

東海大學食品科學系碩士班

Master of Food Science

Tunghai University

食品科技組

Food Technology Section

常壓非熱介電質電漿應用於藍莓表面殺菌

**Non-thermal atmospheric gas plasma device for
surface decontamination of blueberry**

馮性樺

Hsing-Hua Feng

指導教授：徐詮亮 博士

Advisor: Chuan-Liang Hsu, Ph.D.

中華民國一百零七年六月

June, 2018

謝誌

本論文得以完成，首先誠摯感謝恩師 徐詮亮教授，在研究所求學期間不辭辛勞的悉心指導與鼓勵，自研究方向討論至論文撰寫期間，皆承蒙恩師詳加指導，使得論文趨於完整，實有幸以成為老師的學生，在此謹致上最誠摯的感謝。

論文口試承蒙二位口試委員元培醫事科技大學食品科學系 詹鴻得 博士及國立勤益科技大學化工與材料工程系 黃怡銘博士撥冗審閱論文及參與口試，並於口試期間的指導與建議，惠賜寶貴之意見，使論文更臻完善，謹此致謝。

在研究所學程期間要感謝研究所學長姐們、同學們及學弟妹。曜寬、中愷學長、昱華學姊、鵬年、松佑學長，感謝你們的照顧與教導；謝謝欣瑜學妹、惟智學弟的幫忙與鼓勵。感謝同窗萬宇、閔鴻、育豪、佑星、秉叡、湘儀、予捷的幫忙與鼓勵。

最後要感謝我的父母及家人，你們的支持與鼓勵是我往前邁進的動力，謝謝你們讓我無後顧之憂的完成我的學業，謹將此論文獻給你們。

馮性樺 謹致於

東海大學食品科學系碩士班

中華民國一〇七年六月

摘要

新鮮藍莓於栽種時容易因土壤、水質、施肥而導致大腸桿菌及沙門氏菌污染，且藍莓為經常用於烘焙糕點之食材；一般採收後之清洗作業並無法有效降低病原菌污染，而傳統熱加工殺菌方式易使藍莓組織軟化且導致營養成分因受熱而流失；本研究旨在應用常溫常壓介電質放電電漿，於新鮮藍莓表面進行殺菌，此常溫常壓的加工處理方式，可避免高溫處理對新鮮藍莓的品質造成影響，並且能有效降低病原菌的生長；電漿操作條件以頻率 60 Hz、電壓 21 kV、電極間距 0.5 cm、工作氣體為空氣，電漿處理時間 0、1、4、7、10 及 15 分鐘對大腸桿菌及沙門氏菌殺菌效果之影響；實驗結果顯示，大腸桿菌初始菌液濃度為 7.6 log CFU/ml，經由電漿處理 15 分鐘後，大腸桿菌可完全滅菌，沙門氏菌初始菌液濃度為 7.1 log CFU/ml，電漿處理 15 分鐘後下降至 0.9 CFU/ml，並評估電漿處理對藍莓品質之影響，包括顏色、質地分析、水分散失及溫度變化，實驗結果顯示 L 值下降，a 值與 b 值均上升，為樣品本身表面蠟分佈影響，並無顯著影響；電漿處理後藍莓質地分析壓縮硬度並無顯著差異，電漿處理 15 分鐘後之水分散失為 0.31%，電漿處理後之整體溫差為藍莓接種大腸桿菌處理後溫差 1.5°C 及藍莓接種沙門氏菌處理後溫差 3°C，電漿處理後儲藏試驗 0~7 天之殺菌效果、水分散失、壓縮硬度亦無顯著差異，利用此常溫乾式殺菌

技術能有效降低病原菌且不影響產品品質。

關鍵字：常溫常壓介電質電漿、大腸桿菌、沙門氏菌、表面殺菌、藍莓

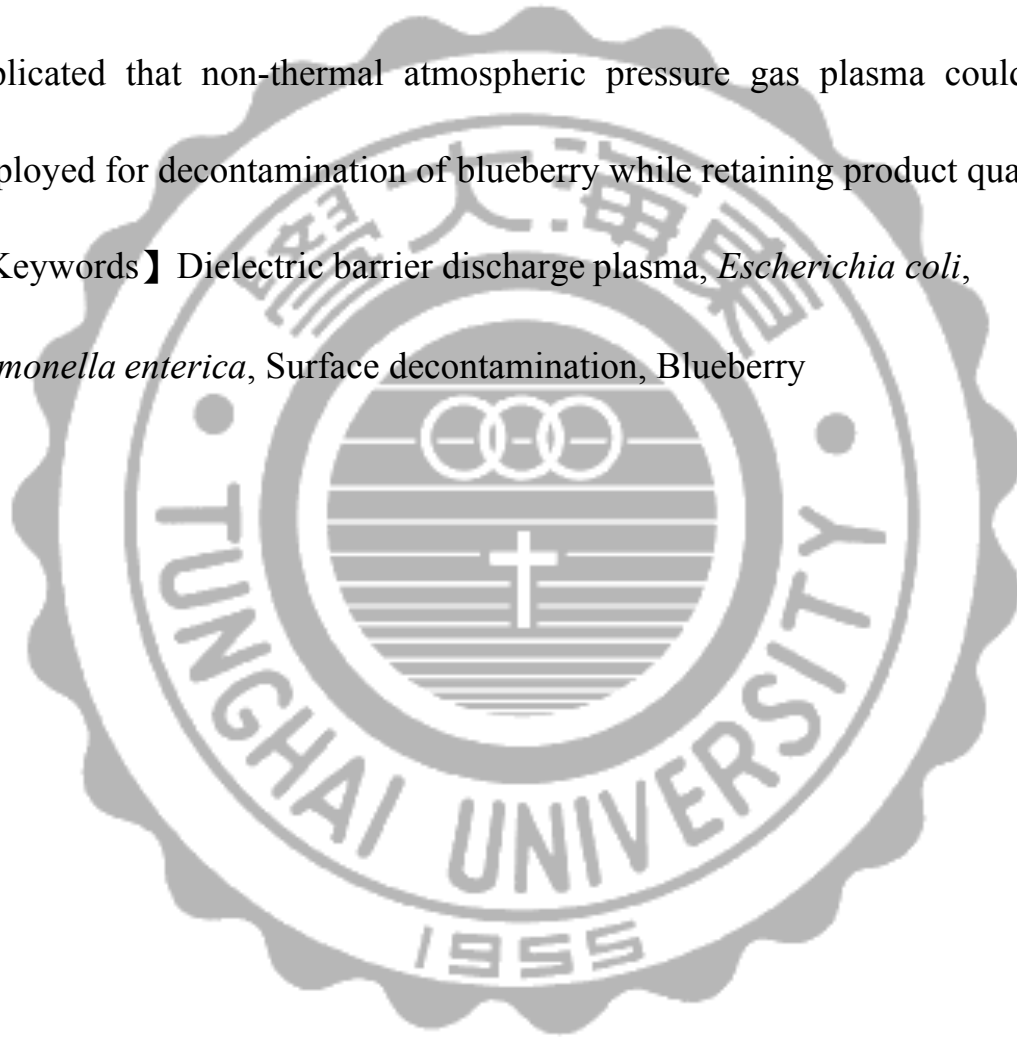


Abstract

Non-thermal atmospheric pressure gas plasma is increasingly under research for decontamination of foods, especially for fresh fruits and vegetables. Fresh blueberry, often used in baking and pastry food ingredients, which is susceptible to soil and water as well as fertilizer contamination caused by *Escherichia coli* (*E. coli*) and *Salmonella spp.* during the time of planting. General cleaning process after the harvest unable to effectively reduce pathogen contamination for blueberry, while the traditional thermal processing sterilization methods make blueberry tissue soften due to heat and lead to the loss of nutrients. This study aims to apply a non-thermal atmospheric gas plasma device for surface decontamination of blueberry. The process parameters applied were frequency at 60 Hz, input power 40 W, voltage at 21 kV, electrode spacing 0.5 cm, using air as working gas (500 sccm), plasma exposure time for 0, 1, 4, 7, 10 and 15 min. The influences of plasma treatment on blueberry were evaluated through bacteria count, surface temperature, weight loss, texture, and color change. Experimental results show that after 15 min plasma treatment, *E. coli* with initial concentration of 7.6 log CFU/ml on the

surface of blueberry can be completely decontaminated. *Salmonella spp* with initial concentration of 7.1 log CFU/ml on the surface of blueberry reduced from 7.1 log CFU/ml to 0.9 CFU/ml The qualities of the blueberry are not significantly changed after the plasma treatment. The results implicated that non-thermal atmospheric pressure gas plasma could be employed for decontamination of blueberry while retaining product quality.

【Keywords】 Dielectric barrier discharge plasma, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, Surface decontamination, Blueberry

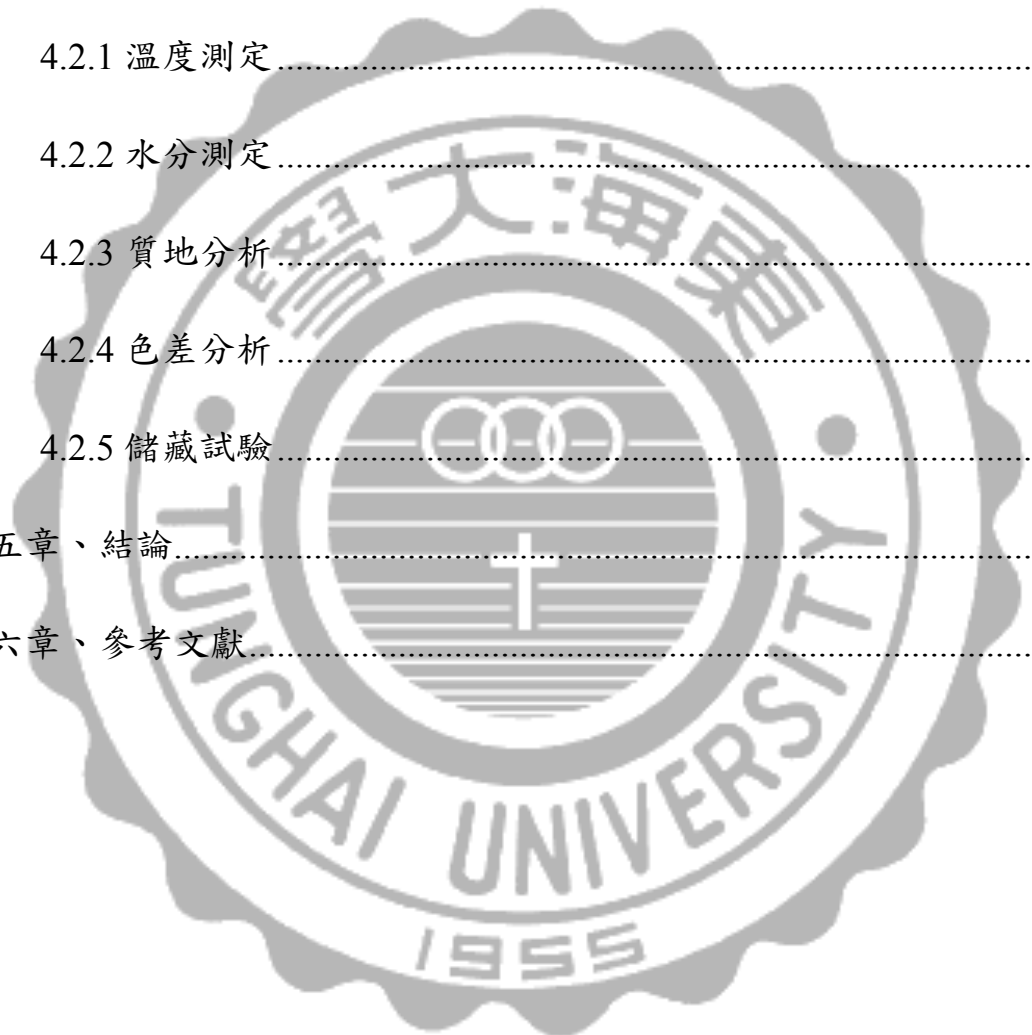


目錄

摘要.....	I
ABSTRACT	II
目錄.....	IV
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX
第一章、緒言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機及目的.....	2
第二章、文獻回顧.....	3
2.1 食品之病原菌.....	3
2.1.1 大腸桿菌.....	4
2.1.2 沙門氏菌.....	7
2.1.3 常用之消毒方法.....	10
2.2 電漿.....	14
2.2.1 電漿原理.....	17
2.2.2 非熱電漿之種類.....	22

2.2.3 電漿技術應用於蔬果殺菌.....	25
2.2.4 電漿殺菌機制.....	27
2.3 藍莓.....	30
第三章、材料與方法.....	31
3.1 實驗樣品與製備.....	31
3.1.1 實驗試藥.....	31
3.1.2 儀器設備.....	31
3.2 微生物測試樣品之製備.....	30
3.1.2 培養基製備.....	33
3.1.2 實驗用菌株.....	34
3.3 實驗架構.....	40
3.4 電漿殺菌處理.....	41
3.5 藍莓電漿處理後之品質測定.....	41
3.5.1 溫度測定.....	41
3.5.2 水分測定.....	41
3.5.3 質地分析.....	42
3.5.4 色差分析.....	42
3.5.5 儲藏試驗.....	42

3.6 統計分析	43
第四章、結果與討論.....	53
4.1 電漿處理對大腸桿菌及沙門氏菌之殺菌效果.....	53
4.2 電漿處理後對藍莓品質之影響	56
4.2.1 溫度測定	56
4.2.2 水分測定	59
4.2.3 質地分析.....	62
4.2.4 色差分析.....	66
4.2.5 儲藏試驗.....	69
第五章、結論.....	76
第六章、參考文獻.....	78



表目錄

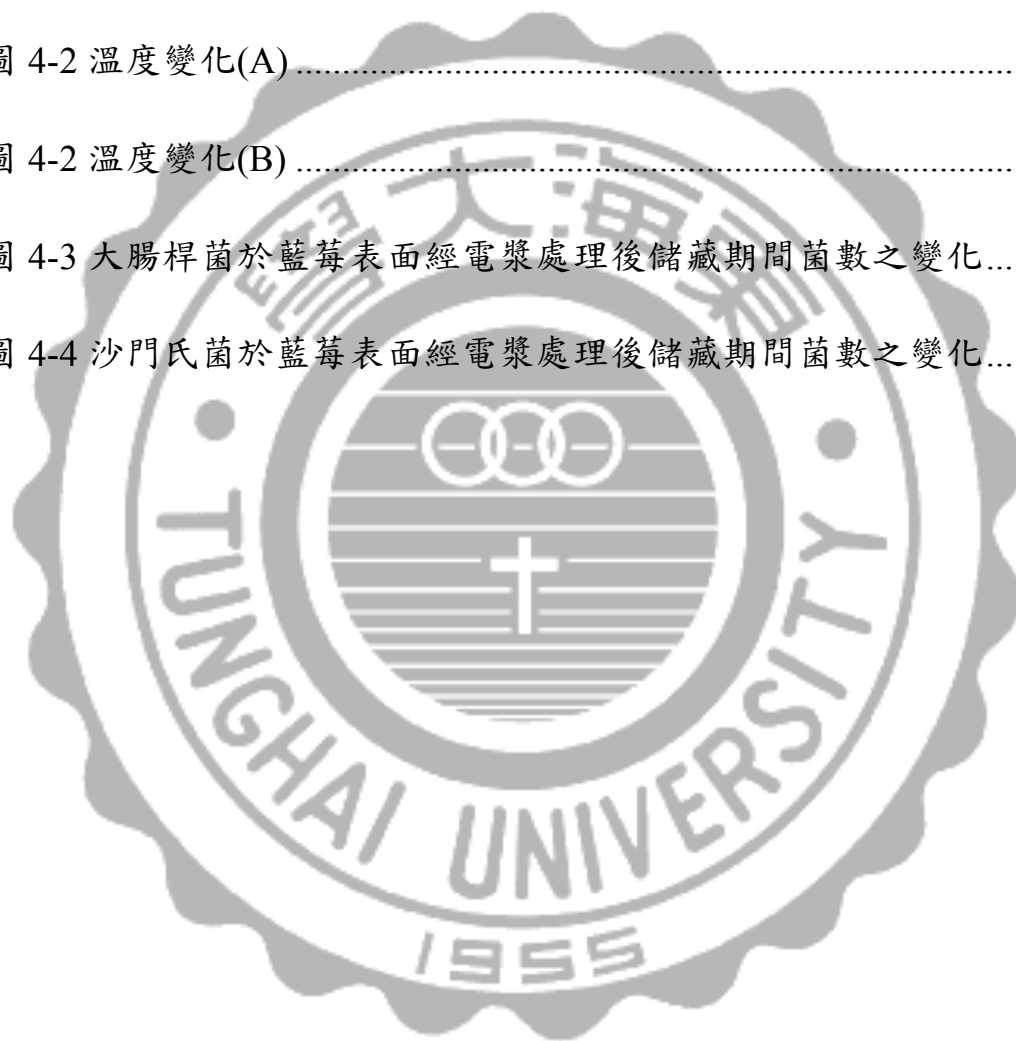
表 2-1 平衡電漿與非平衡電漿.....	21
表 3-1 壓縮硬度測試設定與探頭.....	44
表 4-1 電漿處理前後藍莓水分散失之重量變化.....	60
表 4-2 電漿處理前後藍莓質地變化.....	64
表 4-3 電漿處理前後藍莓顏色變化.....	67
表 4-4 電漿處理前後儲藏期間壓縮硬度變化.....	72
表 4-5 電漿處理前後儲藏期間水分散失之變化.....	74



