

應用中性電解次氯酸水噴霧去除溫室作業環境 空氣中生物性污染物

APPLICATION OF NEUTRAL ELECTROLYTIC HYPOCHLOROUS ACID WATER SPRAY TO REMOVE AIR BIOLOGICAL
POLLUTANTS IN GREENHOUSE OPERATING ENVIRONMENT

長榮大學
職業安全與衛生學系

莊 啓 佑
Chi-Yu Chuang

勞動部
勞動及職業安全衛生研究所

洪 柏 宸
Po-Chen Hung

中信金融管理學院
通識教育中心
環境永續研究室

楊 心 豪*
Shinhao Yang

中信金融管理學院
通識教育中心
環境永續研究室

劉 暉 廷
Wei-Ting Liu

中信金融管理學院
通識教育中心
環境永續研究室

徐 櫻 芳
Ying-Fang Hsu

中信金融管理學院
通識教育中心
環境永續研究室

黃 筱 茜
Hsiao-Chien Huang

中信金融管理學院
通識教育中心
環境永續研究室

陳 允 柔
Yun-Jou Chen

摘 要

47

我國的溫室技術已逐漸廣泛應用於如金線蓮等高經濟價值之作物上，然隨其應用程度與範圍提升，潛在危害也應予重視。溫室作為充斥各種生物氣膠發生源之封閉環境，其環境品質令人憂慮。該類空間已被相關研究證實，可能對長期暴露其中的作業人員造成健康危害，亦可能損及內部作物。故對溫室內的抑菌措施即屬值得重視與發展的方向。本研究參酌過往相關研究，以相對降低對人體與作物潛在危害可能之中性電解次氯酸水噴霧技術為核心，檢驗其於實務溫室上的應用成效。過往該中性電解水，已於實驗室內與禽類飼養場等環境中證實其抑菌效果，本研究於此將其應用於植物作物溫室中，檢視其於現地中之效果。

本研究使用電解水噴霧系統生成中性次氯酸水，定比稀釋後以超音波震盪成超細粒徑之微粒後噴出自由有效餘氯 200 mg/L 與 100 mg/L 的中性次氯酸水噴霧，進行溫室內抑菌程序。後續針對溫室內兩點採樣點分別於上午 10 點與下午 4 點進行細菌與真菌生物氣膠採樣檢測。

研究成果發現，在中性電解水噴霧系統作用後，並不會立即去除環境內的生物氣膠，然隨著作用時間拉長、次氯酸分子與生物氣膠充分反映後，即會呈現出顯著之抑菌效用。於約 90 分鐘內的有效作用期間，對細菌與真菌生物氣膠的最大抑菌效用分別為 60 ~ 83 % 與 56 ~ 83 %。證明該中性電解次氯酸水噴霧於植物溫室中之抑菌成效。其中，自由有效餘氯 100 mg/L 的電解水噴霧，其最大抑菌效用確實低於 200 mg/L 者，特別是在針對真菌的作用上。

關鍵詞：溫室作業、生物氣膠、電解水、環境控制。

* 中信金融管理學院通識教育中心環境永續研究室教授

709 臺南市安南區台江大道 3 段 600 號 · shinhaoyang@ntu.edu.tw

APPLICATION OF NEUTRAL ELECTROLYTIC HYPOCHLOROUS ACID WATER SPRAY TO REMOVE AIR BIOLOGICAL POLLUTANTS IN GREENHOUSE OPERATING ENVIRONMENT

Chi-Yu Chuang

Department of
Occupational Safety
and Health,
Department of
Occupational Safety
and Health, Tainan,
Taiwan, ROC

Shinhao Yang*

Environmental
Sustainability Lab,
Center for General
Education, CTBC
Business School,
Tainan, Taiwan, ROC

Ying-Fang Hsu

Environmental
Sustainability Lab,
Center for General
Education, CTBC
Business School,
Tainan, Taiwan, ROC

Hsiao-Chien Huang

Environmental
Sustainability Lab,
Center for General
Education, CTBC
Business School,
Tainan, Taiwan, ROC

Po-Chen Hung

Institute of Labor, Occupational
Safety And Health, Ministry of
Labor, Taipei, Taiwan, ROC

Wei-Ting Liu

Environmental Sustainability
Lab, Center for General
Education, CTBC Business
School, Tainan, Taiwan, ROC

Yun-Jou Chen

Environmental Sustainability
Lab, Center for General
Education, CTBC Business
School, Tainan, Taiwan, ROC

ABSTRACT

48

The greenhouse is widely used to plan some valuable cash crops in Taiwan. Regarding the greenhouse technology have been widely used, we should pay more attention to its potential risk. As a confined space filled with a variety of bioaerosols sources, the environmental quality of the greenhouse should be worried about. Space like a greenhouse has been already proven that may be damage to human health or plant planting inside by some related studies. According to previous studies, this study chose to apply neutral electrolytic hypochlorous acid water as to activate bioaerosols. This technology has been proven useful in laboratories and poultry houses, and this study would estimate its performance in the greenhouse.

