

應用弱鹼性電解水於禽類飼養場中抑菌之研究

Applying Slightly Alkaline Electrolyzed Water Spraying for Inactivating Bioaerosols in an Poultry House

稻江科技暨管理學院
通識教育中心
助理教授

黃 筱 茜

Hsiao-Chien Huang

稻江科技暨管理學院
通識教育中心
副教授

楊 心 豪*

ShinHao Yang

國立台灣大學
生物產業機電工程學系
教授

方 煒

Wei Fang

弘光科技大學
環境與安全衛生工程系
副教授

羅 金 翔

Chin-Hsiang Luo

行政院勞工委員會
勞工安全衛生研究所
副研究員

洪 柏 宸

Po-Chen Hung

行政院勞工委員會
勞工安全衛生研究所
助理研究員

莊 啟 佑

Chi-Yu Chuang

摘 要

生物性污染透過空氣傳播引致擴散及感染歷來為生技產業環境品質之重大挑戰，如沙門氏桿菌、新型流感、MRSA 等微生物，具高傳染性與危險性致病原更使相關從業人員及設施環境安全屢受威脅。綜觀現有之微生物消毒殺菌技術，能針對整體空氣進行均勻有效淨化，且又無健康副作用者尚未具現，此實為農業環境控制與職業衛生能作為之處。有鑑於此，本研究以禽類(雞)飼養設施為試驗實場，透過整體圍場通風換氣防護概念，研發以弱鹼性電解水生成噴霧為基礎之氣生微生物污染防治技術，並且結合禽舍現場配電管線與水簾等現存之基本環控設備，組合成低成本、高效能之抗菌防疫機電系統。

研究成果顯示，養雞場真菌濃度為 2,261-8,763 CFU/m³，走道之採樣點濃度均高於外緣參考採樣點。而養雞場細菌濃度為 1.02 × 10⁵-2.34 × 10⁵ CFU/m³，所有採樣點之細菌濃度並無顯著差異，細菌濃度等級達 10⁵ CFU/m³。此外，上午與下午二菌種之濃度平均高於中午之採樣濃度。比較真菌與細菌濃度，發現細菌濃度明顯高於真

*通訊作者，稻江科技暨管理學院通識教育中心副教授，61363 嘉義縣朴子市學府路二段 51 號，shinhaoyang@ntu.edu.tw

菌濃度。當啟動電解水噴霧系統後，對於細菌與真菌於 90 分鐘後可達到約 50-70% 之抑菌效能，90 分鐘後對細菌之抑菌能力開始減弱，而對於真菌則是由 120 分鐘後才開始減弱。因此 90 分鐘是實際操作的臨界點，之後可進行第二次的噴灑作業，藉此有效控制環境生物氣膠濃度，以達到保護農牧產業人員相關職業安全衛生及動物防疫之目標。

關鍵詞：禽類飼養場，生物氣膠，電解水，環境控制。

ABSTRACT

Biological pollution, such as Salmonella, the new type of flu, MRSA and other microorganisms, spreading through the air and causing the proliferation and infection has been the major challenge of the environmental quality of the biotech industry. Highly contagious and dangerous pathogens threaten environmental safety of practitioners and facilities. The existing microbial disinfection technology that can provide effective and uniform purification in the air of a space without side effects of health has been not present yet. The fields of controlled environmental agriculture and occupational health can accomplish something for this problem above. According to the overall ventilation protective paddock concept, this study has developed an electromechanical system for anti-bacterial epidemic prevention with low-cost and high-performance. This system includes poultry rearing facilities for the test environment, spray equipment for the electrolysis of water, field drencher distribution pipelines, and other existing environmental control equipments.

The research results show that airborne fungal concentration was 2,261–8,763 CFU/m³ in the layer farm. The sampling concentration on the aisle points was higher than the concentrations of the 19 sampling point on outer edges. Moreover, the fungal concentration of the 19 sampling points was about 10³ CFU/m³.

Furthermore, airborne bacterial concentration was $1.03 \times 10^5 - 2.34 \times 10^5$ CFU/m³ in the layer farms. The bacterial concentration on 19 sampling points was about 10⁵ CFU/m³ without significant difference. The fungal and bacterial concentrations of morning and afternoon samplings were higher than their noon concentrations for the same point.

In comparison of fungal and bacterial concentrations, the bacterial concentration was significantly higher than the fungal concentration. By using the electrolysis system of water to control the concentration of bioaerosols, we found up to about 50-70% of the antibacterial performance for bacterial and fungal bioaerosols in 90 minutes. After 90 (120) minutes, the antibacterial ability of the bacteria (fungi) began to weaken. 90 minutes should be the critical point for actual operations. The second spraying operation can be carried out to take effective control of bioaerosol concentrations for indoor environment and achieve goals of protecting occupational health and safety of workers and animal epidemic prevention in related agriculture and animal husbandry industry.

Keywords: Poultry House, Bioaerosols, Electrolyzed water, Environmental control.

一、前言

生技產業涉及範圍廣泛，農畜禽牧業為其中我國重要之經濟產值及重點扶植之所在，近年來由於新興傳染病、呼吸道疾病、禽流感等問題浮現，更使農牧環境之生物性污染防治管理議題更具研究價值與衛生隱憂。

集約家禽飼養產業因為高經濟附加價值，為國內農產畜牧之大宗。然而集約農業帶來經濟成長之同時，由其生物性污染擴散傳播產生之環境問題應運而生。例如設施環境存在之各類型微生物，包括細菌、真菌及病毒等，藉由人員作業、動物活動、通風、用水等途徑，造成擴散與傳染。農業飼養作業人員因其作業環境因素，特別容易暴露於微生物的環境之中，經由接觸與空氣傳播而感染。

有鑑於此，本研究以電解水噴霧為核心滅菌技術，實際對養雞場舍進行介入性抑菌措施效能探討，針對禽舍設施研發抗菌防疫機電系統，對作業環境空氣中之致病原進行持續性抑制殺菌。

因此，在本研究中，即選取一養雞作業環境作為實際測試環境，首先針對實場環境生物性污染物(細菌生物氣膠與真菌生物氣膠)進行濃度分佈與環境特性調查，待完成後，則利用電解水噴霧實際評估對於養雞作業環境中生物氣膠之抑菌效能。

二、研究背景

2.1 農牧環境生物氣膠污染特性

生技產業涉及廣泛，舉凡醫療保健、農產食品、疫苗製藥、生物材料等均為其範疇。據農委會之畜牧農情調查結果統計顯示，我國至 101 年底為止，蛋雞隻飼養戶數已達 1,703 戶，養隻數為 36,966,000 隻。肉雞飼養戶數則有 4,113 戶，養隻數達 54,632,000 隻，養鴨戶數有 2,925 戶，養隻數達 8,879,000 隻。此等數據顯示家禽畜養產業實為我國經濟之重大產值關鍵。

