

電解水的水質與抑菌能力之研究

Water quality and antimicrobial effects of
electrolytic water

研究生：陳維妮 (Wei-Ni Chen)

指導教授：陳美蓮 (Mei- Lien Chen)

毛義方 (I- Fang Mao)

國立陽明大學

環境衛生研究所

碩士論文

National Yang-Ming University

Institute of Environmental Health Sciences

Master Thesis

中華民國九十年一月

目 錄

目 錄	.....I
表 目 錄	.....III
圖 目 錄	.....IV
摘 要	.....V
Abstract	.....VI
第一章 前言	.....1
第一節 研究動機	.....1
第二節 研究目的	.....3
第二章 文獻回顧	.....4
第一節 水質的安全衛生	.....4
第二節 家用淨水設備之種類及淨水方式之比較	.....4
第三節 電解水的生成原理	.....7
第四節 飲水與健康	.....8
第五節 電解水之消毒能力	.....12
第三章 材料與方法	.....15
第一節 材料	.....15
第二節 實驗方法	.....23
第三節 數據分析	.....32
第四章 結果	.....33
第一節 電解水的水質特性	.....33
第二節 不同原水對電解水水質的影響	.....36
第三節 電解陽極水之抑菌能力	.....39
第五章 討論	.....41
第一節 電解水生成器改變水質之作用	.....41
第二節 鹼性水之適飲性	.....42
第三節 添加乳酸鈣的效果	.....42
第四節 原水水質對電解水之影響	.....43

第五節	電解陽極水的消毒能力	.....	45
第六節	電解水的其他功能	.....	46
第六章	結論	.....	47
參考文獻		.....	48
表、圖		.....	53
附件一	本實驗電解水生成器之規格	.....	73

表目錄

表 1	電解水生成器所生成之各種水質特性	25
表 2	軟水電解後電解水之水質	54
表 3	中等硬水電解後電解水之水質	55
表 4	添加 1 顆乳酸鈣與否之電解水水質	56
表 5	添加 3 顆乳酸鈣與否之電解水水質	57
表 6	電解水之鈣及鎂離子含量	58
表 7	不同性質原水電解後各段陰極水的硬度、鈣及鎂比較 ...	59
表 8	不同 pH 值原水電解後之 pH 值	60
表 9	不同導電度原水電解後之導電度	61
表 10	去離子水電解後的水質	62
表 11	不同硬度原水電解後之硬度	63
表 12	含不同餘氯量之原水電解後之餘氯量	64
表 13	不同生菌數的原水電解後之生菌數	65
表 14	電解水的抑菌能力之比較	66
表 15	陽極水對 E. coli 的抑菌能力分析	67
表 16	陽極水對 B. subtilis 的抑菌能力分析	68

圖 目 錄

圖 1	電解水生成過程.....	69
圖 2	彎弓塗抹玻棒	69
圖 3	電解水在室溫下 pH 值隨時間的變化.....	70
圖 4	電解水在 4 保存下 pH 值隨時間的變化.....	71
圖 5	鹼性水對一般生菌的抑制情形	72
圖 6	鹼性水對大腸桿菌的抑制情形	72

摘 要

電解水生成器在台灣的銷售量越來越大，其生成水的安全衛生是很重要的課題。電解水生成器包含陽極、陰極及各自的電解槽。入流水分別流入分隔的電解槽，電解後在陰極產生鹼性水，陽極產生酸性水。

本研究目的為瞭解電解水水質及酸性陽極水的抑菌能力，藉由控制不同水質特性的原水，經市售某暢銷電解水生成器過濾與電解後，分析其生成水之 pH 值、導電度、硬度、鈣離子、鎂離子、餘氯及生菌數。並以 *E. coli* 及 *B. subtilis* 檢測電解水之抑菌能力。

一般自來水 pH 值 7.51 ± 0.16 ，導電度 65 ± 5 uS/cm，硬度 26.50 ± 1.67 mg/L as CaCO_3 ，經電解水生成器電解後，3 段的陰極水 pH 值平均分別為 8.05 ± 0.27 、 8.94 ± 0.16 及 9.63 ± 0.10 ，導電度、硬度及鈣、鎂離子會較原水增加，餘氯及生菌數未檢出。但只經生成器之過濾裝置亦可達無菌效果。若原水水質符合標準，不考慮其高 pH 值，電解陰極水已達生飲的標準，不含生菌亦無餘氯消毒味。

本研究結果顯示，電解水的水質受電解強度及原水 pH 值、導電度及硬度影響。在電解水生成器的內藏添加筒中添加乳酸鈣，並未使陰極水的硬度及鈣含量增加 ($P > 0.05$)，顯示所添加的乳酸鈣並無法增加電解陰極水的鈣質。

E. coli 暴露於 pH 值 3.30 電解陽極水 20 秒，經培養後發現無細菌生長，對於具芽胞的 *B. subtilis* 於 2 分鐘內也能達到完全抑制的效果，雖然家用的電解水生成器之陽極酸性水，其 pH 值無法達到如添加 NaCl 時之低 pH 值（低於 3），於本研究中亦顯現具很好的抑菌能力。

關鍵字：電解水、鹼性水、酸性水、硬度、抑菌作用

Abstract

Electrolytic water producing apparatus is a popular house appliance in Taiwan. Safety and health of the generated water become an important current issue. An electrolytic water producing apparatus comprises an anode, a cathode, an electrolyzer which includes an anode chamber and a cathode chamber, inlet lines for supplying influent water to the above-mentioned chambers, and outlet lines for discharging effluent water from the chambers. Thus, an acidic electrolytic water is produced from the anode chamber and an alkaline electrolytic water from the cathode chamber.

The purposes of this study are to research electrolytic water quality and antimicrobial effects of acidic electrolytic water. Different kinds of raw water were generated before filtered and electrolyzed by the electrolytic water producing apparatus, and then the electrolytic water quality included pH value、 conductivity、 hardness、 calcium、 magnesium、 chlorine residuals and total bacterial counts were analyzed. *E. coli* and *B. subtilis* were culture to detect the antimicrobial effects of electrolytic water.

The tap water which pH value、 conductivity and hardness were 7.51 ± 0.16 、 65 ± 5 uS/cm and 26.50 ± 1.67 mg/L as CaCO_3 , respectively, the pH value of three levels cathode electrolytic water were 8.05 ± 0.27 、 8.94 ± 0.16 and 9.63 ± 0.10 . The conductivity、 hardness、 calcium and magnesium of the cathode water were higher than those of raw water and the chlorine residuals and total bacterial counts were

non-detectable. However, the apparatus can produce germ-free water when passing through by filter only. Alkaline electrolytic water met drinking water quality standard with no bacteria and odor-free except for the high pH value.

This study showed that electrolytic water quality depended on electrolysis strength, and pH value, conductivity and hardness of raw water. Calcium lactate as an additive in the electrolytic water producing apparatus couldn't increase the hardness and calcium level in the alkaline electrolytic water ($P > 0.05$) .

E. coli was not detected after 20 seconds exposure to pH 3.30 acidic electrolytic water, and *B. subtilis* either after the exposure of less than 2 minutes. Even though the pH level of acidic electrolytic water produced by household electrolytic water producing apparatus did not reach as low as three, a level of the electrolytic water of a NaCl-water mixture, it also presented good antimicrobial effects.

Key words: electrolytic water、 acidic electrolytic water、 alkaline electrolytic water、 hardness、 antimicrobial

第一章 前言

第一節 研究動機

電解水生成器在台灣的使用越來越普遍，據估計國內目前大約已有二、三十萬戶以上家庭使用。水經過電解之後，正常的情況下，在陰極會產生氫氣，陽極則產生氧氣，在此過程中，水中游離的氫離子與氫氧離子，可以自然交換進行中和作用，水的酸鹼值仍然保持中性。市售電解水生成器，則是在水電解時，使用隔膜或鹽橋，刻意阻止離子進行交換，使水的酸鹼值改變，同時也造成氧化還原電位變化、解離常數變化以及異電離子向電極集中，如此在陰極產生鹼性水，陽極產生酸性水【1】。

由報載及商業廣告上標榜著電解陰極水可以形成小分子團的水、不含三鹵甲烷、能去除水中污染物、保留著對人體有用的物質，且富含礦物質並具有強大的還原力，能夠去除體內的自由基，延年益壽養顏美容，還可以改善腸胃道疾病，是一種所謂的「好水」。陽極水具有消毒殺菌的作用，可以清洗蔬果魚肉及餐具抹布，還具有收斂皮膚消除皺紋的效果等功用。

水對於人類的生存是不可或缺的，衛生的飲用水更是當下一個重要的課題。然而隨著各種污染的日趨嚴重，天然潔淨的水源越是難求，因此各種淨水設備相繼產生，以因應市場上之需求。由南台灣家庭使用淨水設備的比例高達五成以上，及一般民眾對於自來水水質的信心缺乏看來【2-3】，能夠提供安全的飲用水是大家所關心的民生問題，對淨水器的依賴程度也就大幅提高。

良好的飲用水的基本條件必須符合飲用水水質標準，除了不能含有對身體有害的化學物質或致病菌之外，也應含有豐富的礦物質且水質的硬度適中，亦即除了安全衛生的顧慮，也要顧及其氣味及好的口感【4】。

電解水生成器在日本產品規範中屬於醫療器材，在台灣，業者宣稱這樣的電解還原水，具有多項的醫療功能。為消除電解水的管理死角，衛生署曾經召開『醫療器材評估小組』會議，於 88 年 3 月 16 日『公告市售之電解水機（器）類產品非屬藥事法第十三條所稱醫療器材』，亦即在台灣電解水生成器不屬於醫療器材，也不得標示及廣告其具有療效【5】。消基會也在 88 年 3 月 1 日召開『電解水等淨水器之管理問題』公聽會，表示『所謂電解水只是將水電解，經氧化及還原作用後，水的酸鹼值及氧化還原電位雖然有所改變，但是這些特性並不會使消費者在喝下電解還原水之後，改變人體的酸鹼值，也不能消除體內自由基，當然更談不上美容、抗癌等療效，其效果僅能視為普通的淨水器，而非特殊的醫療器材』【6】。

電解含氯化鈉的水可以降低電解陽極水的 pH 值，此種酸性離子水已在醫院作為消毒劑使用【7-11】，研究顯示，若陽極水的 pH 值為 2.42，於 20 條件下，作用時間 20 秒鐘對大腸桿菌(*Escherichia coli*) 與金黃色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 均可殺滅 99.9 % 以上；作用時間 30 分鐘，對枯草桿菌黑色變種芽胞(*Bacillus subtilis*) 可 100 % 殺滅【12】。雖然家庭用的電解水生成器所產生的陽極水之 pH 值皆大於 3，若能了解其抑菌的消毒效果，便可將家庭用的電解水生成器之陽極水做更充分的利用。

電解水生成器已普遍被民眾所使用，而其陰極鹼性水之水質如何？是否適合作為飲用水？又其陽極酸性水之抑菌效果如何？並未有科學性的研究報告，因為電解水的使用攸關民眾健康，且仰賴此設備的消費者也正在增加中，所以本研究將針對電解水生成器所生成的水之物理化學性質，以及其對微生物的抑制效果，做更進一步的探討。

第二節 研究目的

本研究針對家庭用的電解水生成器所產生的水進行水質分析，並研究電解陽極水對微生物的抑制效果，以探討電解水的適飲性與適用性，主要研究目的如下：

- 一、了解電解水生成器產生的水之水質特性，包括 pH 值、導電度、硬度、鈣及鎂離子、餘氯及生菌數。
- 二、研究不同原水電解後之水質差異。
- 三、研究電解陽極水之抑菌效果。

第二章 文獻回顧

第一節 水質的安全衛生

良好的飲用水需達到飲用水標準，不能含有對身體有害的化學物質或微生物，能含有豐富的礦物質且軟硬度適中的水，除了安全衛生的顧慮，也要顧及其氣味（臭度）及好的口感。

根據環保署於中華民國八十七年二月四日訂定發佈的飲用水水質標準，包含細菌性標準、物理性標準、化學性標準，並分為影響健康物質、可能影響健康物質及影響適飲性物質。細菌性標準大腸桿菌群（coliform group）（濾膜法）的最大限值為 6 CFU/100 mL、總菌落數（total bacterial count）的最大限值為 100 CFU/mL。自由有效餘氯的範圍為 0.2-1.5 mg/L（0.2-1.0 mg/L 自民國八十九年十二月一日起施行）、氫離子濃度指數（pH 值）6.0-8.5。影響適飲性的硬度（以 CaCO_3 計）的最大限值為 400mg/L（150mg/L 自民國九十二年七月一日起施行）【4】。

第二節 家用淨水設備之種類及淨水方式之比較

在台灣南部，購買市售飲用水的住戶高達 64.6%，使用淨水設備之用戶亦達 52.7%【2】，從以上的調查資料顯示，消費者愈來愈重視飲用水的水質，淨水器的購買意願也愈來愈高，可是大部分民眾仍然不是很清楚淨水器使用的適當時機，因此，消費者確實需要知道更多淨水方式及瞭解淨水效果之相關資訊。

目前市面上販售的淨水器絕大多數是以自來水為原水，主要包括濾心過濾、逆滲透（RO）淨水器、活性炭淨水器、陽離子交換樹脂（軟水器）、蒸餾水製造機等。各種淨水器的處理方法不同，目標污染物也有差異，購買成本及操作、維護所需花費的時間、精力也不一【13、14】。

濾心過濾是利用沙礫、海綿或聚丙烯纖維（PP）等濾材，將水中不潔之固體除去；活性炭過濾主要目的是除去溶解在水中的有機物和餘氯；陽離子交換樹脂可除去鈣、鎂等硬度；逆滲透則可除去各種鹽類等雜質，製造出導電度較低之純水【15】。蒸餾水製造機主要是利用加熱煮沸的方法，將水蒸發後再凝結，以達到去除水中沸點比水高的污染物，例如重金屬、農藥及陰、陽離子及溶解性固體等且在煮沸的過程中，多數細菌也會被殺死。【14】

市售電解水生成器之電極多為鈦白金電極及電解槽，且都加裝過濾裝置，過濾裝置包括：中空絲膜抗菌活性炭濾芯、銀粉末活性炭、纖維狀加粒狀之複合式添銀抗菌活性炭、高密度 PP 紗加天然多重粒狀活性炭及高密度纖維炭銀抗菌性活性炭。部分加裝磁化管及紫外線殺菌。