This study used the system to generate neutral electrolytic hypochlorous acid water and sprayed them after diluting and vibrating it into aerosols. There were two different concentrations of neutral electrolytic hypochlorous acid water: 200 mg/L and 100 mg/L. The different concentrations made us can compare their performance of inactivating bioaerosols. After spraying neutral electrolytic hypochlorous acid water aerosol, we collected and analyzed the concentration of bacteria and fungi bioaerosol to estimate its performance.

The results show that it won't inactivate bioaerosols immediately. However, it showed a significant antibacterial effect as times go by. In its working period which is about 90 minutes, we found up to about 60 ~ 83 % and 56 ~ 83 % of the antibacterial performance for bacteria and fungi. That indicated neutral electrolytic hypochlorous acid water can be used to inactivate bioaerosols in the greenhouse. Besides that, we did find that the inactivating performance of 100 mg/L is weaker than 200 mg/L, for fungi especially.

Keywords: Greenhouse, Bioaerosols, Electrolyzed water, Environmental control.

Chuang, C.Y., Yang, S.*, Hsu, Y.F., Huang, H.C., Hung, P.C., Liu W.T., & Chen, Y.J. (2023). "Application of Neutral Electrolytic Hypochlorous Acid Water Spray to Remove Air Biological Pollutants in Greenhouse Operating Environment." *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 69(2), 47-55.

[https://doi.org/10.29974/JTAE.202306_69\(2\).0005](https://doi.org/10.29974/JTAE.202306_69(2).0005)

一、前言

溫室多為主要供人為調控部分溫溼度等環境條件之人造建築，常用於栽培對氣候相關生長條件需求相對嚴苛之各類作物。溫室能提供如前述之相關益處，但也因其屬封閉環境，加之內部存有如土壤、水簾、植株、肥料等各類微生物來源，致整體環境中充滿了細菌、真菌及病毒等可做為生物氣膠之因子，最終易形塑充斥生物氣膠之作業環境，而對內部作業人員或作物造成潛在危害。

生物氣膠為空氣中的生物源性懸浮微粒，直徑約在 $0.5 \sim 100 \mu\text{m}$ (Cox and Wathes, 1995)，可能由細菌、真菌、花粉、昆蟲、動植物碎片、微生物代謝產物所構成。其可能對人體產生危害，如感染性疾病 (如肺結核)、過敏性疾病 (如氣喘)、及中毒等 (Jones, 1999)，特別是對於呼吸道與肺部健康的相關影響又更為明顯。

本研究所關注的溫室與其內部作業人員，即屬易因職業需求而暴露於生物氣膠潛在危害的標的族群。當今雖無因溫室內生物氣膠造成感染危害之實際案例，但類似情境造成的呼吸道症狀已受到相當重視。美國職業安全衛生研究所 (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 於 1995 年針對職業衛生之普查中發現，溫室作業人員出現上下呼吸道症狀的比率位居農場工作人員之首 (NIOSH, 1995)。英國於 1997 年針對 335 個花卉與食用作物溫室內 4,108 個勞工調查的結果也發現，該些作業人員暴露於皮膚搔癢、氣喘、過敏性支氣管炎及皮膚炎等症狀風險下 (Illing, 1997)。西班牙於 2002 年針對溫室作業人員的調查同樣發現，溫室作業人員有 30 % 會因作業環境中的各類真菌而發生相關呼吸道過敏症狀，其中更有 20 % 有職業性氣喘的問題 (Monso, *et al.*, 2004)。

綜上所述，於溫室環境工作之勞工，確有暴露於職業性生物氣膠並因此引發各類呼吸道及肺部健康症狀之可能。有鑑於此，本研究以我國精緻農業作物中高經濟價值金線蓮之栽培溫室為目標環境，進行抑菌方法與效用之探討。其中，本研究聚焦在電解水抑菌法上，以弱酸性電解水 (slightly acidic electrolyzed water) 而言，已有相關研究證實其對於環境中數種細菌及生物氣膠之抑菌效用 (Naka, *et al.*, 2020; Ni, *et al.*, 2015; Zheng, *et al.*, 2013)。又該弱酸性電解水之抑菌法，不僅可以溶液之方式進行噴灑抑菌，其透過空氣中噴霧之方式亦可達到同樣的抑菌效果，不

僅不會減弱其抑菌效果，還可能可透過搭配通風或其他方式達到更廣範圍而均勻的抑菌效用 (Kurahashi, *et al.*, 2021)。此外，弱鹼性電解水亦有同樣的抑菌效果，過去於禽類飼養場進行實地環境抑菌試驗的結果中也證實，透過噴灑弱鹼性電解水噴霧於環境中確實能有效降低生物氣膠的濃度 (黃等, 2014)。

最終，本研究以電解水抑菌技術為核心延伸探詢相關抑菌法，最終擇定中性電解水進行溫室現地的抑菌應用，該方法所產生出來次氯酸水 (或噴霧) 不僅具有廣效抑菌、環境友善、與低成本的特點，且以本文擇定透過電解鹽類之生產程序，可享有成本低廉、無須大量貯存原物料、操作簡易、即產即用的效益，更重要的是以本研究標的植物溫室而言，以電解生產次氯酸水之方法更能符合每日大量噴霧施用維持環境品質之需求。過往相關實驗已透過中性電解水進行實驗室內的環境抑菌模擬，均收穫相當成效，證明該技術於空間內抑菌之效果 (Chung, *et al.*, 2013a; Chung, *et al.*, 2013b)。本研究將不同於過去相關研究，主要係於實驗室內設定模擬各類條件後，檢視中性電解次氯酸水的噴霧滅菌技術之抑菌效果，本研究將於實際的金線蓮溫室中進行現地抑菌措施效能探討。

