

東海大學畜產學研究所
Graduate Institute of Animal Science
Tunghai University

碩士論文
Master Thesis

指導教授：吳勇初 博士
Adviser: Yun-Chu Wu, Ph. D.

臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉保存性之影響

EFFECT OF OZONATED WATER AND SPRAYING
TIME ON KEEPING QUALITY OF PORK

研究生：王添進 撰
Graduate student : Tain-Jinn Wang

中華民國九十年五月
May, 2001

誌謝

本論文承蒙指導教授吳 教授勇初悉心指導、討論與鼓勵，並於撰稿時詳加斧正，方得順利付梓。三年中，老師不但在課業、實驗或做人處事上惠我良多，在相處上亦師亦友的指導方式更讓人銘記於心，在此獻上最高的敬意和謝意，感謝老師的指導。

文稿初成，承畜產試驗所宜蘭分所黃 所長加成、國立中興大學農學院陳 院長明造、東海大學農學院郭 院長俊欽於百忙之中撥冗指正論文，並於口試期間提出寶貴建議，使論文更臻完美，特此敬申謝忱。

在學期間承蒙系上各老師諄諄教誨，謹致萬分謝意。感謝洪連懺老師和施宗雄老師在微生物學和實驗上的鼎力相助和劉琳琳老師不時的鼓勵。實驗期間感謝台中市肉品市場提供實驗場地、東海大學乳品加工廠提供車輛和祈賢科技股份有限公司提供技術上儀器。感謝致苑、富源、德豫、孟宗、淑錦和施助教在實驗上、精神上的幫忙與鼓勵。歷經十數次從半夜 11 點至隔天下午 1 點的實驗時間，感謝吳老師、宜真、立杰、智翔、馨云、敬評等人在漫漫長夜中一起度過辛苦的實驗。好友和學弟妹：世偉、明國、珮榕、兆盈、欣儀、信忠、榮偉、建和、敏君、瑞楠、佑全、思樺、君佑、瑞珍和雲天在生活和精神上鼓勵。生活上承蒙佩蘭、東海熱門樂器黃老師及一家人和風信子民謠吉他社、熱音社、排球校隊學長姐、學弟妹和排球同好多人鼓勵，在此一並致謝。感謝之情，只怪筆墨拙劣。

最後感謝多年來一直支持我的父親、母親、大姊和家人，因為你們的關心和愛讓我堅持下去，而謹以此論文獻給我最珍貴的你們。

王添進 謹誌
東海大學畜產學研究所
中華民國九十年六月

目次	頁次
壹、摘要	1
貳、緒言	2
參、文獻檢討	4
一、生鮮肉品微生物污染來源和去污染處理方式.....	4
二、臭氧之基本性質.....	10
三、臭氧與其他消毒劑之比較.....	13
四、臭氧對微生物的影響.....	23
五、臭氧的消毒機制.....	25
六、影響臭氧消毒的因子.....	29
七、臭氧的應用.....	33
八、臭氧的危險性.....	36
肆、材料與方法	38
一、實驗儀器.....	38
二、實驗方法.....	38
三、分析項目.....	39
四、統計分析.....	43
伍、結果與討論	46
一、臭氧化處理對水中微生物之影響.....	46
二、臭氧水噴灑處理對豬屠體表面微生物之影響.....	48
三、臭氧水處理對冷藏豬肉貯存期間微生物之影響.....	56
四、臭氧水處理對冷藏豬肉貯存期間硫巴比妥酸值和 酸鹼值之影響.....	68
五、臭氧水處理對冷藏豬肉貯存期間色澤之影響.....	73
六、臭氧水處理對冷藏豬肉官能品評和剪力值之影響...	84
陸、結論	85
柒、參考文獻	87
捌、英文摘要	106
玖、小傳	108