圖目錄

圖 2-1 大腸桿菌.....	6
圖 2-2 沙門氏菌.....	9
圖 2-3 物質型態示意圖.....	16
圖 2-4 離子化示意圖.....	19
圖 2-5 電漿殺菌各階段示意圖.....	20
圖 2-6 常壓電漿裝置示意圖.....	24
圖 2-7 電漿殺菌機制示意圖.....	29
圖 2-8 藍莓.....	30
圖 3-1 電漿系統示意圖.....	38
圖 3-2 電漿系統裝置實體圖.....	39
圖 3-3 實驗架構.....	40
圖 3-4 樣品製備流程.....	45
圖 3-5 電漿處理藍莓操作流程.....	46
圖 3-6 電漿處理後樣品菌數計數操作流程.....	47
圖 3-7 溫度測定操作流程.....	48
圖 3-8 色差分析操作流程.....	49
圖 3-9 CIELAB 色彩空間.....	50

圖 3-10 質地分析操作流程.....	51
圖 3-11 儲藏試驗操作流程.....	52
圖 4-1 電漿殺菌效果(A-1)(A-2).....	54
圖 4-1 電漿殺菌效果(B).....	55
圖 4-2 溫度變化(A).....	57
圖 4-2 溫度變化(B).....	58
圖 4-3 大腸桿菌於藍莓表面經電漿處理後儲藏期間菌數之變化.....	70
圖 4-4 沙門氏菌於藍莓表面經電漿處理後儲藏期間菌數之變化.....	71



第一章、緒言

1.1 研究背景

新鮮蔬果食品的消費需求持續增長，而食品衛生安全問題越來越受到重視，而開發新穎殺菌技術為主要研究重點之一，其目的在於食品殺菌過程不影響食品之本身營養價值及品質，傳統熱殺菌方式，對於生鮮蔬果此類熱敏感食品並不適合，蔬果一般採收後洗滌和消毒處理，其殺菌效率不高，對於病原菌僅能減少二個對數值，並無法有效抑制病原菌之生長，並且可能會有化學殘留物(Crowe *et al.*, 2005)，傳統方法並無法有效維持品質及兼顧食品衛生安全，近年來為了因應消費者需求，開發了幾種非熱殺菌技術，如：高壓加工、超音波、紫外線、脈衝電場、輻射照射、電解水和常壓非熱電漿(Li *et al.*, 2016)，而在上述滅菌技術中，常壓非熱電漿為一種新穎加工技術，其非熱且無殘留之特性對於應用於食品殺菌有很大的潛力，電漿為一種離子化氣體，又被稱為是物質的第四形態，它包含大量的帶電粒子、反應物質，激發物質，UV光等(徐等，2014)，導致微生物的滅活。

本篇研究旨在應用常壓非熱介電質放電電漿處理熱敏感之新鮮蔬果表面殺菌，實驗測試電漿對新鮮蔬果上之大腸桿菌及沙門氏菌之殺菌效果並進一步探討其新鮮蔬果樣品經電漿處理後之品質影響，並期望能開發一套常溫、低成本，食品損傷小、無化學殘留之殺菌技術。

1.2 研究目的

1. 探討常壓非熱介電質電漿於藍莓表面之殺菌效果。
2. 評估電漿處理後對藍莓品質之影響，包括：顏色、表面溫度、水分及質地、儲藏試驗等。



第二章、文獻回顧

2.1 食品之病原菌

食品藥物管理署統計分析民國 102 年之食品中毒案例所引起的疾病發生之病因物質，分析統計結果顯示細菌性食品中毒佔了 81%，而細菌性食品中毒是由食品病原菌所引起之食品中毒，其致病型態又分為感染型，毒素型，毒素媒介感染型常見之感染型食品病原菌包括腸炎弧菌 (*Vibrio parahaemolyticus*)、沙門氏桿菌 (*Salmonella spp.*)、李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*) 等。毒素型病原菌：肉毒桿菌 (*Clostridium botulinum*)、金黃色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、仙人掌桿菌 (*Bacillus cereus*) 等。而毒素媒介感染型：產氣莢膜桿菌 (*Clostridium perfringens*)、病原性大腸桿菌 (*Escherichia coli*)。(行政院衛生福利部食品藥物管制署(Taiwan Food and Drug Administration, TFDA, 2010)。歐洲食品安全局的研究顯示，沙門氏菌被確定為食源性疾病爆發的最常見原因，也是歐盟第二大最常見之人畜共通疾病(歐洲食品安全局 European Food Safety Authority, EFSA, 2010)，大多數國家研究也確定新鮮蔬果為病原菌主要載體，以沙門氏菌、大腸桿菌或諾羅病毒為主要病原體(世界衛生組織 World Health Organization, WHO, 2008)。

2.1.1 大腸桿菌 (*Escherichia coli*)

大腸桿菌為人類及動物腸道中普遍存在之菌種，常藉由被感染人員及動物排泄物而污染食品和水源，所以如果食品出現大腸桿菌時，表示食品直接或間接被排泄物污染。因此，此菌被做為飲水及食品衛生之檢測指標。大腸桿菌在生物學分類上屬於細菌界(Bacteria)、變形菌門(Proteobacteria)、 γ -變形菌綱(Gammaproteobacteria)、腸桿菌目(Enterobacteriales)、腸桿菌科(Enterobacteriaceae)、埃希氏菌屬(*Escherichia*)。為革蘭氏陰性菌，具鞭毛，有氧及無氧狀態下皆能生長，為兼性厭氧菌，生長溫度為 37°C，耐熱性差，可經由一般烹煮加熱滅菌(圖 2-1) (Karmali, 2004； TFDA, 2010)。

分佈及污染途徑

大腸桿菌廣泛存在於人體或動物體的腸道內（健康人體內帶菌率約為 2~8%，豬、牛的帶菌率約為 7~22%）。所以會藉由已受感染的人員或動物糞便而污染食品及水源。此外，腸道出血性大腸桿菌 (*Enterohaemorrhagic E. coli*, EHEC)，其代表菌株有 O157:H7 及 O111:H8 等，為一種人畜共通菌，主要存在於牛、羊的腸道與其排泄物內。人體多因食入動物排泄物污染的食品及水源而感染，通常是生牛肉、生牛奶、受污染之水源和生食蔬果類等(Dechet *et al.*, 2014； TFDA, 2010)。

感染症狀

一般引起食品中毒之潛伏期平均為 5-48 小時，而腸道出血性大腸桿菌潛伏期為 2~8 天。主要感染部位為小腸，且依症狀之不同又分為急性腸胃炎型及赤痢型。症狀有噁心、腹痛、發燒、嘔吐及下痢。通常下痢患者平均約 4~5 天即可痊癒(Karmali, 2004; TFDA, 2010)。

預防治療

預防大腸桿菌感染應防止污染源接觸食品。食品容器及器具徹底消毒清洗，食品及飲用水經加熱處理。已遭大腸桿菌感染者，需補充適當的水分及電解質即可痊癒，也可使用慶大黴素(gentamicin)、丁胺卡那黴素(amikacin)等。(Mohannalshmi *et al.*, 2014; TFDA, 2010)。

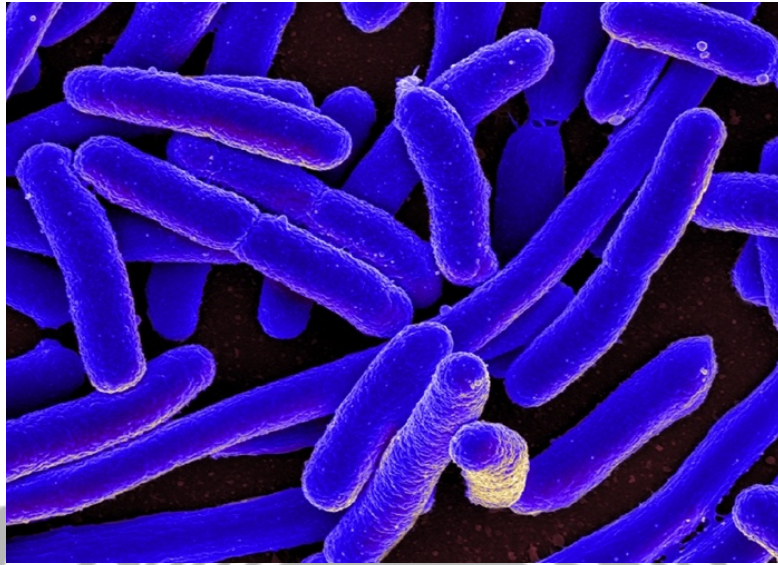


圖 2-1 大腸桿菌。

Fig. 2-1 *Escherichia coli*.

(圖片來源: <https://www.niaid.nih.gov/diseases-conditions/e-coli>
National Institute of Allergy and Infectious Diseases, (NIAID) USA)

2.1.2 沙門氏菌 (*Salmonella spp.*)

美國病理學家丹尼爾艾莫沙門最早發現沙門氏菌，沙門氏菌是以水或食物作為媒介的人畜共通傳染病，所引起之食品中毒事件，主要為食入受動物糞便所感染之食物而導致感染。沙門氏菌在生物學分類上屬於細菌界(Bacteria)、變形菌門(Proteobacteria)、 γ -變形菌綱(Gammaproteobacteria)、腸桿菌目(Enterobacteriales)、腸桿菌科(Enterobacteriaceae)、沙門氏菌屬(*Salmonella*)。為革蘭氏陰性腸道桿菌，具鞭毛，好氣性或兼性厭氧，不會形成芽孢，生長溫度為35~37°C，耐熱性低，高溫煮沸5分鐘即可滅菌(圖 2-2) (TFDA, 2010)。

分布及污染途徑

沙門氏菌主要分布於動物及人類，沙門氏菌幾乎於所有動物品種都曾分離出來，例如家禽、牛、羊、豬、馬、齧齒動物及寵物等。人類慢性帶菌者少，普遍存在於動物及鳥類。傳染方式包括食入被動物或人類糞便污染的水或食品，有部分群體突發案例為食用被污染的生菜和水果(Poppe, 2011)。農場的動物因食用被污染的飼料而感染，而在飼養及屠宰過程造成病菌的傳播。世界許多國家感染發生率顯著增加，美國每年約感染一百萬至二百萬人，引起500至2000人死亡；1995年於美國疾病管制局報告60%人類病例由 *S. serotype Enteritidis* (24.7%)，*S. serotype Typhimurium* (23.5%)，*S. serotype Newport*，

S. serotype Heidelberg (5.1%)，這4種血清型佔該年非人類來源分離株(46.4%)(Center for Disease Control and Prevention, CDC, USA；TFDA, 2012)。

感染症狀

食用遭受沙門氏菌污染的水或食品後，潛伏期平均約24小時，發病時間越短，症狀越嚴重。主要症狀為腹痛、下痢、發燒、寒顫、嘔吐、噁心、症狀持續2~3天後即可痊癒，但有5%的感染者會成為帶菌者，死亡率為1%以下(TFDA, 2012)。

預防治療

沙門氏菌於60°C加熱20分鐘即可滅菌，食品應充分加熱並立即食用，生食及熟食之容器應分開，避免混合使用。而一般針對沙門氏菌造成之腸胃炎治療以補充電解質及水份為主(TFDA, 2012)。

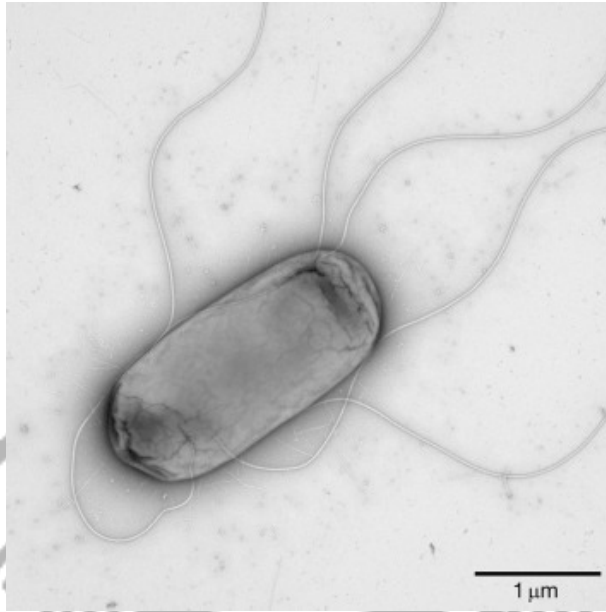


圖 2-2 沙門氏菌。

Fig. 2-2 *Salmonella* spp..

(圖片來源: Löffström *et. al.*, 2015)

2.1.3 常用之消毒殺菌方法

消毒與滅菌之定義，消毒是指使用物理法或化學法消滅致病的微生物，卻無法完全殺死內孢子，而滅菌則是殺滅包括孢子及病毒等所有致病的微生物。使用化學方法進行殺菌，其殺菌可分為三種程度，高程度消毒主要是應用於醫療器材，可殺滅所有的細菌及部分細菌孢子，中程度消毒能殺死細胞繁殖體、結核桿菌、黴菌、親脂性及部份親水性病毒、無法殺死具抗藥性之芽胞，低程度消毒可殺滅大部分細菌但無法殺死結核桿菌及細菌孢子。

物理殺菌方法

物理殺菌方法可分為熱處理、放射線處理、高壓加工等，以下詳細說明各種加工方法之優缺點：

1. 熱處理

熱處理以高溫高壓進行滅菌，使病原菌蛋白凝固變性，可殺滅所有微生物，如巴氏殺菌在相對溫和的溫度（例如 70-100°C）下進行熱處理。巴氏殺菌破壞微生物的營養細胞，但幾乎不影響孢子。而超高溫瞬間殺菌溫度則在 125-150°C，熱處理的局限性是食品營養成分的流失以及處理後對產品的顏色，風味和質地上所引起的變化，所以並不適合用於新鮮蔬果此類熱敏感食品。

2. 微波殺菌

微波殺菌是將食品經微波處理後，使食品中的微生物因高溫而失活，近而達到延長保存期之目的。當微波處理食品時，食品中的極性分子，如水分子等不斷改變其極性方向，使食品溫度快速上升而達到殺菌的效果。微波能的非熱效應在殺菌中起到了常規物理殺菌所沒有的特殊作用，細菌細胞在一定強度微波場作用下，改變了它們的生物性排列組合狀態及運動規律，同時吸收微波能升溫，使體內蛋白質同時受到無極性熱運動和極性轉動兩方面的作用，使其空間結構發生變化或破壞，導致蛋白質變性，最終失去生物活性。因此，微波殺菌主要是在微波熱效應和非熱效應的作用下，使微生物體內的蛋白質和生理活性物質發生變異和破壞，從而導致菌體的死亡。

3. 放射線處理

食品放射線處理是通過將食物暴露於由機器產生的定量電離輻射來進行微生物的滅活，放射線會損傷目標微生物的 DNA 並透過抑制 DNA 合成來阻止細胞分裂 (Farkas *et al.*, 2014; Tahergorabi *et al.*, 2012; Miller, 2005)，有三種主要類型的食品放射線技術，分別是電子束（電子束），X 射線和伽瑪射線，其穿透深度分別約為 8 公分，20 公分和 40 公分，電子束和 X 射線由機器源產生，可以開啟和關閉；然

而，伽瑪射線的來源是放射性核素 Co^{60} 或 Cs^{137} ，它們需要在保護設施和放射性廢物處理方面投入更多的成本，目前消費者對於食品放射線處理普遍存在誤解大多數消費者認為輻射是非安全處理方式，(Farkas *et al.*, 2014)。

4. 高壓加工

高壓處理也稱為高靜水壓處理，是一種新型的非熱能食品處理，是通過對容納在柔性袋中的食品進行加壓來實現的，所述食品放置在容器中並且經受由壓力介質傳輸的極高壓力。能夠滅活食源性腐敗和病原微生物，而不會導致食品的感官影響和營養價值的流失，高壓加工技術是在 1000-10000 大氣壓之壓力下進行食品殺菌，而在文獻中常用 MPa 為壓力單位，1 大氣壓相當於 0.1Mpa。微生物的細胞膜在高壓下會受到破壞，並造成酵素變性，使得食物中的微生物凋亡或失去分裂生長的能力，以達到殺菌效果。高壓殺菌雖然在農產品及食品加工上有發展的可能性，但也有潛在的限制，例如高壓殺菌僅能抑制部分酵素活性，需靠低溫儲藏以延長其保存期限；高壓殺菌對於水活性低的乾燥產品殺菌效果較差，必須配合其他的保存技術等以達到顯著效果，且高壓殺菌無法產生褐變的香味或外觀，對於部分產品無法提供增加視覺及嗅覺上之感官效果，此外，高壓殺菌需消耗大量能源，

設備能源所需成本較高，高壓殺菌可能必須要配合「攔柵技術」

(Hurdle Technology)，才能將效果發揮到最好（朱，2016）。

5. 紫外線殺菌

紫外線 (UV) 處理是一種利用電磁波譜從 100-400 nm 的光之非熱食品加工技術，紫外線之殺菌作用在於促使細胞質變性。當微生物細胞照射到紫外線後，由於產生光化學作用引起細胞內成分核酸及原漿蛋白等發生化學變化，使細胞質變性，進而抑制 DNA 的複製和細胞分裂，使微生物細胞凋亡。波長為 250~260 nm 的紫外線殺菌效果最好。紫外線處理的成本較低，在加工過程中不會產生任何化學殘留物或大量的熱量 (Hijnen *et al.*, 2006)。紫外線處理的主要應用是在液體食品領域，如果汁，牛奶，蜂蜜和液體蛋製品。

化學殺菌方法

利用化學作用來抑制細菌之生化作用及新陳代謝或使其細胞蛋白質變性造成細胞凋亡，達到殺菌效果。

1. 二氧化氯

二氧化氯的抗菌效果為氯的 2.5 倍，抗菌效果與細胞膜的破壞有關，導致通透性喪失，蛋白質合成減少，並破壞其 DNA。(Jin and Lee, 2007) 進行的一項研究顯示，當綠豆芽用 100 ppm 的二氧化氯水溶液