然而家禽畜養等生技產業相關之生物污染環境問題持續為科學界所關注。邇來最為各界所關注者為 H5N1 新型流感、金黃色葡萄球菌

(*Staphylococcus aureus*)、大腸桿菌 O157:H7、沙門氏桿菌(*Salmonella spp.*)等眾多微生物。此等微生物存在於各類自然及人工環境之中，藉由感染或宿主共存之形式存在已久。近來卻因為抗生素使用與食品處理過程，使醫療院所及家禽畜養之微生物生態產生連結互動。

例如根據相關調查研究指出，許多盛行於家禽、家畜等經濟動物畜養場中之細菌性微生物同時與人類生活與醫療感染、食品衛生有所相關。例如沙門氏桿菌與抗甲氧苯青黴素金黃色葡萄球菌(*Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus*, MRSA)，均是同為食品衛生管制及人畜共通傳染病防治之大敵。此外，與食物傳播、人畜共通之相關之家禽飼養環境疾病尚有如 *Campylobacter sp.*、*Listeria monocytogenes* 與 *Yersinia enterocolitica* 等，均是可能影響人類生活環境品質與健康衛生之微生物。此外，許多相關調查研究指出家禽與家畜飼養設施中之生物性氣膠微粒均有高濃度之情形(如表 1)，而相關農業工作人員因為飼養現地環境暴露於細菌微粒與內毒素(endotoxin)，所造成之慢性阻塞性肺部疾病(COPD)、類氣喘症狀(asthma-like syndrome)乃至於過敏(allergy)等呼吸道疾病盛行率均是居高不下。

2.2 電解水抑菌技術

現行環控農業實務針對空氣中微生物清除消滅方式，主要可利用化學藥劑燻蒸、擦拭、潑灑等方式，亦或是以水霧進行稀釋隔絕。而使用一般化學性消毒方式，如石灰、戊二醛、福馬林及漂白水等消毒藥劑進行燻蒸、擦拭、噴灑，卻有研究指出此類消毒方式可能對於皮膚具有刺激性，過敏反應、同時亦有臭味問題甚至是致癌性問題發生。

在化學性接觸滅殺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。生成方式如圖 1 所示，為透過在水中加入 NaCl 或 KCl 電解質，再將溶液加以通電進行電解反應，使其產生主要作用成分次氯酸分子(Hypochlorous Acid)，次氯酸具有干擾微

表 1 生物氣膠之分佈

地點	生物氣膠種類	濃度 (CFU/m ³)	參考文獻
豬舍	細菌	7.3×10^4	Thorne <i>et al.</i> (1992)
	真菌	1.9×10^3	
雞蛋產生工廠	細菌	1.1×10^5	Venter <i>et al.</i> (2004)
	沙門氏菌	6.6×10^1	
	真菌	6.7×10^1	
	黴菌	7×10^2	
牛舍	嗜熱細菌	4×10^3	Lange <i>et al.</i> (1997)
	嗜中溫細菌	8.1×10^5	
	酵母菌	1.8×10^4	
	黴菌	8×10^3	
豬舍	葡萄球菌	5.6×10^4	Predicala <i>et al.</i> (2002)
	假單胞菌	9.8×10^2	
	桿菌	5.0×10^3	
	李斯特菌	6.3×10^2	
	諾卡耳氏菌	3.3×10^2	
	乳酸桿菌	4.3×10^2	
	青黴菌	4.8×10^2	
	總生物氣膠	6.0×10^4	
豬舍	真菌	1.9×10^2	Cormier <i>et al.</i> (1990)
	總生物氣膠	4.9×10^5	
養雞場	總生物氣膠	4.2×10^5	Clark <i>et al.</i> (1983)
牛舍	總生物氣膠	1.5×10^7	Sonesson <i>et al.</i> (1988)

生物生理功能之作用，進而達到抑制致病原活動之目標。

電解水次氯酸溶液對於微生物控制及除臭能達到有效控制成果。依據培養基臨床測試實驗結果，對於各類型微生物，特別是細菌品系者具有良好抑制效果。此外，次氯酸分子不僅對於培養基型態存在之微生物具有抑制效果，對於其他物質表面與食材表面，亦有相當優良滅菌效果。近來某些針對商售之電解生成次氯酸溶液進行表面滅菌測試，該研究利用旋風噴霧機產生 20-50 μm 粒徑之次氯酸微粒，針對不銹鋼表面與拋光磁磚表面進行抑菌測試。結果顯示針對 MRSA、Norovirus 均有近 99% 之微生物抑制效果 (Clark *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2007)。

另有研究則是將電解產生次氯酸溶液與 E. Coli. O157:H7、S. typhimurium、S. aureus 等食物傳播致病性菌株混合，塗抹於菠菜及萵苣表面及餐廳桌面、水龍頭、鍵盤等表面後，進行直接培養測試，結果顯示對於上述菌株均有近 100% 之殺滅效果 (Koseki *et al.*, 2007; Guentzel *et al.*, 2008)。其他尚有諸多研究亦是針對將電解次氯酸溶液塗抹於肉類、海鮮、植物種子、切割板、手套等各類食品相關表面進行抑菌測試，成效均是可觀 (AL-HAQ *et al.*, 2005)。

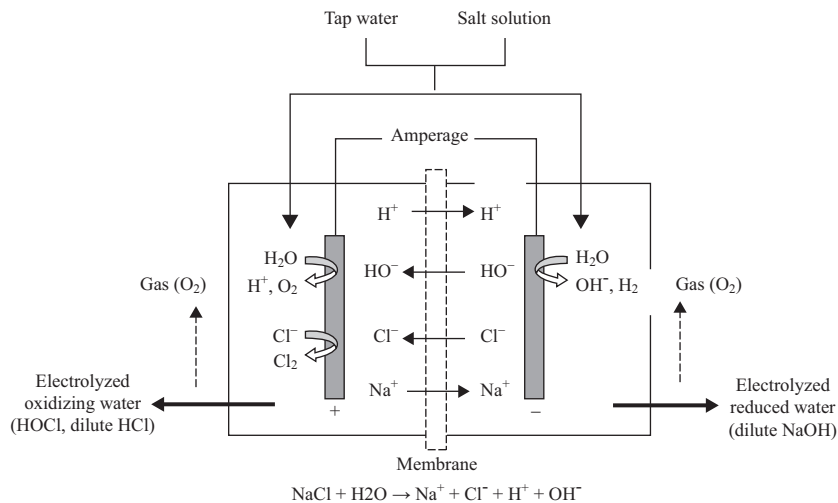


圖 1 電解水次氯酸分子示意圖[8]

