8, 10.4 與 15.5 分鐘之移除效率分別為 12.5, 33.8, 42.1, 68.2 與 80.1%。空氣負離子對四種生物氣膠之移除效能顯示。*B. subtilis* endospores > *E. coli* > spores of *P. citrinum* \approx yeast cells of *C. famata*。本研究以 survival factor (SF), $[(C_{\text{survial}}/C_{\text{unremoval}})_{\text{NAIs}} / (C_{\text{survial}}/C_{\text{unremoval}})_{\text{without_NAIs}}]$ 評估空氣負離子對生物氣膠之殺菌效能。SF 小於 1 或趨近於 1，分別代表殺菌效能顯著或不具殺菌效能。實驗結果顯示整體實驗之 SF 為 0.96 ± 0.19 ，表示空氣負離子對生物氣膠不具有有效的殺菌效能。此外，實驗結果顯示相對溼度(30 至 70%)對於空氣負離子對生物氣膠的移除以及殺菌效能並沒有顯著的影響。本研究結果顯示空氣負離子對生物氣膠的控制機制，主要為空負離子使生物氣膠帶電而加以移除。

Abstract

Although negative air ionizers have been used in indoor air cleaning, little study have been done on the elimination of bioaerosols by negative air ions (NAIs). This study investigated the removal and germicidal effects of NAIs on bioaerosols. Bioaerosols, *Escherichia coli* (*E. coli*), *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) endospores, spores of *Penicillium citrinum* (*P. citrinum*), and yeast cells of *Candida famata* (*C. famata*) var. *flareri*, were produced at a concentration of approximately 400 number cm^{-3} by six-jet Collison nebulizer, which aerosolized the suspension of microorganisms in DI water and PBS (phosphate buffer solution). NAIs were generated at a concentration of 5×10^5 ions cm^{-3} in an experimental chamber (9.32×10^{-2} m^3) by negative electric discharge at 10 kV. The removal and germicidal efficiencies of bioaerosols were measured by aerodynamic particle sizer (APS) and high velocity impinger (AGI-30), respectively. Bioaerosols collected by AGI-30 was cultured for colony forming unit (CFU) counting. The results indicated that the removal efficiency of bioaerosols was enhanced by NAIs and increased with the retention time of bioaerosol in the experimental chamber. The influence of relative humidity on the removal efficiency of bioaerosol was unobvious at relative humidity between 30 and 70% at 25°C. The germicidal efficiency of bioaerosols was evaluated by the survival factor (SF),

$[(C_{\text{survival}}/C_{\text{unremoval}})_{\text{NAIs}}/(C_{\text{survival}}/C_{\text{unremoval}})_{\text{without_NAIs}}]$. The SF less than 1 and approach of 1, respectively, showed that the NAIs with and without germicidal efficiency of bioaerosols. The results indicated that the SF was 0.96 ± 0.19 at different retention time and relative humidity, therefore, the germicidal function of NAIs on bioaerosols was invalid. However, the removal effect of NAIs on bioaerosols was the major mechanism for eliminating the bioaerosols using negative air ionizers.

Keywords: Negative air ions; Bioaerosol; Removal effect; Germicidal effect

二、緣由與目的

近來警戒日益升高的禽流感、嚴重急性呼吸道症候群(SARS)、流行性感冒，以及我國日益上升的兒童氣喘比率等，都與公共場所、室內環境、大眾運輸工具等空氣中的生物性氣膠息息相關。Daniels(2002)之研究指出空氣負離子的應用包含消除室內粒狀物、微生物、臭味，以及揮發性有機污染物。有關空氣負離子對生物氣膠的作用，主要來自空氣負離子中的氧陰離子自由基(superoxide, O_2^-)，與空氣中的生物氣膠進行反應或使其帶電，而產生移除或殺菌的機制。Wu and Lee (2003)指出空氣負離子能有效的去除室內空氣中的次微米微粒。Shargawi et al. (1999)的研究顯示空氣負離子能對一些非氣膠狀態的微生物具有殺菌的效能。然而目前對於空氣負離子對生物氣膠的控制，仍然沒有明確的研究指出其確實的控制效能。因此本研究以空氣負離子反應器探討空氣負離子與生物氣膠之反應，釐清空氣負離子對生物氣膠之移除與殺菌效能。