表次	頁次
表一、微生物對消毒劑致死係數比較.....	15
表二、微生物對臭氧之 C T 值.....	16
表三、常用消毒劑之比較.....	19
表四、二氧化氯、臭氧和氯氣與水中有機物之反應.....	20
表五、各類消毒劑優缺點比較.....	22
表六、臭氧在水中的溶解度.....	30
表七、臭氧於飲用水處理之應用.....	34
表八、臭氧水濃度對噴灑用水中水中微生物之影響.....	47
表九、臭氧水濃度和噴灑時間對屠體表面總生菌數和低溫 菌數之影響.....	53
表十、臭氧水濃度和噴灑時間對屠體表面大腸桿菌群和大 腸桿菌數之影響.....	54
表十一、臭氧水濃度和噴灑時間對屠體表面沙門氏桿菌和 彎曲桿菌之影響.....	55
表十二、臭氧水濃度和噴灑時間對腹脅肉官能品評和剪力 值之影響.....	82

圖次

頁次

圖一、 臭氧在水中的反應途徑.....	14
圖二、 實驗機器設備配置圖.....	44
圖三、 實驗設計流程圖.....	45
圖四、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間總生菌數之影響.....	62
圖五、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間低溫菌數之影響.....	63
圖六、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間大腸桿菌群之影響.....	64
圖七、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間大腸桿菌之影響.....	65
圖八、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間沙門氏桿菌之影響.....	66
圖九、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間彎曲桿菌之影響.....	67
圖十、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間表皮硫巴比妥酸值之影響.....	71
圖十一、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間精肉酸鹼值之影響.....	72
圖十二、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間表皮亮度值之影響.....	76
圖十三、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間表皮紅色值之影響.....	77
圖十四、 臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間表皮紅色值之影響.....	78

圖十五、	臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間脂肪 亮度值之影響.....	79
圖十六、	臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間脂肪 紅色值之影響.....	80
圖十七、	臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間脂肪 黃色值之影響.....	81
圖十八、	臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間精肉 亮度值之影響.....	82
圖十九、	臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間精肉 紅色值之影響.....	83

壹、摘要

本研究旨在探討使用 3 種濃度清水、臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm，配合 2 種噴灑時間 30 和 60 秒進行對豬屠體清洗殺菌效果之比較。並於噴灑處理後，將豬隻腹脅肉取下，以保麗龍淺盤和保鮮膜包裝後貯存於 4 低溫櫃中，進行貯存性試驗，於 0、3、6 和 9 天進行各項分析。

實驗結果顯示：臭氧水 1.5 和 3.0 ppm 水中無法檢測出生菌數、低溫菌、大腸桿菌和大腸桿菌群。經臭氧水噴灑後，臭氧水濃度 1.5 與 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒後能顯著降低屠體表面總生菌數、低溫菌數和沙門氏桿菌 ($P < 0.05$)。臭氧水 3.0 ppm 噴灑處理所降低之大腸桿菌群顯著較其他處理組高 ($P < 0.05$)。經清水噴灑 60 秒與臭氧水 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒後能顯著降低屠體表面大腸桿菌數 ($P < 0.05$)。經噴灑處理均能降低屠體彎曲桿菌數 ($P < 0.05$)。臭氧水噴灑處理對屠體表面微生物之除菌效果隨臭氧水濃度增加而增加。在貯存性試驗中，以臭氧水 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒後總生菌數和低溫菌數上升較控制組和緩。病原性微生物在低溫貯存期間並無顯著變化 ($P > 0.05$)。在貯存期間，臭氧水 1.5 ppm 噴灑 60 秒和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組 TBA 值上升較清水噴灑 30 和 60 秒處理組緩慢 ($P < 0.05$)。臭氧水 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組在貯存第 0 天表皮亮度值顯著較其他組高 ($P < 0.05$)，而紅色值顯著較低於其他組 ($P < 0.05$)；但經 3 天貯存後各組間並無顯著差異 ($P > 0.05$)。pH 值、表皮黃色值、脂肪與精肉色澤無顯著變化 ($P > 0.05$)。臭氧水噴灑處理對官能品評和剪力值沒有顯著影響 ($P > 0.05$)。