處理樣品 5 min 時，分別鼠傷寒沙門氏菌和單核細胞增生李斯特菌分別減少 3.0 和 1.5log CFU / g。

2. 臭氧

臭氧為一種強大的抗菌物質，臭氧之殺菌力高於過氧化氫及氯，已知臭氧能有效地殺死單核細胞增生李斯特氏菌，金黃色葡萄球菌，蠟狀芽孢桿菌，糞腸球菌等革蘭氏陽性細菌和革蘭氏陰性細菌 (Restaino *et al.*, 1995)。

2.2 電漿

在 1897 年，電漿首度被 William Crookes 發現，而在 1929 年時，Irving Langmuir 和 Tonks 發現電漿振盪而首次將電漿一詞引入物理學，電漿形成主要原因是由於電子受高壓電場所影響，高壓電場加速電子後獲得能量，而這種具有高動能的電子稱為「高能電子(energetic electron)」，高能電子往電場方向加速移動過程中與一團帶電荷的氣體分子發生碰撞反應，使分子離子化後使得原子核的電子脫離軌道後而離子轉成電漿態 (圖 2-3)。電漿由原始的中性物質經由激發、離子化等反應產生含有分子(Molecules)、原子(Atoms)、激發態物質(Excited Species)、電子(Electrons)、正離子(Positive Ion)、負離子(Negative Ion)、自由基(Free Radical)、UV 光、可見光等，離子化或部分離子化之類

氣體物質，總稱為『電漿』。由於電漿的性質不同於固、液、氣三態，所以又被稱為『物質的第四態』（徐等，2004）。

電漿是新型的殺菌技術之一，由於其高效率和有限的副作用，在食品保鮮方面具有巨大的應用潛力；主要是由於電漿包含大量的帶電粒子（例如： OH^- ， H_2O^+ ，電子等），反應性物質（例如活性氧-ROS， OH ， O_2^- ， $^1\text{O}_2$ ；活性氮-RNS， NO^- ， ONOO^- 等），激發的分子（例如激發的 O_2 、 N_2 等）和UV光子（例如：真空UV、UVC、UVB等），可導致微生物失活。



States of Matter

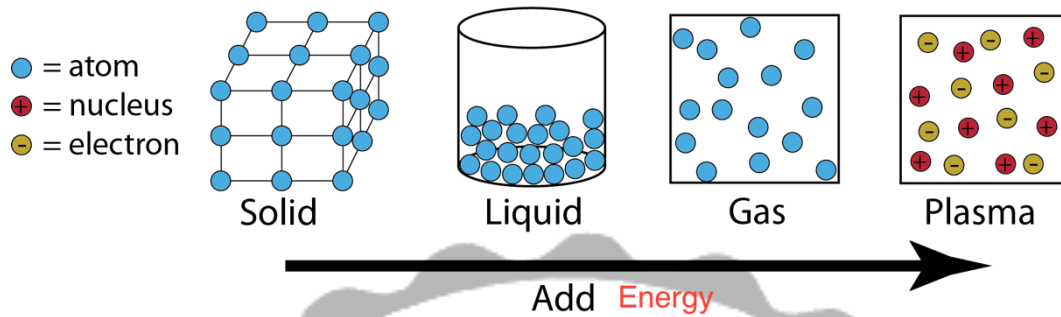


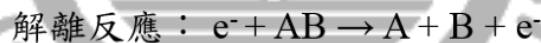
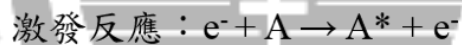
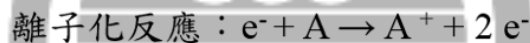
圖2-3、物質型態示意圖。

Fig. 2-3 Phases of matter.

(資料來源：<https://kknews.cc/news/9xegeel.html>)

2.2.1 電漿原理

電漿可分為平衡電漿與非平衡電漿(表2-1)。平衡電漿係增加壓力，縮小氣體移動範圍，增加其碰撞頻率，高能量的電子將能量傳至低能量的離子使電漿系統中其他粒子中心溫度升高，最後達到溫度平衡，故稱之平衡電漿(Equilibrium Plasma)。非平衡電漿(Non-equilibrium Plasma)氣體移動範圍大，藉電場加速游離電子蓄積能量形成高能電子，高能電子與氣體原子和分子碰撞，使軌道電子脫離原子核束縛變成自由電子，此反應稱為離子化(圖2-4)。電子與中性氣體分子的碰撞作用可用下列反應方程式來表示：



電漿殺菌可分為三個階段(圖2-5)，第一階段紫外線直接照射孤立的細菌使其失去活性，菌數快速下降，高活性分子侵蝕成塊和堆疊的細菌以及殘骸，殺菌曲線趨於緩和，當前面階段中殘存的細菌被侵蝕，周圍菌體殘骸清除到足夠讓紫外線穿透後，紫外線再次發揮效果使菌體殘留數大幅下降。

介電質電漿操作時氣體溫度與室溫相近，且操作過程不會造成氣體溫度升高，唯操作電壓高，在 21 kV 以上的高壓電。介電質電漿具

常壓非熱、簡單、快速、乾式、無殘留等優點。本研究係以此條件進行探討。



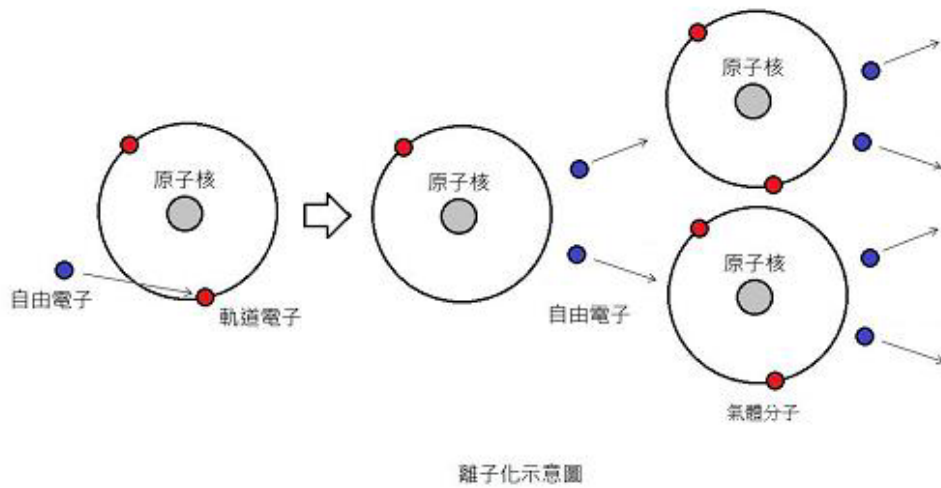


圖 2-4、離子化示意圖。
 Fig. 2-4 Ionization process.
 (資料來源：陳&徐，2013)



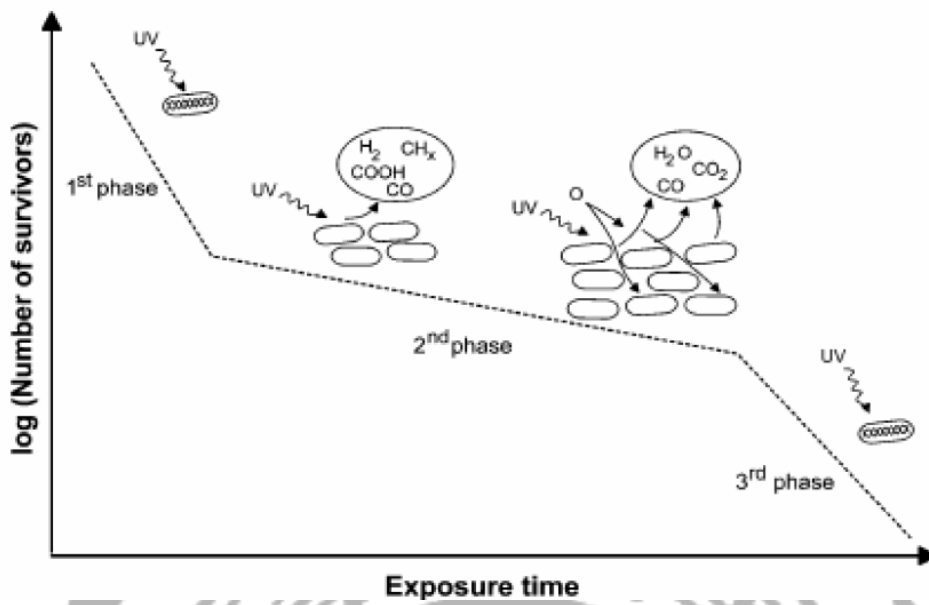


圖 2-5、電漿殺菌各階段示意圖。

Fig.2-5 Stages of plasma sterilization.

(資料來源: Moisan *et al.*, 2002)

表2-1、平衡電漿與非平衡電漿。

Table 2-1 Properties of equilibrium plasma and non-equilibrium plasma.

	平衡電漿	非平衡電漿
定義	完全離子化氣體	部分離子化氣體
離子化程度	100 %	$10^{-4} \sim 10^{-1}$ %
系統壓力	> 1 大氣壓	≤ 1 大氣壓
電漿溫度 (T_g)	> 10,000 K	~ 300 K (室溫)
電子溫度 (T_e)	$T_e = T_g$	$T_e/T_g = 10 \sim 100$
氣體狀態	熱平衡狀態	非熱平衡狀態

(資料來源：陳和徐，2013)

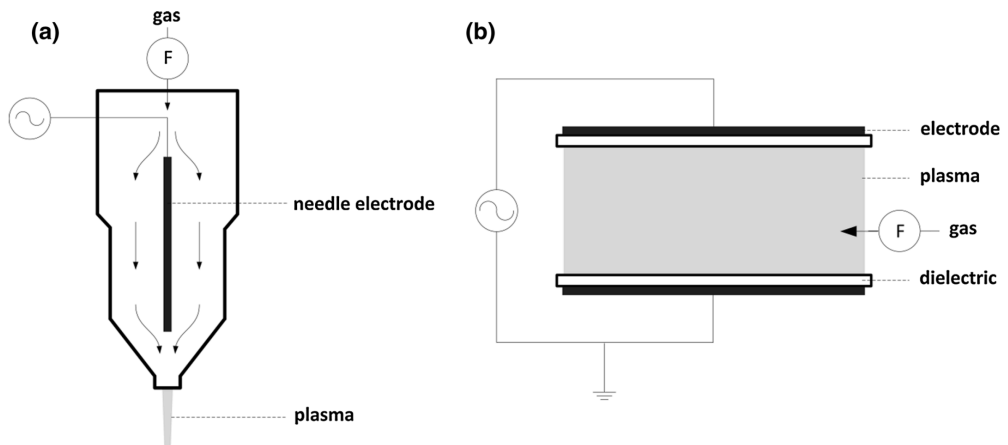
2.2.2 非熱電漿之種類

非熱電漿之應用非常廣泛，像是介電質放電所產生之臭氧亦能應用於消毒殺菌方面以及電暈放電方式之去除污染物、表面改質、醫療器材滅菌等（洪，1995），近年來也有許多研究將非熱電漿應用於食品。非平衡電漿亦稱為非熱電漿，其研究指出非平衡電漿的產生方式以其操作壓力、電極型態及產生機制可分成下列四種(圖2-6)：

1. 介電質放電電漿(dielectric barrier discharge, DBD)：DBD是使用介電質障壁放電方式去進行大面積的均勻放電，並在兩個電極(平板型或圓柱型)間加入至介電材料(石英或氧化鋁)，並且因為介電質的存在而只能使用交流式電源供應器。這種放電方式能在常壓下操作以及大量活化、分解氣體之特性DBD最早應用於工業廢水處理、臭氧產生器及滅菌(張等，2006；Kang *et al.*, 2003)。
2. 微波放電電漿(microwave discharge):微波電漿主要應用於雷射及元素分析，其電源供應器頻率一般為2.45 GHz，操作壓力範圍從1 mtorr至1大氣壓，需由共振腔(resonant cavity)或導波管(waveguide)之耦合裝置協助來產生電漿，微波所誘導之表面波放電可產生大面積且均勻的電漿(Surowsky *et. al.*, 2013)。

3. 電暈放電電漿(corona discharge)：電暈放電採用電極端放電方式，在電極尖端處形成集中電場來引發氣體的崩潰效應進而產生解離反應，電極形狀提供部分高壓電場來加速電子進行解離，供給電壓較DBD低，但是處理效果較弱，且易造成電極破壞毀損(洪等，1995；Surowsky *et. al.*, 2013)。

4. 常壓噴射式電漿(Atmospheric pressure plasma jet)：系統油源管狀金屬電極包覆另一金屬電極於管中央，兩電極接上電源供應器及接地線，利用電極尖端放電，輸入穩定流速之氣體經圓管內將電弧噴出產生電漿。電漿面積小且能量集中、處理效率高但受限於處理面積狹小，可用程式設定處理速度及面積。目前常壓噴射式電漿應用於表面改質、電漿蝕刻、生醫材料殺菌及光阻去除 (張等，2006)。

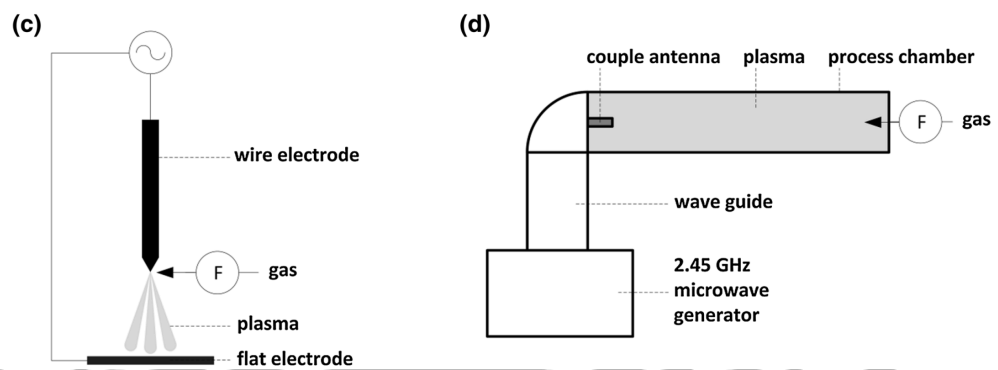


(a) 常壓噴射式電漿

(b) 常壓介電質放電電漿

Atmospheric pressure plasma jet

dielectric barrier discharge, DBD



(c) 電暈放電電漿

(d) 微波放電電漿

corona discharge

microwave discharge

圖2-6、常壓電漿源裝置示意圖。

Fig. 2-6 Schematic diagram of atmospheric pressure plasma.

(資料來源：Surowsky *et. al.*, 2014)

2.2.3 電漿技術應用於蔬果殺菌

Crizer 等 (2007) 以輝光放電電漿分別對蘋果、哈密瓜、萵苣中的大腸桿菌 O157:H7, 沙門氏菌和李斯特菌進行滅菌, 電漿功率 9 KV, 頻率 6 kHz, 工作氣體為空氣, 研究結果顯示經電漿處理 1、3、5 分鐘後, 大腸桿菌減少 2 log CFU/ g、沙門氏菌減少 3 log CFU/ g、李斯特菌減少 5 log CFU/ g。

Bermúdez-Aguirre 等 (2013) 利用常溫常壓電漿進行番茄、胡蘿蔔及萵苣之大腸桿菌殺菌處理, 電漿操作條件為 3.95kV 至 12.83kV (60Hz) 處理時間 30 秒至 10 分鐘, 工作氣體為氬氣, 結果顯示菌數接種數量會影響殺菌之效果, 接種較低之菌數殺菌效果較好, 電壓 12.83kV、處理時間 10 分鐘可下降 1.6 log 值。

Ziuzina 等 (2014) 利用常溫常壓介電質電漿進行櫻桃番茄及草莓的表面殺菌, 其研究結果顯示, 隨著電漿處理時間的增加, 殺菌效果也會增加, 櫻桃番茄以電漿功率 70 kV、處理時間 10 秒、操作氣體為空氣, 沙門氏菌下降 3.1 個對數值, 處理時間 60 秒, 大腸桿菌下降 6.3 個對數值, 處理時間 120 秒, 李斯特菌下降 6.7 個對數值, 而草莓在相同功率下, 處理時間延長至 300 秒, 大腸桿菌下降 3.5 個對數值, 沙門氏菌下降 3.8 個對數值, 李斯特菌下降 4.2 個對數值,

結果顯示草莓因果實表面不平整且有許多坑洞導致經電將處理之殺菌效果較差。

Lacombe 等 (2015) 利用常溫常壓噴射電漿進行藍莓表面殺菌及品質評估，其研究結果顯示，藍莓以電漿功率 549W、頻率 47kHz、電極間距 7.5 cm、處理時間 120 秒，總耗氧菌數下降 1.6 個對數值，電漿處理 90 秒，酵母菌/黴菌下降 1.7 個對數值，其藍莓顏色及硬度經電漿處理 120 秒後在統計上均有顯著差異，結果顯示噴射電漿處理時間對於藍莓殺菌效果及品質會有影響。

Lee 等 (2015) 利用常溫微波電漿進行白菜、萵苣及乾無花果之殺菌處理，使用氮氣作為電漿操作氣體，在 900W 處理 10 分鐘，使接種在白菜和萵苣上的鼠傷寒沙門氏菌失活約 1.5log CFU / g，萵苣經電漿 400W 處理時間 10 分鐘之李斯特菌下降 1.8±0.2log CFU / g。結果顯示電漿處理有助於提高蔬菜和乾果的微生物安全性。

Pasquali 等 (2016) 利用常溫常壓介電質電漿進行萵苣葉片之大腸桿菌及李斯特菌殺菌處理，電漿操作條件為電壓 15 kV，操作氣體為空氣，研究結果顯示其萵苣葉片附著之菌數極限至 10^2 CFU/ g，大腸桿菌經電漿處理 15 分鐘下降 1.35 log CFU/ g、李斯特菌經電漿處理下降 2 log CFU/ g。