三、結果與討論

本實驗系統之示意圖如圖 1 所示，整個實驗系統包含：乾淨空氣及溼度控制系統、空氣負離子反應器，以及生物氣膠產生系統(包含：Collison nebulizer、Kr-85 particle charge neutralizer、diffusion dryer 與 mass flow controller)。生物氣膠之採樣與量測系統，包

含：aerodynamic particle sizer (APS, model 3310A, TSI, MN, USA)與生物氣膠衝擊器 AGI-30。AGI-30 所採樣的生物氣膠，再經適當的培養基與培養條件進行培養，並計算可培養生物氣膠之濃度。

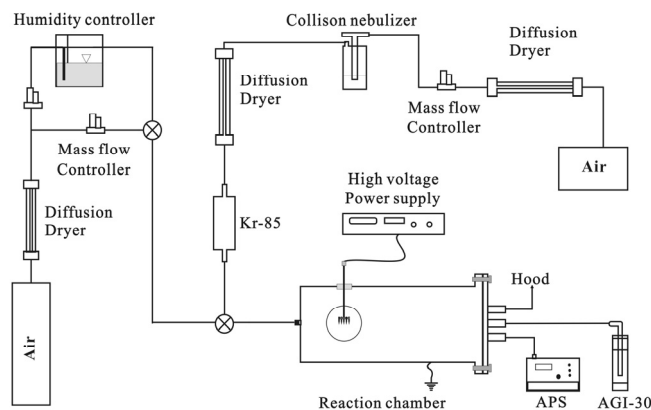


圖 1. Illustration of experimental system

實驗結果顯示，一般以 PBS (phosphate buffer solution)緩衝劑，產生生物氣膠之方法，無法利用 APS 量測生物氣膠之濃度。如圖 2 所示，使用 PBS 當作微生物之懸浮溶液，會產生大量 PBS 乾燥所形成的氣膠，因而無法區分出生物氣膠與 PBS 氣膠。本研究以去離子水懸浮微生物，來產生生物氣膠，可以解決 PBS 氣膠之干擾，因而能有效運用 APS 直接偵測生物氣膠之濃度。

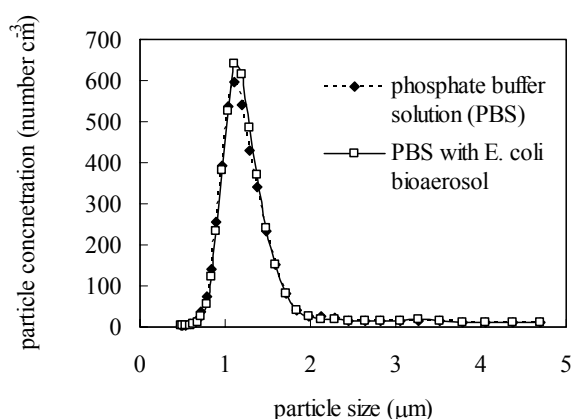


圖 2. Particle size distribution of PBS and PBS with bioaerosol *E. coli*

此外，以去離子水懸浮微生物產生生物氣膠之方法，於本實驗中對產生生物氣膠之活性，並無明顯之影響。然而有關空氣負離

子對生物氣膠之殺菌實驗，則分別使用 PBS 與去離子水做為微生物之懸浮溶液以作為實驗結果之比對。

(1) *E. coli*

空氣負離子與生物氣膠之反應，在連續式空氣負離子反應器中進行。空氣負離子對生物氣膠移除效能之探討，利用 APS 量測生物氣膠在空氣負離子作用下，生物氣膠濃度之變化。下圖 3 顯示，生物氣膠 *E. coli* 在與空氣負離子作用前，以及與空氣負離子作用後粒徑分布的變化。實驗結果顯示，在空氣負離子之作用下，生物氣膠之濃度隨空氣負離子作用之時間逐漸下降，約於空氣負離子操作 5 分鐘之後，生物氣膠 *E. coli* 之粒徑分布變化在連續式反應器中逐漸達到穩定。