由上述諸多測試實驗之結果可以得知，電解生成次氯酸確實具有相當優秀之抑菌能力，同時亦有應用於表面消毒與噴霧抑菌之潛能。過去認為次氯酸溶液所具有之高氧化還原電位(Oxidation-Reduction Potential)可能是其具有殺菌力之主要因素。然而近年來研究指出具有更高ORP之臭氧分子水卻並不具有更強之抑菌能力，而次氯酸水之有效抑菌乃在於因為其自由餘氯(Free Active Chlorine, FAC)所具有之產生氫氧自由基(hydroxyl radical)具有殺菌能力，而在接近pH 4之弱酸性狀態下，次氯酸有最強之抑制微生物能力(Huang *et al.*, 2008)。

應用於農業飼養空間之消毒及滅菌技術首應考慮其無傷害性，更不能使動物或工作人員暴露於風險，方才考慮滅菌消毒效能。電解次氯酸分子溶液產生裝置目前除已經有各類型商售化系統產品以外，次氯酸分子本身亦有已經獲得日本厚生勞動省與美國環保署之許可，批准作為食品添加劑使用，臨床細胞、實驗動物等研究之結果亦顯示其安全無虞(Huang, 2006)。

而其在應用於動物試驗與環境空間之安全證據部分，國內學者將次氯酸水應用於動物畜養場所或動物實驗室的衛生環境控制，利用自由飲用或噴霧方式進行初步研究，結果在培養基落菌採樣測試上顯示有效抑菌效果，並且改善實驗室內常見之環境臭味，而且於實驗期間動物皆正常成長無異常狀況產生。另有研究同樣針對8週大雄性大鼠分為兩組，實驗組自由飲用含有50 ppm (pH 5.8)的次氯酸水，而對照組自由飲用自來水，比較兩組間體重變化，二週後發現兩組體重並無

明顯差異。再以噴霧方式將相同濃度之次氯酸水間歇性噴灑於環境中，比較兩組雄性大鼠體重，結果仍然無相異性(Huang, 2003)。另外在日本方面SANYO電機以類似技術進行噴霧毒性測試，試驗以小鼠作為實驗動物目標，在環控箱內進行實驗。發現噴霧次氯酸FAC濃度為 125 ± 25 mg/L時，實驗動物之生理生化指標與組織解剖也顯示與對照組無變化(鈴木大輔等, 2006)。

此外，電解水次氯酸本身由於其高安全性及生物相容性，亦曾被應用於糖尿病患者外科傷口護理與糖尿病患者之治療中(Bongiovanni, 2006)。過去將次氯酸分子溶液應用於農業設施環境中空氣抑菌之研究過去較少，日本防菌防黴學會發表針對雞蛋使用濃度為 6.4 mg/m³ (pH值5.5-6.5)之次氯酸空氣噴霧進行表面消毒，在1.5小時之測試時間下，可使S.aureus菌株存活率降低至0.2% (Ono *et al.*, 2006)。

三、研究方法

3.1 電解水空氣擴散防疫設備

電解水空氣擴散防疫設備作用原理為透過水加上鹽類，通電進行電解後生成次氯酸(HOCl)成分，而後將電解水分子透過高壓噴霧或是超音波震盪使其成為可懸浮於空氣中之超細粒徑微粒，經由風扇推動後擴散於農牧環境室內空間。電解水殺菌作用之方式如圖2所示，當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。

本研究中所設計之電解水系統本身配合水體儲存槽，並加入自動加鹽裝置，可全面自動啟

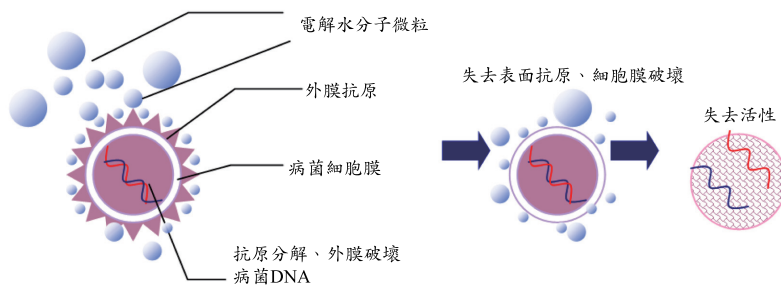


圖 2、電解水噴霧抑菌機制圖

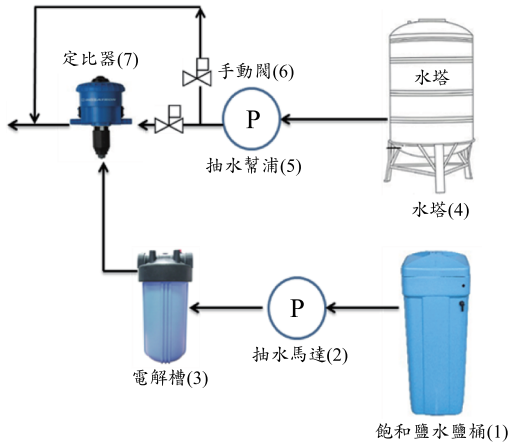


圖 3 電解水製作示意圖

動與製備，同時並安裝定比稀釋器，依據需求消毒濃度稀釋，進行連續稀釋或定體積批次稀釋，供大面積環境噴霧或清洗消毒使用。整體操作步驟如下：(如圖 3)

當製造系統啟動後，抽水馬達(2)開始由飽和鹽水桶(1)中抽取飽和鹽水至電解槽(3)中，至滿水位時開始電解。電解槽中設置兩片長 20 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 高濃度有效氯的無隔膜電解水。電解完成後以手動方式轉動手動閥(6)，另外配合降溫噴霧裝置啟動抽水幫浦(5)由水塔(4)抽水進入定比器(7)。定比器自動由電解槽內抽取高濃度的無隔膜電解水，稀釋 100 倍成為有效氯(FAC) 200 mg/L 之消毒水 100 L。配比完成後則取出至入空氣噴霧器中，進行噴霧。

空氣噴霧設備則選用市售之霧化加濕機(降溫造霧機，Her Tyan Chuen Inc., Taiwan)，以旋轉離心造霧生成霧化微粒，產生的霧粒粒徑平均為 43 μm ，可在 1 分鐘內產生 100 mL 濕水霧，適於迅速隨室內氣流於飼養空間中均勻擴散。