二、研究方法

2.1 目標溫室設施之選定

本研究之目的在於針對溫室現地環境之生物氣膠問題進行改善，實務上我國以溫室進行栽培之作物種類繁多，然其中臺灣金線蓮之栽培特性使其成為本計畫之選定原因。臺灣金線蓮 (*Anoectochilus formosanus* Hayata) 近年被產學界研究發現具各種健康促進功效，隨其作為保健食品之原料之需求提升、產值大幅上漲，國內業者對其之栽種量與產量需求亦水漲船高。其中又以無菌組織培養技術與溫室有機栽培技術進行之人工繁殖法，特具市場潛力。然其需面臨之困境即為遭遇夏季高溫潮濕氣候所致之細菌性及真菌性感染，例如猝倒病、軟腐病、基腐病等。該些問題慮及金線蓮作為藥物或保健食品之原料而須限制相關化學藥劑施用，故傳統上僅能以強化通風、注意清潔等環境管理措施減少相關風險。為此，若能研擬出無毒、無害、且盡可能低成本之溫室空間消毒、抑菌技術，將有利於減少金線蓮遭受微生

物感染之風險，提升栽培品質及產量，進而造福我國金線蓮乃至於與相關高經濟價值之溫室作物的相關產業。

另，本研究選定之目標溫室位處我國南部，以確保其符合臺灣農業核心區域位處熱帶及亞熱帶之情境。

2.2 溫室生物氣膠控制技術

在化學性接觸殺滅微生物之新技術之中，近來以電解水 (Electrolyzed Water) 最受醫學界及食品工業界所重視。此一方式為主要係於水中加入 NaCl 或 KCl 等電解質，再將該水溶液通電進行電解反應，使其產生次氯酸分子 (Hypochlorous Acid)，其具有干擾微生物生理功能進而達到抑制致病原菌之效果。電解生成次氯酸分子之裝置如圖 1。

本研究基於上述之基本原理設計之電解水空氣擴散抑菌設備，同樣透過混和水與鹽類，並加以通電電解生成次氯酸 (HOCl) 成分，而後以高壓噴霧或是超音波震盪，將其轉變為可懸浮於空氣中之超細粒徑微粒，最後協以風扇等通風設備將其散佈於抑菌標之溫室。電解水分子微粒於空氣中遭遇細菌、真菌等致病原即可予以包圍消滅，作用之方式如圖 2 所示。

在電解生成部件上，以 25 cm 的白金版作為電極，白金具有高度導電性與高度的耐用性，能提升整體設備的電解效率與耐用性。白金電極主要之測試電解參數，包含極距及操作電壓等，配合機械加工所得之水體儲存槽，可建構高效率與高濃度之電解水生成程序。另，設備中加入自動加鹽裝置，可全面自動啟動與製備；此外也安裝了定比稀釋器，以將生成高濃度電解水稀釋為適合空間噴霧之濃度直接使

用。空氣噴霧部件則採取超音波震盪生成器，用以將水分子震盪成超細粒徑之微粒，以利噴灑於空氣中，隨室內氣流均勻擴散在於空間中。

本研究在溫室設計之電解水系統運作說明如下，圖 3 為電解噴霧消毒系統示意圖，當控制系統啟動後，抽水馬達開始由飽和鹽水桶中抽取飽和鹽水至電解槽中，至滿水位時開始進行電解；電解槽中

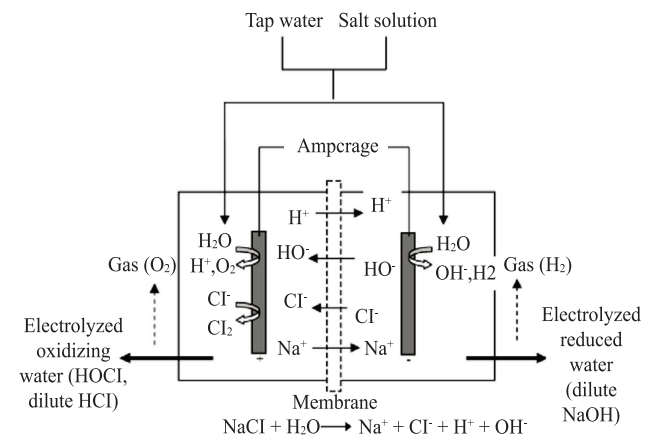


圖 1 電解產生次氯酸分子裝置示意圖 (Huang et al., 2008)