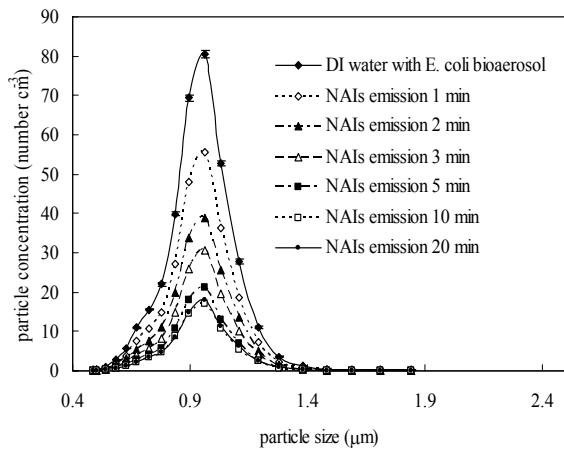


圖 3. Particle size distribution of bioaerosol *E. coli* with and without NAIs emission

空氣負離子對生物氣膠總濃度之移除效能評估，依據如下圖 4 之單次實驗結果進行分析與計算。如下圖 4 所示，釋放空氣負離子之前，總生物氣膠濃度約為 348 number cm^{-3} 。經釋放空氣負離子 1 分鐘之後，總生物氣膠濃度降為 238 number cm^{-3} ，去除效率為 31.6%；釋放空氣負離子達 2 分鐘之後，總生物氣膠濃度降低至 170 number cm^{-3} ；去除效率為 51.1%。當操作空氣負離子產生器 5 分鐘之後，總生物氣膠濃度趨於穩定，約為 72.0 number cm^{-3} ，去除效率約達到 79.3%。此一單次實驗，進行至 22 分鐘之後關閉空氣負離子產生器，實驗結果顯示總生物氣膠濃度逐漸上升。此一現象並非生物氣膠之再揚起，而

是由於本實驗之空氣負離子反應器為連續性反應裝置，在關閉空氣負離子產生器之後，生物氣膠繼續穩定持續流入反應器。

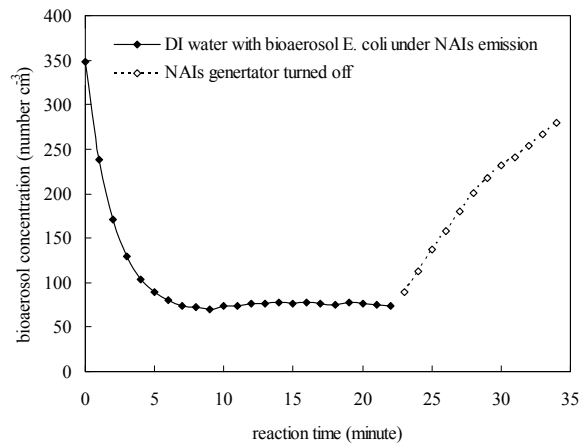


圖 4. Bioaerosol *E. coli* concentration versus reaction time

空氣負離子對生物氣膠之殺菌效能，以 Survival Factor (SF) 進行評估。SF 之定義如下式 Eq. (1) 所示：

$$SF = \frac{(C_{\text{survival}} / C_{\text{unremoval}})_{\text{NAIs}}}{(C_{\text{survival}} / C_{\text{unremoval}})_{\text{without NAIs}}} \quad (1)$$