在本研究是於實驗室自行製作之電解水生成系統，在於電解水生成系統之成本上包含相關機電、電極費以及食鹽原料等費用，整體電解水生成系統之設備成本大約為近 3 萬元，若是以操作成本來估算，包含可使用之年限，產生 FAC

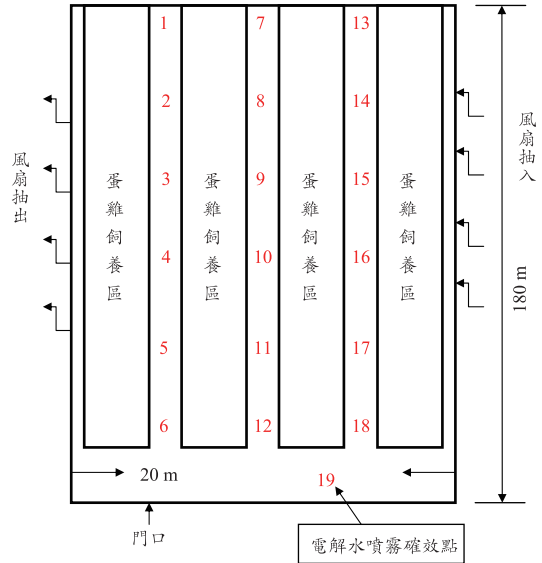


圖 4 養雞場採樣點設定平面圖

為 200 mg/L 之電解水，成本大約是 0.17 元/升，相較於市售相關滅菌劑，本研究採用的電解水系統實為相當經濟之滅菌技術。

3.2 禽舍作業環境

禽舍設施內部之採樣位置，依照我國環保署 NIEA E301.11C「室內空氣中總細菌檢測方法」及 NIEA E401.11C「室內空氣中總真菌數檢測方法」之規範，採樣高度則為距離地面 1.0-1.5 m 高(由於考量禽舍作業人員均為彎腰或直立進行作業，故設定較此高度模擬人體呼吸)，以模擬人類呼吸帶之暴露。採樣位置數目之規劃原則上以每 500-1,000 平方公尺設立一個採樣位置，並且依照禽舍內部勞工作業及污染來源狀況，增加採樣位置。

本次實驗選擇一養雞場，其為一室內飼養場地，換氣率約為 3 (1/hr)，大小約為 180 (m) \times 20 (m)，如圖 4 所示共有三大走道，因此本實驗選擇在三大走道進行生物氣膠採樣，每一走道選擇 6 點(每 30 m 選取一點)進行採樣，共 18 點。另外走道外側之空地也選擇一點進行比對採樣(19 個採樣點均標示於圖 4 中)。在每一點的採樣，均是選擇採樣高度為 1.0 m。每一點採樣進行三重複

實驗，同時亦於早中晚進行三次採樣進行比較。在生物氣膠濃度分佈實驗中，選取全部 19 點進行採樣分析；另在電解水噴霧滅菌實驗中，則是選取走道中一點(採樣點 9)與走道外側點(採樣點 19)進行抑菌效能比較。

3.3 生物氣膠採樣與分析

本實驗在活性細菌與真菌的採樣是利用活性微生物空氣採樣器 (Quick Take 30r, SKC Inc., USA)，此採樣器上有 400 孔，孔徑為 0.75 mm，採樣時以充電電池啟動內置馬達抽取空氣，當氣流轉變方向時，細菌及真菌因慣性被收集到培養基上，採樣流量是 28.3 L/min，採樣前後該機器本身會自行校正其流量，使用之採樣介質為倒入 27 mL 培養基之直徑 90 mm 可拋棄式塑膠培養皿。本研究中採用二種培養基，Malt Extract Agar (MEA)及 Trypticase Soy Agar (TSA)。其中 MEA 為美國工業衛生師協會(American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH)推薦使用的廣效性培養基，可提供大部份的真菌生長，而 TSA 則用以收集培養空氣中之細菌。

每個採樣點進行三次上午(9:00~12:00)、中午(13:00~16:00)及下午(17:00~ 20:00)採樣，除在每個採樣點均附以重複試驗進行。採樣後將培養基放入恆溫培養箱中培養，TSA 於 30°C 下培養 48 小時以評估細菌濃度，而 MEA 則於 25°C 下培養 5 天，以評估真菌濃度。培養後將所有培養基取出計數菌落生成數(Colony Forming Unit, CFU)。

3.4 禽舍作業環境電解水之抑菌測試

為了解電解水噴霧於禽舍作業環境之抑菌效能，本研究於測試之養雞場中選取 2 個點進行抑菌測試，分別是於走道中一點(採樣點 9)與走道外側點(採樣點 19)進行抑菌效能比較。實際測試過程中，分別取用兩台噴霧器至於採樣點 9 與 19 上，整體電解水噴霧系統是以噴灑霧化型態進行，同時過去此一類型噴霧器多是放置於地面進行噴霧，因此本研究也是將電解水噴霧系統放置於地面上噴灑，由於電解水噴霧會增加環境中相對濕度，若連續不間斷持續噴灑，會造成環境溼

度過高，產生液滴凝結之現象，造成地面及禽舍潮濕積水，故無法以連續噴灑方式進行，因此本實驗設定在噴灑 10 分鐘後，不再進行噴灑，然始進行評估電解水抑菌效力之評估，瞭解噴灑過後環境之生物氣膠濃度變化，以建立電解水噴霧之抑菌能力，並以規劃噴霧之噴灑頻率。

3.5 實驗流程

本研究中實驗流程分為兩個部分，一為養雞場生物氣膠分佈特性調查，另一為電解水噴霧於養雞場之抑菌測試，以下分別針對兩個部分之實驗流程進行說明之。

3.5.1 禽舍作業環境生物氣膠濃度分佈之實驗流程

- (1) 於禽舍進行實驗前，均會進行前測，前測生物氣膠採樣時間設定為 30 秒，進以確定微生物在培養皿上之菌落是否會超過正常載負的量。在禽舍的測定均發現在 30 秒的採樣下，細菌菌落數會超過正常載負量，而真菌菌落均不會超出正常的載負量，因此在本研究的設定採樣時間為細菌 10 秒、真菌為 30 秒。
- (2) 禽舍採樣點的設定均依現場大小以及實際需求進行設定，每一走道設定 6 採樣點，共三走道；走道外設定 1 點，故本研究中設定共 19 個採樣點。
- (3) 整體採樣是選用衝擊式(impactor)生物氣膠採樣器 (Biostage with Quick Take 30, SKC Inc., USA)，此型採樣器上有 400 孔，孔徑為 0.25 mm，採樣時以充電電池啟動內置馬達抽取空氣，當氣流轉變方向時，細菌及真菌因慣性被收集到培養基上，採樣流量是 28.3 L/min，採樣前後該機器本身會自行校正其流量，使用之採樣介質為倒入 27 mL 培養基之直徑 90 mm 可拋棄式塑膠培養皿。採樣高度設定為為 1.0 公尺高，以模擬人類呼吸帶之暴露。
- (4) 本計畫採用兩類培養基 Malt Extract Agar (MEA)及 Trypticase Soy Agar (TSA)，可分別進行真菌以及細菌採樣。其中 MEA 為美