2.2.4 電漿殺菌機制

電漿系統所產生之激發物質導致細菌滅活，其型式如下：

- (1) 活性氧(Reactive oxygen species ; ROS)：電漿產生之原子氧與 OH· 自由基等物質不僅可直接作用於細胞膜，而且可以通過外膜與細胞內成分發揮作用(圖 2-7) (Joshi *et al.*, 2011)。電漿誘導之活性氧主要經由過氧化反應作用於膜脂質以及活性氧可以在細胞內主動傳播通過細胞膜造成氧化損傷(Han *et al.*, 2015)。
- (2) UV 光：UV 光照射破壞菌體之去氧核糖核酸(DNA)，在 UV 光波長 260 nm，導致 DNA 中胸腺嘧啶和胞嘧啶與二聚體的反應，並嚴重損害細菌的複製能力(圖 2-7) (Beggs, 2002)。
- (3) 蝕刻(Etching)：電漿產生之反應物質與菌體接觸，產生化學反應形成揮發性化合物離開微生物，造成菌體結構破壞，反應物是由原子和分子基團組成，如 O 和 O³，或是亞穩態 (Metastable State) 的激發分子例如：¹O₂。菌體經過蝕刻反映後，產生小分子有 CO₂ 及 H₂O。UV 光會促進蝕刻反應，造成 UV 誘導蝕刻 (UV-induced etching) 進而增加殺菌效率，細胞膜中的孔隙形成導致內容物洩漏最終導致細胞凋亡 (Sale *et al.*, 1967)。

- (4) 脂質過氧化：產生的 ROS 誘導大腸桿菌膜的脂質過氧化，然後脂質過氧化物如丙二醛（MDA）不可逆地破壞 DNA 和蛋白質共價化合物的形成(圖 2-7) (Han *et al.*,2015)。
- (5) 靜電破壞：電漿通過轟擊細胞表面上之帶電粒子產生的靜電排斥超過細胞膜的伸縮強度，電漿產生的帶電粒子所累積產生之靜電力導致細胞膜的破壞，進一步造成細胞凋亡(圖 2-7) (Lunov *et al.*, 2015；Laroussi , 2002)。



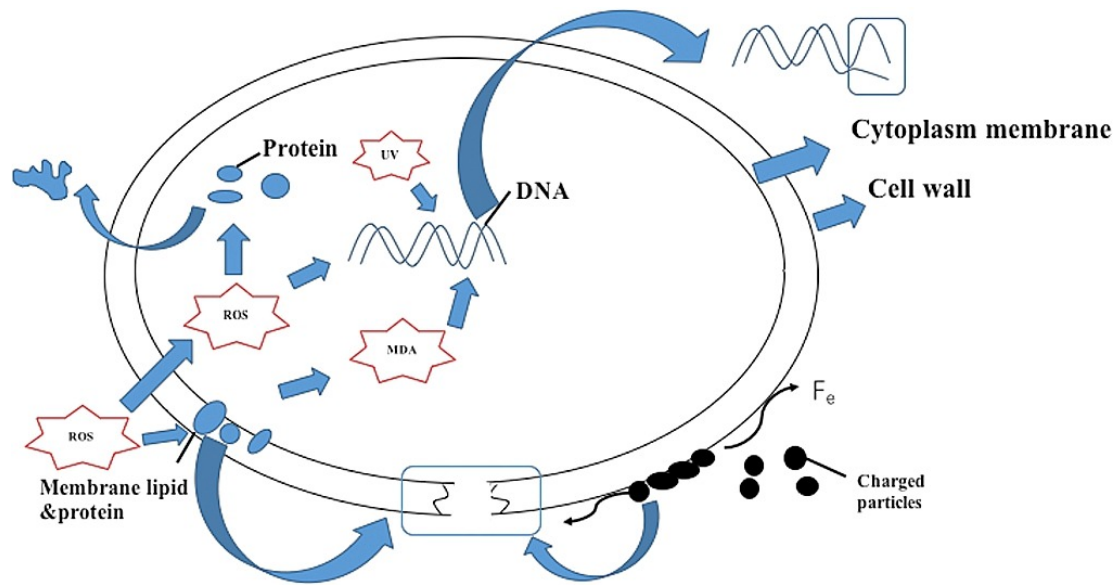
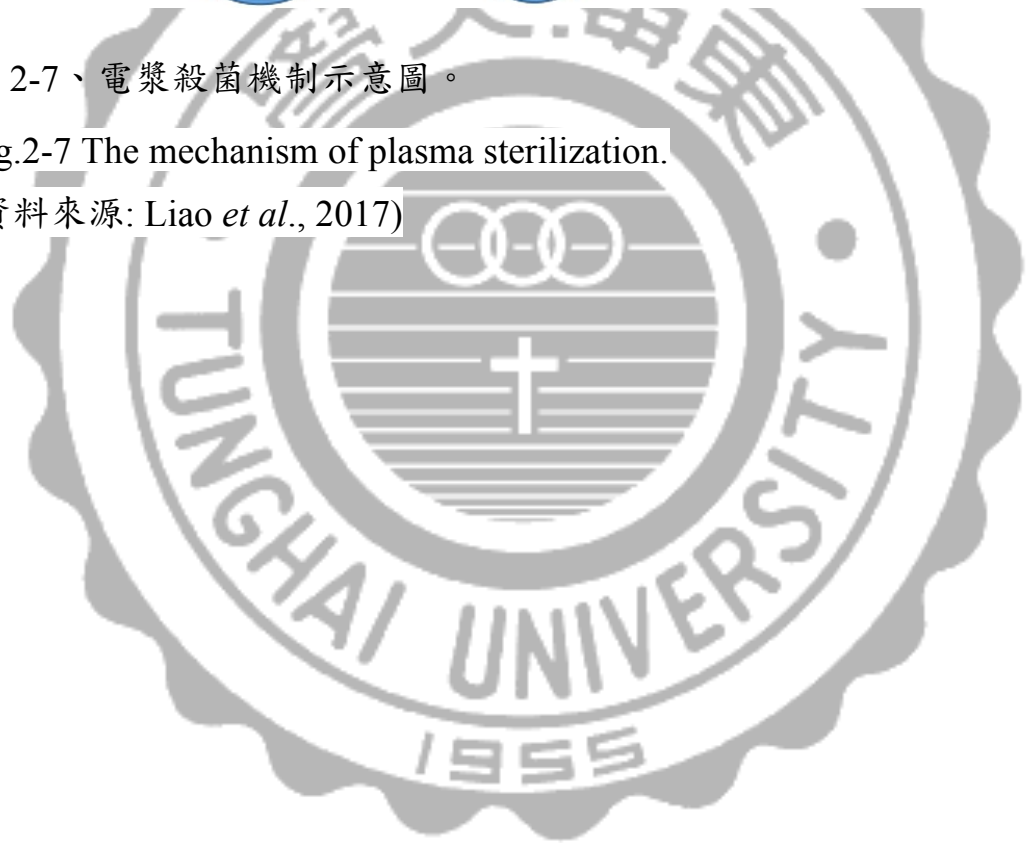


圖 2-7、電漿殺菌機制示意圖。

Fig.2-7 The mechanism of plasma sterilization.

(資料來源: Liao *et al.*, 2017)



2.4 藍莓

藍莓屬杜鵑花科，越橘屬植物，是一種原產於北美和歐洲的多年生灌木漿果果樹，因果實呈現藍色而稱為藍莓，廣泛種植和商業化，全世界生產之產量僅次於草莓。它被稱為抗自由基和活性物質的高抗氧化能力，被認為是日常飲食中抗氧化劑的最佳來源之一，新鮮藍莓也經常用於烘焙糕點產品，新鮮的藍莓由於其獨特的口感、細膩的風味、高營養價值和對人體健康的各種有益作用，已成為全球最廣泛消費的水果(Bornsek *et al.*, 2012)，然而新鮮的藍莓容易腐敗，由於採收期間之機械損傷、採後熟成、微生物污染以及水分和營養損失而導致保存期限短(Hancock *et al.*, 2008)。



圖 2-8、藍莓。

Fig.2-8 Blueberry.

(資料來源：United States Department of Agriculture 美國農業部

<https://www.ars.usda.gov/oc/images/photos/k5182-18/>)

第三章、材料與方法

3.1 實驗樣品與製備

藍莓於好市多賣場購買，品系為智利藍莓(好市多股份有限公司，台中，台灣)，並秤取 3 顆藍莓，重量 $5 \pm 0.1\text{g}$ 放置於室溫 25°C ，樣品接種菌體前，先以 75 %酒精進行表面滅菌後，放置於無菌操作台內靜置放乾，將樣品移到無菌培養皿內，樣品接種菌液（取 $100\ \mu\text{l}$ 的菌液均勻接種在樣品表面上），將樣品置於密封無菌培養皿內，放置於冰箱內 10 分鐘使菌體附著於藍莓表面上後即可取出進行實驗操作。

3.1.1 實驗試藥

1. Nutrient agar (NA, HiMedia Laboratories Pvt Ltd, Mumbai, India)
2. Nutrient broth (NB, Difco™, Becton Dickinson and company Sparks MD, Le Pont-de-Claix, France)

3.1.2 儀器設備

電漿系統：

1. 數位式交流電源供應器(6805 Linear AC power source
0-300V/45-500 Hz 500 VA，華儀電子股份有限公司，台中，台灣)
2. 油浸式變壓器(昌盛電機廠有限公司，台中，台灣)
3. MFC Readout Power Supply (PC-540, Protec Instruments,高雄，台灣)

4. Mass Flow Controller (5851E series, Brooks instruments,PA, USA)
5. HEPA Capsule(12144,Pall Corporation, 新竹市，台灣)
6. 反映腔體(含電極) (宸昶企業有限公司，新北市，台灣)

其他儀器設備：

1. 標準型電子天平(XS-6250C, Precise Industries, Ltd., Switzerland)
2. 低溫恆溫培養箱 (KK04 - 498, SANYO, Tokyo, Japan)
3. 電子分析天平(BL 120S, Sartorius，台灣哈那精密股份有限公司，台北，台灣)
4. 電子防潮箱(TMC-75, Tatung，台北，台灣)
5. 物性測定儀(TA.XT plus, 超技儀器有限公司，台北，台灣)
6. 色差儀(ZE 2000, 碁進儀器股份有限公司，新北市，台灣)
7. 均質機(Stomacher 400 Ciroulator, 進基科技股份有限公司，台北，台灣)
8. 紅外線溫度感測器(FLIR i7, 儀測科技股份有限公司，台中，台灣)
9. 微量分注器(Model P100、P1000, Gilson Pipetman, Connecticut, USA)
10. 菌落計數器(SK-20/62, 新光精機工業股份有限公司，台北，台灣)
11. 高壓滅菌鍋(TM-328, Tomin, 新北市，台灣)
12. 水平式桌上型無菌操作台(ONL-3,弘屹科技有限公司，台中，台灣)

3.2 微生物測試樣本之製備

本研究中所使用到之培養基之配製、實驗菌種之培養及實驗樣品之製備等。

3.2.1 培養基配製

本研究所使用之固態培養基及液態培養基，培養基配置完成後，使用高壓滅菌釜(121°C, 1.2 atm)進行 15 分鐘滅菌處理，滅菌後之培養基為無菌狀態。為了減少固態培養基於降溫過程中而形成之水蒸氣凝結於培養皿內，因此在滅菌後，將培養液靜置使其降溫至 45°C 再於無菌操作台上使用微量分注器將培養基分裝於無菌培養皿中，每一培養皿分裝 20 ml 之固態培養基，分裝完畢後開啟操作台內紫外線燈以防止污染，靜置培養基待其凝固後備用。液態培養基則於滅菌完靜置冷卻使溫度降至室溫後，於無菌操作台內分裝 9 ml 於無菌試管中，放置於 4°C 冰箱中冷藏保存以備用。

培養基之配製：

1. Nutrient agar (NA, HiMedia Laboratories Pvt Ltd, Mumbai, India)每公升去離子水中加入 28 g，其成分有 Animal tissue 5g、Beef extract 1.5 g、Yeast extract 1.5 g、Sodium chloride 5g、Agar 15 g。

2. Nutrient broth (NB, Difco™, Becton Dickinson and company Sparks MD, Le Pont-de-Claix, France)每公升去離子水中加入 8 g，其成分有 Beef extract 3 g 及 Peptone 5 g。

3.2.2 實驗用菌株

本實驗菌株使用非病原性大腸桿菌 *Escherichia coli* (BCRC10239)，菌株來自台灣食品工業發展研究所(Food Industry Research and Development Institute, FIRDI, 新竹，台灣)生物資源中心(Bioresource Collection and Research Center, BCRC)。

Salmonella enterica 菌株來自東海大學食品科學系。

菌株活化、培養:

本研究中所使用之菌株，其初始狀態為粉末狀，使用前須將菌株粉末經過活化處理，其步驟如圖 3-1 所示，先以 75 %酒精擦拭菌株試管表面至無菌操作台內進行操作，用酒精燈加熱外管之頂端，立即滴水於加熱處後並以鑷子敲破玻璃外管，取出隔熱紙與內管，以鑷子取出內管之棉花塞。滴入 0.3~0.5 ml 指定之液體培養基於內管中；使菌體溶解成懸浮液，吸取此懸浮液滴入指定之液態培養基內，在 35 °C 培養 24±2 小時(TFDA, 2015)。液態培養基中有沉澱物或成混濁狀即表示菌體已活化。之後再將

菌液接種至新鮮液態培養基，大腸桿菌使用營養瓊脂液態培養基 (nutrient broth, NB)，沙門氏菌使用營養瓊脂液態培養基(nutrient broth, NB)，使菌種保持在活化狀態（食品工業發展研究所生物資源中心）。



電漿系統裝置

本研究所使用之電漿為介電質放電電漿，電漿系統可分為三大部分：

- (1)反應腔體及針狀電極
- (2)氣體鋼瓶、流量計與氣體流量控制器
- (3)電源供應器與變壓器等

反應腔體

由上下兩個不鏽鋼電極組成，上部電極為圓形針盤狀，電極直徑為47 mm，上部電極與樣品間距為0.5 cm，底座包覆石英玻璃圓盤作為介電質，直徑為5.0 cm，下方有排氣孔，上下部由一壓克力圓柱罩連接並鎖上，並有橡膠密封條使其電極形成一個密閉反應腔體。

進氣系統

本研究以空氣(組成成分含21 % O_2 及79 % N_2)作為工作氣體。氣體經由HEPA Capsule過濾後，以MFC Readout Power Supply (PC-540)、Mass Flow Controller (5851E series)控制氣體流量為500 cc/min。

電源供應器

本研究所使用之裝置系統以台灣電力公司所提供電壓(110

V/60 Hz)，藉由數位式交流電源供應器(6805 Linear AC Power Source)調整電源，再經由油浸式變壓器增伏至21 kV，並輸送至反應腔體。



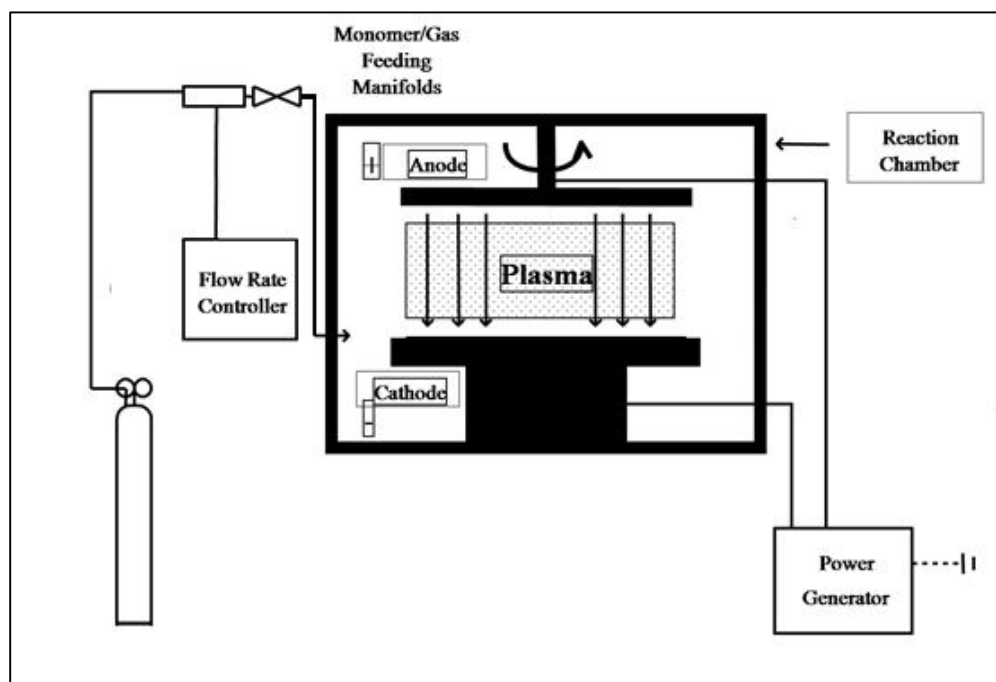


圖 3-1、電漿系統示意圖。

Fig. 3-1 Schematic diagram of plasma system.