飲用水設備種類很多，其淨水處理機制及裝置的目的不盡相同，常見飲用水設備單元包括雜質去除處理單元：過濾器（過濾布、矽藻土、陶瓷活性炭）及逆滲透膜管；水質軟化處理單元：石灰添加法、蒸餾法、陽離子交換樹脂法及逆滲透法等；殺菌處理單元：高溫煮沸殺菌器、紫外線殺菌器、臭氧殺菌機、銀活性炭殺菌器及碘素殺菌器【16】。

基於安全衛生需求之考量，選購淨水器應注意各種淨水設備之原理、功能，若使用及維護方法不是十分了解的話，反而會對人體健康產生潛在的危害。並非任何一種淨水設備皆可除去所有的污染物，水質狀況亦因地區而異，在選購淨水器前應先針對當地水質做檢測，以了解飲用水水質狀況。水質做檢測之後，再依各人不同的需要來選購適合的淨水裝置【17】。

以下將家用淨水方式其可去除之污染物及其購置、維護條件比較如下【14、17】：

處理方式	性能	可去除之污染物							購置成本	維護難易	水回收率
		三鹵甲烷	農藥	氯味	臭味	硬度	重金屬	細菌病毒			
陽離子交換(軟水器)	針對硬度的移除及指定污染原的減量，供給被認為符合微生物安全的飲用水	×	×	×	×			×	低	中	~100
活性碳濾水器	由許多含碳物質，製成多孔物質，具有吸附力，可有效脫色、脫臭；一般皆具備人造纖維雜質過濾材料					×			低	中	~100
蒸餾水製造機	將包含的水予以蒸發再凝結成液態產物的方法								中	易	~100
逆滲透系統	以半透膜去除水中雜質及礦物質，及可過濾性胞囊之減量，將清水及含有溶質的水隔開								高	難	~30
紫外光殺菌*	利用紫外線燈管放射出紫外線來滅菌	×	×	×	×	×	×		中	中	~100

中空絲膜	採用膜壁上無數細孔來隔離有害物質	×	×	×	×	×	×		中	易	~100
陶瓷濾心	取天然陶瓷礦物，經高溫燒結所產生細微空隙，達到過濾效果	×	×	×	×	×	×		低	易	~100
煮沸	最傳統的處理方式，加溫 100 度，維持 20 分鐘		×	×	×	×	×		低	易	~100
電解水生成器	利用電解原理將普通自來水經由電極的分解，使得水中離子平衡產生變化		×		×	×	×		高	易	~50

註： 表示去除效果良好， 表示部分去除， × 表示無法去除， * 主要用於輔助設備。購置成本：高= > 4000 元，中= 1000 - 4000 元，低= < 1000 元。

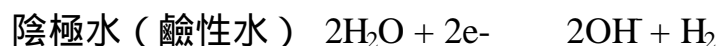
在使用淨水器時必須注意定期清洗、更換濾材或再生樹脂，否則反而會使管路或濾材滋生藻類及細菌，使出水水質更差、更不衛生【18】。

第三節 電解水的生成原理

在電化學電池中的陰極（cathode）是發生還原之電極，陽極（anode）是發生氧化的電極【19】。因此，陰極發生了還原反應，而陰極水進行氧化反應，所以陰極水是具有還原力的還原水。相對的，陽極發生氧化反應，陽極水是具有氧化能力的氧化水。

所謂電解水生成器，是利用電解原理將普通自來水經由電極的分解，使得水中金屬離子平衡產生變化，在陽極產生 pH 值較低供外用消毒的『酸性水』，而在陰極產生 pH 值在 8 以上，可飲用的

『鹼性水』，電解水的組成及電解質的濃度與其 pH 值，可藉由添加原水的電解質劑量來控制【1】。水分子之氧化還原反應如下：



自來水的成份除了水分子可分解成 H^+ 及 OH^- 外，還包含了氧、二氧化碳、碳酸、礦物質 - 鈉、鉀、鎂、鈣等，及自來水廠為了消毒而添加的氯等物質。經電解後，陽極還會出現氯氣、氧氣等，其中部分氣體溶入水中，而成為具有強氧化力的離子。相反的，陰極氫氧根離子較多，所以鹼性就愈強，經離子交換後，鎂鈣等離子則移至陰極而產生鹼性水。電解水生成過程如圖 1 所示。

一般水電解時氧化作用的發生與其水中溶解物的穩定性及其濃度、使用 NaCl 的濃度、溶液的 pH 值、電極的大小、供應的電流及電壓有關。水溶液的電解作用其電化學反應的發生是很複雜且無法完全被瞭解的，我們僅能根據在電解水時可偵測出的產物 (Cl_2 、 ClO_2 、 O_3 、 OH^- 、 O^- 、 H_2O_2 、 O_2 、 H_2 、 CO_2) 作一些推論及假設，在陽極，初級的電化學反應會產生 Cl_2 、 O_2 ，當電解液中氧化劑濃度增加時，二級的電化學反應將發生，可氧化有機物質。電解濃鹽水時會產生 ClO_2 、 O_3 、 H_2O_2 等氧化劑【20】。

第四節 飲水與健康

一、pH 值

在過去幾世紀來，生理學家已瞭解，細胞外液要維持在微鹼性，以利生存，也就是細胞外液的 pH 值大於 7【21】。在我國及世界衛生組織的飲用水水質標準皆建議 pH 值為 6.5-8.5，然而一般市售飲料或是水果果汁以及健康醋，皆是偏酸的飲品【22】，少有文獻探討飲用 pH 值為何對身體健康最有益處，然而有三個因素有助於維持體內的 pH 值【21】。

1. 體液及細胞內的化學緩衝劑可中和體內產生，或外來的強酸強鹼。細胞外液的化學緩衝作用是在瞬間之內發生。細胞內緩衝作用（包括氫離子的擴散入細胞內及其中和作用）則在數小時之內發生。
2. 呼吸調節的機轉有助於排出及調節碳酸在體內的濃度，碳酸是代謝作用最主要的酸性產物。呼吸緩衝作用在幾分鐘之內發生作用。
3. 腎臟也有助於排出過量的酸及鹼。腎臟的調節是最重要的，因他可補償緩衝鹽類或呼吸作用之不足。蛋白質、磷脂（phospholipid）及食物代謝產生的硫酸及磷酸，以及不能代謝成碳酸的任何酸類，都有賴腎臟來排出體外。腎緩衝作用在數小時到數天之內發生。

二、硬度

硬度是由二價陽離子（divalent metallic cation）所引起，其中包括 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Fe^{2+} 與 Mn^{2+} 等。 Al^{3+} 與 Fe^{3+} 有時亦視為引起硬度的離子，但因其一般在一般原水的正常 pH 值下，溶解

度甚低，故離子濃度可忽略不計【23】。

水的硬度因地而異，通常地面水較地下水為軟，水的硬度可反映出與其接觸地質特性。水，可依其硬度分為四類【23】：

硬度範圍 (mg/L)	硬度程度
0 - 75	軟
75 - 150	中等硬
150 - 300	硬
300 以上	甚硬

飲用水的硬度與直腸癌(rectal cancer)【24】 結腸癌(colon cancer)【25】 及胃癌 (gastric cancer)【26】 成負相關，在胰臟癌 (pancreatic cancer) 及食道癌 (esophageal cancer) 方面，飲用軟水的癌症死亡率比飲用硬水分別高出 39%【27】及 42%【28】，而死於心血管疾病的死亡率 (coronary mortality) 亦與飲用水的硬度成負相關【29】，水中硬度的高低與循環系統的疾病有強烈的負相關；飲用硬水比軟水者之心臟血管疾病罹患率為低，軟水地區居民之中風及心肌缺氧的死亡率隨飲用水中硬度增加而減少【30】。也就是說飲用硬水罹患直腸癌、結腸癌、胃癌、胰臟癌及食道癌的機率降低，也會減少死於心血管疾病的機率。

雖然飲用水中硬度的高低與循環系統的疾病呈負相關，飲用硬水比軟水者之心臟血管疾病罹患率為低，軟水地區居民之中風及心肌缺氧的死亡率隨飲用水中硬度增加而減少【31】。依據國內楊氏 1996-1998 年的調查研究，結果顯示飲用水硬度與

冠狀心臟疾病的死亡率呈負相關，同時腦血管疾病患者亦呈現類似情況。有關直腸癌案例分析結果，飲用水的鈣濃度與直腸癌罹患風險呈現負相關，而結腸癌調查結果，飲用水中鈣濃度愈高，其罹患率有愈低趨勢。

以上流行病學的調查結果，顯示了疾病與硬度在統計學上的相關性，但飲用水中的硬度並非一定是主要原因，因為普遍在高硬度飲用水之地區，其都市化程度均較低，生活亦較純樸，可能亦影響其疾病發生率。

三、鈣

成人平均每天需要 0.65 克的元素鈣，小孩需要 1 克，孕婦或哺乳的婦女則需要的更多【21】。

鈣的吸收通常只有攝取量的 20~30%，鈣的吸收開始於十二指腸，停止在腸的下段部位，當食物內容物變成鹼性時就停止吸收了，吸收量多半依食物而定，除非鈣在腸中呈水溶性，否則不會適當的被吸收【32】。飲用水中含鈣濃度愈高（水中硬度愈高），愈會引起泌尿系統疾病，但仍缺乏臨床醫學上的直接證據。

第五節 電解水之消毒能力

電解陽極水已在醫院應用於消毒【9-11】，水在電解前加入氯化

鈉可以降低陽極水的 pH 值而產生強氧化離子水【10】，或稱酸性電解水（acidic electrolytic water，簡稱 AEW）【11】。研究顯示若陽極水在 pH 值 2.42 於 20 條件下，作用時間 20 秒鐘對大腸桿菌與金黃色葡萄球菌均可殺滅 99.9% 以上；作用時間 30 分鐘，對枯草桿菌黑色變種芽胞可 100% 殺滅【12】。

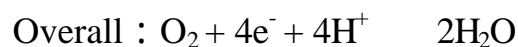
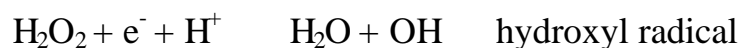
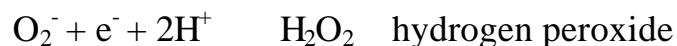
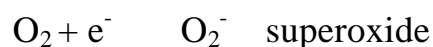
報告指出將含 0.05% NaCl 的水電解後產生的 AEW，氧化還原電位大於 1000mV，pH 值低於 2.7，對於臨床使用的內視鏡及實驗室以 15 種細菌 4 種病毒污染後暴露於 AEW 5 分鐘後，即無法檢測出任何細菌及病毒【7】。氯化鈉溶液的電解產物對於 B 型肝炎病毒及愛滋病病毒的消毒能力也有研究報告：室溫下，電解含 0.05% NaCl 的自來水，於陽極槽中產生的電解水，其氧化還原電位（ORP）為 1053mV、pH 值為 2.34 和自由氯量 4.20 ppm，經作用時間 20 分鐘後則無病毒生長【33】。

Hitomi S. 等的研究發現，以含 NaCl 的水電解後，產生的酸性電解水其 pH 值為 6.7-6.9，自由餘氯量為 20-22 ppm，對於金黃葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*）及大腸桿菌（*Escherichia coli*）的抑制效果相當於含自由餘氯量為 60 ppm 的稀釋市售次氯酸鈉溶液，由其 pH 值及其餘氯量推斷，此種電解水的殺菌效果可能來自所含的次氯酸【11】。以電解水洗手效果與用含 0.2% benzalkonium chloride 及 80% ethanol 的流動水洗手效果相同，可以減少手上十分之一的金黃葡萄球菌【11】。也有文獻指出，AEW 的強殺菌活性具有防止因葡萄球菌感染而引起的傳染性過敏性皮膚炎的發生【8】

在 Iwasawa A. 及 Nakamura Y. 研究中，我們瞭解酸性電解水殺

菌效果上，氯化物濃度和 pH 值之間的關係。3 菌種包括：Staphylococcus aureus、Pseudomonas aeruginosa 及 Staphylococcus epidermidis 暴露在 pH 值大約 5.0-6.0 之間，含有 50mg/L 氯化物的酸性水中，持續 6 小時以後氯化物的量沒改變；若 pH 值大約 2.67-2.80 之間，含有 5mg/L 氯化物時，6 小時以後保留了 80% 的氯化物。觀察殺菌效果發現，新近製造的強酸電解水在 pH 值 2.7 含少量的氯化物下更為有效，然而期望得到穩定殺菌效果時應該使用弱酸電解水【34】。

具強氧化能力的酸性電解水會影響微生物的生長，強氧化劑會使細胞狀態失控，對微生物細胞是一種毒害。氧在水中被 4 個電子逐步還原所形成的中間產物對於細胞皆有很強的活性及毒性【35】。



電解過程可以合成 (electrosynthesis) O_3 、 ClO_2 、 H_2O_2 【36】，在陽極水中可偵測到 Cl_2 、 ClO_2 、 O_3 、 $\text{OH} \cdot$ 、 $\text{O} \cdot$ 、 H_2O_2 、 O_2 等強氧化劑【20】。

第三章 材料與方法

第一節 材料

一、試藥

(一) 藥品

1. 鹽酸 (HCl): GR 級, 德國 E. Merck 公司
2. 氯化鈣 ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): GR 級, 德國 E. Merck 公司
3. 次氯酸鈉 (NaClO): 日本 和光 公司
4. 培養皿計數培養基(plate count agar, PCA): 美國 Difco 公司
5. 葡萄糖 (glucose): 美國 Difco 公司
6. 胰化蛋白胨 (tryptose): 美國 Difco 公司
7. 酵母抽出物 (yeast extract): 美國 Difco 公司
8. 胰蛋白大豆營養液培養基 (tryptic soy broth, TSB): 美國 Difco 公司
9. pH Meter 參考緩衝溶液 (pH=4.01 及 pH=7.00): 德國 E. Merck 公司
10. 氯化鉀 (KCl): GR 級, 德國 E. Merck 公司
11. 氯化銨 (NH_4Cl): GR 級, 德國 E. Merck 公司
12. 濃氫氧化銨 (NH_3): GR 級, 德國 E. Merck 公司