國工業衛生師協會(American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH) 推薦使用的廣效性培養基，可提供大部份的真菌生長，而 TSA 則用以收集培養空氣中之細菌。

- (5) 採樣過程同時利用 Q-trak (TSI inc.)量測作業環境之溫度與相對濕度。
- (6) 每個採樣點進行三次早上、中午與下午採樣，在每個採樣點均以重複試驗進行。
- (7) 採樣後將培養基放入恆溫培養箱中培養，TSA 於 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 培養 48 ± 2 小時，使具有足夠生長時間以評估空氣中細菌氣膠之濃度，而 MEA 則 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 培養箱內培養 4 ± 1 天，以評估空氣中真菌氣膠濃度。培養後將所有培養基取出存放於 4°C 冰箱中封存，並由研究人員取出後計數菌落生成數 (Colony Forming Unit, CFU)。

3.5.2 電解水噴霧於禽舍作業環境抑菌能力測試之實驗流程

- (1) 於此一禽舍作業環境中生物氣膠之採樣時間設定為細菌 10 秒以及真菌為 30 秒。
- (2) 電解水噴霧於禽舍之抑菌評效能評估之採樣點，均會依循場內條件不同而設定不同之採樣點，主要依循重點在於生物氣膠濃度較高處或特定点，本計畫設定為採樣點 9 與採樣點 19。本計畫規劃兩次的實場抑菌測試，均是設定於中午時段進行採樣。
- (3) 當製造系統啟動後，電解作用開始進行，系統產生無隔膜電解水，定比器自動由電解槽內抽取高濃度的無隔膜電解水，稀釋 100 倍成為有效氯 200 mg/L 之消毒水 100 L。配比完成後則取出至入空氣噴霧器中，進行噴霧，噴霧過程為 10 分鐘。
- (4) 待噴霧完成後，開始進行第一次採樣，然後每 30 分鐘再進行一次採樣，共進行 150-180 分鐘採樣，進以評電解水噴霧之抑菌效能可維持多少時間。
- (5) 整體採樣是選用衝擊式(impactor)生物氣膠採樣器 (Biostage with Quick Take 30, SKC Inc., USA)，此型採樣器上有 400 孔，孔徑

為 0.25 mm，採樣時以充電電池啟動內置馬達抽取空氣，當氣流轉變方向時，細菌及真菌因慣性被收集到培養基上，採樣流量是 28.3 L/min，採樣前後該機器本身會自行校正其流量，使用之採樣介質為倒入 27 mL 培養基之直徑 90 mm 可拋棄式塑膠培養皿。採樣高度設定為為 1.0 公尺高，以模擬人類呼吸帶之暴露。抑菌採樣為距電解水噴霧系統 1.0 m 處進行採樣。

- (6) 本計畫採用兩類培養基 Malt Extract Agar (MEA)及 Trypticase Soy Agar (TSA)，可分別進行真菌以及細菌採樣。其中 MEA 為美國工業衛生師協會(American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH) 推薦使用的廣效性培養基，可提供大部份的真菌生長，而 TSA 則用以收集培養空氣中之細菌。
- (7) 採樣過程同時利用 Q-trak (TSI inc.)量測作業環境之溫度與相對濕度。
- (8) 採樣後將培養基放入恆溫培養箱中培養，TSA 於 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 培養 48 ± 2 小時，使具有足夠生長時間以評估空氣中細菌氣膠之濃度，而 MEA 則 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 培養箱內培養 4 ± 1 天，以評估空氣中真菌氣膠濃度。培養後將所有培養基取出存放於 4°C 冰箱中封存，並由研究人員取出後計數菌落生成數 (Colony Forming Unit, CFU)。

四、結果與討論

4.1 禽舍作業環境生物氣膠分佈特性

表 2 即是養雞場作業環境針對 19 個採樣點真菌類生物氣膠濃度分佈與作業環境溫度、濕度之統計表。整體採樣環境之環境特性為，上午相對濕度 55%及溫度 15°C ；中午相對濕度 56%及溫度 16°C ；下午相對濕度 57%及溫度 14°C 。結果顯示在養雞場走道之 18 個採樣點之真菌生物氣膠濃度在 2,261-8,763 CFU/m³，在走道外緣之採樣點 19 之真菌生物氣膠濃度在 1312-2114 CFU/m³ 間。觀察整體數據，走道真菌生物氣膠濃度是高於外緣真菌生物氣膠濃度，而中午時段

表 2 禽舍環境空氣中之真菌濃度

採樣點	上午	中午	下午
	平均菌落數 (CFU/m ³)	平均菌落數 (CFU/m ³)	平均菌落數 (CFU/m ³)
	RH 55%, Temp 15 °C	RH 56%, Temp 16°C	RH 57%, Temp 14°C
1	4,688	3,463	5,371
2	5,230	3,675	6,360
3	3,958	3,199	7,208
4	3,887	3,540	4,735
5	3,392	3,110	4,876
6	3,816	2,827	5,145
7	4,170	3,110	3,958
8	3,110	2,544	3,110
9	4,240	2,615	5,583
10	3,675	2,261	6,926
11	3,821	2,403	8,763
12	4,382	2,898	5,159
13	4,170	2,898	4,240
14	3,958	2,625	4,664
15	3,392	2,824	3,615
16	3,746	2,654	6,542
17	3,543	2,432	4,531
18	4,567	3,154	5,323
19	1,542	1,312	2,114