(資料來源：陳&徐，2013)

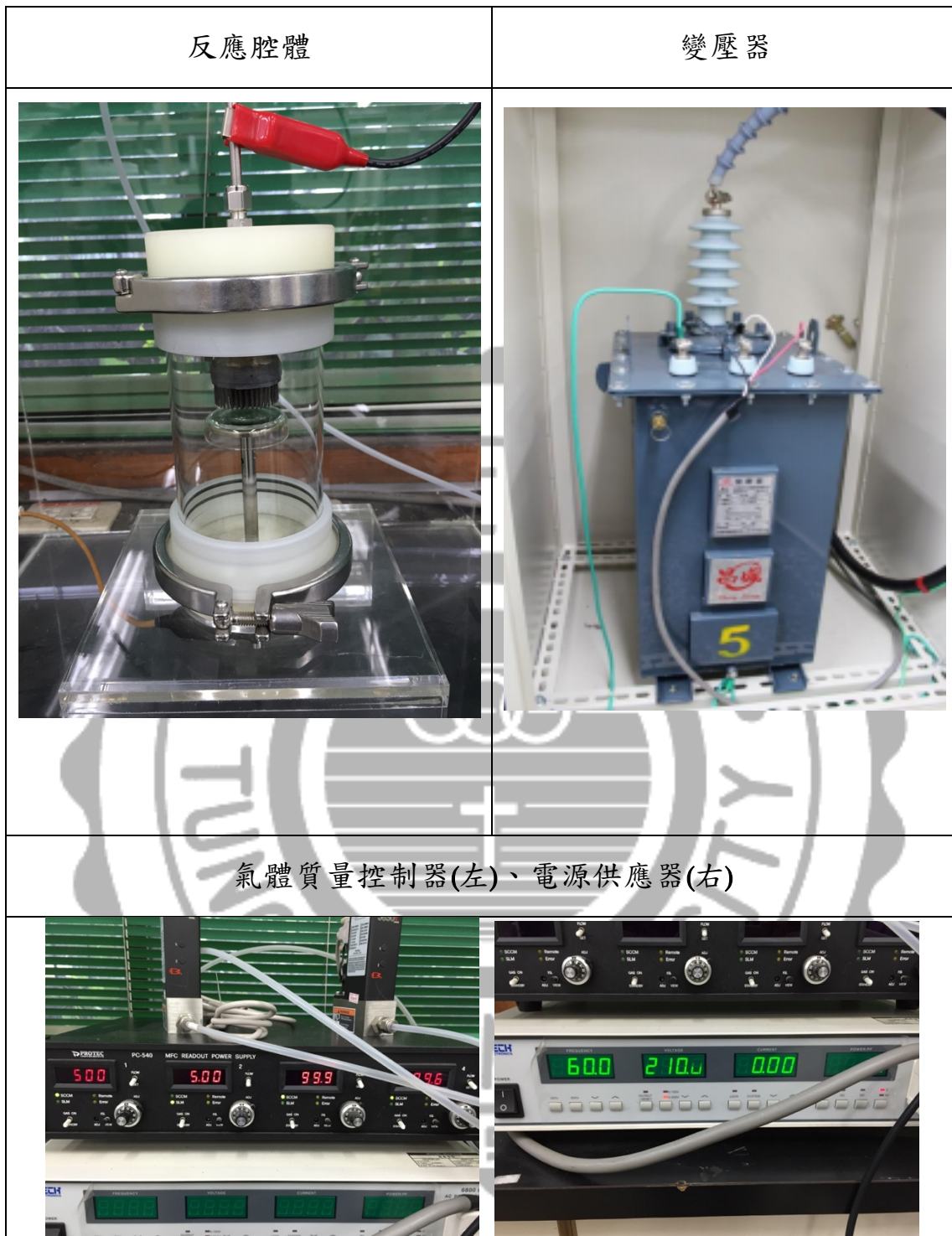


圖3-2、電漿系統裝置實體圖。

Fig.3-2 Plasma system.

3.3 實驗架構

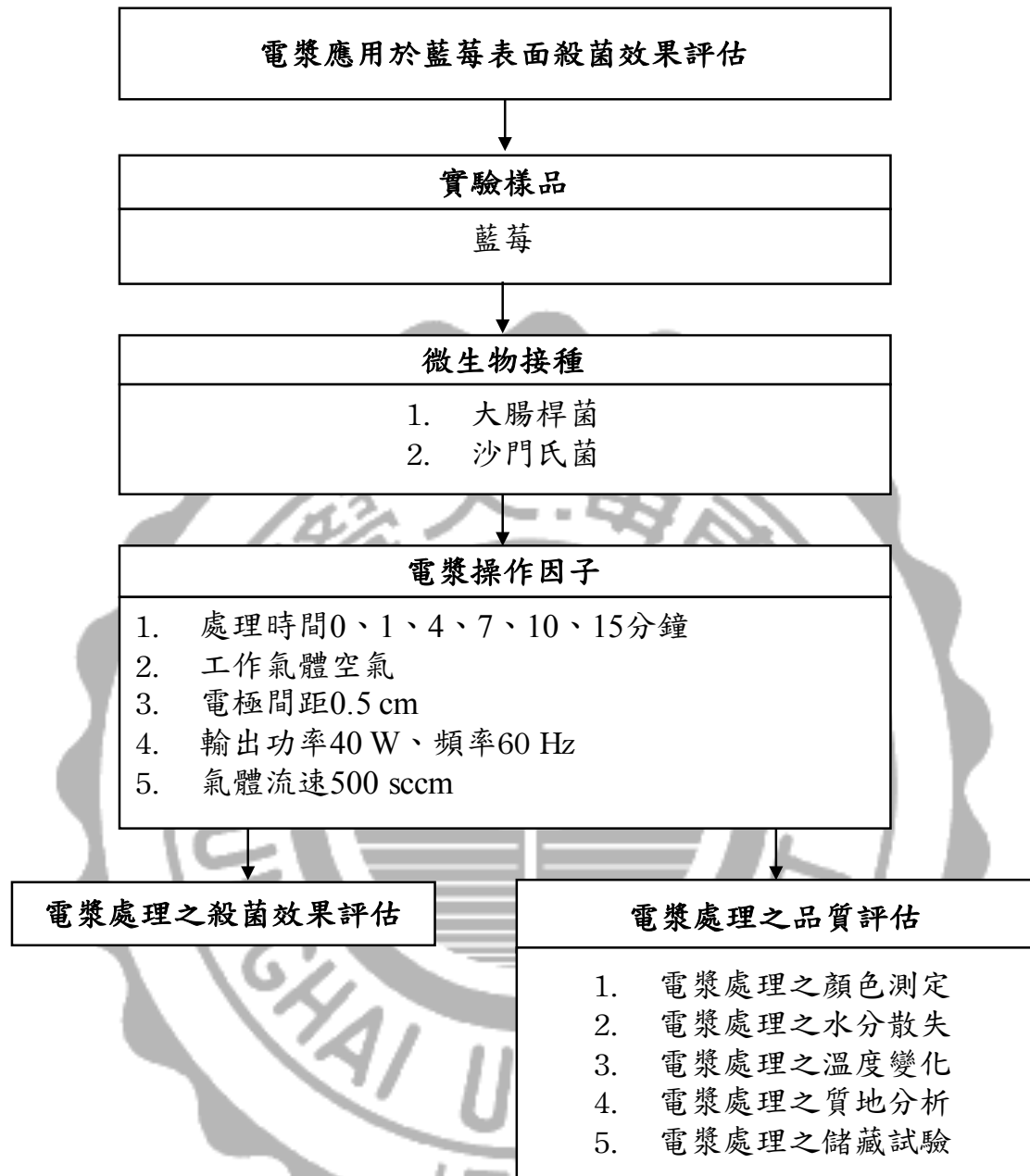


圖3-3、實驗架構。

Fig.3-3 Framework for this study.

3.4 電漿殺菌處理

實驗操作前，先將操作氣體（空氣）、電極間距及電壓之參數設定完成參考(劉等，2015)氣體流量為 500 sccm (standard cubic centimeter per minute)，將樣品放入反應腔中，電極間距 0.5 cm，接著打開電源，本研究設備最高電壓為 21 kV，控制處理時間為 0、1、4、7、10 及 15 分鐘，探討電漿處理時間對大腸桿菌及沙門氏菌之殺菌效果及評估電漿處理對樣品品質之影響，操作流程如圖 3-3。

3.5 藍莓經電漿處理後之品質測定

3.5.1 溫度測定

將藍莓樣品以紅外線熱影像儀拍攝並記錄溫度，之後以電漿處理樣品。處理時間為 1、4、7、10 及 15 分鐘。經電漿處理後之樣品立即以紅外線熱影像儀拍攝並記錄處理後之溫度，比較電漿處理前後藍莓樣品溫度變化。

3.5.2 水分測定

藍莓樣品以精密天平秤重，樣品以電漿處理 0、1、4、7、10 及 15 分鐘，進行秤重。散失水分含量計算公式如下：

水分含量(%)=(未處理樣品-處理後樣品) ÷ 未處理樣品 × 100 %

3.5.3 質地分析

以物性儀測量藍莓樣品質地，測量原理是經由探針設定之速度壓縮樣品所受到的阻力來表示，通過探頭的直接下壓或穿刺等來反映樣品的硬度等特性。可用來量測食品壓縮硬度。本研究探討經電漿處理前後之樣品進行壓縮硬度(Compression firmness)檢測，使用探針與操作參數如表 3-1 所述(Saftner *et al.*, 2008)。

3.5.4 色差分析

本研究參考多篇文獻 (Lacombe *et al.*, 2015; Saftner *et al.*, 2008; Bermúdez-Aguirre *et al.*, 2013) 使用國際照明委員會(International Commission on Illumination)所建立之 L、a、b 色彩空間，作為國際通用之色差測定標準，適用於一切光源色與物體色之表示與計算，L 值表示顏色的明暗度，a 值表示顏色的紅綠，b 值表示顏色的黃藍(李，2004)。本研究探討經電漿處理前後之樣品顏色，並以色差儀進行分析，操作流程如圖 3-8。

3.5.5 儲藏試驗

新鮮藍莓接種大腸桿菌及沙門氏菌經電漿處理 0、1、4、7、10 及 15 分鐘，藍莓樣品置於冰箱(4°C 相對溼度 60%)儲藏 0、1、3、5、7 天，並分別測定水分散失、質地分析及微生物計數(Lacombe *et al.*, 2015; Concha-Meyer *et al.*; Saftner *et al.*, 2008)，操作步驟如圖 3-11。


3.6 統計分析

本研究之實驗數據皆以平均值 \pm 標準差(Mean \pm SD) (n=3)表示，並以 SAS(Statistical Analysis System) 9.4 軟體進行數據統計分析，以 Duncan's test 進行各試驗平均數值間之差異比較，當統計結果 $p < 0.05$ 時，代表具有顯著差異。



表 3-1 壓縮硬度測試設定與探頭。

Table. 3-1 Test setting and probe of compression firmness test.

	Compression firmness
Test setting	Pre-test speed : 1 mm/sec Test speed : 1 mm/sec Post-test speed : 1 mm/sec Strain : 50%
Probe	P/50 

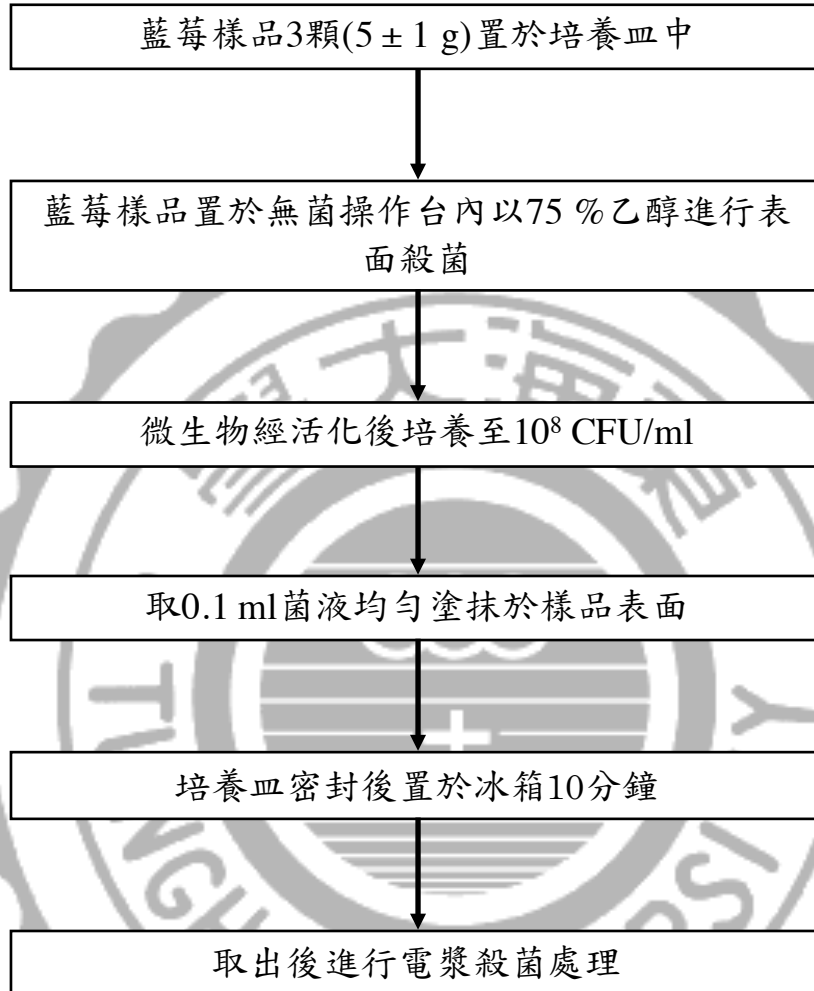


圖 3-4、藍莓樣品製備流程。

Fig.3-4 Sample preparation procedures.

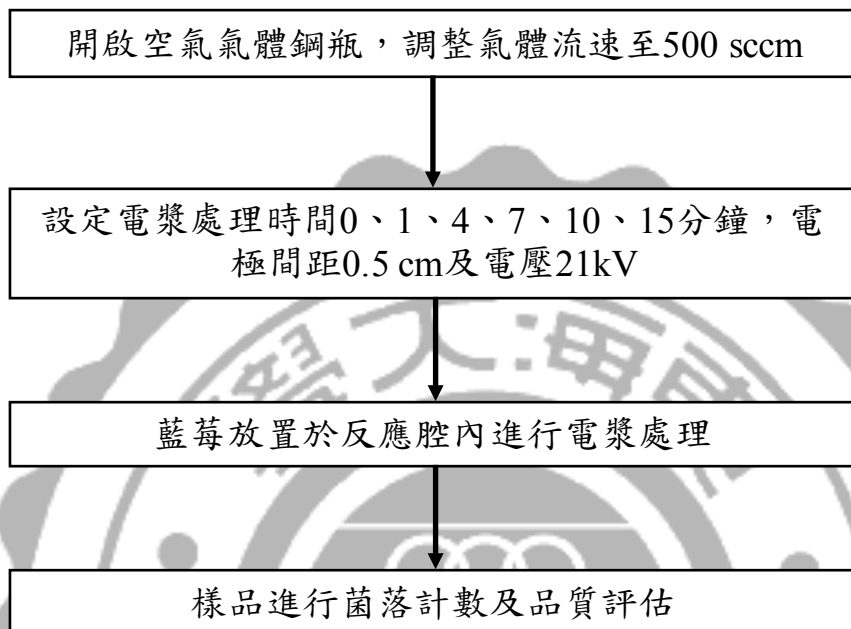


圖 3-5、電漿處理藍莓操作流程。

Fig.3-5 Operation procedures of test of plasma by blueberry.

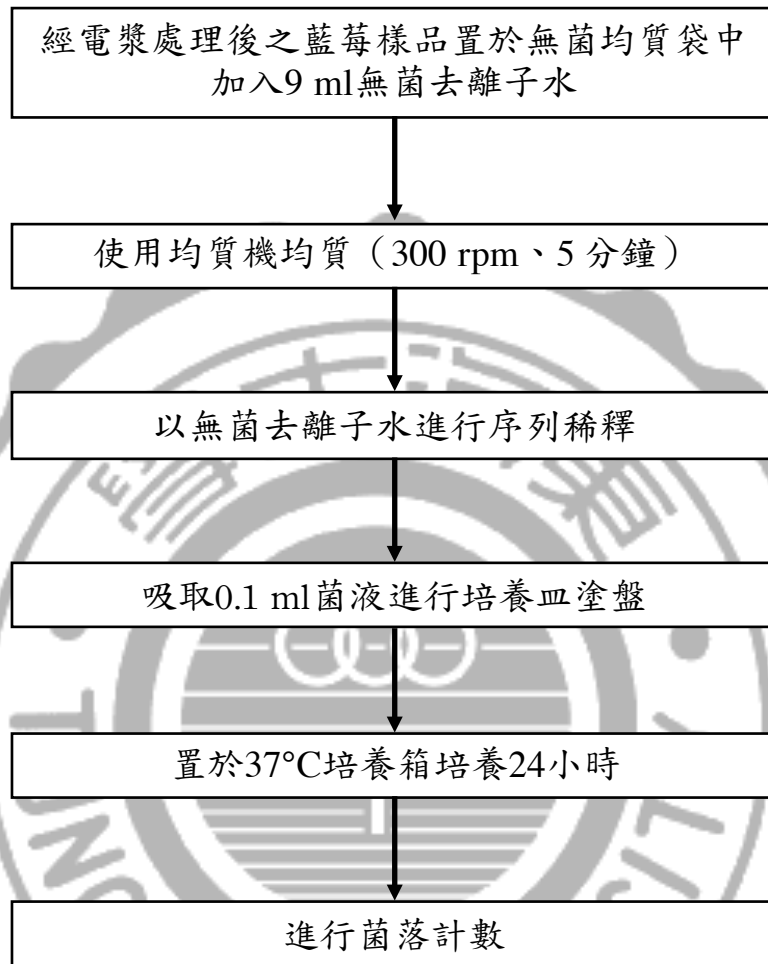


圖 3-6、電漿處理後樣品菌數計數操作流程。

Fig.3-6 The operation procedures of measuring the bacterial amount in the plasma treated samples.