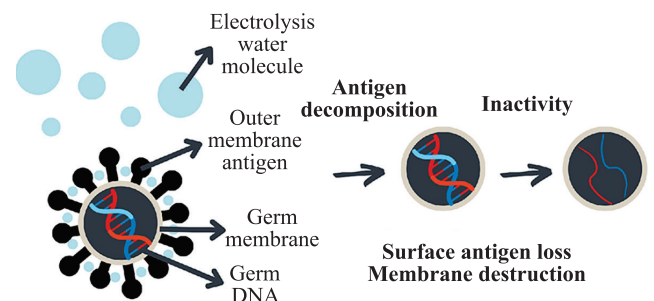


圖 2 電解水空氣噴霧抑菌作用方式

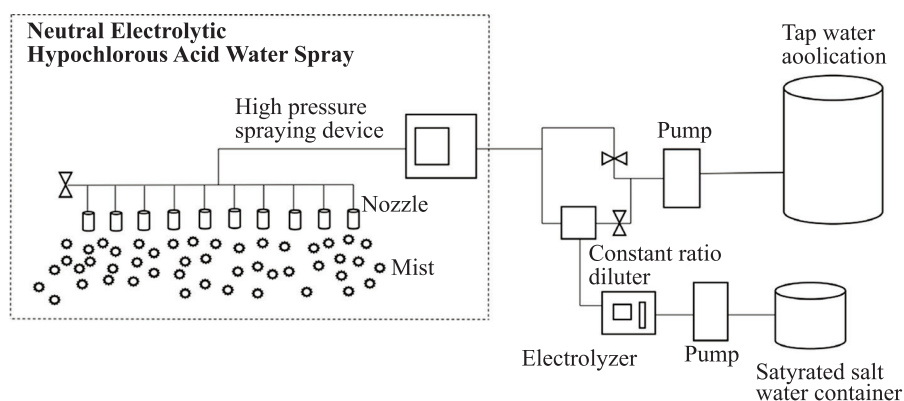


圖 3 溫室無隔膜電解消毒噴霧系統示意圖

設置兩片長 25 公分的白金電極，電極間距為 0.8 公分，以電解電壓為 5 V，電解電流為 13 A；經過 30 分鐘電解後，可得 20,000 mg/L 高濃度自由有效餘氯的無隔膜電解水；電解完成後以手動方式轉動手動閥，另外配合降溫噴霧裝置啟動抽水幫浦由水塔抽水進入定比器；定比器自動由電解槽內抽取高濃度的無隔膜電解水，分別稀釋 100 倍與 200 倍成為自由有效餘氯 200 mg/L 與 100 mg/L 之消毒水各 100 L，由高壓噴霧機，以額定噴霧壓力 70 Kg/cm²，經由各排噴霧消毒管路，以 4 µm 粒徑噴頭進行測試範圍內之噴霧消毒，100 L 的消毒水可在 5 分鐘內噴霧完成。上述之抑菌試驗參數參酌過往相關研究後 (Chung, *et al.*, 2013a; Chung, *et al.*, 2013b)，擬定相對適切之結果，又本研究之焦點在於溫室現地之抑菌成效試驗，非實驗室內不同參數成效之比較，故不另行設定多組試驗參數進行試驗。

2.3 生物氣膠的採樣與分析

本計畫在生物氣膠的採樣係使用活性微生物空氣採樣器 (Quick Take 30r, SKC Inc., USA)，其孔徑為 0.75 mm、具有 400 孔，透過內部馬達運轉抽取空氣進行採樣，於氣流流向變動時空氣中的生物氣膠 (如細菌及真菌等) 即會因慣性而被收集到培養基上。該採樣器於進行採樣前後會進行流量的自我校正，設定流量為 28.3 L/min。而培養基的部分，本計畫使用了 Malt Extract Agar (MEA) 及 Trypticase Soy Agar (TSA) 這兩種，前者廣效性培養基，可供大部份的真菌生長，後者則是用來培養自空氣中收集來的細菌。自採樣器採樣之介質會倒入承裝 27 mL 培養基的直徑 90 mm 可拋棄式塑膠培養皿中。

本研究共設有 2 個採樣點，該 2 點採樣點會於每日上午 10 點與下午 4 點進行共計兩次的採樣。每次採樣結束後，將培養基放入恆溫培養箱中培養，評估真菌濃度之 MEA 會於 25 °C 下培養 5 天，評估細菌濃度之 TSA 則於 30 °C 下培養 48 小時。培養完成後將所有培養基取出，並計數菌落生成數 (Colony Forming Unit, CFU) 以進行抑菌效果之評估。

三、結果與討論

本計畫所選定之金線蓮室內溫室，共有 2 個採樣點，分別為採樣點 A 與採樣點 B。A、B 兩點均為室內採樣點，且亦均設於電解水噴霧系統區域內，然

相異之處為 A 點相對位於溫室中間且相對鄰近抽氣風扇，B 點則距抽氣風扇較遠而較為鄰近水簾 (如圖 4)。以下即是本研究於這兩點進行抑菌測試之成果。

3.1 自由有效餘氯 100 mg/L 之抑菌效用

圖 5 ~ 8 為電解水噴霧系統在自由有效餘氯 100 mg/L 時，於金線蓮溫室採樣點 A 與 B 進行對細菌與真菌類生物氣膠之去除效能圖。整個測試為利用一組採樣設備進行測試，實驗中，分別針對 A、B 兩點進行採樣，第一次測試為早上 10 點，第二次測試則為下午 4 點，採樣點設定為高度 1.0 m，整體測試期間除採樣人員外，大約僅 0 ~ 2 工作人員。

針對細菌的抑菌效果如下。採樣點 A 第一階段之起始細菌生物氣膠濃度約為 968 CFU/m³，開始噴霧 3 分鐘後降至 620 CFU/m³，90 分鐘間後降至 30 %，