13. EDTA 二鈉鹽 ($C_{10}H_{14}N_2Na_2 \cdot 2H_2O$): GR 級, 德國 E. Merck 公司
14. 硫酸鎂 ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$): GR 級, 德國 E. Merck 公司
15. Eriochrome black T : 分析級, 德國 E. Merck 公司
16. 三乙醇胺 (triethanolamine (C_2H_5)₃N): GR 級, 德國 E. Merck 公司
17. 無水碳酸鈣粉末 ($CaCO_3$): GR 級, 德國 E. Merck 公司
18. 甲基紅指示劑 ($C_{15}H_{15}N_3O_2$): 德國 E. Merck 公司
19. 氫氧化鈉 (NaOH): GR 級, 德國 E. Merck 公司
20. 無水磷酸氫二鈉 (NaH_2PO_4): GR 級, 德國 E. Merck 公司
21. 無水磷酸二氫鉀 (KH_2PO_4): GR 級, 德國 E. Merck 公司
22. 氯化汞 ($HgCl_2$): 德國 E. Merck 公司
23. 無水 DPD 硫酸鹽 (anhydrous
N,N-Diethyl-1-p-phenylenediamine sulfate
 $C_{10}H_{18}N_2O_4S$): GR 級, 德國 E. Merck 公司
24. 高錳酸鉀 ($KMnO_4$): GR 級, 德國 E. Merck 公司
25. 氯化鎂 ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$): GR 級, 德國 E. Merck 公司

26. 酒精：台灣公賣局
27. 鈣離子儲備溶液：德國 E. Merck 公司
28. 鎂離子儲備溶液：德國 E. Merck 公司
29. 酚 (phenol)：德國 E. Merck 公司
30. 濃硝酸 (HNO₃)：德國 E. Merck 公司
31. EMB agar：美國 Difco 公司
32. 乳酸鈣片：約 3.38g/片，純度 88.75% 日本 山田製藥

(二) 試劑製備

1. 培養皿計數培養基 (plate count agar , PCA)

取 36g 市售 PCA 溶於一公升去離子水，經 121 滅菌 15 分鐘後，冷卻至約 50 ，倒入無菌培養皿中，在室溫下凝固。倒置保存於 4 冰箱中備用。

2. 培養皿計數液體培養基 (plate count broth , PCB)

葡萄糖 (glucose) 1.0 g , 胰化蛋白胨 (tryptose) 5.0g , 酵母抽出物 (yeast extract) 2.5 g 溶於一公升去離子水中，分裝於試管中，每支試管裝入 5mL，經 121 滅菌 15 分鐘後，冷卻至室溫後，於 4 冰箱中保存備用。

3. 抹布上的菌

棉花棒以去離子水潤濕後，於抹布上塗抹，再塗抹於 PCA 培養基上，35 培養 24 小時後，於 4 冷藏備

用，於 3 天內使用完畢。

4. *E. coli* (ATCC 25922)

陽明大學微生物學科所保存之 *E. coli* 菌株以四區劃線法接種在 TSA+blood 固體培養基上，於 37 培養 24 小時後，於 4 冷藏備用。

5. *Bacillus subtilis* (ATCC 8037)

陽明大學微生物學科所保存之 *B. subtilis* 菌株以四區劃線法接種在 TSA+blood 固體培養基上，於 37 培養 24 小時後，於 4 冷藏備用。

6. 胰蛋白大豆營養液培養基 (tryptic soy broth , TSB)

取 30g 市售 TSB 粉末溶於一公升去離子水中，分裝每支試管裝入 5mL，經 121 滅菌 15 分鐘後，冷卻至約室溫後，於 4 冰箱中保存備用。

7. 無菌稀釋水

(1) 磷酸二氫鉀溶液：取 3.4 g 磷酸二氫鉀 (KH_2PO_4) 溶於 50 mL 之蒸餾水中，俟完全溶解後，以 1.0 N 氫氧化鈉溶液調整其 pH 值為 7.2 ± 0.5 。然後加蒸餾水至全量為 100 mL，儲存於冰箱中做為儲備液備用。

(2) 氯化鎂溶液：取 8.1 g 氯化鎂 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)，先溶於少量蒸餾水中，俟完全溶解後，再加蒸餾水至全

量為 100 mL，儲存於冰箱中做為儲備液備用。

- (3) 分別取 10 mL 氯化鎂溶液和 2.5 mL 磷酸二氫鉀溶液再加入蒸餾水至全量為 2000 mL，混搖均勻後，分裝於稀釋瓶中，經 121 滅菌 15 分鐘，做為無菌稀釋液備用。

8. 0.01N 標準氯化鉀溶液

溶解 0.7456g 氯化鉀於去離子水中，稀釋至 1000mL。

9. 硬度分析用緩衝溶液

溶解 1.179g 含二個結晶水之 EDTA 二鈉鹽和 0.780g 硫酸鎂 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 於 50mL 去離子水中，將此溶液加入含 16.9g 氯化銨和 143mL 濃氫氧化銨之溶液內，混合後以蒸餾水稀釋至 250mL。

10. EBT 指示劑

溶解 0.5g Eriochrome black T 於 100g 三乙醇胺 (triethanolamine) 中。

11. 0.01M EDTA 滴定溶液

加入 3.723g 含二個結晶水之 EDTA 二鈉鹽於少量蒸餾水中，再以蒸餾水稀釋至 1000mL，使用前以標準鈣溶液標定之。

12. 1.00mg/mL 標準鈣溶液

秤取 1.000g 一級標準品之無水碳酸鈣粉末，放入 500mL 三角燒瓶中，緩緩加入 1 + 1 鹽酸溶液至所有碳酸鈣溶解。加入 200mL 去離子水，煮沸數分鐘以驅除二氧化碳，冷卻後加入幾滴甲基紅指示劑，以 3M 氯化銨調整至中間橙色。移入一公升定量瓶中，以蒸餾水沖洗並稀釋至刻度，即得相當於 1mL 含有 1.00mg 碳酸鈣之標準鈣溶液。

13. 餘氯測定用緩衝溶液

溶解 24g 無水磷酸氫二鈉 (Na_2HPO_4) 及 46g 無水磷酸二氫鉀 (KH_2PO_4) 於去離子水中，再與含 800mg EDTA 二鈉鹽之 100mL 去離子水混合，以蒸餾水定容至一公升，加入 20mg 氯化汞以預防黴菌生長。

14. DPD 顯色劑

溶解 1.1g 無水 DPD 硫酸鹽 (anhydrous DPD sulfate) 於含 8mL 之 1+3 硫酸溶液及 200mg EDTA 二鈉鹽之去離子水中，並定容至一公升。儲存於有玻璃蓋的棕色瓶中，於暗處冷藏之。

15. 891mg/L 高錳酸鉀儲備溶液

溶解 891mg 高錳酸鉀於蒸餾水中，定容至一公升。

16. EMB agar

取 36g 市售 EMB agar 溶於一公升去離子水，經 121 滅菌 15 分鐘後，冷卻至約 50 ，倒入無菌培養皿中，室溫下凝固。倒置保存於 4 冰箱中備用。

二、設備

(一) 儀器

1. 電解水生成器：某廠牌電解水生成器其功能包括：(1) 製造鹼性水屬陰極水，分三階段製造飲水—1 段為開始飲用、2 段為煮飯泡茶、3 段為日常飲用；(2) 酸性水屬陽極水，只有一階段，製造酸水；(3) 淨水功能一階段。以上 5 種出水之製造均會由黑色管子排出廢水，稱為排水。原水經中空絲膜加抗菌活性碳過濾後，經乳酸鈣添加筒，再經電解槽之電極電解，連續生成，無貯存裝置，其摘要規格如附件一。
2. 恆壓抽水馬達
3. 恆溫培養箱：溫度能保持在 35 ± 1 及 37 。
4. 高壓滅菌釜：溫度能保持在 121 (壓力約 15 lb/in^2 或 1 kg/cm^2) 滅菌 15 分鐘以上。
5. 乾熱滅菌器：溫度能保持在 160 達 2 小時或 170 達 1 小時以上。
6. 冰箱：溫度保持在 4 。
7. 微量天平：瑞士製 Precisa 40SM-200A 型 (可稱量至小

數點下五位數)

8. pH 計：義大利製 Hanna 公司 8520 型。
9. 玻璃電極：美國製 Schott BL-17-S
10. 電磁攪拌器：美國製 Corning PC-35
11. 導電度計：義大利製 Hanna 公司 0579 型
(10-1990uS/cm)
12. 溫度計：可讀至 0.1
13. 分光光度計：日本製 Hitachi U-2000 double-beam
sepctrophotometer
14. 火焰式原子吸收光譜儀：日本製 Hitachi Z-5000
Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometer

(二) 器材

1. 白金鉗 (loop)
2. 採樣瓶：100mL 玻璃廣口瓶，耐高溫乾熱滅菌
3. 培養皿：90×15mm 市售無菌塑膠培養皿
4. 滴定管：25mL
5. 三角燒瓶：250mL、 500mL
6. 量筒：25mL、 50mL 及 250mL
7. 吸量管 (pipette): 有 0.1mL 刻度之 1mL、 5mL 及 10mL

可滅菌玻璃吸管

8. 無菌微量吸管(micropipette)
9. 稀釋瓶： 100mL 可滅菌之硼矽玻璃製品。
10. 彎曲玻璃棒：直徑 3 至 4mm，其形狀與規格如圖 1 所示。
11. 酒精燈

第二節 實驗方法

一、電解水水質特性分析

(一) 原水的種類

1. 自來水

- (1) 陽明大學實驗室自來水
- (2) 台北縣新莊地區自來水

2. 調配水

利用自來水或去離子水於 20 公升之 PP 塑膠桶中，調配適當之水質，調配水質種類如下：

(1) pH 值

以 1N 鹽酸 (HCl) 調整自來水之 pH 值為 4.24。

(2) 硬度

- a. 先量測自來水硬度，再以 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 將硬度調整為 75 及 100 mg/L as CaCO_3 。
- b. 利用去離子水以 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 將硬度調整為 106 mg/L。
- c. 分別放置 1 片及 3 片電解水生成器所附之乳酸鈣片於其內藏式添加筒中，以自來水為原水。

(3) 餘氯

以 NaClO 將自來水的餘氯量調整為 0.270、1.626、2.317、2.616 mg/L 四種濃度。

(4) 生菌數

a. 抹布上的菌

以接種環由 PCA 培養基中取一菌落於 5mL PCB 液體培養基試管中，於 35 恆溫培養箱培養 24 小時，此菌液約含 10^9 CFU/mL，取其中 2mL 菌液於 20 公升自來水中，混和均勻。

b. E. coli

(a) 以白金鉗由 TSB+blood 培養基中取單一菌落於 5mL TSB 液體培養基試管中，於 37 恆溫培養箱培養 24 小時。

(b) 此菌液約含 10^9 CFU/mL，取其中 2mL 菌液於 20 公升自來水中，混和均勻。

3. 去離子水，比電阻值為 14.0M 以上的水。

(二) 電解水的收集

此電解水生成器為連續運轉出水，水樣之製備及收集方法如下：

1. 自來水

將電解水生成器之入水口接於自來水水龍頭上，開水後切換為 1 段，使其運轉 3 分鐘，開始採集出水管之陰極水，再採集黑色管之陽極水；隨後切換為 2 段 1 分鐘後再行採樣，依此採集 3 段陰極水及陽極水、淨水及酸水共 10 個水樣，並採集原水樣本，總共 11 個樣本。每個樣本以 100 mL 玻璃廣口瓶收集。若欲分析總菌落數，採樣瓶則事先乾熱滅菌。收集如表 1 之 11 個水樣。

表 1 電解水生成器所生成之各種水質特性

電解功能	水 樣 特 性	
	出 水	排 水
1 段	1. 飲水 (陰極, 鹼性水)	2. 廢水 (陽極, 酸性水)
2 段	3. 飲水 (陰極, 鹼性水)	4. 廢水 (陽極, 酸性水)
3 段	5. 飲水 (陰極, 鹼性水)	6. 廢水 (陽極, 酸性水)
淨水	7. 飲水 (無電解)	8. 廢水 (無電解)
酸水	9. 用水 (陽極, 酸性水)	10. 廢水 (陰極, 鹼性水)
	11. 原水	

2.調配水

將調配水盛裝於塑膠桶,與抽水馬達及電解水生成器連接之後,切換電解水生成器之製造功能為1段,採樣前先運轉1分鐘再開始收集水樣,其餘步驟與原水為自來水者相同。

(三)水質分析項目

1.pH值:採用方法為水中氫離子濃度指數測定法—電極法
(NIEAW424.50A)【37】

(1) 校正 pH 計:設定量測溫度,將電極移出以去離子水淋洗,再以柔軟面紙輕輕拭乾,置於 pH 值 7.00 緩衝溶液,以磁石攪拌,俟穩定後校正儀器,再以同法用 pH 值 4.01 緩衝溶液校正儀器。

(2) 水樣分析:將電極沖洗拭乾後置入水樣中,(每更換水樣均應先將電極淋洗乾淨並拭乾)以磁石攪拌,俟穩定後讀取 pH 值。

2.導電度:採用方法為水中導電度測定方法—比導電度計法(NIEAW203.50A)【38】

(1) 以標準氯化鉀溶液校正電極之導電度值。

(2) 測定水樣時,電極先用充分之去離子水淋洗,再測定其導電度。

3.硬度:採用方法為水中硬度檢測方法—EDTA 滴定法

(NIEAW208.50A)【39】

- (1) 取 25mL 水樣以去離子水稀釋至 50mL 或 50mL 水樣 (以 EDTA 滴定溶液之用量不超過 5mL 為原則) 置於三角燒瓶內。
- (2) 加入 1mL 緩衝溶液，使溶解之 pH 為 10.0 ± 0.1 ，並於 5 分鐘內依下述步驟完成滴定。
- (3) 加入 1 滴 EBT 指示劑溶液。
- (4) 慢慢加入 EDTA 滴定溶液，並同時攪拌之，直至淡紅色消失。當加入最後幾滴時，每滴的間隔時間約為 3 至 5 秒，直至滴定終點時溶液呈藍色。

4. 餘氯：採用方法為水中餘氯檢測方法 — 分光光度計 / DPD 法 (NIEAW408.50A)【40】

(1) 檢量線製備

- a. 取 10.0mL 891mg/L 之高錳酸鉀儲備標準溶液，以蒸餾水稀釋至 100mL。取 1.0、2.0、3.0 及 6.0mL 前述稀釋液，再以蒸餾水稀釋至 200mL，配成一系列高錳酸鉀標準溶液，其濃度範圍約為 0.446 至 2.67mg/L 之高錳酸鉀，大約相當於 0.5 至 3mg/L 之氯原子。
- b. 於 250mL 三角燒瓶中，依次加入 5mL 磷酸鹽緩衝溶液、5mL DPD 顯色劑及上一步驟所配製高錳酸鉀標準溶液 100mL，使均勻混合並顯色，以分光光度