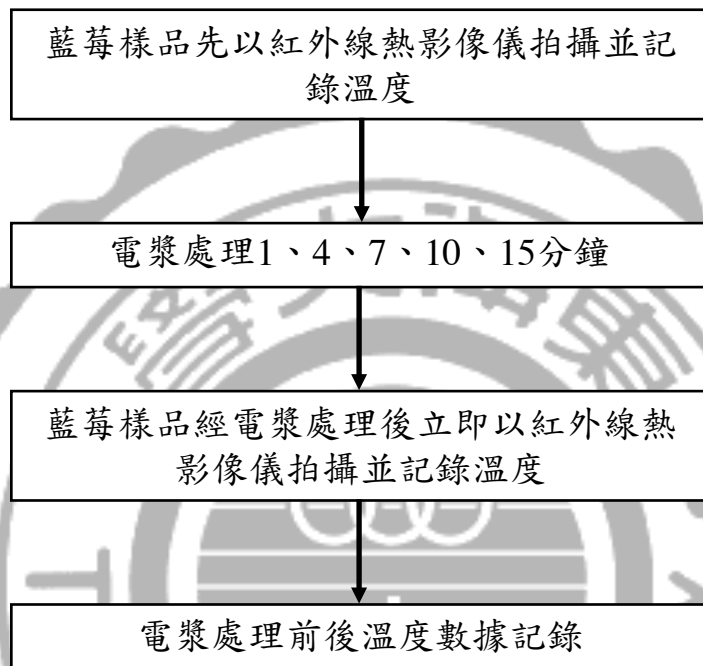


圖 3-7、溫度測定操作流程。

Fig.3-7 The procedures of measuring temperature.

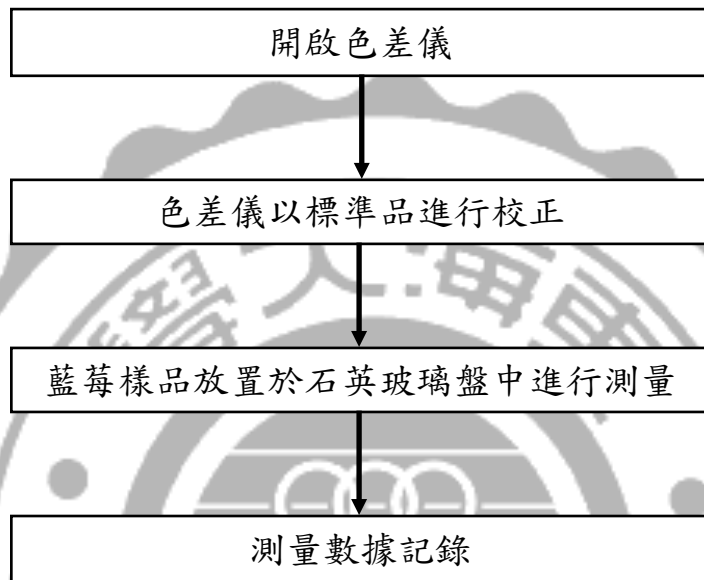
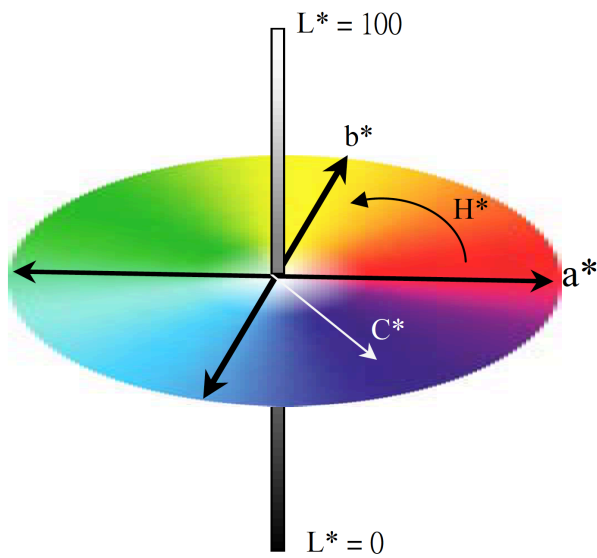


圖 3-8、色差操作流程。

Fig.3-8 The procedures of measuring color parameters.



- L* 明度(Lightness)
- a* 紅綠度
- b* 黃藍度
- H* 色相角(Hue)
- C* 彩度(Chroma)

圖 3-9、CIELAB 色彩空間。

Fig. 3-9 CIELAB color space.

(圖片來源: 李, 2004)

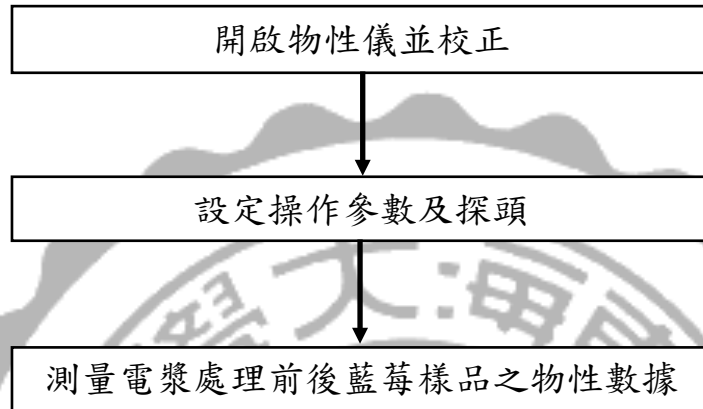


圖 3-10、質地分析操作流程。

Fig.3-10 The procedures of texture analyzer.

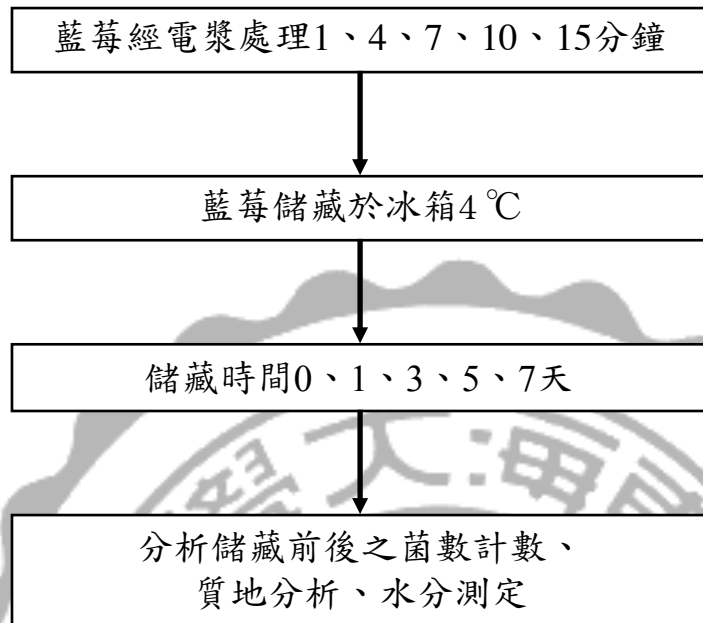


圖 3-11、藍莓儲藏試驗操作流程。

Fig.3-11 Storage test operation procedures.

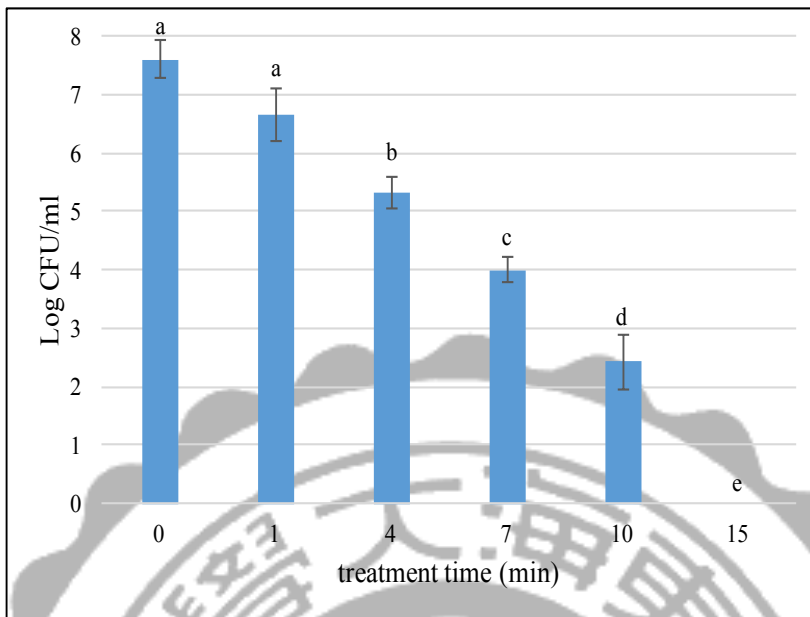
第四章、結果與討論

4.1 電漿處理對大腸桿菌及沙門氏菌之殺菌效果

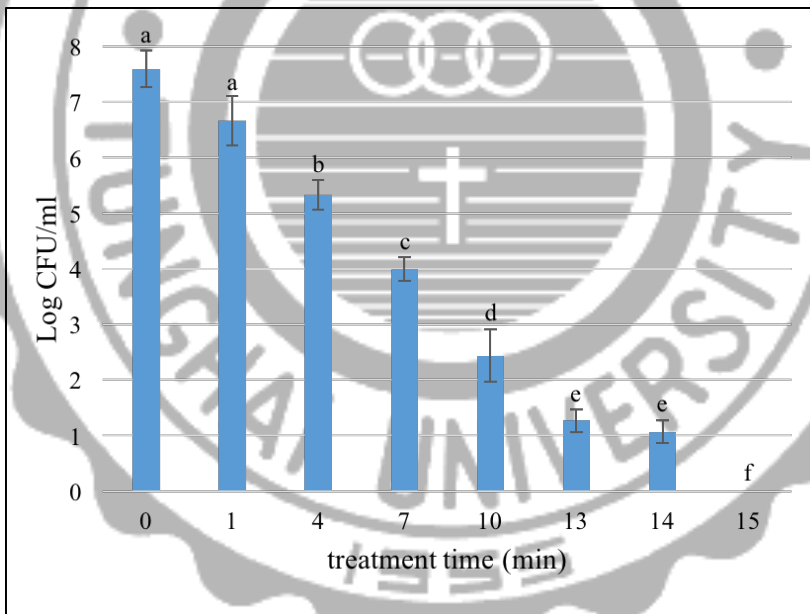
本節探討新鮮藍莓表面分別接種大腸桿菌及沙門氏菌經電漿處理之殺菌效果的影響，電漿操作電壓為 21 kV，電極間距 0.5 cm，工作氣體為空氣，氣體流量為 500 sccm，進行藍莓表面殺菌。結果顯示，藍莓表面接種大腸桿菌之初始菌數為 $7.6 \pm 0.32 \log \text{CFU/ml}$ ，經電漿處理一分鐘之後下降至 $6.6 \pm 0.44 \log \text{CFU/ml}$ ，處理 4 分鐘之後下降至 $5.3 \pm 0.26 \log \text{CFU/ml}$ ，處理 7 分鐘之後下降至 $4 \pm 0.21 \log \text{CFU/ml}$ ，處理 10 分鐘之後下降至 $2.4 \pm 0.47 \log \text{CFU/ml}$ ，電漿處理 15 分鐘完全滅菌，進而探討 13、14 分鐘之殺菌效果，結果顯示 13 及 14 分鐘之電漿處理後下降至 $1.2 \log \text{CFU/ml}$ 及 $1.0 \log \text{CFU/ml}$ ，由此結果顯示大腸桿菌接種於藍莓表面經電漿處理 15 分鐘可完全滅菌。

藍莓表面接種沙門氏菌之初始菌數為 $7.1 \pm 0.28 \log \text{CFU/ml}$ ，經電漿處理 1 分鐘後下降至 $6.4 \pm 0.32 \log \text{CFU/ml}$ ，處理 4 分鐘後下降至 $4.6 \pm 0.24 \log \text{CFU/ml}$ ，處理 7 分鐘後下降至 $4.1 \pm 0.24 \log \text{CFU/ml}$ ，處理 10 分鐘後下降至 $3.1 \pm 0.57 \log \text{CFU/ml}$ ，處理 15 分鐘後下降至 $1.3 \pm 0.28 \log \text{CFU/ml}$ ，文獻指出細菌是因為電漿所產生之臭氧、自由基及帶電粒子轟擊細胞表面造成細胞膜的破裂及損傷而導致細胞凋亡(Lunov *et al.*,2015)。

(A-1)



(A-2)



(B)

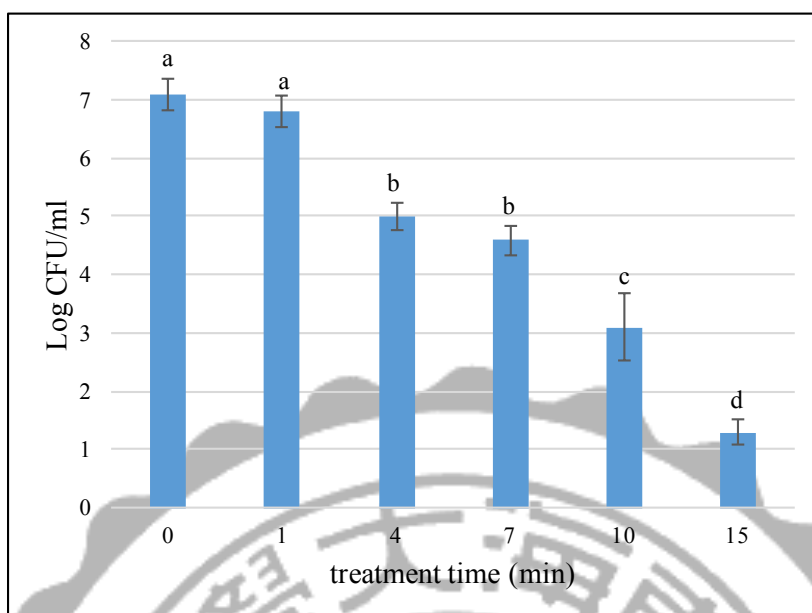


圖 4-1、電漿殺菌效果。(A-1;A-2)藍莓表面接種大腸桿菌。(B)藍莓表面接種沙門氏菌。

Fig. 4-1 The decontamination efficacy as the plasma sterilization applies to blueberry surface. (A-1;A-2) Inactivation of *Escherichia coli* inoculated on blueberry by plasma. (B) Inactivation of *Samonella* inoculated on blueberry by plasma.

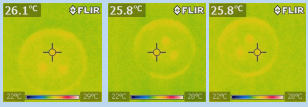
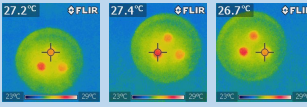
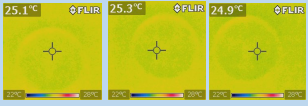
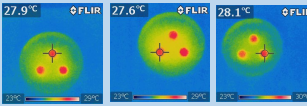
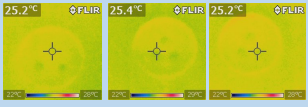
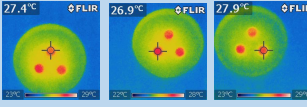
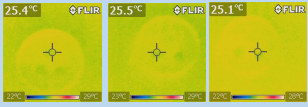
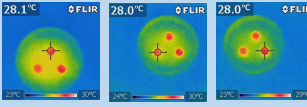
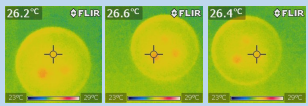
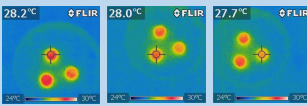
4.2 電漿處理後對藍莓品質之影響

4.2.1 溫度測定

本節探討新鮮藍莓表面分別接種大腸桿菌及沙門氏菌經電漿處理後是否會造成樣品溫度上升。每組樣品經電漿處理後，立即以紅外線熱影像儀拍照檢測溫度變化。電漿操作電壓為 21 kV，電極間距 0.5 cm，工作氣體為空氣，氣體流量為 500 sccm 進行實驗。結果顯示，藍莓表面接種大腸桿菌經電漿處理 1 分鐘，平均溫度從 25.9°C 上升至 27.1°C，溫差 1.2°C；經處理 4 分鐘，平均溫度從 25.1°C 上升至 27.8°C，溫差 2.7°C；經處理 7 分鐘，平均溫度從 25.2°C 上升至 27.4°C，溫差 2.2°C；經處理 10 分鐘，平均溫度從 25.3°C 上升至 28.1°C，溫差 2.7°C；經處理 15 分鐘，平均溫度從 26.4°C 上升至 28.2°C，溫差 1.5°C (圖 4-2A)。

電漿處理以相同操作參數進行。藍莓表面接種沙門氏菌經電漿處理 1 分鐘，平均溫度從 26.0°C 上升至 27.3°C，；經電漿處理 4 分鐘，平均溫度從 25.1°C 上升至 27.8°C；經電漿處理 7 分鐘，平均溫度從 25.3°C 上升至 27.6°C；經處理 10 分鐘，平均溫度從 26.4°C 上升至 28.0°C；將電漿處理時間增至 15 分鐘，平均溫度從 25.4°C 上升至 28.0°C，溫差 2.6°C (圖 4-2B)。整體溫差均小於 3°C，顯示電漿處理並未造成樣品溫度顯著提升。

(A)

	Before treatment		After treatment	
1 min		25.9 ± 0.14		27.1 ± 0.29
4 min		25.1 ± 0.16		27.8 ± 0.20
7 min		25.2 ± 0.09		27.4 ± 0.40
10 min		25.3 ± 0.16		28.0 ± 0.04
15 min		26.4 ± 0.16		27.9 ± 0.20



(B)

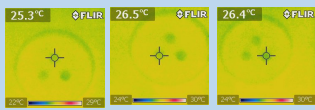
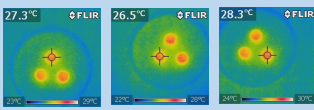
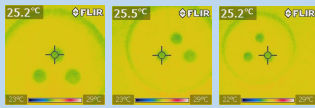
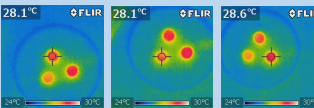
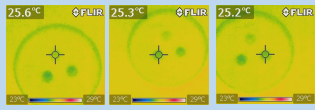
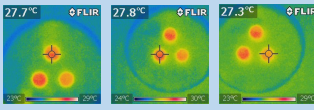
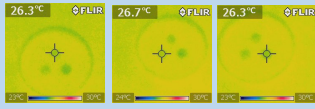
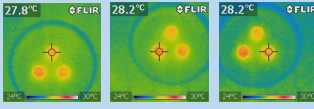

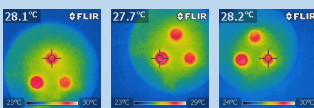
	Before treatment		After treatment	
1 min		26.0 ± 0.54		27.3 ± 0.73
4 min		25.3 ± 0.14		28.2 ± 0.23
7 min		25.3 ± 0.16		27.6 ± 0.21
10 min		26.4 ± 0.18		28.06 ± 0.18
15 min		25.4 ± 0.20		28.0 ± 0.21

圖 4-2、溫度變化。(A)藍莓樣品表面接種大腸桿菌經電漿處理前後溫度變化。(B)藍莓樣品表面接種沙門氏菌經電漿處理前後溫度變化。

Fig. 4-3 Changes of temperature. (A) Blueberry surface inoculated *E. coli* temperature of non-plasma treatment and after plasma treatment. (B) Blueberry surface inoculated *Samonella* temperature of non-plasma treatment and after plasma treatment.