SF 為 0~1 之無因次因子，SF 越小表示殺菌效能越高，SF 趨近於 1 則表示無殺菌效能。 $(C_{\text{survival}} / C_{\text{unremoval}})_{\text{NAIs}}$ 表示在空氣負離子反應下經由 AGI-30 所得到的”可培養生物氣膠濃度” C_{survival} 除以空氣負離子反應下經由 APS 所得到的”未移除之生物氣膠濃度” $C_{\text{unremoval}}$ 。 $(C_{\text{survival}} / C_{\text{unremoval}})_{\text{without NAIs}}$ 表示在空氣負離子未作用下經由 AGI-30 所得到的”可培養生物氣膠濃度” C_{survival} 除以空氣負離子未作用下經由 APS 所得到的”未移除之生物氣膠濃度” $C_{\text{unremoval}}$ 。本研究以 SF 來評估，未被空氣負離子移除的生物氣膠，其被 NAIs 殺菌的程度。

空氣負離子對生物氣膠 *E. coli* 之移除效能與殺菌效能，如下圖 5 所示。圖 5 顯示空氣負離子濃度 5×10^5 ions cm^{-3} ，溼度 30%，在不同停留時間下生物氣膠 *E. coli* 之移除效率與 SF 值。實驗結果顯示，生物氣膠 *E. coli* 在空氣負離子反應器中的停留時間越長，其移除效率隨之增加。當停留時間為 15.5 分鐘時，

其移除效率達到 80.1%。另外，SF 的平均值為 0.93。SF 值並無隨著停留時間之增加而明顯下降，如此顯示生物氣膠 *E. coli* 在經過空氣負離子 15.5 分鐘的反應之後，仍然沒有明顯的殺菌效能。

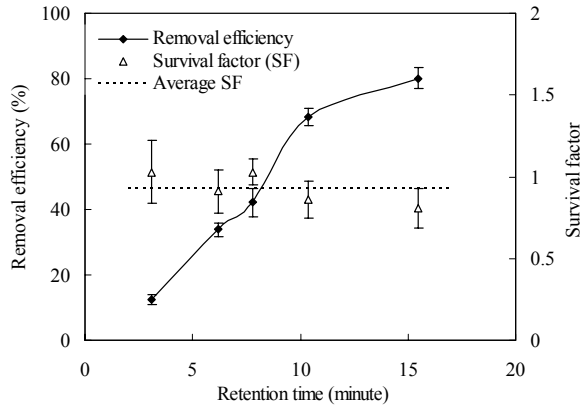


圖 5. Removal efficiency and SF of Bioaerosol *E. coli* at different retention time in NAIs reaction chamber

(2) *B. subtilis* endospores

空氣負離子對生物氣膠 *B. subtilis* endospores 之移除效能與殺菌效能，如下圖 6 所示。圖 6 顯示空氣負離子濃度 5×10^5 ions cm^{-3} ，溼度 30%，在不同停留時間下生物氣膠 *B. subtilis* endospores 之移除效率與 SF 值。實驗結果顯示，生物氣膠 *B. subtilis* endospores 在空氣負離子反應器中的停留時間越長，其移除效率隨之增加。停留時間為 3.1、6.2、7.8、10.4 與 15.5 分鐘時，其移除效率分別為 21.6、43.7、55.0、72.2 與 88.9%。另外，SF 值的平均值為 0.97。SF 值並無隨著停留時間之增加而明顯下降，如此顯示生物氣膠 *B. subtilis* endospores 經過空氣負離子 15.5 分鐘的反應，仍然沒有明顯的殺菌效能。實驗結果顯示空氣負離子對 *B. subtilis* endospores 的移除效能比 *E. coli* 高。*B. subtilis* endospores 的 SF 值略高於 *E. coli* 之 SF 值。

(3) spores of *P. citrinum*

空氣負離子對生物氣膠 spores of *P. citrinum* 之移除效能與殺菌效能，如下圖 7 所示。圖 7 顯示 NAIs 濃度 5×10^5 ions cm^{-3} ，