計在波長 515nm 處測其吸光度。

- c. 以吸光度對應相當於氯原子之濃度 (mg/L), 製備檢量線。

(2) 水樣測定

分別取 5mL 磷酸鹽緩衝溶液及 5mL DPD 顯色劑於 250mL 三角燒瓶中, 加入 100mL 水樣, 使均勻混合, 立即以分光光度計在波長 515nm 處測其吸光度。

5. 總菌數：採用方法為水中總菌落數檢測方法—塗抹法 (NIEAE203.52B)【41】

- (1) 以 1mL 無菌吸管吸取 0.2mL 的水樣滴在 PCA 培養基上, 每一水樣做二重複。
- (2) 將無菌之彎曲玻璃棒放在培養基上, 再用手旋轉培養皿至水樣均勻分佈於培養基表面。
- (3) 倒置培養皿於培養箱內, 在 35 ± 1 °C 下培養 24 ± 3 小時。
- (4) 計數各培養皿中所產生的菌落數並記錄之, 若菌落太多 (大於 300 個) 造成計數困難, 則以「TNTC」(too numerous to count, 菌落太多無法計數) 表示。

6. 鈣、鎂離子測定【42】

水樣於採集後立即添加濃硝酸使水樣之 pH 值小於 2 (每一公升水樣中添加 1.5mL 濃硝酸), 於 4 °C 貯存。

將待測定鈣及鎂元素所需之燈管裝妥並校正光徑，依操作手冊設定波長（422.7nm 及 285.2nm）及光譜狹縫寬度（slit width）（1.3nm），製備檢量線，以火焰式原子吸收光譜儀，測定其中鈣、鎂離子之濃度。

二、電解水之 pH 值隨時間的變化測定

以塑膠容器分別採集電解水生成器各功能所產生之水樣及原水共 11 個水樣，密封貯存於室溫下，於第 0、1、2、3、4、8、15 天分別檢測其 pH 值。另外，採集原水及電解水生成器產生之 3 種飲水、淨水及酸水共 6 個水樣，密封貯存於 4℃，於第 0 及 15 天檢測其 pH 值。

三、抑菌能力實驗方法

（一）一般細菌（抹布上的菌）

1. 實驗前 1 天，以接種環取 PCA 標準平板培養基中保存之單一菌落於 5mL PCB 液體培養基中，於 35℃ 恆溫培養箱內培養 24 小時。
2. 取 1 鉗（loop）PCB 液體培養基之菌液於 100mL 之稀釋液中混和均勻，作為菌液。
3. 將該菌液稀釋成 1、100、1000、10000 倍，取 0.2mL 於 PCA 標準平板培養基中，以塗抹法塗抹後於 35℃ 培養 24 小時，計數之。
4. 取上列 3. 稀釋 1000 倍之菌液 1mL 於 9mL 之下列樣本

中，混和均勻。

(1) 0.05 % phenol【43】

(2) 第 3 段酸性水

(3) 第 3 段鹼性水

(4) 自來水

(5) 稀釋水(positive control)

5.於 3, 6, 10, 15, 20, 30, 60 分鐘後，取 0.2mL 之上述水樣於 PCA 標準平板培養基中，以塗抹法於 35 培養 24 小時，計數之。菌落太多（大於 300 個）造成判讀困難，則以『TNTC』表示。每個水樣皆進行二重複，並於每次實驗中做 2 個無植菌之空白試驗（negative control）。

(二) E. coli 指標菌

1.實驗前 1 天，以接種環取 TSA+blood 上單一菌落之 E. coli 於 5mL TSB 中，於 37 恆溫培養箱內培養 24 小時。

2.取 1mL 之 E. coli 菌液於 99mL 之稀釋液中混和均勻，為菌液。

3.取各種實驗水樣 99mL，置於滅菌瓶中，取 1mL 菌液於以下樣本中，計時並混和均勻，是為檢液，實驗水如下：

(1) 第 3 段酸性水

- (2) 第 3 段鹼性水
- (3) 去離子水+HCl (調整 pH 值約為 3.30)
- (4) 酸性水+NaOH (調整 pH 值約為中性)
- (5) 稀釋水(positive control)

4.於 10 秒至 3 小時之間取 0.2mL 樣本於 EMB agar 培養皿中，以塗抹法於 37 恆溫培養箱內培養 24 小時，計數之。若菌落太多（大於 300 個）造成判讀困難，則以『TNTC』表示。每個水樣皆進行二重複，並於每次實驗中做 2 個無植菌之空白試驗（negative control）。

(三) 以 *B. subtilis* 指標菌

- 1.實驗前 1 天，以接種環取 TSA+blood 上單一菌落之 *B. subtilis* 於 5mL TSB 中，於 37 恆溫培養箱內培養 24 小時。
- 2.取 1mL 之 *B. subtilis* 菌液於 99mL 之稀釋液中混和均勻，作為菌液。
3. 取各種實驗水樣 99mL，置於滅菌瓶中，取 1mL 菌液於以上樣本中，計時並混和均勻，是為檢液，實驗水如下：

- (1) 第 3 段酸性水
- (2) 第 3 段鹼性水
- (3) 去離子水+ HCl (調整 pH 值為 3.30)

(4) 酸性水+ NaOH (調整 pH 值為中性)

(5) 稀釋水(positive control)

4.於 15 秒至 1 小時之間以滅菌吸管取 0.2mL 檢液於 5mL 滅菌之 TSB 試管中,於 37 恆溫培養箱內培養 48 小時
每個水樣皆進行二重複,並於每次實驗中做 2 個無植菌之空白試驗 (negative control) 。

5.觀察試管中培養基有無混濁產生。

第三節 數據分析

使用 microsoft excel 2000 版作數據分析。以 t-test 統計方法分析電解水生成器各處理功能中有無添加乳酸鈣時,其水中硬度是否差異。

第四章 結果

第一節 電解水的水質特性

一、電解水之水質

為了瞭解自來水經過電解水生成器所產生的水質與原水的差異性，本研究分別使用軟水以及中等硬水為原水。表 2 顯示，原水 pH 值為 7.51 ± 0.16 ，導電度為 65 ± 5 uS/cm，硬度為 26.50 ± 1.67 mg/L as CaCO₃ 的自來水，經過電解水生成器生成之 1 段至 3 段陰極水，其 pH 值分別為 8.05 ± 0.27 、 8.94 ± 0.16 及 9.63 ± 0.10 ，隨電解強度的增加，水質越趨鹼性，導電度為 65 ± 6 、 70 ± 3 、 75 ± 3 uS/cm，亦隨電解強度增加，硬度的增加量為原水的 1.89%、4.42% 及 10.08%，鈣離子的增加量為 5.71%、13.44%、24.29%，鎂離子的增加量為 0.41%、1.53%、3.60%，而對於水中的餘氯及生菌數因原水無法檢出，而電解水亦無法檢出，故無法做比較。在表 3 中，使用硬度較高的自來水為原水，當 pH 值為 7.51 ± 0.04 ，導電度為 155 ± 5 uS/cm，硬度為 77.50 ± 6 mg/L 時，所生成之 1 至 3 段陰極水，其 pH 值分別為 8.00 ± 0.23 、 8.78 ± 0.11 及 9.52 ± 0.04 ，導電度為 160 ± 0 、 165 ± 5 、 165 ± 5 uS/cm，硬度的增加量為原水的 1.94%、4.52% 及 8.39%。生菌數由原水中含 305 CFU/mL，經電解後皆為無法檢出，此 3 段陰極水也同原水一樣無法檢出餘氯量。無論是軟水或中等硬水，電解後的陰極水為鹼性水，其 pH 值、導電度及硬度皆會隨著電解強度增加而增加。

表 2 亦顯示，軟水的陽極水由 1 段至 3 段其 pH 值依次遞

減，分別為 6.74 ± 0.27 、 5.46 ± 0.47 及 3.39 ± 0.02 ，導電度變為 60 ± 6 、 58 ± 6 及 167 ± 13 uS/cm，硬度改變為 23.17 ± 1.67 、 20.50 ± 0.67 及 14.50 ± 1.50 mg/L，鈣及鎂離子含量亦相對的降低，原水之餘氯無法檢出，但是 1 至 3 段陽極水均可測得餘氯量，且隨著電解強度增強而增加。表 3 顯示的中等硬水其電解陽極水由 1 段至 3 段其 pH 值為 7.21 ± 0.07 、 6.79 ± 0.07 及 3.94 ± 0.21 ，導電度變為 155 ± 5 、 145 ± 5 及 150 ± 10 uS/cm，硬度改變為 72.50 ± 4.00 、 67.50 ± 4.00 及 63.50 ± 12.00 mg/L，餘氯及總菌數皆無法檢出。陽極水隨著電解強度的增加，其 pH 值越低而更趨於酸性，硬度及鈣、鎂離子含量也越低。

淨水功能即是只經過過濾而沒有經電解作用的水，表 2 與表 3 均顯示，淨水功能出水管與排水管的水其 pH 值、導電度與硬度與原水相接近，無論原水是否可以檢出微生物及餘氯，淨水功能皆無法檢出微生物及餘氯量，顯示由於電解水生成器中的過濾裝置即可以去除水中之生菌及餘氯。

酸水功能產生的用水為陽極水，表 2 採用軟水當原水時，其 pH 值為 5.92 ± 0.23 ，硬度為 18.67 ± 2.39 mg/L，含有餘氯量 0.226 mg/L。表 3 採用中等硬水當原水時 pH 值為 6.92 ± 0.05 ，硬度為 72.00 ± 1.00 mg/L。此用水之水質接近於製造鹼性水之 2 段陽極水。但此功能的排水為陰極水，其 pH 值、導電度及硬度均遠大於製造鹼性水之 3 段陰極水。

由以上結果得知自來水經過電解水生成器之後，所產生的水其水質特性會有明顯的變化。

二、電解陰極水鈣鎂離子之濃度變化

電解之後水中陽離子會向陰極集中，因此陰極水中會含有較多的鈣及鎂離子，電解水生成器被設計為可由內藏式添加筒中添加乳酸鈣，以期增加電解水的硬度，表 4 顯示，添加 1 顆乳酸鈣後，所得到的陰極水硬度，並未依電解力增強而增加，且淨水的飲水所量得的硬度與原水比較並沒有變化，又於添加筒中添加 3 顆乳酸鈣片，經六次重複實驗後，由表 5 結果發現，陰極水的硬度隨電解強度增強而增加，而與未添加乳酸鈣的電解水相較之下，只有由廢水管排出的各段水，及 3 段陰極水有添加乳酸鈣的硬度有顯著相異 ($P < 0.05$)，其他各段陰極水在添加乳酸鈣前後硬度並沒有顯著差異 ($P > 0.05$)，所以這種添加乳酸鈣的方式無法增加飲水的硬度，也就是無法增加鈣離子的含量而得到預期中的效果。

經過電解水生成器所生成的水，在陰極部分會增加鈣鎂離子的含量，由表 6 所整理的數據得知，其增加量隨著電解強度而增加，在陽極則是相對的減少，淨水功能則對於鈣鎂離子含量無影響，即使添加乳酸鈣亦同。但淨水功能的排水中，添加乳酸鈣後鈣離子含量增加了 3.17 mg/L ，再將添加乳酸鈣與一般自來水電解後的陰極水做比較，其鈣離子含量並沒有因而增加，更可證明乳酸鈣的添加對飲水鈣含量的增加是沒有作用的。酸水功能時的陰極水，因屬於排水，其中包含了添加卻無法進入電解槽的乳酸鈣或氯化鈣與電解作用所增加的鈣離子含量，所以量得的鈣離子含量遠高於 3 段的陰極水。

在陰極水中，硬度及鈣、鎂離子的增加量因原水水質不同而增加不同的量及比例（表 7）。由 1 段至 3 段陰極水硬度的增加比例分別為 0 4.00%、7.55 16.00%、8.00 24.00%；鈣離子增加量為 1.21 6.35%、5.30 13.44%、11.50 27.53%；鎂離子的增加量為 0.22 4.47%、1.53 5.67%、3.60 10.91%。其增加的量會隨著電解強度的增加而增加，然所增加的量及比例卻未按原水的硬度及鈣、鎂離子的含量增加而呈固定比例之增加。

三、電解水的 pH 值隨時間之變化

圖 3 顯示，電解水生成器所生成的水，在室溫下，每天打開瓶蓋約 5 分鐘做檢測，陰極水的 pH 值在 4 天內變化小，4 天後隨時間增加而漸趨於中性，陽極水的變化較陰極水明顯，除了 3 段陽極水在 15 天內變化較小外，其他酸性水 pH 值隨時間而增高。若將電解水密封貯存於 4℃ 下，pH 值的變化會減緩（圖 4），因為密封而減少與空氣的接觸，減少反應發生的機會；低溫的狀況下，可減少反應活性。

第二節 不同原水對電解水水質的影響

改變原水的 pH 值、導電度、硬度、餘氯量及生菌量，經電解水生成器，其水質受原水水質的變化所影響。

一、pH 值

由表 8 的比較，原水 pH 值 4.24 的 1 至 3 段陰極水之 pH

值皆較原水 pH 值 7.31 的同段陰極水為低，pH 值 4.24 時，其 1 段陰極水 pH 值 6.20 還屬於酸性，2 段 pH 值 7.10 屬中性，3 段的 pH 值為 9.24，與原水 pH 值 7.31 時的 3 段水 pH 值 9.45 比較，其差異較 1 及 2 段小。原水 pH 值 4.24 與 7.31 的陽極水 1 段至 3 段分別為 3.86 及 6.61、3.43 及 5.86、3.11 及 3.44，發現其電解力越強時所造成的 pH 值差異越小。pH 值 4.24 的原水經淨水功能，其出水及排水 pH 值為 5.48 及 5.54，經過過濾即會輕微改變其 pH 值，原水 pH 值 7.31 時，淨水功能的出水管及廢水管 pH 值 7.15 及 7.32，變化較小。酸水功能的陽極水差異很大，pH 值分別為 3.28 及 6.33，陽極水 pH 值則皆為 10.26。由表 8 可以得知原水 pH 值低對酸性水影響較大，而電解強度增大時，其原水 pH 值對電解水 pH 值的相對影響就會減低。