貳、緒言

根據 FDA (2000) 資料指出，自 1993 至 1997 年間美國境內爆發過 2751 次的食物中毒事件，使得近九萬人因此而身體不適或死亡。其中由微生物引起的食物中毒佔所有事件中 86%，顯示食品中微生物污染對於人類疾病有極大的危害。因而美國政府要求屠宰場於 1998 年起開始實行 HACCP (Hazard Analysis-Critical Control Point)，促使屠宰場加強管制，藉以降低微生物對人類健康的危害；目前由多個單位推行，並廣用於美國食品業。近年來在國內亦致力推行 HACCP，食品業界相繼實行中。

豬隻經屠宰後表皮每平方公分大約有 10^2 至 10^4 個微生物，而後屠體經運輸、分切、包裝或在貯存期間均會造成微生物的污染和增殖，使肉品保存性降低(Pearson and Dutson, 1986)。一般屠宰場常使用水清洗以降低微生物污染，早期建議使用清水高壓清洗，但由於清水清洗對致病性微生物效果不大，而後又爆發 *E. coli* O157:H7 食物中毒事件造成多人死亡，因此美國政府建議使用氯水或臭氧清洗屠體，其中又以含氯消毒劑最為廣泛(Marriott, 1999)。一般而言，屠宰線上以有效氯濃度約為 100-200 ppm 之含氯消毒劑噴灑豬隻屠體(王等，1982)，使用種類如次氯酸鈉、二氧化氯等，但以氯水清洗只能去除屠體表面有機物和部分微生物，且含氯消毒劑有下列缺點(曾及應，1986)：(1)殺菌效果不佳。(2)屠體會有氯之殘留問題。(3)受溫度及pH值的影響較大。(4)易形成三鹵甲烷(THMs)等致癌物質。(5)易造成設備腐蝕及操作人員不適。

臭氧對革蘭氏陽性球菌的殺菌效果最好，次為革蘭氏陰性桿菌，再次為革蘭氏陽性桿菌（Baired-Parker, 1971）。Restaino *et al.* (1995) 指出，0.188 ppm的臭氧水可以在5分鐘內有效降低*E. coli*、*Pseudomonas aeruginosa*、*Yersinia enterocoliica*、*Listeria monocytogenes*、*Staphylococcus aureus*和*Enterococcus faecalis*等食品病原菌達4.5個對數值以上。Shledon and Brown (1986) 之報告指出，以臭氧水濃度3.0-4.5 ppm，冷卻處理45分鐘之屠體在4℃下貯存，其總生菌數與低溫菌數則低於控制組。使用臭氧為消毒劑之優點：(1)不會形成THMs。(2)不會殘留化學物質。(3)臭氧對微生物之殺菌速率比氯快。(4)臭氧受溫度與pH值的影響小。(5)臭氧可作為水質除臭除味用（Block, 1983; Bott, 1991）。缺點為：(1)臭氧生產設備費昂貴，且必須在現場製造。(2)在水中分解快，不易保持殘餘濃度。(3)受水中有機物及無機物影響大。(4)缺乏指定作用上的選擇性。

臭氧的應用如：水處理：殺菌、硝化、沈澱金屬離子、降低水的濁度和COD，使水質澄清；水果：去除有機物或降低農藥殘留；魚體表面殺菌；紅茶和綠茶轉換或應用於飲料容器充填前清洗，但是使用在豬隻屠體的清洗上則少有文獻，故本實驗以臭氧水噴灑豬隻屠體，以達到殺菌並增加產品保存期限之效果，並找出最佳之臭氧水濃度與噴灑時間。

參、文獻檢討

一、生鮮肉品微生物污染來源和去污染處理方式

正常而健康家畜肌肉、脂肪和其他可食用器官如心臟、肝臟、腎臟和腦幾乎都是無菌的，但在其他如舌或消化道表面在活體時有許多微生物附著在上面。經屠宰流程中如放血、剖半、取出內臟或切除頭部時，可食部分會因為許多內源性如口腔內大腸桿菌與腸胃道糞尿污染腸內菌屬等或外來的來源如毛髮、操作人員、使用刀具和器具，因而遭受到污染。生鮮肉是非常適合微生物生長的天然培養基，如有微生物附著將會提供極佳的生長條件，使微生物分解蛋白質和脂質快速增值產生短鏈蛋白質和脂肪代謝產物，因而造成不良風味、氣味或毒素等，造成生鮮肉品品質下降(Davis and Board, 1998)。