4.2.2 水分測定

本節討論大腸桿菌及沙門氏菌分別接種於新鮮藍莓表面，電漿操作頻率 60Hz，電極間距 0.5 cm、電壓 21kV、工作氣體為空氣進行電漿處理對於藍莓水分散失之影響

將大腸桿菌接種於藍莓表面之水分散失定義為 0 %。結果顯示，經電漿處理 1、4、7、10 及 15 分鐘，新鮮藍莓水分散失分別為 0.15 %、0.19 %、0.22 %、0.24 % 及 0.28 % (表 4-1A)。

將沙門氏菌接種於藍莓表面經電漿處理 1、4、7、10 及 15 分鐘，藍莓水分散失為 0.21 %、0.25 %、0.25 %、0.27 % 及 0.31 % (表 4-1B)。

實驗結果顯示藍莓表面分別接種大腸桿菌和沙門氏菌經電漿處理後並不影響水分散失。

表 4-1、水分散失之重量變化。(A)藍莓表面接種大腸桿菌。(B)

藍莓表面接種沙門氏菌。

Table 4-1 Changes of weight. (A) Weight of blueberry surface inoculated *E. coli* before and after plasma treatment. (B) Weight of blueberry surface inoculated *Samonella* before and after plasma treatment.

(A)

Sample	Weight (g)	Water loss %
Fresh (0 min)	1.35 ± 0.01 ^a	0
Treat (1 min)	1.35 ± 0.01 ^a	0.15% ± 0.01
Fresh (0 min)	1.34 ± 0.01 ^a	0
Treat (4 min)	1.34 ± 0.01 ^a	0.19% ± 0.01
Fresh (0 min)	1.41 ± 0.02 ^a	0
Treat (7 min)	1.41 ± 0.02 ^a	0.22% ± 0.01
Fresh (0 min)	1.36 ± 0.02 ^a	0
Treat (10 min)	1.36 ± 0.02 ^a	0.24% ± 0.02
Fresh (0 min)	1.31 ± 0.02 ^a	0
Treat (15 min)	1.31 ± 0.02 ^a	0.28% ± 0.01

(B)

Sample	Weight (g)	Water loss %
Fresh (0 min)	1.54 ± 0.01 ^a	0
Treat (1 min)	1.54 ± 0.01 ^a	0.21 % ± 0.02
Fresh (0 min)	1.45 ± 0.01 ^a	0
Treat (4 min)	1.45 ± 0.01 ^a	0.25 % ± 0.02
Fresh (0 min)	1.5 ± 0.02 ^a	0
Treat (7 min)	1.5 ± 0.02 ^a	0.25 % ± 0.01
Fresh (0 min)	1.36 ± 0.02 ^a	0
Treat (10 min)	1.36 ± 0.02 ^a	0.27 % ± 0.02
Fresh (0 min)	1.51 ± 0.01 ^a	0
Treat (15 min)	1.51 ± 0.01 ^a	0.31 % ± 0.01

4.2.3 質地分析

新鮮藍莓接種大腸桿菌後進行電漿處理前後之質地分析，第一組未經電漿處理之壓縮硬度(Compression firmness)為 1.30 N，經電漿處理 1 分鐘，壓縮硬度(Compression firmness)下降至 1.23 N，第二組為電漿處理 4 分鐘之壓縮硬度(Compression firmness)由 1.14 N 下降至 1.07 N，第三組為電漿處理 7 分鐘之壓縮硬度(Compression firmness)由 1.14 N 下降至 1.01 N，第四組為電漿處理 10 分鐘之壓縮硬度(Compression firmness)由 1.23 N 下降至 1.09 N，第五組為電漿處理 15 分鐘之壓縮硬度(Compression firmness)由 1.13 N 下降至 1.02 N，(表 4-2A)。電漿處理前後之大腸桿菌接種於藍莓其質地並無顯著變化。

新鮮藍莓接種沙門氏菌後進行電漿處理之前後物性測定，第一組為電漿處理 1 分鐘之壓縮硬度(Compression firmness)由 1.18 N 下降至 1.09 N，第二組為電漿處理 4 分鐘之壓縮硬度(Compression firmness)由 1.30 N 下降至 1.20 N，第三組為電漿處理 7 分鐘之壓縮硬度(Compression firmness)由 1.20 N 下降至 1.12 N，第四組為電漿處理 10 分鐘之壓縮硬度(Compression firmness)由 1.22 N 下降至 1.14 N/mm²，第五組為電漿處理 15 分鐘之壓縮硬度(Compression firmness)由 1.25 N 下降至 1.10 N(表 4-2B)。電漿處理前後之新鮮藍莓接種沙門氏菌亦無顯著變化。文獻指出在電漿處理期間樣品軟化的原因為樣品間之碰

撞以及樣品與容器之碰撞所產生(Lacombe *et al.*, 2015)故經電漿處理
之樣品不會影響其質地。



表 4-2、電漿處理前後藍莓質地變化。(A)藍莓表面接種大腸桿菌。

(B)藍莓表面接種沙門氏菌。

Table 4-2 Changes of texture. (A) Texture of blueberry surface inoculated *E. coli* before and after plasma treatment. (B) Texture of blueberry surface inoculated *Samonella* before and after plasma treatment.

(A)

Sample	Compression firmness (N)
Fresh (0 min)	1.30 ± 0.12 ^a
Treat (1 min)	1.23 ± 0.09 ^a
Fresh (0 min)	1.14 ± 0.07 ^a
Treat (4 min)	1.07 ± 0.09 ^a
Fresh (0 min)	1.14 ± 0.15 ^a
Treat (7 min)	1.01 ± 0.09 ^a
Fresh (0 min)	1.23 ± 0.08 ^a
Treat (10 min)	1.09 ± 0.08 ^a
Fresh (0 min)	1.13 ± 0.18 ^a
Treat (15 min)	1.02 ± 0.15 ^a

(B)

Sample	Compression firmness (N)
Fresh (0 min)	1.18 ± 0.03^a
Treat (1 min)	1.09 ± 0.02^a
Fresh (0 min)	1.30 ± 0.03^a
Treat (4 min)	1.20 ± 0.02^a
Fresh (0 min)	1.20 ± 0.04^a
Treat (7 min)	1.12 ± 0.05^a
Fresh (0 min)	1.22 ± 0.15^a
Treat (10 min)	1.14 ± 0.13^a
Fresh (0 min)	1.25 ± 0.08^a
Treat (15 min)	1.10 ± 0.08^a

4.2.4 色差分析

本節探討藍莓分別接種大腸桿菌及沙門氏菌經電漿處理 0、1、4、7、10、15 分鐘、頻率為 60Hz、工作氣體為空氣、電極間距 0.5 cm 之色差分析，L 與 a 值及 b 值均有顯著差異(表 4-3(A))。由實驗結果可得知經電漿處理後接種大腸桿菌之藍莓表面顏色 $\Delta E \leq 3$ 。

以電漿處理接種大腸桿菌之藍莓表面，電漿處理時間 1、4、7、10、15 分鐘，L 值有顯著下降，有文獻說明 L 值的變化是因為藍莓表面臘的融化以及分布的影響(Lacombe *et al.*,2015)。a 值及 b 值隨著處理時間增加而有顯著性上升， $\Delta E \leq 3$ 。(表 4-3(B))。

電漿處理藍莓表面接種之沙門氏菌，電漿處理時間 1、4、7、10、15 分鐘，L 值與 a 值及 b 值皆有顯著差異， $\Delta E \leq 2$ ，藍莓接種大腸桿菌經電漿處理 1 分鐘之藍莓表面顏色 $\Delta E \leq 3$ 及藍莓接種沙門氏菌經電漿處理 10 分鐘 $\Delta E \leq 2$ ，文獻指出 $\Delta E \leq 5$ 顯示對人體肉眼並無法分辨出顏色差異(Lao and Monica Giusti, 2017)。

表 4-3、電漿處理前後顏色變化。(A)藍莓表面接種大腸桿菌。(B)藍莓表面接種沙門氏菌。

Table 4-3 Changes of color parameters. (A) Color parameter of blueberry surface inoculated *E. coli* before and after plasma treatment. (B) Color parameter of blueberry surface inoculated *Samonella* before and after plasma treatment.

(A)

sample	L^*	a^*	b^*	ΔE
Fresh	22.95 ± 3.08^b	2.72 ± 0.84^a	-4.53 ± 0.74^d	0
Treat 1 min	25.92 ± 0.46^{ab}	1.63 ± 0.38^{ab}	-3.35 ± 0.41^c	3
Fresh	27.04 ± 0.32^{ab}	-2.22 ± 0.56^c	-3.08 ± 1.00^c	0
Treat 4 min	27.24 ± 0.19^{ab}	-0.81 ± 0.33^{bc}	-2.49 ± 0.21^{bc}	1
Fresh	28.13 ± 0.48^a	-2.21 ± 0.10^c	-2.43 ± 0.43^{bc}	0
Treat 7 min	26.22 ± 0.21^{ab}	-0.40 ± 0.55^{bc}	-1.86 ± 0.18^b	2
Fresh	26.07 ± 0.36^{ab}	-0.44 ± 0.95^{bc}	-2.43 ± 0.82^{bc}	0
Treat 10 min	24.85 ± 0.26^{ab}	0.44 ± 0.32^{ab}	-1.63 ± 0.73^b	1
Fresh	27.32 ± 0.35^a	-1.31 ± 0.26^c	-2.31 ± 0.21^{bc}	0
Treat 15 min	25.65 ± 0.29^{ab}	-0.26 ± 0.41^{bc}	-1.06 ± 0.32^a	2

(B)

sample	L^*	a^*	b^*	ΔE
Fresh	27.97 ± 0.33^a	1.26 ± 0.30^b	-3.51 ± 0.28^c	0
Treat 1 min	27.42 ± 0.28^a	1.57 ± 0.20^a	-2.88 ± 0.25^b	1
Fresh	25.71 ± 0.36^{ab}	-1.27 ± 0.35^{de}	-2.39 ± 0.42^b	0
Treat 4 min	25.05 ± 0.21^b	-0.88 ± 0.38^e	-2.06 ± 0.31^b	1
Fresh	26.58 ± 0.20^a	-2.08 ± 0.16^f	-1.76 ± 0.29^{ab}	0
Treat 7 min	26.15 ± 0.23^{ab}	-1.77 ± 0.48^f	-1.35 ± 0.38^a	1
Fresh	27.55 ± 0.36^{ab}	-0.42 ± 0.42^d	-1.88 ± 0.62^{ab}	0
Treat 10 min	27.28 ± 0.36^{ab}	0.50 ± 0.31^c	-1.48 ± 0.59^a	2
Fresh	25.92 ± 0.40^{ab}	-0.87 ± 0.54^{de}	-1.78 ± 0.50^{ab}	0
Treat 15 min	25.60 ± 0.33^{ab}	-0.64 ± 0.55^{de}	-1.44 ± 0.46^a	1

4.2.5 儲藏試驗

本節討論藍莓分別接種大腸桿菌及沙門氏菌後經電漿處理，電漿操作頻率 60Hz，電極間距 0.5 cm、電壓 21kV、工作氣體為空氣，處理時間為 0、1、4、7、10、15 分鐘，電漿處理後儲藏於冰箱 4°C 相對溼度 60%，0、1、3、5 及 7 天，並進行微生物計數、質地分析及水分散失測定。

實驗結果顯示藍莓表面接種大腸桿菌經電漿處理 0、1、4、7、10、15 分鐘後，儲藏 0~7 天之殺菌效果並無顯著差異（圖 4-3），藍莓表面接種沙門氏菌經電漿處理後儲藏 0~7 天，其殺菌效果亦無顯著差異（圖 4-4）。

藍莓表面接種大腸桿菌及沙門氏菌經電漿處理 0、1、4、7、10、15 分鐘後，儲藏於 4°C，0~7 天，期間之壓縮硬度變化均無顯著差異（表 4-6）。

藍莓表面接種大腸桿菌及沙門氏菌經電漿處理 0、1、4、7、10、15 分鐘後，儲藏 4°C，0~7 天，儲藏期間之水分散失均無顯著差異（表 4-7）。

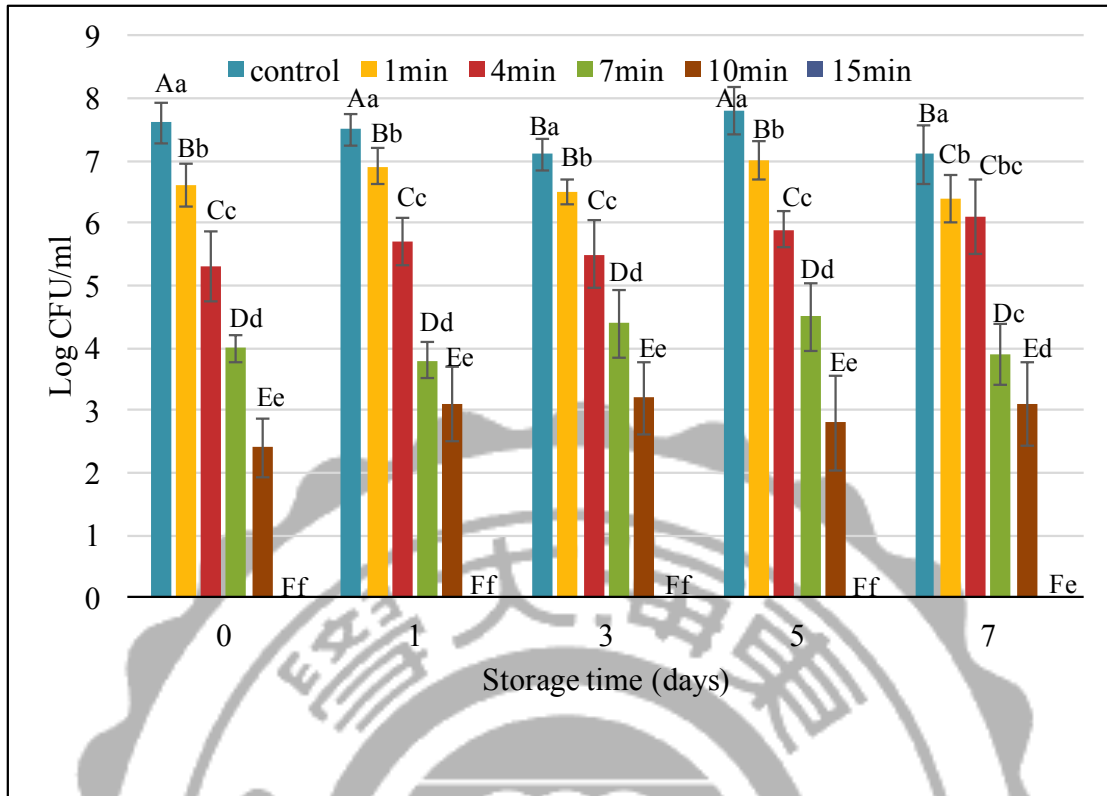


圖 4-3、大腸桿菌於藍莓表面經電漿處理後儲藏期間菌數之變化。

各平均值以上示統計分析大寫字母為儲藏時間，小寫字母為電漿處理時間。

Fig. 4-3. *E.coli*. plate counts of blueberry after cold plasma treatment and during storage at 4°C.

Means with the capital letters indicate storage time; small letters for plasma processing time.

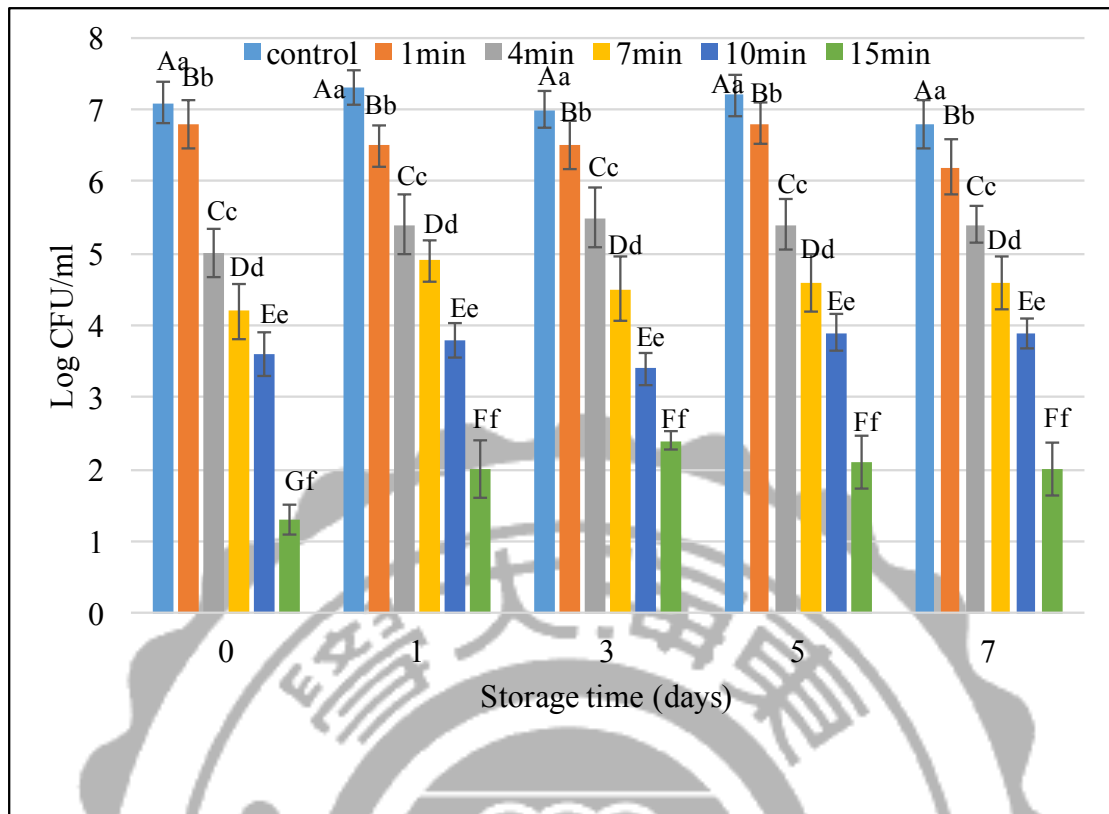


圖 4-4、沙門氏菌於藍莓表面經電漿處理後儲藏期間菌數之變化。

各平均值以上示統計分析大寫字母為儲藏時間，小寫字母為電漿處理時間。

Fig. 4-4. *Salmonella* plate counts of blueberry after cold plasma treatment and during storage at 4 °C. Means with the capital letters indicate storage time; small letters for plasma processing time.