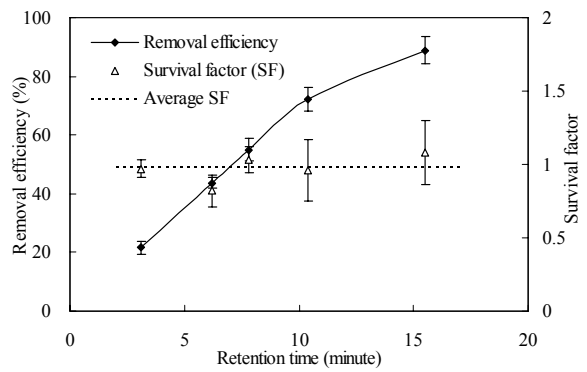


圖 6. Removal efficiency and SF of Bioaerosol *B. subtilis* endospores at various retention time in NAIs reaction chamber

溼度 30%，在不同停留時間下生物氣膠 spores of *P. citrinum* 之移除效率與 SF 值。實驗結果顯示，生物氣膠 spores of *P. citrinum* 在空氣負離子反應器中的停留時間越長，其移除效率隨之增加。停留時間為 3.1、6.2、7.8、10.4 與 15.5 分鐘時，其移除效率分別為 7.6、25.9、36.3、50.7 與 73.0%。另外，SF 值的平均值為 0.94。SF 值並無隨著停留時間之增加而明顯下降，如此顯示生物氣膠 spores of *P. citrinum* 經過空氣負離子 15.5 分鐘的反應，仍然沒有明顯的殺菌效能。實驗結果顯示空氣負離子對 spores of *P. citrinum* 的移除效能比 *E. coli* 低。spores of *P. citrinum* 的 SF 與 *E. coli* 之 SF 值相近。

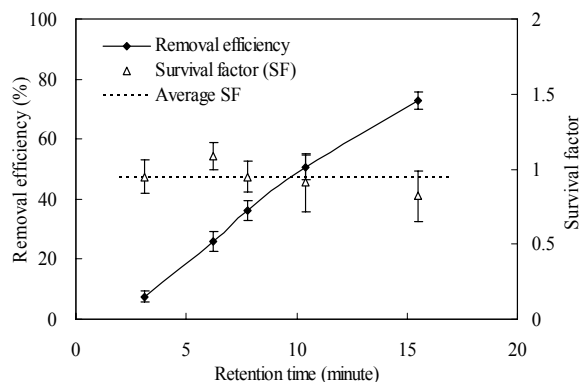


圖 7. Removal efficiency and SF of Bioaerosol, spores of *P. citrinum*, at various retention time in NAIs reaction chamber

(4) yeast cells of *C. famata*

空氣負離子對生物氣膠 yeast cells of *C. famata* 之移除效能與殺菌效能，如下圖 8 所

示。圖 8 顯示空氣負離子濃度 $5 \times 10^5 \text{ ions cm}^{-3}$ ，溼度 30%，在不同停留時間下生物氣膠 yeast cells of *C. famata* 之移除效率與 SF 值。實驗結果顯示，生物氣膠 yeast cells of *C. famata* 在空氣負離子反應器中的停留時間越長，其移除效率隨之增加。停留時間為 3.1、6.2、7.8、10.4 與 15.5 分鐘時，其移除效率分別為 8.1、25.1、40.9、48.2 與 76.6%。另外，SF 值的平均值為 1.01。SF 值並無隨著停留時間之增加而明顯下降，如此顯示生物氣膠 yeast cells of *C. famata* 經過空氣負離子 15.5 分鐘的反應，仍然沒有明顯的殺菌效能。實驗結果顯示空氣負離子對 yeast cells of *C. famata* 的移除效能與 spores of *P. citrinum* 相近。yeast cells of *C. famata* 的 SF 值為 4 種生物氣膠中最高，SF 值 1.01 是由於實驗偏差所致，理論上 SF 值 ≤ 1 。