屠體的污染起源於放血的瞬間，豬隻在放血所使用的放血刀若有污染會對切口和血液造成污染，將原本無菌狀態之肌肉和血液污染。放血之後的燙毛槽一般溫度會維持在 60 左右，對於屠體表面污染有降低微生物數的效果，然而隨著屠體相繼進入燙毛槽後，槽中之微生物數隨之增加，因而污染之後進入豬隻屠體，此點也變成一污染來源(Brown, 1982)。Jones *et al* (1979)使用放射線追蹤所到的結果顯示，若水中具有微生物存在則經燙毛後屠體可能受到污染的部分為血液、血管、器官和肌肉。燙毛完畢之屠體會經脫毛、去內臟、剖腹、修整和分切包裝等步驟，在這些處理過程中污染來源主要來自於豬肉所接觸的物品和器具，與操作人員習慣與和環境有極大的關係(Gill and Penny, 1979., Gill *et al.*, 1976., 1978)。所以要避免生鮮豬肉

的污染不但是在機器設備方面需要保持適當清潔，更需建立操作人員良好習慣。

為避免生鮮肉品在出廠時就受到嚴重污染，各屠宰場對會使用各種去污染方式降低微生物數目，目前常使用的方式如下：

1.含氯消毒劑(Chlorine solution)：

含氯消毒劑是屠宰場和肉品加工廠常使用的去污染劑，可以降低屠體表面微生物數目、防止交叉污染和抑制微生物的增值。使用的濃度在 50 ppm 以下只能降低微生物數 1 個對數值 (James *et al.*, 1992)。一般使用在豬或牛屠體噴灑的濃度為 100 至 200 ppm 才能有效降低屠體的污染。但若在初始菌數較低的屠體表面噴灑 200 ppm 的高濃度含氯消毒劑不論是剛處理完或在 8 天貯存期間菌數變化均不大，顯示出在低菌數時含氯消毒劑並未有效降低菌數(Kotula, 1974; Skelly, 1985)。Bautista *et al* (1997)使用 300 到 400 ppm 的氯水浸泡雞隻屠體，發現此濃度能有效清除雞隻屠體表面的沙門氏菌，而以 50 ppm 處理則無效果。使用氯化水 125 ppm 噴灑豬隻屠體，其表面總生菌數顯著($P < 0.05$)低於控制組，而嗜冷菌亦有降低的趨勢 (王等, 1982)。

但含氯消毒劑有下列缺點 (曾及應, 1986)：(1)殺菌效果不佳。(2)屠體會有氯之殘留問題。(3)受溫度及 pH 值的影響較大。(4)易形成三鹵甲烷 (THMs) 等致癌物質。(5)易造成設備腐蝕及操作人員不適。

2.有機酸(Organic acid)：

有機酸種類繁多，較常使用的如乳酸、醋酸(Acetic acid) 和葡萄糖酸(Gluconic acid)等，對於屠體表面革蘭氏陰性菌和腐敗菌有很好的抑制效果(Dickson and Anderson., 1992)。添加 1-2% 乳酸於家禽的冷卻槽中結果顯示有降低雞隻屠體表面微生物數效果，同時對其風味色澤並無顯著影響(Smulder, 1987; Terra *et al.*, 1993)。

將禽肉(Terra *et al.*, 1993)或畜肉(Smulder, 1987)以有機酸處理並加以調氣包裝，可以有效的延長貯存期限，其主要原因為此處理可延長微生物遲滯期(lag phase)，延長微生物到達大量增值的時間，因而降低屠體表面微生物數目達到增加保存性之效果。有機酸對屠體去污染能力受到酸鹼度和溫度影響極大(Mulder *et al.*, 1987; Greer and Dills, 1995)，且會造成貯存期間肉色褪色之不良影響。