表 3 禽舍環境空氣中之細菌濃度

採樣點	上午	中午	下午
	平均菌落數 (CFU/m ³)	平均菌落數 (CFU/m ³)	平均菌落數 (CFU/m ³)
	RH 55%, Temp 15 °C	RH 56%, Temp 16°C	RH 57%, Temp 14°C
1	1.87 × 10 ⁵	1.23 × 10 ⁵	1.89 × 10 ⁵
2	1.43 × 10 ⁵	1.10 × 10 ⁵	1.69 × 10 ⁵
3	1.23 × 10 ⁵	1.01 × 10 ⁵	2.34 × 10 ⁵
4	1.61 × 10 ⁵	1.10 × 10 ⁵	1.76 × 10 ⁵
5	1.54 × 10 ⁵	1.09 × 10 ⁵	1.58 × 10 ⁵
6	1.43 × 10 ⁵	1.12 × 10 ⁵	1.78 × 10 ⁵
7	1.32 × 10 ⁵	1.03 × 10 ⁵	1.67 × 10 ⁵
8	1.45 × 10 ⁵	1.23 × 10 ⁵	1.89 × 10 ⁵
9	1.37 × 10 ⁵	1.43 × 10 ⁵	1.66 × 10 ⁵
10	1.42 × 10 ⁵	1.11 × 10 ⁵	1.77 × 10 ⁵
11	1.54 × 10 ⁵	1.15 × 10 ⁵	1.64 × 10 ⁵
12	1.43 × 10 ⁵	1.26 × 10 ⁵	1.55 × 10 ⁵
13	1.52 × 10 ⁵	1.21 × 10 ⁵	1.78 × 10 ⁵
14	1.15 × 10 ⁵	1.02 × 10 ⁵	1.54 × 10 ⁵
15	1.66 × 10 ⁵	1.08 × 10 ⁵	1.69 × 10 ⁵
16	1.32 × 10 ⁵	1.11 × 10 ⁵	1.78 × 10 ⁵
17	1.43 × 10 ⁵	1.17 × 10 ⁵	1.65 × 10 ⁵
18	1.55 × 10 ⁵	1.06 × 10 ⁵	1.89 × 10 ⁵
19	1.14 × 10 ⁵	1.03 × 10 ⁵	1.66 × 10 ⁵

真菌濃度顯著低於其他兩個時段(p < 0.05)。而在走道內不同採樣點之採樣結果並無顯著差異(p > 0.05)。

表 3 即是養雞作業環境針對 19 個採樣點細菌類生物氣膠濃度分佈與作業環境溫度、濕度之統計表，結果顯示在養雞場走道之 18 個採樣點之細菌生物氣膠濃度在 1.02×10^5 - 2.34×10^5 CFU/m³，在走道外緣之採樣點 19 之細菌生物氣膠濃度在 1.03×10^5 - 1.66×10^5 CFU/m³ 間。觀察整體數據，均與真菌生物氣膠濃度分佈有一致的現象，走道細菌生物氣膠濃度是高於外緣真菌生物氣膠濃度，而中午時段真菌濃度顯著低於其他兩個時段(p < 0.05)。而在走道內不同採樣點之採樣結果並無顯著差異(p > 0.05)。另比較真菌與細菌之採樣結果，可以發現細菌生物氣膠濃度是高於真菌之生物氣膠濃度的(p < 0.05)。主要原因在於養雞場作業環境中糞便累積而造成之現象。此

與文獻於養雞場作業環境之生物氣膠濃度特性是相符的。整體觀察，可以發現養雞場作業環境之生物氣膠濃度相當之高，在換氣率為 3 (1/hr) 之情形下，細菌生物氣膠濃度仍可達到 10⁵ CFU/m³ 等級。

4.2 電解水系統抑菌效率

整體電解水噴霧抑菌實驗中，電解水噴霧設備是放置於地面，噴霧 10 分鐘後即不再噴霧，進以評估電解水之抗菌效力能維持多少時間，另採樣點則是為高度 1.0 m，距電解水設備 1.0 m 處。整體細菌生物氣膠測試結果說明如下，養雞作業環境於採樣期間工作人員為 0-1 人，給飼方式為機械式定時下料給飼，給飼頻率 1 日 3 次。

圖 5 與圖 6 為電解水噴霧系統於養雞場作業環境採樣點 19 與 9 進行對細菌類生物氣膠之去除效能圖(第一次與第二次)，整個測試為利用一

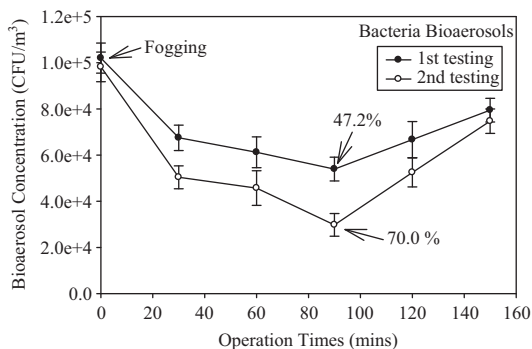


圖 5 電解水系統於禽舍走道外緣對細菌生物氣膠之抑制效能(採樣點 19)

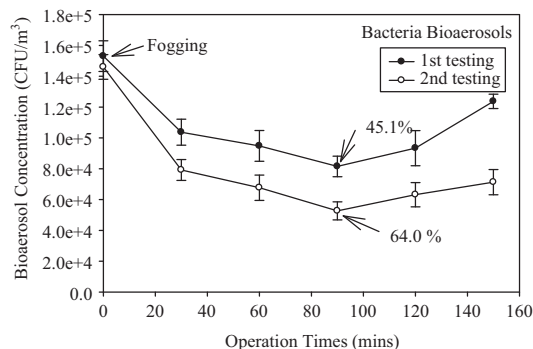


圖 6 電解水系統於禽舍走道對細菌生物氣膠之抑制效能(採樣點 9)

組採樣設備進行測試，實驗中，分別於點 19 與 9 進行採樣，兩次採樣樣均是設定在中午 14:00 開始採樣，採樣點則是設定為高度 1.0 m，整體測試期間除採樣人員外，大約僅 0-1 工作人員。

整體細菌生物氣膠測試結果說明如下，在第一次採樣時，於採樣點 19 之測試結果顯示，起始細菌生物氣膠濃度約為 1.02×10^5 CFU/m³，在開始噴霧後 30 分鐘，生物氣膠濃度亦降低至 6.7×10^4 CFU/m³，至 90 分鐘間後，生物氣膠濃度降至 5.4×10^4 CFU/m³ (去除效能達 47.2%)，120 分鐘後，此時生物氣膠濃度開始上升。在第二次測試部分也出現同樣情形，起始細菌生物氣膠濃度約為 9.8×10^4 CFU/m³，在開始噴霧後 30 分鐘，生物氣膠濃度亦降低至 5.0×10^4 CFU/m³，至 90 分鐘間後，生物氣膠濃度降至 70.0%，120 分鐘後，此時生物氣膠濃度開始上升。