二、導電度

電解水導電度亦隨著原水的變化而變化，其大小與水中所含離子的種類與數目有關，表 9 顯示，電解力越強，會增加陰極水的導電度，而陽極水除了受電解力影響之外，原水所含離子種類及含量，亦具影響力，當所含離子量較高時，其陽極水之導電度亦會隨電解強度增加而增加。由表 10 以電阻值大於 14.00 MΩ 的去離子水為原水時，因其導電度無法量得（小於 10 uS/cm），顯示水中電解質不足，電解水生成器即無法正常運作，會產生錯誤訊息，其電解能力降低很多。由表 10 的結果顯示，電解力的增加對於以去離子水為原水的電解水之 pH 值並沒有產生規則性的變化，由此可得知，影響電解水之 pH 值除

了原水之 pH 值及電解強度之外，水中電解質含量亦是一重要影響因子。

三、硬度

不同地區的自來水硬度亦不同，而由氯化鈣($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)所調配的不同原水硬度可以比較硬度對電解水的影響，3 種不同硬度的原水分別為 26.50 ± 1.67 、 76.00 ± 0.00 、 98.67 ± 1.78 mg/L，所生成的陰極水其硬度會隨著強度而增加，1 段的增加量分別為 1.98%、3.51%、2.03%，2 段增加量分別為 4.42%、9.64%、7.43%，3 段增加量分別為 10.08%、16.67%、13.51%。由表 2、表 3 及表 11 的數據分析，電解水的硬度隨著原水硬度的增加而增加，鹼性水中所高於原水的量，在檢測水樣中亦隨著原水硬度增加而增加，其增加的比例如表 11 所示，以硬度為 76.00mg/L 時的 3 段陰極水硬度增加 16.67% 為最高。相對的，陽極水的硬度隨著段數而減少，淨水功能對硬度的影響不大。

四、餘氯

餘氯量由無法檢出至 2.616mg/L Cl 的原水，經過電解水生成器之後，所生成 1 至 3 段陰極水中之餘氯量皆無法檢出，顯示鹼性水中之氯(Cl_2)、次氯酸(HClO)及次氯酸根離子(ClO^-)含量極低。由表 12，1 至 3 段陽極水中隨著段數的增加，所檢出的餘氯量亦隨之增加，1 段為無法檢出至 0.689mg/L，2 段為 0.236 至 0.707mg/L，3 段為 0.792 至 1.430mg/L。表 12 顯示的結果，在只經過濾的淨水功能所生成的水亦無法檢出餘氯量，6 種餘氯量原水，僅其中一種檢出 0.013mg/L 的低餘氯量，顯示

其餘氯會因過濾而去除。酸水功能時，陽極水的餘氯量為 0.226 至 2.556mg/L，而陽極的餘氯量（排水管）由無法檢出至 0.440mg/L。本研究以 DPD 法量測餘氯量，水中自由餘氯會將 DPD 氧化而顯色，使溶液轉變為紅色，然任何氧化劑的存在，均會干擾此試驗。由表 12 的實驗結果顯示，原水的餘氯量越大，陽極水所檢測出的餘氯量並不一定也增大，且淨水中幾乎無法檢出餘氯量，顯示無論原水的餘氯量為何，在進入電解前的水所含餘氯量極低，因此所量測出來的餘氯量除了餘氯外，亦可能包含其他氧化劑。

五、生菌數

電解水生成器所生成的 10 種水樣，包括 1 至 3 段、淨水功能及酸水功能的出水管與廢水管，皆無法檢出生菌數，試著調配原水的生菌量達 5.5×10^5 CFU/mL 時，電解水中亦無法檢出生菌數（表 13）。

第三節 電解陽極水之抑菌能力

一、抑菌力的比較

由已知具抑菌力的 0.05 % phenol【43】、作為微生物檢測的稀釋水及自來水作為對照，電解水的陽極水及陰極水皆具有抑菌作用，由表 14 結果得知，在含有生菌數 7.5×10^6 CFU/mL 的測試中，pH 值 3.30 陽極的酸性水抑菌力較強，5 分鐘內的抑制能力就相當於 0.05 % phenol 60 分鐘的抑制力。在相同條件下，

自來水與稀釋水在 120 分鐘後微生物依然可以正常生長。圖 5 為日常飲用鹼性水時間與菌數的遞減關係,顯示高 pH 值(9.90) 的鹼性水亦具有抑菌作用,其抑菌力與 0.05 % phenol 相當。

二、對指標菌的抑制力

表 15 及表 16 顯示,電解陽極水在 pH 值為 3.30 時,於 20 秒內即可抑制 *E. coli* 2.1×10^5 CFU/mL 的生長,對於具芽胞的 *B. subtilis* 於 2 分鐘內也能達到完全抑制的效果,而 pH 值與酸性電解水相當的去離子水,對於 *E. coli* 作用時間長達 3 小時還無法產生明顯的抑制作用,對於 *B. subtilis* 也需要較長時間才能達到其抑制效果。由實驗結果,電解酸性水若以 NaOH 提高其 pH 值,亦具有抑菌作用,然其效果卻遠低於 pH 值 3.30 的酸性水電解水,對 *E. coli* 需 30 分鐘以上,對 *B. subtilis* 要 20 分鐘才具有抑菌效果。由此發現,酸性電解水的抑菌能力並非完全來自其低 pH 值,主要的抑菌力乃來自經電解過程所增加的氧化能力。

電解陰極水亦具有抑菌效果,在 pH 值 9.50 的鹼性環境下,20 分鐘內可以抑制 *E. coli* 的生長(圖 6),30 分鐘內可以抑制 *B. subtilis* 的生長。

在相同的條件之下,*E. coli* 及 *B. subtilis* 在稀釋水中經過 180 分鐘及 60 分鐘後,依然可以生長。

第五章 討論

本研究透過科學的實驗方法，將目前民眾日常家用的淨水設備之一電解水生成器所生成的水質，進行特性及功能的研究，並藉由調配不同的原水及分析電解後水質的變化，以探討該設備的作用原理及使用限制，此研究資料可作為衛生單位管理上及民眾選用淨水產品之參考。

第一節 電解水生成器改變水質之作用

一、電解

水經電解後，陽極氫離子濃度極高，且會形成氯氣、氧氣等，其中部分氣體溶入水中，而成為具有強氧化力的離子，由於酸性的強度主要來自氫離子，所以愈多氫離子酸性就愈強，由此陽極就會產生酸性水。相反的，陰極的氫離子較少，氫氧根離子較多，所以鹼性就愈強，再加上離子交換後，鈣鎂等離子移至陰極，礦物質就會聚集在陰極產生鹼性水。若水中含有 NaCl 或 HCl，其中的 Cl 會因電解作用而產生 Cl₂ 並向陽極集中【20】，因而產生更具消毒力的酸性水。

本研究經實驗證明，無論原水之 pH 值為中性或偏酸性，所生成的 3 段供飲用的陰極水皆為鹼性水，而陽極水則為酸性水，顯示了電解水分子的效果。同時無論原水是否含有餘氯，其陽極水中亦可測得餘氯，顯示陽極水具有氧化能力。

二、過濾

電解水生成器之濾材為中空絲膜加上抗菌活性碳 4 層濾

蕊，由本實驗結果顯示，電解水生成器所生成的水，無論是否經過電解皆不含生菌。而鹼性水及只經過濾的淨水幾乎不含餘氯，據此推測本電解水生成器所生成的水不含細菌及餘氯係來自於此濾材的過濾作用。



第二節 鹼性水之適飲性

電解後供日常飲用的 3 段鹼性水，其 pH 值大於 9.51，導電度也比自來水增加，硬度增加的量約為原水的 10%，不同的原水產生的電解鹼性水均呈現 pH 值、導電度及硬度上升的趨勢，同時水中不含餘氯量及生菌數，因此，以未受污染的自來水為原水時，電解鹼性水除了 pH 值偏高之外，減少了餘氯的消毒氣味並降低微生物的生物性危害風險，又可以增加軟水的硬度。

由飲用水水質標準的細菌性標準及物理性標準，電解陰極水的無菌及無味，增加了其適飲性。由化學性標準為依據時，原水的選擇將影響其適飲性，影響適飲性的項目包括鐵、錳、銅、鋅、硫酸鹽、酚類、陰離子界面活性劑、氯鹽、氨氮、總硬度及總溶解固體量。因此，電解水生成器的選購如同一般淨水器的選購方式，為了得到安全衛生的飲用水，使用時需作多方面的斟酌，如使用的原水水質，其濾材的過濾有效壽命如何？是否在過濾無效之後反而增加微生物滋生之機會，則有待進一步研究。

第三節 添加乳酸鈣的效果

本研究使用之電解水生成器可以利用強制溶解添加方式，從內藏式添加筒中添加乳酸鈣，以彌補自來水中礦物質的不足。乳酸鈣本身雖溶於水，然而，由本研究結果顯示，乳酸鈣的添加並沒有增加鹼性水的硬度及鈣、鎂離子的含量，顯示所添加的乳酸鈣並無法發揮其預期的效果，又實驗結果發現，添加乳酸鈣之後，在排水中硬度或是鈣鎂含量會增加，因此推測乳酸鈣片與水的接觸時間太短，且所添加乳酸鈣為錠狀，導致溶解及解離程度均有限，而無法使 Ca^{2+} 離子趨向陽極，由於乳酸鈣是在過濾之後才進行添加，因此溶於水中的乳酸鈣皆由廢水管排出。若需藉由乳酸鈣的添加來增加水中鈣離子含量，其添加方式將有待更進一步探討。

第四節 原水水質對電解水之影響

一、pH 值

以中性原水電解後其陰極水為鹼性，測試較低 pH 值對電解水水質之影響，以探討陰極的電解作用能否處理酸性水源，為避免酸性的原水影響電解水生成器之內部材料，故此部分實驗僅作一次測試。在較酸的原水時，發現其電解力越高時所造成的 pH 值差異越小，原水 pH 值較低時對酸性水影響較大。影響電解水 pH 值除了原水的 pH 值外，其原水所含電解質成分，如 NaCl 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等亦會造成影響。

二、餘氯

研究發現，在供飲用的陰極鹼性水之餘氯量皆無法檢出，

顯示經電解水生成器所生成的陰極水中不含餘氯或其他具有氧化力的物質。實驗結果顯示，在只經過濾的淨水亦無法檢出餘氯量，其餘氯會被電解前的濾材濾除。本研究以氧化 DPD 顯色來量測餘氯量，由於陽極水具有強大的氧化能力，故所測得之餘氯量除了餘氯外，應該還有其他氧化劑存在，因此所量測出來的餘氯量大於實際值。餘氯量會因電解作用而可在陽極水中檢出，中等硬水為原水時的陽極水無法檢出餘氯量，係因設備限制無法於現場檢測，經長途運送及時間的因素，致使樣本無法檢出餘氯量。

三、有害物質

如果使用地下水、山泉水、礦泉水、或受污染的水作為原水，萬一原水受鎘、鉛、銅等重金屬污染，經電解後，依據電解原理，這些有害的重金屬將集中於陰極水中，因此鹼性水將含有濃度較高的有害重金屬而使電解水不適用於飲用。

本實驗對於水中生菌數的探討中，在只經過濾的淨水亦無法檢出生菌量，顯示在水樣中其微生物係因濾材的過濾而去除，故此結果無法驗證含微生物的原水只經電解作用能否將微生物去除。由於電解前即已無法檢出其生菌數，故無法得到電解對微生物去除的影響。若水不經過濾材而直接電解所生成的電解水是否含有生菌，值得更進一步的實驗與探討。Poelman 等人的研究指出，微藻類帶有負的表面電荷，在電解過程中會集中於陽極而凝聚，可以得到有效的去除【44】。所以推測供飲用的陰極水中更可以減少微生物的含量。

四、硬度

電解鹼性水的硬度或是鈣鎂離子含量會較原水為高，在實驗過程中發現，當硬度大於 180mg/L 時，電解水生成器將無法運作，硬度為 150mg/L 時，只有 1 段（初期飲用）電解水可產生，當硬度為 144mg/L 時 3 段（日常飲用）電解水無法產生。因此，電解水生成器的使用明顯受到原水硬度濃度的限制，且會提高供飲用水的硬度，對於中南部地區硬度較高的自來水是否適用，值得探討。

第五節 電解陽極水的消毒能力

大腸桿菌是最被廣泛使用的指標微生物，因格氏陰性（Gram-negative）的大腸桿菌比大部分格氏陽性（Gram-positive）之微生物，如黃金葡萄球菌，更有抵抗力，而且它的抵抗力與一些致病菌如沙門氏菌（*Salmonella schottmulleeri*）赤痢菌（*Shigella dysenteriae*）相當【45】。黑色枯草桿菌具有芽胞，對於惡劣環境較具抵禦能力，亦為一常用之指標菌。本研究針對此兩株菌的生長情形的實驗發現，電解陽極水在 pH 值為 3.30 時，於 20 秒內即可抑制 *E. coli* 生長，對於具芽胞的 *B. subtilis* 於 2 分鐘內也能達到完全抑制的效果，但是當調整去離子水 pH 值與酸性水相當時，既使作用時間長達 3 小時仍然無法對 *E. coli* 產生抑制作用，對於 *B. subtilis* 也需要較長時間才能達到其抑制效果，因此推測電解陽極水的抑菌能力並非單純來自於其低 pH 值。又電解酸性水若以 NaOH 提高其 pH 值至接近中性，雖然其抑菌效果遠低於 pH 值 3.30 的酸性電解水，

其抑菌作用在 *E. coli* 為 30 分鐘，對 *B. subtilis* 為 20 分鐘。由此推測酸性水的抑菌作用主要來自其氧化能力，其次為低 pH 值。

一般研究電解陽極水的抑菌消毒能力時，其原水皆添加 NaCl 以提高水中電解質含量，並且能增加電解水中 HClO、ClO⁻、Cl₂、ClO₂ 等氯化物含量，以達到消毒的效果。本研究乃採用一般自來水，其硬度及導電度都不高，經電解後立刻取陽極水測試亦能得到良好的抑菌效果，因此，家庭中使用電解水生成器時，陽極水可以用來清洗碗盤及抹布，可以達到良好的清潔效果。

研究強酸電解水及次氯酸溶液對細胞毒性的影響，結果發現這兩種抗菌劑有相同的效果【46】。以 ClO₂ 作為水的消毒劑已廣泛被使用，而 ClO₂ 生成器亦是利用電解的方式【47】，探究電解陽極水的抑菌能力、所含氧化劑的種類及可使用的範圍為一相當有趣的方

第六節 電解水的其他功能

電解水生成器在日本屬於醫療器材，宣稱鹼性水可改善酸性體質、消除體內自由基及中和胃酸等效果，關於鹼性的電解陰極水對於人體的健康效應尚須科學性研究加以驗證。

至於電解酸性水經本實驗證明有很好的抑菌效果，在實用上，是否亦可以藉由浸泡或沖洗達到消毒效果，可以先在實驗室中做處理生食的實驗，以探究經過酸性水浸泡或沖洗之後的食物、豆腐、生菜或生魚片是否更不易滋生細菌來加以證實。