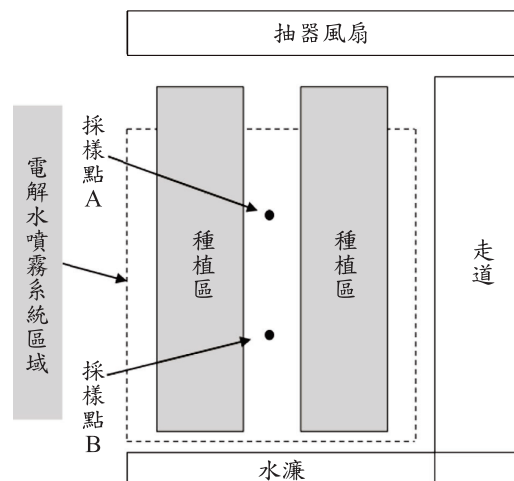


圖 4 金線蓮溫室電解水噴霧系統設置

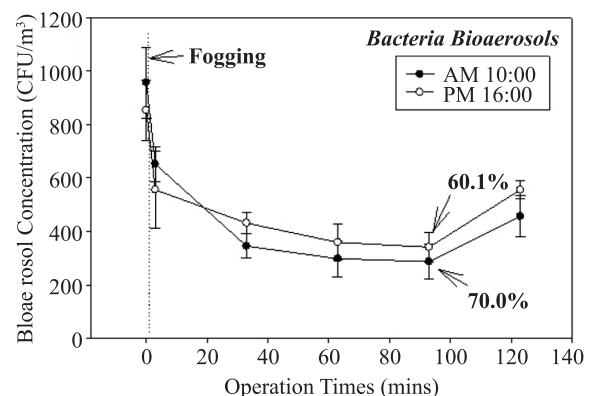


圖 5 採樣點 A 在 100 mg/L 自由有效餘氯電解水中之細菌抑菌效果

120 分鐘後進入上升階段;在第二階段之起始細菌生物氣膠濃度約為 827 CFU/m³, 開始噴霧後 3 分鐘降低至 414 CFU/m³, 90 分鐘間後降至 39 %, 120 分鐘後進入上升階段 (如圖 5)。採樣點 B 第一階段之起始細菌生物氣膠濃度約為 958 CFU/m³, 開始噴霧 3 分鐘後降至 660 CFU/m³, 90 分鐘間後降至 30 %, 120 分鐘後進入上升階段;在第二階段之起始細菌生物氣膠濃度約為 825 CFU/m³, 開始噴霧後 3 分鐘降低至 407 CFU/m³, 90 分鐘間後降至 40 %, 120 分鐘後進入上升階段 (如圖 6)。

針對真菌的抑菌效果如下。採樣點 A 第一階段之起始真菌生物氣膠濃度約為 4620 CFU/m³, 開始噴霧 3 分鐘後降至 2964 CFU/m³, 90 分鐘間後降至 45 %, 120 分鐘後進入上升階段;在第二階段之起始真菌生物氣膠濃度約為 5437 CFU/m³, 開始噴霧後 3 分鐘降低至 3206 CFU/m³, 90 分鐘間後降至 44 %, 120 分鐘後進入上升階段 (如圖 7)。採樣點 B 第一階段之起始真菌生物氣膠濃度約為 5277 CFU/m³,