採樣點 9 之測試結果顯示，起始細菌生物氣膠濃度約為 1.5×10^5 CFU/m³，在開始噴霧後 30 分鐘，生物氣膠濃度亦降低至 1.0×10^5 CFU/m³，至 90 分鐘間後，生物氣膠濃度降至 8.1×10^4 CFU/m³ (去除效能達 45.1%)，120 分鐘後，此時生物氣膠濃度開始上升。在第二次測試部分也出現同樣情形，起始細菌生物氣膠濃度約為 1.5×10^5 CFU/m³，在開始噴霧後 30 分鐘，生物氣膠濃度亦降低至 7.9×10^4 CFU/m³，至 90 分鐘間後，生物氣膠濃度降至 64%，120 分鐘後，此時生物氣膠濃度開始上升。

整體而言，電解水噴霧系統在開始噴霧後，對於環境內之細菌生物氣膠之去除作用並不快速，然隨著時間延伸，電解水噴霧開始與細菌生物氣膠開始作用，平均的有效作用時間大約在 90 分鐘，之後細菌生物氣膠之濃度即開始上升，而在有效抑菌時間內，電解水噴霧系統對於養雞場內細菌生物氣膠之抑菌效能大約 45%-70% 間。

比較第一次與第二次電解水對於養雞場內細菌之控制效能，第二次的效能明顯比較一次來的好，進一步考慮現場相關條件，發現環境條件均是類似的，因此環境變因的影響應是不大的，較有可能的原因在於第一次實驗時，作業環境中之電解水系統是剛裝設，因此在於系統上的活化尚不完備，產生之電解水可能並未達到目標值，因此造成第一次的去除效能較差。

圖 7 與圖 8 為電解水噴霧系統於養雞場作業環境採樣點 19 與 9 進行對真菌類生物氣膠之去除效能圖(第一次與第二次)，整個測試為利用一組採樣設備進行測試，實驗中，分別於點 19 與 9 進行採樣，兩次採樣樣均是設定在中午 14:00 開始採樣，採樣點則是設定為高度 1.0 m，整體測試期間除採樣人員外，大約僅 0-1 工作人員。

整體真菌生物氣膠測試結果說明如下，在第一次採樣時，於採樣點 19 之測試結果顯示，起始真菌生物氣膠濃度約為 2,154 CFU/m³，在開始噴霧後 30 分鐘，生物氣膠濃度亦降低至 1338 CFU/m³，至 120 分鐘間後，生物氣膠濃度降至

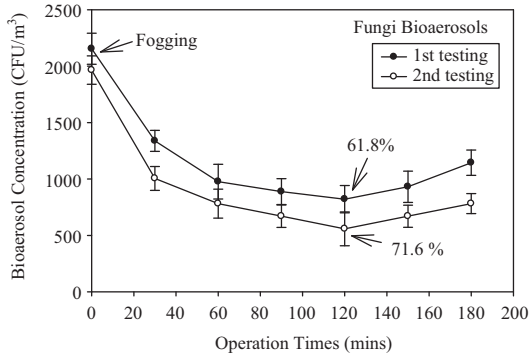


圖 7 電解水系統於禽舍內對真菌類生物氣膠之抑制效能(採樣點 19)

821 CFU/m³ (去除效能達 61.8%)，150 分鐘後，此時生物氣膠濃度開始上升。在第二次測試部分也出現同樣情形，起始真菌生物氣膠濃度約為 1965 CFU/m³，在開始噴霧後 30 分鐘，生物氣膠濃度亦降低至 1004 CFU/m³，至 120 分鐘間後，生物氣膠濃度降至 71.6%，150 分鐘後，此時生物氣膠濃度開始上升。

採樣點 9 之測試結果顯示，起始真菌生物氣膠濃度約為 5120 CFU/m³，在開始噴霧後 30 分鐘，生物氣膠濃度亦降低至 3350 CFU/m³，至 120 分鐘間後，生物氣膠濃度降至 2156 CFU/m³ (去除效能達 57.9%)，150 分鐘後，此時生物氣膠濃度開始上升。在第二次測試部分也出現同樣情形，起始真菌生物氣膠濃度約為 4563 CFU/m³，在開始噴霧後 30 分鐘，生物氣膠濃度亦降低至 2702 CFU/m³，至 120 分鐘間後，生物氣膠濃度降至 66.8%，150 分鐘後，此時生物氣膠濃度開始上升。

整體而言，電解水噴霧系統在開始噴霧後，如同對於細菌生物氣膠之去除特性，對於環境內之真菌生物氣膠之去除作用並不快速，然隨著時間延伸，電解水噴霧開始與真菌生物氣膠開始作用，平均的有效作用時間大約在 120 分鐘，之後真菌生物氣膠之濃度即開始上升，而在有效抑菌時間內，電解水噴霧系統對於溫室內真菌生物氣膠之抑菌效能大約在 58%~72% 間。

如同細菌的測試結果，比較第一次與第二次電解水對於溫室內真菌之控制效能，第二次的效

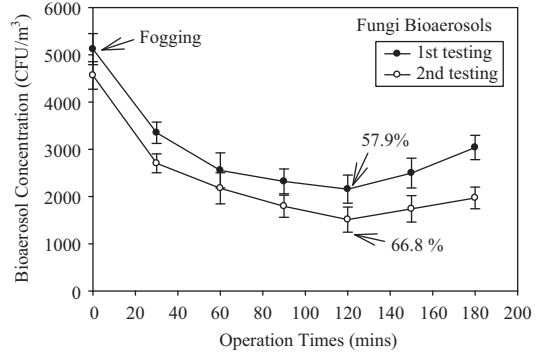


圖 8 電解水系統於禽舍內對真菌類生物氣膠之抑制效能(採樣點 9)

能明顯比較一次來的好，進一步考慮現場相關條件，發現環境條件均是類似的，因次環境變因的影響應是不大的，較有可能的原因在於第一次實驗時，作業環境中之電解水系統是剛裝設，因此在於系統上的活化尚不完備，產生之電解水可能並未達到目標值，因此造成第一次的去除效能較差。

進一步釐清電解水的滅菌效能，由實驗結果來看電解水噴霧系統在禽舍生物氣膠的控制上，是具有明顯的控制效能，而在學理上，分成兩個部分來探討，其一是單純的電解水滅菌，而在過去的研究顯示(Chuang *et al.*, 2013)，在相關暴露艙的研究，均顯示電解水噴霧對於生物氣膠的去除效能是明顯的，因此電解水的滅菌能力是被證實的；其二，是否是由於噴霧顆粒與生物氣膠相混合，造成顆粒變大進而沉降。不過根據過去研究(陳林祈等，2008)，使用純水進行噴霧時，環境中微生物量不會減少反而有增加的趨勢。因此我們可以確認整體電解水噴霧對於生物氣膠的去除效能，是純粹的電解水與微生物作用，微生物被去活性，而達到滅菌的效果。