第六章 結論

自來水經過電解水生成器處理之後，所產生的水其水質會有明顯的變化。電解產生的陰極水 pH 值、導電度及硬度均會增加，硬度的增加量約為原水的 10%，也就是會增加鈣、鎂離子的含量，而對於水中的餘氯及生菌數可以做很有效的去除。實驗發現，中性及酸性的原水經過電解水生成器之後，陰極水仍為鹼性水，證明水分子確實發生電解作用。

如果以一般合格的自來水為原水，則電解陰極水除了高 pH 值之外，不含生菌也無餘氯的消毒味，硬度亦較高，應合乎安全、衛生、可口的生飲條件，但其生菌的去除是來自於電解前的過濾。當硬度太高（大於 180mg/L as CaCO₃）及導電度太低的純水，電解水生成器即無法正常運作，若使用受重金屬污染的原水，經電解後，這些重金屬將集中於陰極鹼性水中，該水將不適於飲用。

乳酸鈣的添加並無法增加鹼性水的硬度及鈣離子的含量，顯示所添加的乳酸鈣並無法發揮其預期的效果。

本研究證實，陽極水中可量得餘氯量，又電解陽極水在 pH 值為 3.30 時，於 20 秒內即可抑制 *E. coli* 生長，對於具芽胞的 *B. subtilis* 於 2 分鐘內也能達到完全抑制的效果，推測其作用可能來自其強氧化能力及低 pH 值。若原水中加入 NaCl 經過電解後所產生的陽極水，因 pH 值將更低，且餘氯將更高，具有更強的消毒殺菌作用。

參考文獻

1. Aoki H, Yamanaka K, Imaoka T, Futatsuki T, Yamashita Y. Electrolytic ionized water producing apparatus. *Environment International* 1997; 23(6): 7.
2. 莊世鴻：高雄市五個行政區自來水用戶飲用水水質現況調查與評估研究。1996 高雄醫學院行為科學研究所碩士論文
3. 馮逸品：中壢市用戶自來水生飲之可行性研究。1991 中原大學土木工程研究所碩士論文
4. 中華民國飲用水水質標準八十七年二月四日訂定發佈
5. 行政院衛生署八十八年公告事項【2000.7.15 引用】URL：
<http://www.doh.gov.tw/focus/announce/88.html>
6. 郝龍斌：電解水器等淨水器公聽會。郝龍斌服務網公聽會資料庫 1999.3.1【2000.7.15 引用】RUL：
<http://www.np.org.tw/Law06/Lis/menu-l.html>
7. Tsuji S, Kawano S, Oshita M et al.. Endoscope disinfection using acidic electrolytic water. *Endoscopy* 1999; 31(7): 528-535.
8. Sasai-Takedatsu M, Kojima T, Yamamoto A et al.. Reduction of *Staphylococcus aureus* in atopic skin lesions with acid electrolytic water--a new therapeutic strategy for atopic dermatitis. *Allergy*. 1997; 52(10): 1012-1016.
9. 樂湘寧、魏華：強氧化離子水在醫院的應用與管理。中華醫院

- 感染學雜誌 1998 ; 4 (8): 232-233。
10. 張穎、肖旖旎：強氧化離子水消滅菌效果臨床研究。中國公共衛生管理 1998 ; 6 (14): 427-428。
 11. Hitomi S, Baba S, Yano H, Morisawa Y, Kimura S. Antimicrobial effects of electrolytic products of sodium chloride--comparative evaluation with sodium hypochlorite solution and efficacy in handwashing: Kansenshogaku Zasshi - Journal of the Japanese Association for Infectious Diseases 1998; 72(11): 1176-1181.
 12. 鄧小虹、彭國克：強氧化離子水殺菌性能實驗研究。中華醫院感染學雜誌 1998 ; 1 (8): 37-38。
 13. 林財富：淨水器的種類及設置時機。行政院環境保護署，認識淨水器專刊【2000.11.18 引用】RUL：
<http://www.epa.gov.tw/j/drinkwater/dkplant/report/index.htm>
 14. 黃建財、邱清華、毛義方：市售淨水器現況調查及其對健康影響之研究。公共衛生 1991 ; 18 (2): 172-181
 15. 蔡幸芬、林士正、張振章：這就是我們所喝的水嗎?--DIY 自組淨水器保養方法之評估。節約用水 1998 ; 3 (9): 24-32。
 16. 行政院環境保護署：安全飲用水第二版八十七年十二月
【2000.11.18 引用】RUL：
<http://www.epa.gov.tw/j/drinkwater/water/Lesson5/Lesson5-3.html>
<http://www.epa.gov.tw/j/drinkwater/water/Lesson5/Lesson5-4.html>

17. 王騰謙：購置淨水器應注意事項。行政院環境保護署，認識淨水器專刊【2000.11.18 引用】RUL：
<http://www.epa.gov.tw/j/drinkwater/dkplant/report/index.htm>
18. 劉黃惠珠：學校飲用水指標微生物調查分析研究。1996；中山醫學院營養科學研究所碩士論文
19. Skoog DA, West DM, Holler FJ. Fundamentals of analytical chemistry. 6th ed., New York : Saunders College Pub., 1992
20. Vlyssides AG, Karlis PK, Zorpas AA. Electrochemical oxidation of noncyanide strippers waters. Environment International 1999; 25(5): 663-670
21. Emanuel Goldbenger(張雲龍編譯)：酸鹼平衡入門-水電解質及酸鹼徵候群入門,二版,台北市：南山堂出版 1984;139-147
22. 陳美蓮、毛義方、藍忠孚：各類市售飲料的酸鹼度、酸度及重金屬含量研究。中華公共衛生雜誌 1996；15(2)：109-115
23. Sawyer CN, McCarty PL. Chemistry for environmental engineering. 4th ed., New York: McGraw-Hill, 1992; 485-487
24. Yang CY, Tsai SS, Lai TC, Hung CF, Chiu HF. Rectal cancer mortality and total hardness levels in Taiwan's drinking water. Environmental Research 1999; 80(4): 311-316.
25. Yang CY, Hung CF. Colon cancer mortality and total hardness levels in Taiwan's drinking water. Archives of Environmental

- Contamination & Toxicology 1998; 35(1): 148-151.
26. Yang CY, Chiu HF, Chiu JF, Cheng MF, Kao WY. Gastric cancer mortality and drinking water qualities in Taiwan. Archives of Environmental Contamination & Toxicology 1997; 33(3): 336-340.
 27. Yang CY, Chiu HF, Cheng MF, Tsai SS, Hung CF, Tseng YT. Pancreatic cancer mortality and total hardness levels in Taiwan's drinking water. Journal of Toxicology & Environmental Health 1999; 56(5): 361-369.
 28. Yang CY, Chiu HF, Cheng MF, Tsai SS, Hung CF, Lin MC. Esophageal cancer mortality and total hardness levels in Taiwan's drinking water. Environmental Research 1999; 81: 302-308.
 29. Yang CY, Chiu JF, Chiu HF, Wang TN, Lee CH, Ko YC. Relationship between water hardness and coronary mortality in Taiwan. Journal of Toxicology & Environmental Health. 1996; 49(1): 1-9.
 30. Yang CY. Relationship between trace metal concentrations and hardness in drinking water in Taiwan. Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology 1999; 63(1): 59-64,
 31. 陳秋楊：飲用水中硬度對人體健康及口感的影響。環境檢驗 1991；30：31-32
 32. John D. Kirschmann(徐南麗譯)：營養學新論，第五版，臺北市：

徐氏基金會出版 1987;

33. Chizuko M, Kouichi S, Shinichi M et al.. Disinfection potential of electrolyzed solutions containing sodium chloride at low concentrations. *Journal of Virological Methods* 2000; 85(1-2): 163 - 174
34. Iwasawa A, Nakamura Y. Bactericidal effect of acidic electrolyzed water—comparison of chemical acidic sodium hydrochloride (NaOCl) solution. *Kansenshogaku Zasshi - Journal of the Japanese Association for Infectious Diseases* 1996; 70(9): 915-922[In Japanese: English abstract]
35. Brock TD, Madigan MT, Martinko JM, Parker J. *Biology of Microorganisms*.7th ed., U.S.A: Prentice-Hall International, 1993; 332-343
36. Trasatti S. Electrochemistry and environment: the role of electrocatalysis. *International Journal Hydrogen Energy* 1995; 20(10): 835-844
37. 行政院環保署環境檢驗所：水質檢測方法彙編。2000 ；
NIEAW42450A
38. 行政院環保署環境檢驗所：水質檢測方法彙編。2000 ；
NIEAW20350A
39. 行政院環保署環境檢驗所：水質檢測方法彙編。2000 ；
NIEAW20850A

40. 行政院環保署環境檢驗所：水質檢測方法彙編。2000 ；
NIEAW40850A
41. 行政院環保署環境檢驗所：環境生物檢測方法彙編。2000 ；
NIEAE20352B
42. 行政院環保署環境檢驗所：水質檢測方法彙編。2000 ；
NIEAW30650A
43. Baker FJ, Breach MR. Medical microbiology techniques –
disinfectants and antiseptics. 1st ed., London: Butterworths, 1980;
p360-374
44. Poelman E, De Pauw N, Jeurissen B. Potential of electrolytic
flocculation for recovery of micro-algae. Resources, Conservation
and Recycling 1997; 19:1-10
45. 毛義方、藍忠孚、賴俊元：衛生營業有關之標準消毒法研究。
臺北市：衛生署環保局, 1986。
46. Okubo K, Urakami H, Tamura A. Cytotoxicity and microbicidal
activity of electrolyzed strong acid water and acidic hypochlorite
solution under isotonic conditions. Kansenshogaku Zasshi -
Journal of the Japanese Association for Infectious Diseases. 1999;
73(10): 1025-1031.
47. Wang B. Water disinfecting apparatus and process. Environment
International 1995; 21(3): 38-39

表 2 軟水電解後電解水之水質

樣本	pH 值	導電度 (uS/cm)	硬度 (mg/L as CaCO ₃)	餘氯 (mg/L)	總菌數 (^b CFU/mL)	鈣離子 (mg/L)	鎂離子 (mg/L)
^a 原水	7.51	65	26.50	^c ND	^c ND	7.96	2.21
	±0.16	±5	±1.67				
飲水							
1 段陰極水	8.05	65	27.00	ND	ND	8.41	2.22
	±0.27	±6	±1.67				
2 段陰極水	8.94	70	27.67	ND	ND	9.03	2.23
	±0.16	±3	±1.67				
3 段陰極水	9.63	75	29.17	ND	ND	9.65	2.29
	±0.10	±3	±1.56				
淨水	7.23	68	25.67	ND	ND	7.90	2.22
	±0.24	±3	±1.67				
用水							
酸水陽極水	5.92	62	18.67	0.23	ND	5.38	1.93
	±0.23	±4	±2.39				
排水							
1 段陽極水	6.74	60	23.17	0.07	ND	7.06	2.10
	±0.27	±6	±1.67				
2 段陽極水	5.46	58	20.50	0.46	ND	5.33	1.90
	±0.47	±6	±0.67				
3 段陽極水	3.39	167	14.50	0.83	ND	2.44	1.33
	±0.02	±13	±1.50				
淨水	7.33	68	26.17	ND	ND	8.27	2.20
	±0.18	±3	±1.67				
酸水陰極水	10.38	128	39.33	ND	ND	12.92	2.42
	±0.14	±9	±2.33				
樣本數	6	6	6	1	6	1	1

^a原水：陽明大學自來水

^bCFU：colony-forming unit

^cND：non-detectable (餘氯<0.001mg/L, 總菌數<1CFU/0.2mL)

表 3 中等硬水電解後電解水之水質

樣本	pH 值	導電度 (uS/cm)	硬度 (mg/L as CaCO ₃)	餘氯 (mg/L)	總菌數 (^b CFU/mL)
^a 原水	7.51 ±0.04	155 ±5	77.50 ±6.00	^c ND	305
飲水					
1 段陰極水	8.00 ±0.23	160 ±0	79.00 ±6.00	ND	^c ND
2 段陰極水	8.78 ±0.11	165 ±5	81.00 ±11.00	ND	ND
3 段陰極水	9.52 ±0.04	165 ±5	84.00 ±5.00	ND	ND
淨水	7.46 ±0.21	155 ±15	78.00 ±5.00	ND	ND
用水					
酸水陽極水	6.92 ±0.05	145 ±15	72.00 ±1.00	ND	ND
排水					
1 段陽極水	7.21 ±0.07	155 ±5	72.50 ±4.00	ND	ND
2 段陽極水	6.79 ±0.07	145 ±5	67.50 ±4.00	ND	ND
3 段陽極水	3.94 ±0.21	150 ±5	63.50 ±12.00	ND	ND
淨水	7.55 ±0.10	150 ±10	83.50 ±10.00	ND	ND
酸水陰極水	10.71 ±0.03	205 ±5	96.00 ±1.00	ND	ND
樣本數	2	2	2	1	2

^a原水：新莊自來水

^bCFU：colony-forming unit

^cND：non-detectable (餘氯 < 0.001mg/L, 總菌數 < 1CFU/ 0.2mL)

表 4 添加 1 顆乳酸鈣與否之電解水水質

b 樣本	pH 值		導電度 (uS/cm)		硬度 (mg/L as CaCO ₃)	
	未添加	有添加	未添加	有添加	未添加	有添加
^a 原水	7.64		70		25.16	
飲水						
1 段陰極水	8.84	8.88	70	70	25.16	30.00
2 段陰極水	9.26	9.36	70	70	25.16	29.03
3 段陰極水	9.91	10.08	80	90	30.00	29.03
淨水	7.15	7.55	70	70	25.16	25.16
用水						
酸水陽極水	6.41	6.46	60	60	21.29	21.29
排水						
1 段陽極水	7.20	7.33	70	70	23.23	28.06
2 段陽極水	5.32	5.98	60	70	18.39	28.06
3 段陽極水	3.30	3.35	190	190	11.61	16.45
淨水	7.35	7.62	70	90	27.10	36.77
酸水陰極水	10.70	10.86	150	190	35.81	52.26