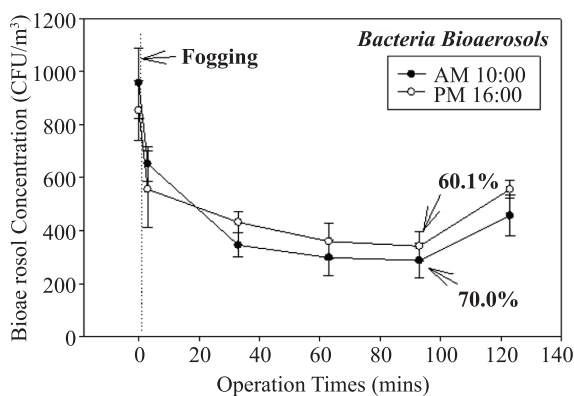


圖 6 採樣點 B 在 100 mg/L 自由有效餘氯電解水中之細菌抑菌效果

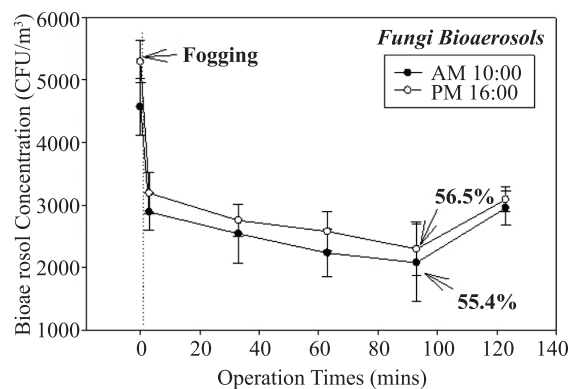


圖 7 採樣點 A 在 100 mg/L 自由有效餘氯電解水中之真菌抑菌效果

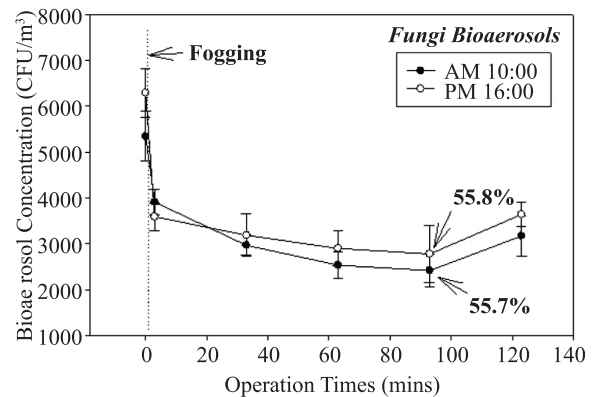


圖 8 採樣點 B 在 100 mg/L 自由有效餘氯電解水中之真菌抑菌效果

開始噴霧 3 分鐘後降至 3918 CFU/m³, 90 分鐘間後降至 44 %, 120 分鐘後進入上升階段;在第二階段之起始真菌生物氣膠濃度約為 6183 CFU/m³, 開始噴霧後 3 分鐘降低至 3569 CFU/m³, 90 分鐘間後降至 44 %, 120 分鐘後進入上升階段 (如圖 8)。

整體而言, 自由有效餘氯 100 mg/L 的電解水噴霧系統在開始噴霧後, 並不會快速地降低環境內的細菌或真菌性生物氣膠濃度, 然隨著時間拉長、電解水內的次氯酸分子與環境中之細菌或真菌生物氣膠充分作用, 平均約在 90 分鐘時達到最大的抑菌效果, 於此之後生物氣膠濃度又會開始慢慢回升。在有效抑菌時間內, 電解水噴霧系統對於溫室內細菌與真菌生物氣膠之抑菌效能約分別介於在 60 % ~ 70 % 與 55 % ~ 57 % 間。由此結果可大致判斷, 自由有效餘氯 100 mg/L 的電解水噴霧對細菌生物氣膠的最大抑菌效用相對優於真菌生物氣膠。

3.2 自由有效餘氯 200 mg/L 之抑菌效用

圖 9 ~ 12 為電解水噴霧系統在自由有效餘氯 200 mg/L 時, 於金線蓮溫室採樣點 A 與 B 進行對細菌與真菌類生物氣膠之去除效能圖。整個測試為利用一組採樣設備進行測試, 實驗中, 分別針對 A、B 兩點進行採樣, 第一次測試為早上 10 點, 第二次測試則為下午 4 點, 採樣點設定為高度 1.0 m, 整體測試期間除採樣人員外, 大約僅 0 ~ 2 工作人員。

針對細菌的抑菌效果如下。樣點 A 第一階段 (早上) 之起始細菌生物氣膠濃度約為 848 CFU/m³, 開始噴霧 3 分鐘後降至 565 CFU/m³, 90 分鐘間後降至 25 %, 120 分鐘後進入上升階段;在第二階段 (下午) 之起始細菌生物氣膠濃度約為 777 CFU/m³, 開