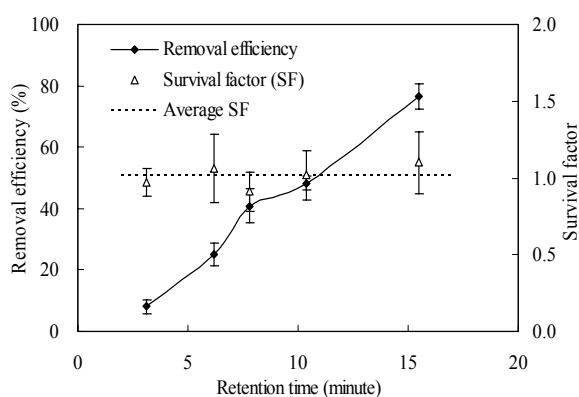


圖 8. Removal efficiency and SF of Bioaerosol, yeast cells of *C. famata*, at various retention time in NAIs reaction chamber

(5) Reaction of NAIs and bioaerosols

本研究之研究結果顯示空氣負離子對生物氣膠之作用機制，主要為空氣負離子致使生物氣膠帶電，進而使得帶有大量負電荷之生物氣膠自氣相中移除，且對 4 種生物氣膠的移除效能為 *B. subtilis* endospores $>$ *E. coli* $>$ spores of *P. citrinum* \approx yeast cells of *C. famata*。Wu and Lee (2003) 的研究指出，空氣負離子對室內懸浮微粒具有良好的去除效能。因此生物氣膠與非生物氣膠一樣，在空氣負離子的作用下具有移除的效能。在空氣負離子對生物氣膠之殺菌效能方面，研究結

果顯示，空氣負離子對生物氣膠的殺菌效能不明顯(反應時間 15.5 分鐘以內)。雖然空氣負離子的主要組成具有反應性之氧陰離子自由基(superoxide, O_2^-)，且具有氧化揮發性有機污染物的能力(Wu and Lee, 2004)。然而空氣負離子面對粒徑約為 $1 \mu\text{m}$ 左右的生物氣膠，其氧化能力並無法在實驗的反應時間之內破壞生物氣膠的繁殖能力。另一方面如果生物氣膠與 NAIs 的反應時間增加，也許具有殺菌效能，然而生物氣膠在長時間下原本就會失去活性，因此長時間的反應實驗則失去意義。

雖然空氣負離子對於生物氣膠不具有有效的殺菌效能，然而空氣負離子對生物氣膠的移除機制，已經足以使空氣負離子控制生物氣膠之技術，具有生物氣膠感染控制的效能。生物氣膠只要能經由空氣負離子之作用而自氣相中移除，便能避免生物氣膠對人體健康的衝擊，並且防治在防疫上不易控制的飛沫傳染。

四、計畫成果自評

本計畫針對空氣負離子與四種生物氣膠之移除作用與殺菌效能，進行深入的研究。研究成果能作為相關控制技術之應用基礎。此研究之成果目前已投稿於 A&WMA 國際研討會(Wu, C.C. et al., Removal and germicidal effects of negative air ions on bioaerosol.)，並準備投稿於相關的 SCI 期刊。

五、參考文獻

- [1] Daniels, S.L., 2002. On the ionization of air for removal of noxious effluvia. IEEE Transactions on Plasma Science 30, 1471-1481.
- [2] Shargawi, J.M., Theaker, E.D., Drucker, D.B., MacFarlane, T., Duxbury, A.J., 1999. Sensitivity of *Candida albicans* to negative air ion streams. Journal of Applied Microbiology 87, 889-897.
- [3] Wu, C.C., Lee, G.W.M., 2003. The temporal aerosol size distribution in indoor environment with negative electric discharge. Journal of Aerosol Science 34 (Suppl. 2), S999-S1000.
- [4] Wu, C.C., Lee, W.M.G., 2004. Oxidation of volatile organic compounds by negative air ions. Atmospheric Environment, 38, 6287-6295.