表 4-4、電漿處理前後儲藏期間壓縮硬度變化。(A)藍莓表面接種大腸桿菌。(B)藍莓表面接種沙門氏菌。

Table. 4-4. Compression firmness changes during storage. (A) Compression firmness changes of blueberry surface inoculated *E. coli* before and after plasma treatment during storage. (B) Compression firmness changes of blueberry surface inoculated *Samonella* before and after plasma treatment during storage.

(A)

Treatment time (min)	0 day	1 day	3 day	5 day	7 day
control	1.36 ± 0.04 ^a	1.33 ± 0.04 ^a	1.31 ± 0.05 ^a	1.28 ± 0.05 ^a	1.26 ± 0.04 ^a
1	1.34 ± 0.06 ^a	1.29 ± 0.03 ^a	1.27 ± 0.04 ^a	1.22 ± 0.04 ^a	1.19 ± 0.03 ^a
4	1.37 ± 0.03 ^a	1.33 ± 0.03 ^a	1.30 ± 0.03 ^a	1.27 ± 0.03 ^a	1.24 ± 0.03 ^a
7	1.30 ± 0.03 ^a	1.29 ± 0.03 ^a	1.25 ± 0.03 ^a	1.20 ± 0.03 ^a	1.18 ± 0.02 ^a
10	1.38 ± 0.03 ^a	1.35 ± 0.03 ^a	1.31 ± 0.03 ^a	1.26 ± 0.03 ^a	1.22 ± 0.03 ^a
15	1.38 ± 0.02 ^a	1.36 ± 0.03 ^a	1.33 ± 0.03 ^a	1.27 ± 0.03 ^a	1.16 ± 0.05 ^a

(B)

Treatment time (min)	0 day	1 day	3 day	5 day	7 day
control	1.38 ± 0.02^a	1.35 ± 0.02^a	1.28 ± 0.02^a	1.25 ± 0.02^a	1.16 ± 0.04^a
1	1.38 ± 0.04^a	1.36 ± 0.04^a	1.29 ± 0.06^a	1.24 ± 0.04^a	1.20 ± 0.03^a
4	1.35 ± 0.03^a	1.32 ± 0.04^a	1.28 ± 0.05^a	1.24 ± 0.04^a	1.20 ± 0.03^a
7	1.37 ± 0.05^a	1.33 ± 0.05^a	1.27 ± 0.03^a	1.25 ± 0.05^a	1.19 ± 0.04^a
10	1.38 ± 0.06^a	1.34 ± 0.06^a	1.30 ± 0.09^a	1.25 ± 0.09^a	1.16 ± 0.01^a
15	1.34 ± 0.04^a	1.28 ± 0.06^a	1.24 ± 0.07^a	1.17 ± 0.11^a	1.13 ± 0.10^a

表 4-5、電漿處理前後儲藏期間水分散失之變化。(A)藍莓表面接種大腸桿菌。(B)藍莓表面接種沙門氏菌。

Table. 4-5. Water loss changes during storage. (A) Water loss changes of blueberry surface inoculated *E. coli* before and after plasma treatment during storage. (B) Water loss changes of blueberry surface inoculated *Samonella* before and after plasma treatment during storage.

(A)

Sample	Fresh(control)	0 day	1 day	3 day	5 day	7 day
Treat (1 min)	1.35 ± 0.01 ^a	1.35 ± 0.01 ^a	1.34 ± 0.02 ^a	1.34 ± 0.02 ^a	1.34 ± 0.02 ^a	1.34 ± 0.02 ^a
Treat (4 min)	1.24 ± 0.01 ^a	1.24 ± 0.01 ^a	1.24 ± 0.01 ^a	1.23 ± 0.01 ^a	1.23 ± 0.01 ^a	1.23 ± 0.01 ^a
Treat (7 min)	1.46 ± 0.02 ^a	1.46 ± 0.02 ^a	1.45 ± 0.02 ^a	1.45 ± 0.02 ^a	1.45 ± 0.02 ^a	1.44 ± 0.02 ^a
Treat (10 min)	1.36 ± 0.02 ^a	1.35 ± 0.02 ^a	1.35 ± 0.02 ^a	1.35 ± 0.01 ^a	1.34 ± 0.02 ^a	1.34 ± 0.01 ^a
Treat (15 min)	1.41 ± 0.01 ^a	1.41 ± 0.01 ^a	1.41 ± 0.01 ^a	1.40 ± 0.01 ^a	1.39 ± 0.01 ^a	1.39 ± 0.01 ^a

(B)

Sample	Fresh(control)	0 day	1 day	3 day	5 day	7 day
Treat (1 min)	1.39 ± 0.01^a	1.39 ± 0.01^a	1.38 ± 0.02^a	1.38 ± 0.02^a	1.38 ± 0.02^a	1.37 ± 0.02^a
Treat (4 min)	1.31 ± 0.02^a	1.31 ± 0.02^a	1.30 ± 0.01^a	1.30 ± 0.01^a	1.30 ± 0.02^a	1.29 ± 0.02^a
Treat (7 min)	1.42 ± 0.02^a	1.42 ± 0.02^a	1.41 ± 0.01^a	1.41 ± 0.02^a	1.41 ± 0.02^a	1.40 ± 0.02^a
Treat (10 min)	1.40 ± 0.02^a	1.40 ± 0.02^a	1.39 ± 0.02^a	1.39 ± 0.01^a	1.339 ± 0.01^a	1.38 ± 0.01^a
Treat (15 min)	1.28 ± 0.01^a	1.28 ± 0.01^a	1.27 ± 0.02^a	1.27 ± 0.01^a	1.27 ± 0.01^a	1.26 ± 0.02^a

第五章、結論

本研究結果以大腸桿菌及沙門氏菌接種於藍莓表面經電漿處理後之殺菌效果、品質評估及儲藏試驗，由研究結果得知在電漿操作條件，電壓 21kV、電極間距 0.5 cm、頻率 60 Hz、氣體流速 500 sccm、操作氣體為空氣，結論如下：

1. 常壓非熱介電質電漿對大腸桿菌及沙門氏菌之殺菌效果：

藍莓表面接種大腸桿菌之初始菌數為 7.6 log CFU/ml 經電漿處理 15 分鐘，大腸桿菌完全滅菌，而沙門氏菌之初始菌數為 7.1 log CFU/ml 經電漿處理 15 分鐘之後下降至 0.9 log CFU/ml，結果顯示電漿處理對大腸桿菌效果較佳。

2. 常壓非熱介電質電漿對藍莓品質評估：

藍莓經電漿處理後，結果顯示 L 值下降，a 值與 b 值均上升，為樣品本身表面蠟分佈影響，並無顯著差異，電漿處理後之整體溫差為藍莓接種大腸桿菌處理後溫差 1.5°C 及藍莓接種沙門氏菌處理後溫差 3°C，並無顯著差異，電漿處理後質地分析藍莓壓縮硬度並無顯著差異，電漿處理 15 分鐘後之水分散失為 0.31% 並無顯著差異，電漿處理後儲藏試驗 0~7 天之殺菌效果、水分散失、壓縮硬度亦無顯著差異。

本研究結果顯示，針對生鮮蔬果及熱敏感產品，電漿處理可達殺菌目的且不影響產品品質，未來的研究可探討將這項技術擴大到商業規模的可行性。



參考文獻

一、中文部分

朱中亮。2016。食品高壓加工技術-熟食般的安全、更新鮮的質感。

社團法人台灣國際生命科學會。2016-004。

<http://www.ilsitaiwan.org/Page/ArticleContent.aspx?ArticleID=FpiAadGHnI0=&ArticleTypeID=T11P2UT2Yxc=>

何政昌。2001。常壓電漿技術之研究。國立成功大學。化學工程研究所碩士論文。

洪昭南。1995。電漿反應器。化工技術 3(3): 124-135。

洪昭南、郭有斌。1995。電漿反應器與原理。化工技術 9(10): 156-176。

徐詮亮、高孟誠。2004。電漿殺菌技術原理及其應用。真空科技 17(1): 21-34。

徐詮亮、張宗良、謝松佑。2014。常壓非熱電漿於食品科技之應用現況。食品資訊 260(4): 68-70。

張家豪、魏鴻文、翁政輝、柳克強、李安平、寇崇善、吳敏文、曾錦清、蔡文發、鄭國川。2006。電漿源原理與應用之介紹。物理雙月刊 28(2): 440-451。

陳中愷。2013。常壓常溫電漿應用於乾酪殺菌與品質變化檢測。私立東海大學。食品科學研究所碩士論文。

陳中愷、徐詮亮。2013。電漿技術於食品殺菌之應用現況與展望。食品工業 45(8): 52-62。

傅昭銘、山崎耕造、沈文訓。2007。圖解電漿入門。世茂出版有限公司。14-15。

劉曜寬。2014。介電質常壓電漿於塑膠包裝材料之殺菌應用。私立東海大學。食品科學研究所碩士論文。

劉曜寬、徐詮亮、黃怡銘。2015。介電質常壓電漿於塑膠包裝材料之殺菌應用。台灣農業化學與食品科學 53(4): 154。

蔡睦宗、王淑芬、黃翌聰、陳宜君。2009。行政院衛生署疾病管制局人畜共通疾病。40: 133-136。

鍾遠懷。1993。常見食品消毒劑殺菌效能。食品工業 25(6): 24-32。

二、英文部分

- Beggs, C. B.. 2002. A quantitative method for evaluating the photoreactivation of ultraviolet damaged microorganisms. *Photochemical & Photobiological Sciences* 1 (6): 431-437.
- Bialka, K. L. and A. Demirci. 2007. Decontamination of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* on blueberries using ozone and pulsed UV-light. *Journal of Food Science* 72: M391-M396.
- Bornsek, S. M. , L. Ziberna, T. Polak, A. Vanzo, N. P. Ulrih and V. Abram. 2012. Bilberry and blueberry anthocyanins act as powerful intracellular antioxidants in mammalian cells . *Food Chemistry* 134: 1878-1884.
- Concha-Meyer, A, J.D.Eifert, R.C.Williams, J.E. Marcy and G.E. Welbaum. 2015. Shelf life determination of fresh blueberries (*vaccinium corymbosum*) stored under controlled atmosphere and ozone. *International Journal of Food Science* Volume 2015, Article ID 164143, 9 pages.
- Critzer, F. J., K. Kelly-Wintenberg, S. L. South and D. A. Golden. 2007. Atmospheric plasma inactivation of foodborne pathogens on fresh produce surfaces. *Journal Food Protection* 70(10):2290–2296.
- Crowe, K. M. , A. A. Bushway and R. J. Bushway. 2005. Effects of alternative postharvest treatments on the microbiological quality of lowbush blueberries . *Small Fruits Review* 3: 29-39.

- Deng, S., R. Ruan, C.K. Mok, G. Huang, X. Lin and Chen P. 2007. Inactivation of *Escherichia coli* on almonds using nonthermal plasma. *Journal of Food Science* 72(2):M62–M66.
- Deng, X. T., J. J. Shi and M. G. Kong. 2007. Protein destruction by a helium atmospheric pressure glow discharge: capability and mechanisms. *Journal Applied Physics* 101(7):074701.
- Farkas, J. , D. A. E. Ehlermann, C. S. Mohacsi-Farkas. 2014. Food Technologies: Food irradiation. *Encyclopedia of Food Safety* volume 3: 178-1.
- Fuquay, J. W. and C. Poppe. 2011. Pathogens in milk | *Salmonella spp.* *Encyclopedia of dairy sciences*(2nd ed.), Academic Press, San Diego 93-98.
- Hamilton, W. A. . 1967. Effects of high electric fields on microorganisms. I. Killing of Bacteria and Yeasts. *Biochimica ET Biophysica ACTA* 148 (3): 781-788.
- Han, L. , S. Patil, D. Boehm, V. Milosavljevic, P. J. Cullen and P. Bourke. 2015. Mechanisms of inactivation by high-voltage atmospheric cold plasma differ for *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Applied and Environmental Microbiology* 82 (2): 450-458.
- Hancock, J. , P. Callow, S. Serce, E.Hanson and R. Beaudry. 2008. Effect of cultivar, controlled atmosphere storage, and fruit ripeness on the long-term storage of highbush blueberries. *Hort Technology* 18 (2): 199-205.

- Hijnen, W. A. M. , E. F. Beerendonk and G. J. Medema. 2006. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review. *Water Reserch* 40: 3-22.
- Jin, H., S. Lee . 2007. Combined effect of aqueous chlorine dioxide and modified atmosphere packaging on inhibiting *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in mungbean sprouts. *Journal of Food Science* 72 (9): M441-M445.
- Kang, W. S. , J. M. Park, Y. Kim and S.H. Hong. 2003. Numerical study on influences of barrier arrangements on dielectric barrier discharge characteristics. *Transactions on Plasma Science* 31 (41): 504-510.
- Klockow, P.A. and K. M. Keener. 2008. Quality and safety assessment of packaged spinach treated with a novel atmospheric, non-equilibrium plasma system. *ASABE meeting presentation (084396)*: 1–10.
- Laroussi, M. . 2002. Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric-pressure plasmas: Review analysis and prospects *IEEE . Transactions on Plasma Science* 30 (4): 1409-1415.
- Li, L. , H. Zhang and Q. Huang. 2015. New insight into the residual inactivation of *Microcystis aeruginosa* by dielectric barrier discharge. *Scientific Reports* 5 , Article number 13683.
- Li, X. and M. Farid. 2016. A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies. *Journal of Food Engineering* 182: 33-45.

- Lao, F. and M. M. Giusti. 2017. The effect of pigment matrix, temperature and amount of carrier on the yield and final color properties of spray dried purple corn (*Zea mays* L.) cob anthocyanin powders. *Food Chemistry* Volume 227: 376–382.
- Löfström, C., T. Hansen, S. Maurischat and B. Malorny. 2015. *Salmonella: Salmonellosis*. *Encyclopedia of Food and Health* 5.
- Lunov, O., O. Churpita, V. Zablotskii, I. G. Deyneka, I. K. Meshkovskii, A. Jäger, E. Syková, Š. Kubinová, and A. Dejneka. 2015. Non-thermal plasma kills bacteria: Scanning electron microscopy observations. *Applied Physics Letters* 106 (5): 053703.
- Misra, N.N., S. Patil, T. Moiseev, P. Bourke, J.P. Mosnier, K.M. Keener and P.J. Cullen. 2014. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *Journal of Food Engineering* Volume 125: 131-138.
- Niemira, B.A.. 2012. Cold plasma decontamination of foods. *Annual Review of Food Science Technology* 3: 125-142.
- Paniagua, A. C., A.R. East, J.P. Hindmarsh and J.A. Heyes. 2013. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biology and Technology* Volume 79: 13-19.
- Restaino, L., E.W. Frampton, J.B. Hemphill and P. Palnikar. 1995. Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology* 61 (9): 3471-3475.

- Saftner, R. , J. Polashock, M. Ehlenfeldt, B. Vinyard. 2008. Instrumental and sensory quality characteristics of blueberry fruit from twelve cultivars. *Postharvest Biology Technology* 49: 19-26.
- Scholtz, J. P., H. Souskova, J. Khun and J. Julak. 2015. Nonthermal plasma - A tool for decontamination and disinfection *Biotechnology Advances* 33 (6): 1108-1119.
- Vrhovsek, U. , D. Masuero, L. Palmieri and F. Mattivi. 2012. Identification and quantification of flavonol glycosides in cultivated blueberry cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 25: 9-16.
- Wu, V. C. H. and B. Kim. 2007. Effect of a simple chlorine dioxide method for controlling five foodborne pathogens, yeasts and molds on blueberries. *Food Microbiology* 8: 794-800.
- Ziuzina, D., S. Patil, P. J. Cullen, K. M. Keener and P. Bourke. 2014. Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. *Food microbiology* Volume 42: 109-116.

三、網路部分

上海騰拔儀器科技股份有限公司

<http://www.shtengba.com/Article-1352633.html>

National Institute of Allergy and Infectious Diseases, (NIAID) USA

<https://www.niaid.nih.gov/diseases-conditions/e-coli>

物質型態示意圖

<https://kknews.cc/news/9xegeel.html>

李志君，基礎色彩學，基礎色彩實驗室

<https://www.cnledw.com/inter/upload/2010110811391258475.pdf>

Texture Analyzer 超技儀器股份有限公司。

<http://www.lotun.com.tw/sms/food/fruit-vegetables.html>