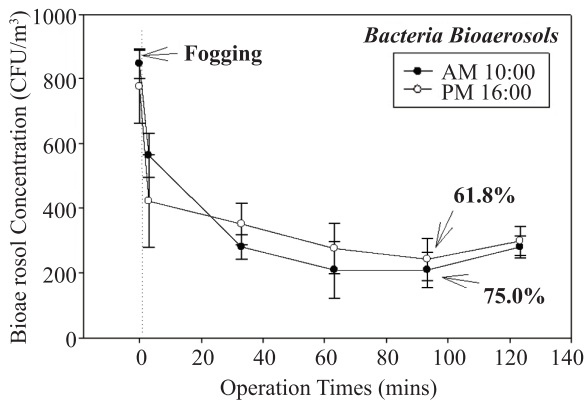


圖 9 採樣點 A 在 200 mg/L 自由有效餘氯電解水中之細菌抑菌效果

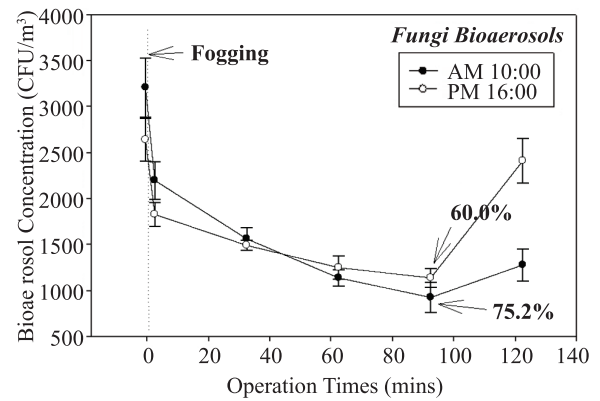


圖 11 採樣點 A 在 200 mg/L 自由有效餘氯電解水中之真菌抑菌效果

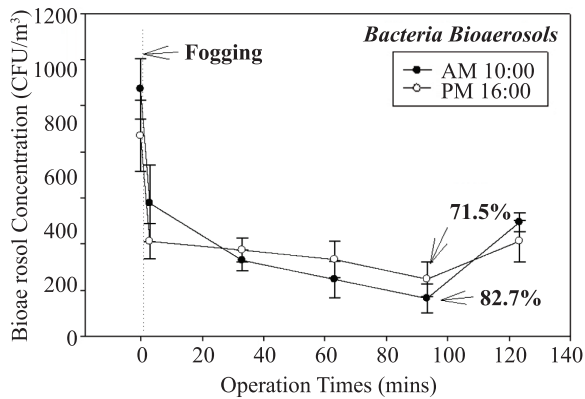


圖 10 採樣點 B 在 200 mg/L 自由有效餘氯電解水中之細菌抑菌效果

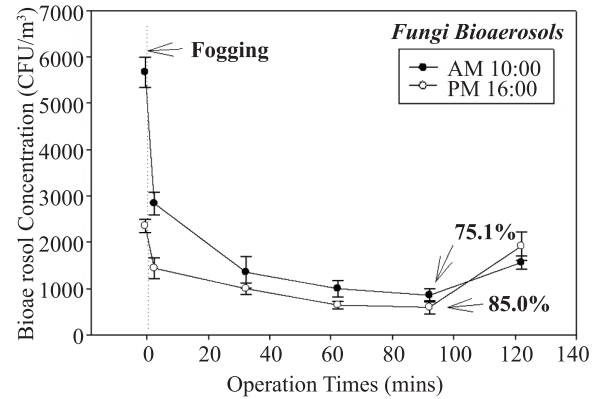


圖 12 採樣點 B 在 200 mg/L 自由有效餘氯電解水中之真菌抑菌效果

始噴霧後 3 分鐘降低至 424 CFU/m³，90 分鐘間後降至 39%，120 分鐘後進入上升階段（如圖 9）。採樣點 B 第一階段之起始細菌生物氣膠濃度約為 918 CFU/m³，開始噴霧 3 分鐘後降至 494 CFU/m³，90 分鐘間後降至 17%，120 分鐘後進入上升階段；在第二階段之起始細菌生物氣膠濃度約為 745 CFU/m³，開始噴霧 3 分鐘降低至 353 CFU/m³，90 分鐘間後降至 29%，120 分鐘後進入上升階段（如圖 10）。

針對真菌的抑菌效果如下。採樣點 A 第一階段之起始真菌生物氣膠濃度約為 3201 CFU/m³，開始噴霧 3 分鐘後降至 2190 CFU/m³，90 分鐘間後降至 28%，120 分鐘後進入上升階段；在第二階段之起始真菌生物氣膠濃度約為 2632 CFU/m³，開始噴霧後 3 分鐘降低至 1821 CFU/m³，90 分鐘間後降至 39%，120 分鐘後進入上升階段（如圖 11）。採樣點 B 第一階段之起始真菌生物氣膠濃度約為 2342 CFU/m³，開始噴霧 3 分鐘後降至 1430 CFU/m³，90 分鐘間後

降至 25%，120 分鐘後進入上升階段；在第二階段之起始真菌生物氣膠濃度約為 5653 CFU/m³，開始噴霧後 3 分鐘降低至 2826 CFU/m³，90 分鐘間後降至 15%，120 分鐘後進入上升階段（如圖 12）。

整體而言，自由有效餘氯 200 mg/L 的電解水噴霧系統在開始噴霧後，同自由有效餘氯較低的 100 mg/L，不會快速地降低環境內的細菌或真菌性生物氣膠濃度，然隨著時間拉長、電解水內的次氯酸分子與環境中之細菌或真菌生物氣膠充分作用，平均約在 90 分鐘時達到最大的抑菌效果，於此之後生物氣膠濃度又會開始慢慢回升。在有效抑菌時間內，電解水噴霧系統對於溫室內細菌與真菌生物氣膠之抑菌效能約分別介於在 62%~83% 與 60%~85% 間。此一結果，與自由有效餘氯 100 mg/L 的電解水結果相比可發現，在 200 mg/L 的情況下電解水對細菌與真菌生物氣膠的最大去除效用並不會具有太大的程度差異。

3.3 不同自由有效餘氯濃度之影響

前述自由有效餘氯 100 mg/L 與 200 mg/L 電解水的抑菌最大效率成果，已能證明電解水噴霧系統在溫室現地中的抑菌效果。然而還是可以初步發現，兩者在細菌或真菌生物氣膠抑菌效果上的差異。

在細菌生物氣膠抑菌效果上，雖然不同濃度的最大抑菌效果中，下限值並無顯著差異，200 mg/L 僅高出 1.7%，但上限值則是明顯高出 12.7%，說明其最大抑菌效果更優。而在真菌生物氣膠抑菌效果上，兩種不同濃度的最大抑菌效果上下限值都有明顯差異，在下限值 200 mg/L 相對高出 4.6%，在上限值更是高出 28.2%，證明其最大抑菌效果同樣更為優異。

綜上所述，雖然 100 mg/L 與 200 mg/L 自由有效餘氯的電解水都具有一定的細菌或真菌生物氣膠抑菌效果，但顯然是後者的效果佳。特別是針對真菌生物氣膠，200 mg/L 者最高可去除環境中 85% 的真菌生物氣膠，但 100 mg/L 僅能達到去除 56.8% 真菌生物氣膠的效果，兩者的落差相當明顯。