^a原水：陽明大學自來水

^b樣本數：N = 1

表 5 添加 3 顆乳酸鈣與否之電解水水質

b 樣本	pH 值		導電度 (uS/cm)		硬度 (mg/L as CaCO ₃)		c P 值
	未添加	有添加	未添加	有添加	未添加	有添加	
a 原水	7.51 ±0.16	7.28 ±0.11	65±5	60±0	26.50 ±1.67	^d 25.00 ±0.00	0.1805
飲水							
1 段陰極水	8.05 ±0.27	7.92 ±0.23	65±6	67±4	27.00 ±1.67	25.67 ±0.44	0.0605
2 段陰極水	8.94 ±0.16	8.96 ±0.05	70±3	70±0	27.67 ±1.67	27.67 ±1.11	0.7489
3 段陰極水	9.63 ±0.10	9.60 ±0.03	75±3	87±4	29.17 ±1.56	31.33 ±0.44	*0.0026
淨水	7.23 ±0.24	6.77 ±0.10	68±3	70±0	25.67 ±1.67	25.33 ±0.89	0.6579
用水							
酸水陽極水	5.92 ±0.23	5.14 ±0.46	62±4	53±4	18.67 ±2.39	17.67 ±0.44	0.1593
排水							
1 段陽極水	6.74 ±0.27	6.34 ±0.08	60±6	77±9	23.17 ±1.67	32.00 ±5.33	*0.0203
2 段陽極水	5.46 ±0.47	5.05 ±0.11	58±6	80±7	20.50 ±0.67	31.00 ±4.00	*0.0037
3 段陽極水	3.39 ±0.02	3.33 ±0.01	167±13	170±0	14.50 ±1.50	17.33 ±0.44	*0.0157
淨水	7.33 ±0.18	6.77 ±0.10	68±3	80±0	26.17 ±1.67	33.00 ±1.33	*<0.0001
酸水陰極水	10.38 ±0.14	10.03 ±0.05	128±9	137±4	39.33 ±2.33	47.00 ±2.67	*0.0026

a 原水：陽明大學自來水

b 樣本數：N = 6

c 在各處理功能中有無添加乳酸鈣硬度的差異性，以 t-test 作統計分析

d 尚未接觸乳酸鈣

*P<0.05

表 6 電解水之鈣及鎂離子含量

單位：mg/L

b 樣本	自來水		自來水+c 乳酸鈣		自來水+CaCl ₂		DI 水+CaCl ₂	
	鈣離子	鎂離子	鈣離子	鎂離子	鈣離子	鎂離子	鈣離子	鎂離子
a 原水	7.96	2.21	^d 6.96	^d 1.87	37.01	2.07	56.33	^e ND
飲水								
1 段陰極水	8.41	2.22	7.04	1.88	37.49	2.17	59.90	0.07
2 段陰極水	9.03	2.25	7.68	1.98	38.97	2.15	59.40	0.03
3 段陰極水	9.65	2.29	8.88	2.08	41.03	2.21	62.81	0.01
淨水	7.90	2.22	6.78	1.85	37.38	2.08	58.12	ND
用水								
酸水陽極水	5.38	1.93	4.52	1.39	32.92	1.78	52.95	ND
排水								
1 段陽極水	7.06	2.10	9.11	1.67	35.34	2.07	55.28	0.07
2 段陽極水	5.33	1.90	7.81	1.47	34.34	1.65	53.11	0.02
3 段陽極水	2.44	1.33	3.43	0.91	29.26	1.62	47.36	ND
淨水	8.27	2.20	10.13	1.84	37.43	2.08	60.77	ND
酸水陰極水	12.93	2.42	13.61	2.20	46.13	2.42	73.46	0.03

a 自來水：陽明大學自來水

b 樣本數：N = 1

c 乳酸鈣：添加 3 顆

d 尚未接觸乳酸鈣

e ND：non-detectable (鎂 < 0.002mg/L)

表 7 不同性質原水電解後各段陰極水的硬度、鈣及鎂比較

^b 樣本	硬度 (mg/L as CaCO ₃)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
^a 自來水	25.00	7.96	2.21
1 段	25.00 ^c (0.00)	8.41 (5.71)	2.22 (0.41)
2 段	27.00(8.00)	9.03 (13.44)	2.24 (1.53)
3 段	27.00(8.00)	9.65 (21.29)	2.29 (3.60)
自來水+乳酸鈣	25.00	6.96	1.87
1 段	26.00(4.00)	7.04 (1.21)	1.87 (0.22)
2 段	29.00(16.00)	7.68 (10.38)	1.98 (5.67)
3 段	31.00(24.00)	8.88 (27.53)	2.07 (10.91)
自來水+CaCl ₂	92.13	37.01	2.07
1 段	95.13(3.24)	37.49 (1.29)	2.16 (4.47)
2 段	99.63(8.11)	38.97 (5.30)	2.14 (3.59)
3 段	105.13(14.05)	41.03 (10.85)	2.20 (6.43)
DI 水+CaCl ₂	106.00	56.33	^d ND
1 段	110.00(3.77)	59.91 (6.35)	ND
2 段	114.00(7.55)	59.40 (5.45)	ND
3 段	120.00(13.21)	62.81 (11.50)	ND

^a 自來水：陽明大學自來水

^b 樣本數：N = 1

^c ()：表硬度、鈣及鎂在各段水濃度比原水濃度增加的百分比，單位：%

^dND：non-detectable (鎂 < 0.002mg/L)

表 8 不同 pH 值原水電解後之 pH 值

^b 水樣	pH 值	
	1.酸性原水	2.中性原水
^a 原水	4.24	7.31
飲水		
1 段陰極水	6.20	7.90
2 段陰極水	7.10	8.82
3 段陰極水	9.24	9.45
淨水	5.48	7.15
用水		
酸水陽極水	3.28	6.33
排水		
1 段陽極水	3.86	6.61
2 段陽極水	3.43	5.86
3 段陽極水	3.11	3.44
淨水	5.54	7.32
酸水陰極水	10.26	10.26

^a 原水：陽明大學自來水

^b 樣本數：N = 1

表 9 不同導電度原水電解後之導電度

單位：uS/cm

樣本	1.	2.	3.	4.	5.
原水	^a ND	65	90	180	237
飲水					
1 段陰極水	10	65	90	180	230
2 段陰極水	10	70	90	183	233
3 段陰極水	ND	75	90	217	257
淨水	ND	68	80	180	240
用水					
酸水陽極水	ND	62	260	290	330
排水					
1 段陽極水	10	60	130	177	220
2 段陽極水	10	58	190	203	260
3 段陽極水	10	167	350	400	497
淨水	ND	68	90	180	240
酸水陰極水	10	128	130	273	340
樣本數	1	6	1	1	1

^aND：non-detectable (導電度<10 uS/cm)

表 10 去離子水電解後的水質

a 樣本	1.		2.		3.		4.		5.	
	pH 值	導電度 (uS/cm)	pH 值	導電度 (uS/cm)	pH 值	導電度 (uS/cm)	pH 值	導電度 (uS/cm)	pH 值	導電度 (uS/cm)
原水	6.20	^b ND	7.05	ND	7.05	ND	7.50	ND	7.98	ND
飲水										
1 段陰極水	9.48	30	9.18	10	9.18	10	8.47	ND	8.96	10
2 段陰極水	9.64	10	8.82	10	8.82	10	8.84	ND	7.77	ND
3 段陰極水	9.52	10	7.45	ND	9.16	ND	8.10	ND	8.43	10
淨水	6.38	10	6.36	ND	6.36	ND	6.83	ND	7.55	ND
用水										
酸水陽極水	6.04	ND	6.77	ND	6.77	ND	6.74	ND	7.08	ND
排水										
1 段陽極水	4.70	20	4.77	10	4.77	10	4.73	10	4.95	10
2 段陽極水	4.24	20	4.70	10	4.70	10	5.10	10	4.97	10
3 段陽極水	4.50	10	5.33	10	4.56	10	4.83	10	6.98	10
淨水	6.26	10	6.49	ND	6.49	ND	6.73	10	7.35	ND
酸水陰極水	9.79	10	9.47	10	9.47	10	9.51	10	9.60	10

^a樣本數：N = 1

^bND：non-detectable (導電度 < 10 uS/cm)

表 11 不同硬度原水電解後之硬度

單位：mg/L as CaCO₃

^a 樣本	1.	2.	3.
原水	26.50±1.67	76.00±0.00	98.67±1.78
飲水			
1 段陰極水	27.00±1.67 ^b (+1.89)	78.67±0.89 (+3.51)	100.67±2.22 (+2.03)
2 段陰極水	27.67±1.67 (+4.42)	83.33±1.78 (+9.64)	106.00±1.33 (+7.43)
3 段陰極水	29.17±1.56 (+10.08)	88.67±0.89 (+16.67)	112.00±1.33 (+13.51)
淨水	25.67±1.67 (-3.13)	76.67±0.89 (+0.88)	100.00±0.00 (+1.35)
用水			
酸水陽極水	18.67±2.39 (-29.55)	59.33±2.22 (-21.93)	84.67±0.89 (-14.19)
排水			
1 段陽極水	23.17±1.67 (-12.57)	74.00±0.00 (-2.63)	94.00±2.67 (-4.73)
2 段陽極水	20.50±0.67 (-22.64)	68.00±1.33 (-10.53)	90.67±2.22 (-8.11)
3 段陽極水	14.50±1.50 (-45.28)	57.33±0.89 (-24.57)	78.00±1.33 (-20.95)
淨水	26.17±1.67 (-1.25)	75.33±0.89 (-0.88)	100.00±0.00 (+1.35)
酸水陰極水	39.33±2.33 (+48.42)	98.00±1.33 (+28.95)	126.00±1.33 (+27.70)

^a 樣本數：N = 6

^b()：各段水硬度比原水硬度的增減百分比，+表示增加；-表示減少，單位：%

表 12 含不同餘氯量之原水電解後之餘氯量

單位：mg/L

^b 樣本	1.	2.	3.	4.	5.	6.
^a 原水	^c ND	0.16	0.27	1.63	2.32	2.62
飲水						
1 段陰極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2 段陰極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3 段陰極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
淨水	ND	0.013	ND	ND	ND	ND
用水						
酸水陽極水	0.23	1.53	0.27	2.16	2.11	2.56
排水						
1 段陽極水	0.07	ND	ND	ND	0.69	0.03
2 段陽極水	0.46	0.39	0.24	0.32	0.71	0.63
3 段陽極水	0.83	0.79	1.43	0.85	0.81	1.02
淨水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
酸水陰極水	ND	0.06	ND	0.27	0.44	0.38

^a原水：陽明大學自來水

^b樣本數：N = 1

^cND：non-detectable (餘氯 < 0.001mg/L)

表 13 不同生菌數的原水電解後之生菌數

單位：^bCFU/mL

^a 樣本	1.	2.	3.	4.	5.	6.
原水	^c ND	^d 305	^d 1.2×10^3	^d 9.5×10^4	^d 1.7×10^5	^e 5.5×10^5
飲水						
1 段陰極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2 段陰極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3 段陰極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
淨水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
用水						
酸水陽極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
排水						
1 段陽極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2 段陽極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3 段陽極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
淨水	ND	ND	ND	ND	ND	ND
酸水陰極水	ND	ND	ND	ND	ND	ND

^a 樣本數：N = 2

^b CFU：colony-forming unit

^c ND：non-detectable (總菌數 < 1CFU/0.2mL)

^d 抹布上之細菌

^e E. coli

表 14 電解水的抑菌能力之比較^g

時間 (分)	^a 總菌數 (^b CFU/mL)				
	0.05% phenol	^e 陽極水 (pH3.30)	^f 陰極水 (pH9.90)	自來水 (pH7.82)	滅菌之稀釋水 (pH7.06)
5	^c TNTC	^d ND	TNTC	TNTC	TNTC
10	TNTC	ND	1643	TNTC	TNTC
15	TNTC	ND	1238	TNTC	TNTC
20	TNTC	ND	658	TNTC	TNTC
30	TNTC	ND	460	TNTC	TNTC
40	180	ND	50	TNTC	TNTC
60	5	ND	3	TNTC	TNTC
90	ND	ND	ND	TNTC	TNTC
120	ND	ND	ND	TNTC	TNTC

^a原菌數：7.5 × 10⁶CFU/mL

^bCFU：colony-forming units

^cTNTC：too numerous to count (總菌數>300/0.2mL)

^dND：non-detectable (總菌數<1CFU/0.2mL)

^e陽極水：3段排水

^f陰極水：3段飲水

^g樣本數：N = 2

表 15 陽極水對 E. coli 的抑菌能力分析^g

接觸時間 (分)	^a 總菌數 (^b CFU/mL)				
	^e 陽極水 (pH 3.30)	去離子水+HCl (pH 3.30)	陽極水+NaOH (pH 7.16)	^f 陰極水 (pH 9.51)	稀釋水 (pH 7.02)
0.17	^c TNTC				
0.33	^d ND				
0.5	ND			TNTC	
1	ND		TNTC	TNTC	
2	ND			TNTC	
3		TNTC		TNTC	
4				TNTC	
5		TNTC	TNTC	TNTC	TNTC
7				TNTC	
10		TNTC	TNTC	1418	
15		TNTC	TNTC	66	
20		TNTC	TNTC	ND	
25		TNTC		ND	
30		TNTC	590		
40			ND		
60		TNTC	ND		
90		TNTC			
120		TNTC			
180		TNTC			TNTC

^a原菌數：2.1 × 10⁵ CFU/mL

^bCFU：colony-forming units

^cTNTC：too numerous to count (總菌數> 300/ 0.2mL)

^dND：non-detectable (總菌數< 1CFU/ 0.2mL)

^e陽極水：3 段排水

^f陰極水：3 段飲水

^g樣本數：N = 2

表 16 陽極水對 *B. subtilis* 的抑菌能力分析^a

接觸時間 (分)	^b 陽極水 (pH 3.30)	去離子水+HCl (pH 3.30)	陽極水+NaOH (pH 7.16)	^c 陰極水 (pH 9.51)	稀釋水 (pH 7.02)
0.25	^d +				
0.5	+		+		
1	^e +/-	+	+	+	
2	^f -		+		
3	-	+	+		
5	-	+/-	+	+	
10	-	-	+	+	+
15				+/-	
20	-	-	-	+/-	
25				-	
30		-	-	-	
35					
40				-	
50				-	
60			-	-	+

^a 樣本數：N = 5 (每個樣本再做 2 重複)