另一部份，以通風換氣的角度來評估電解水噴霧對微生物的作用，以細菌生物氣膠數據進行說明，在本研究中雞舍中細菌生物氣膠濃度大約為 10⁵ CFU/m³ 數量級附近，而舍外大氣中細菌氣膠濃度大約為 2.5 × 10³ CFU/m³ 層級，若是以雞舍換氣率 3 (1/hr) 進行置換，理論上舍內細菌氣膠

濃度應會迅速降低至與大氣濃度接近之 10^3 CFU/m³ 附近，但於背景採樣過程中可發現，舍內細菌氣膠濃度在各個時段均位於 10^5 CFU/m³ 層級，故可推論雞舍內確實存在細菌氣膠之污染源，例如雞舍地面上各類生物性髒污如羽毛、砂塵、糞便、尿液與飼料殘餘，均可能是細菌氣膠產生來源，且通風換氣並無法有效置換及移除污染，造成細菌氣膠濃度仍是如此的高。

而本研究中利用電解水噴霧菌除了可以在噴霧起始時對於空氣中生物氣膠進行消毒外，電解水噴霧液滴沉降地面也會對於雞舍地面的生物氣膠污染源產生抑菌效果，因此能夠達到整體雞舍之環境清淨效果。綜和上述，可推論在此雞舍實場之抑菌效能測試中，主要仍是以電解水噴霧發揮有效抑菌之效果，而非通風換氣之置換作用。

五、結 論

室內封閉型禽舍環境，在換氣率高達 3(1/hr) 之情形下，細菌生物氣膠濃度仍達到 10^5 CFU/m³，屬於極高生物氣膠環境。比較真菌與細菌濃度，可以發現細菌濃度明顯高於真菌濃度。

電解水系統對於細菌與真菌生物氣膠於 90 分鐘可達到約 50-70% 之抑菌效能，對細菌生物氣膠之抑菌能力由 90 分鐘後開始減弱，而對於真菌生物氣膠則是由 120 分鐘後才開始減弱。因此在實際操作時 90 分鐘應為臨界點，可以進行第 2 次的噴灑作業，進以有效抑制生物氣膠。

謝 誌

感謝行政院勞工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. AL-HAQ M I, Sugiyama, J., and Isobe, S., Application of Electrolyzed Water in Agriculture and Food Industries. Food Science and Technology, 11(2), 135-50, 2005.
2. Bongiovanni, C.M., Superoxidized Water Improves Wound Care Outcomes in Diabetic Patients. Diabetic Microvascular Complications Today. 2006.
3. 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.
4. Clark, J., Barrett, S.P., and Stapleton, R., Efficiency of super-oxidized Water Fogging in Environmental Decontamination. Journal of Hospital Infection, 64, 386-90, 2006.
5. Clark, J., Barrett, S.P., Stapleton, R., Efficiency of super-oxidized Water Fogging in Environmental Decontamination. Journal of Hospital Infection, 64, 386-90, 2006.
6. Cormier, Y., Tremblay, G., Meriaux, A., Brochu, G., and Lavoie, J., Airborne microbial contents in two types of swine confinement buildings in Quebec. American Industrial Hygiene Association Journal, 51, 304-309, 1990.
7. Guentzel, J.L., Lam, K.L., Callam, M.A., Emmons, S.A., and Dunham, V.L., Reduction of Bacteria on Spinach, Lettuce, and Surface in Food Service Areas using Neutral Electrolyzed Oxidizing water. Food Microbiology, 25, 36-41, 2008.
8. Huang, K.J., The inhalation study of Weak Acid Hypochlorous Solution in rat. Laboratory Animal and Environment, 11(1), 2003.
9. Huang, K.J., Weak Acid Hypochlorous Solution used for Hygienic Control in the Laboratory Animals Facilities and the Poultry Farms. The 53rd Annual Meeting of the Japanese Association for Laboratory Animal Science Luncheon Seminar 2006.
10. 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.

11. 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.
12. Koseki, S., and Isobe, S., Microbial Control of Fresh Produce using Electrolyzes Water. 國際農林水產產業研究センター, Japan Agricultural Research Quarterly, 41(4), 273-82, 2007.
13. Lange, J.L., Throne, P.S., and Lynch, N., Application of Flow Cytometry and Fluorescent in Situ Hybridization for Assessment of Exposure to Airborne Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(4), 1557-1563, 1997.
14. Ono, T., Miyake, M., and Yamashita, K., Studies on the Disinfection of Hatching Eggs by Spraying Weak Acid Hypochlorous Water Mist. *Journal of Antibacterial and Antifungal Agents*, 34(8), 465-469, 2006.
15. Park, G.W., Boston, D.M., Kase, J.A., Sampson, M.N., and Sobsey, M.D., Evaluation of Liquid-and fog-Based Application of Sterilox Hypochlorous Acid Solution for Surface Inactivation of Human Norovirus. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(14), 4463-68, 2007.
16. Predicala, B.Z., Urban, J.E., Maghirang, R.G., Jerez, S.B., and Goodband, R.D., Assessment of Bioaerosols in Swine Barns by Filtration and Impaction. *Current Microbiology*, 44(2), 136-140, 2002.
17. Sonesson, A., Larsson, L., Fox, A., Westerdahl, G., and Odham, G., Determination of environmental levels of peptidoglycan and lipopolysaccharide using gas chromatography-mass spectrometry utilizing bacterial amino acids and hydroxy fatty acids as biomarkers. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 431, 1-15, 1988.
18. Thorne, P.S., Kiekhaefer, M.S., Whitten, P., and Donham, K.J., Comparison of bioaerosol sampling methods in barns housing swine. *Applied and Environmental Microbiology*, 58, 2543-2551, 1992.
19. Venter, P., Lues, J.F., and Theron H. Quantification of Bioaerosols in Automated Chicken Egg Production Plants. *Poultry Science*, 83, 1226-1231, 2004.
20. 陳林祈、方煒、張明毅，無隔膜電解水在人畜共通疾病上防疫滅菌之應用研究，行政院農業委員會，台北市，2008。
21. 鈴木大輔、吉田茂樹、森好弘、山本哲也，霧狀電解水を用いた空気浄化技術。SANYO TECHNICAL REVIEW Vol. 37, No. 2, 2006.

收稿日期：民國 102 年 3 月 14 日
 修正日期：民國 102 年 7 月 25 日
 接受日期：民國 102 年 8 月 5 日