四、結論

本研究針對金線蓮溫室於兩點採樣點位進行，自由有效餘氯 100 mg/L 與 200 mg/L 的電解水噴霧對細菌與真菌生物氣膠之抑菌效果。在有效的抑菌時間內（約 90 分鐘），電解水噴霧系統對金線蓮溫室內細菌與真菌生物氣膠之抑菌效能分別落在 60~83% 與 56~83% 之間，之後生物氣膠濃度便會慢慢回升。整體而言，本研究證明電解水噴霧系統在溫室現地中之抑菌成效。又於電解水噴霧系統中自由有效餘氯於 200 mg/L 與 100 mg/L 之間變動之影響上，本研究發現確實前者高濃度自由有效餘氯之抑菌效果明顯較佳，這點與過往之相關研究相符，又其中以真菌的差異更為明顯。未來相關實地應用上，應可考慮環境條件與成本需求等，斟酌使用不同濃度之電解水噴霧進行滅菌。

本研究參酌過往相關研究，成功於種植金線蓮的溫室內完成現地的電解水噴霧系統抑菌效果驗證，然確實仍有部分限制與不足。囿於整體實驗之綜合考量，僅能於單一溫室內進行，且採樣點位之數量仍有可增進之空間，未來若有可能應嘗試增加採樣溫室，與同一溫室內之採樣點。又雖如前言所提，本研究為中性電解次氯酸水應用於植物溫室內之初探，且確實成功證明其去除污染之潛力，然空間中生

物性污染因素較多，如溫濕度、通風換氣、生物品系等，並未於此次研究中加以控制與比較。加之電解次氯酸噴霧之有效氯濃度、粒徑、空間分布、副產物等因素，同樣會影響最大抑菌效能與長期適用性。未來之相關研究，應可針對該些議題因子進行更為深入與完整之調查，可望作為維護植物栽培設施作業環境品質之有效輔助措施。

謝誌

感謝行政院勞動及職業安全衛生研究所提供經費贊助此研究，研究團隊致上最高敬意。

參考文獻

1. Chuang, C.Y., Yang, S., Chang, M.Y., Huang, H.C., Luo, C.H., Hung, P.C., and Fang, W. "Inactivation efficiency to *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* bacterial aerosols of spraying neutral electrolyzed water." *Journal of the Air and Waste Management Association*, 63(12), 1447-1456, 2013.
2. Chuang, C.Y., Yang, S., Huang, H.C., Luo, C.H., Fang, W., Hung, P.C., and Chung, P.R., "Applying the Membrane-less Electrolyzed Water Spraying for Inactivating bioaerosols." *Aerosol and Air Quality Research*, 13, 350-359, 2003.
3. Huang, Y.R., Hung, Y.C., Hsu, S.Y., Huang, Y.W., and Hwang, D.F., "Application of Electrolyzed Water in the Food Microbiology." *Food Control*, 19, 329-45, 2008.
4. Kurahashi, M., Ito, T., Naka, A. "Spatial Disinfection Potential of Slightly Acidic Electrolyzed Water". *Plos one*, 16(7), e0253595, 2021.
5. Naka, A., Yakubo, M., Nakamura, K., & Kurahashi, M. "Effectiveness of Slightly Acidic Electrolyzed Water on Bacteria Reduction: in vitro and Spray Evaluation". *PeerJ*, 8, e8593. 2020.
6. Ni, L., Cao, W., Zheng, W. C., Zhang, Q., & Li, B. M. "Reduction of Microbial Contamination on the Surfaces of Layer Houses Using Slightly Acidic Electrolyzed Water." *Poultry Science*, 94(11), 2838-2848, 2015.
7. Zheng, W., Zhao, Y., Xin, H., Gates, R. S., Li, B.,

- Zhang, Y., & Soupir, M. "Airborne Particulate Matter and Bacteria Reduction from Spraying Slightly Acidic Electrolyzed Water in an Experimental Aviary Laying-Hen Housing System." In 2013 Kansas City, Missouri, July 21-July 24, 2013 (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2013.
8. 黃筱茜、楊心豪、方煒、羅金翔、洪柏宸、莊啟佑，「應用弱鹼性電解水於禽類飼養場中抑菌之研究」，農業工程學報，60(1)，29-41，2014。
9. Cox, C. S., & Wathes, C. M. (Eds.). *Bioaerosols Handbook*. crc press, 1995.
10. Jones, A. P. "Indoor air Quality and Health." *Atmospheric Environment*, 33(28), 4535-4564, 1999.
11. NIOSH. *New Directions in the Surveillance of Hired Farm Worker Health and Occupational Safety*, 1995.
12. Illing, H. P. A. "Is Working in Greenhouses Healthy? Evidence Concerning the Toxic Risks that Might Affect Greenhouse Workers." *Occupational Medicine*, 47(5), 281-293, 1997.
13. Monsó, E., Riu, E., Radon, K., Magarolas, R., Danuser, B., Iversen, M., ... & Nowak, D. "Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Never-smoking Animal Farmers Working Inside Confinement Buildings." *American journal of industrial medicine*, 46(4), 357-362, 2004.

收稿日期：民國 111 年 05 月 10 日

修改日期：民國 112 年 02 月 18 日

接受日期：民國 112 年 04 月 18 日