^b 陽極水：3 段排水

^c 陰極水：3 段飲水

^d +：試管中培養基混濁，表示有細菌生長

^e +/-：試管中培養基有些混濁有些澄清，表示細菌部分有生長，部分沒生長

^f -：試管中培養基澄清，表示無細菌生長

圖 1 電解水生成過程

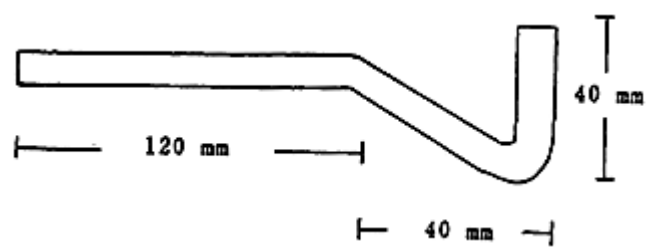


圖 2 彎弓塗抹玻棒

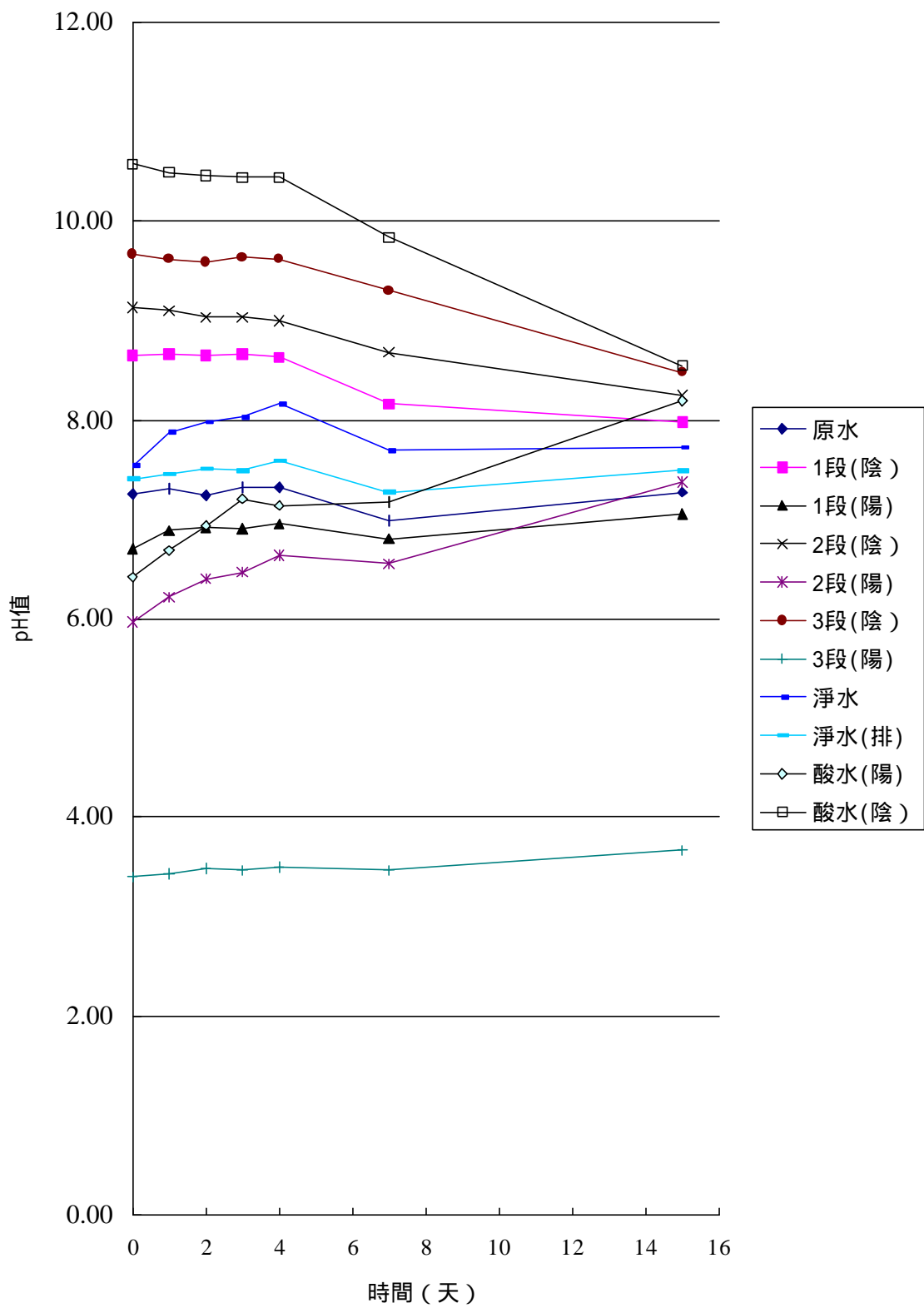


圖 3 電解水在室溫下 pH 值隨時間的變化

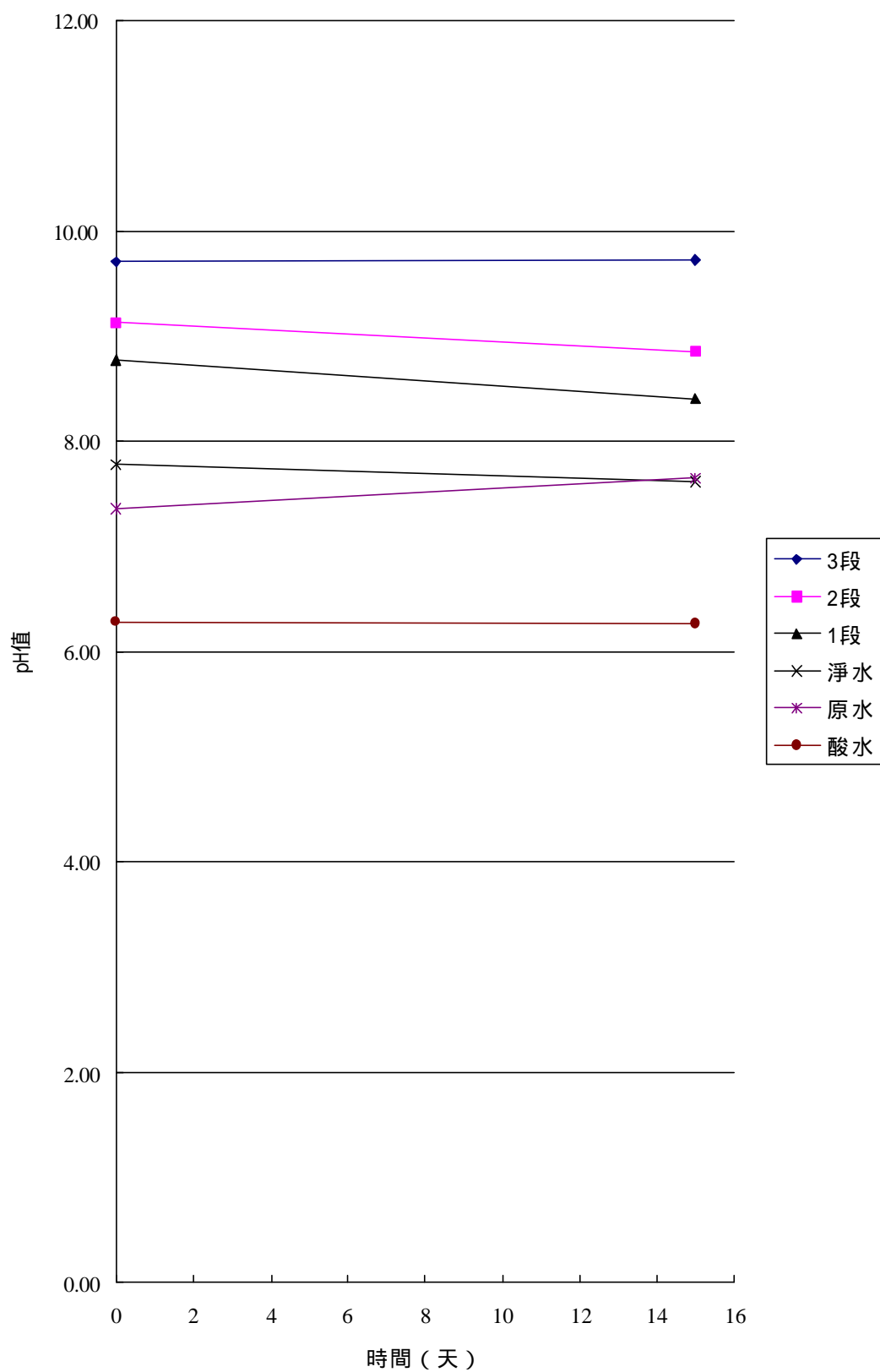


圖 4 電解水在 4 保存下 pH 值隨時間的變化

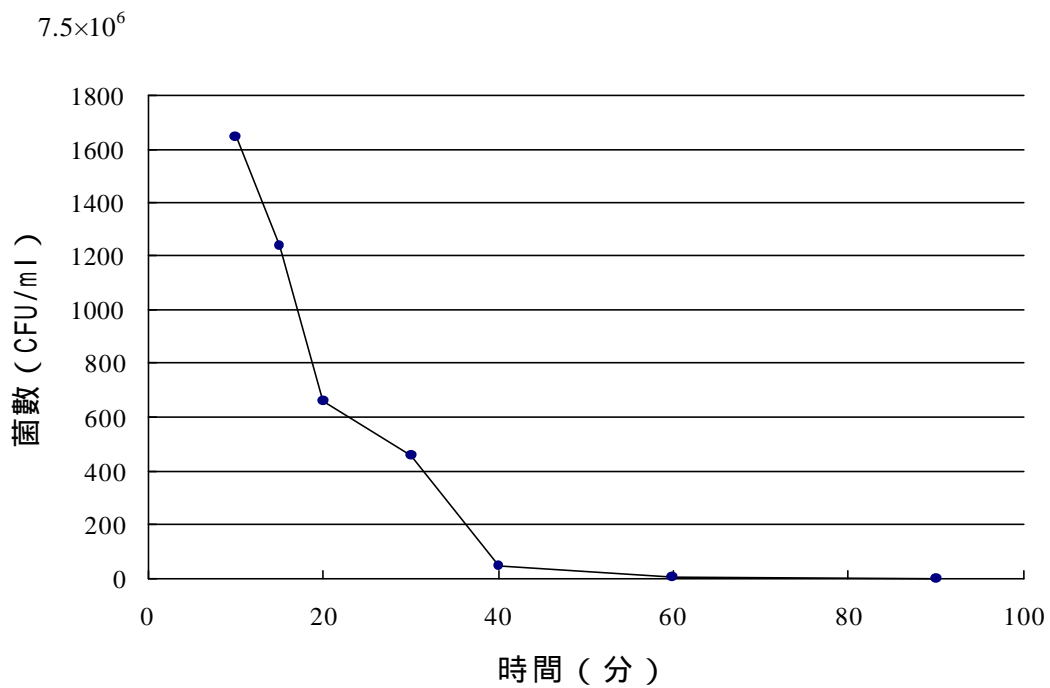


圖 5 鹼性水對一般生菌的抑制情形

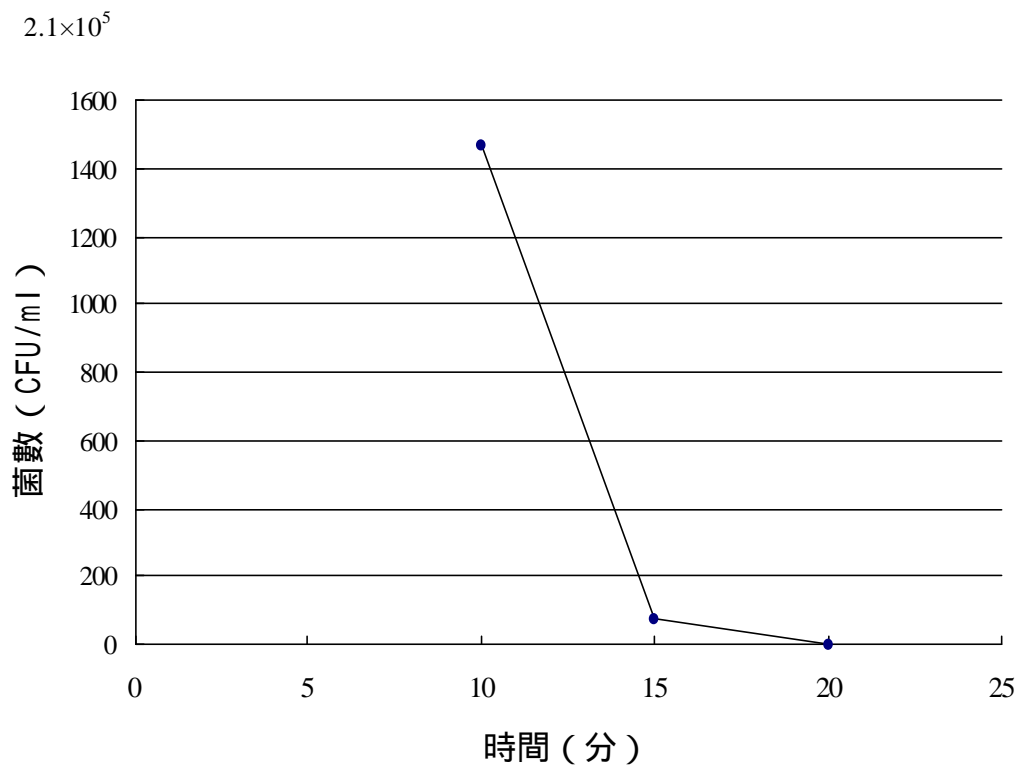


圖 6 鹼性水對大腸桿菌的抑制情形

附件一 本實驗電解水生成器之規格

電	源	AC110V , 60Hz , 2.0A , 200W
電	解 方 法	採用鈦燒結白金電解槽連續電解方式
電	處 理 水 量	鹼性 3L/分,酸性 1L/分
	電 解 功 能 切 換	鹼性水 3 階段 ; 酸性水 1 階段
	連 續 使 用 時 間	約 30 分
	電 極 洗 淨	每回自動洗淨, 依據水質硬度使用時間自動調整電解槽洗淨時間
淨 水 器	濾 材	中空絲膜 + 抗菌活性碳
	過 殘 留 氯 (1.5mg/L)	10,000L
	濁度(10NTU)	5,000L
	濾 濁 度 (2NTU)	20,000L
	濾 心 壽 命	約 6 個月 (依使用量及水質而定)
	不 可 去 除 成 分	溶解於水中的重金屬 (水銀、銅、鎳及海水成分)
	適 用 水 壓	0.07-0.74Mpa (0.7-7.5 kg f/cm ²)
天 然 食 品 鈣 添 加	強制溶解型添加方式, 內藏添加筒	
連 續 使 用 最 高 水 溫	35	