3.無機磷酸鹽類(Inorganic phosphates)：

磷酸鹽類常使用磷酸三鈉(TSP, trisodium phosphate)和聚磷酸鹽(polyphosphate)。磷酸鹽類屬於鹼性，可將屠體表面微生物和部分脂肪移除，添加量約為 3~10%。Hollender *et al.* (1993)將磷酸鹽溶於家禽的冷卻槽中發現能降低家禽屠體表面微生物數，尤其是沙門氏菌，且其處理完的風味可被消費者接受。然而 Gorman *et al.* (1995)使用 12% TSP 噴灑牛屠體對降低屠體微生物效果並不佳。

4.抑菌劑(Bacteriocins)：

抑菌劑通常為微生物產生之具有抑制微生物生長的代謝產物，對微生物有拮抗作用(antagonistic effect)，如乳酸或

Nisin。Nisin 是由 *Lactobacillus lactis* subsp. *lactis* 所產生，對革蘭氏陽性菌有抑制效果。其抑菌機制一般認為是因 Nisin 是蛋白質水解酵素能附著在細菌細胞膜上而將膜水解，使細胞膜受損或細胞內容物釋出造成細菌生理機能異常或死亡(Yang and Ray, 1994)。Steven *et al.* (1992)研究指出革蘭氏陰性菌具有細胞外膜能提供保護作用，Nisin 對其抑制效果不佳。

抑菌劑本身就是一種蛋白質，其殺菌力會受到溶液中蛋白質含量、蛋白質分解酵素和食品的組成份影響。而對革蘭氏陰性菌效果較差，故常與乳酸、醋酸或檸檬酸混和使用，以同時抑制革蘭氏陽性菌和陰性菌(Chung *et al.*, 1989)。在使用安全性上，Nisin 被當為是 GRAS (generally recognized as safe ，一般公認為安全)的食品殺菌劑(Abee *et al.*, 1995)。

5.過氧化氫(Hydrogen peroxide ,H₂O₂) :

過氧化氫在水中能產生殘基破壞細菌核糖核酸、蛋白質和脂質，而同時有殺菌和靜菌(bacteriostatic effect)作用(Juven and Pierson, 1996)。Lillard and Thamos (1983)在家禽冷卻水中加入 0.5% (w/v)的過氧化氫，結果發現對貯存期限有稍微延長的效果，但會造成屠體褪色，且在冷卻槽中會產生許多氧氣氣泡因而使得殺菌效果不如預期。而在使用牛肉上的實驗顯示經過過氧化氫的噴灑，屠體表面微生物有增加的趨勢(Cabedo *et al.*, 1996)。在屠體上的利用對病原菌增值的控制較佳。

6.臭氧(Ozone, O₃) :

臭氧最早是以氣體方式利用於貯存食品的地方。Barth *et al.* (1995)提出，冷藏室內空氣含有 0.1 ppm 及 0.3 ppm 的臭氧

時，可以防止黴菌的腐敗，也可以延長黑莓儲存時間。而臭氧普遍用於飲用水處理，能有效將水中重金屬離子氧化而沈澱，也可分解水中之有機物、具有脫臭、脫色之功能，還可降低水中濁度、COD 值，使水質澄清(陳等，1988)。

將臭氧溶於水中用以噴灑牛屠體(0.9-2.3 ppm)或浸泡雞隻屠體(1.2 ppm)，能有效降低屠體表面微生物數，且並無不良風味產生。但所降低的總菌數並非極高，對增加保存期限並無顯著效果(Reagan *et al.*, 1996; Sheldon and Brown, 1986)。然而隨著對於臭氧水濃度控制和濃度監測技術越益發達之下，應用臭氧殺菌之技術有其價值(Sauter *et al.*, 2000)。

7.水(Water)：

利用清水去除屠體表面微生物方法不外乎以浸泡(immersion)、沖洗(rinse)、噴灑(spray)或蒸汽(steam)方式直接去除污染。

一般利用浸泡方式處理的屠體體積均較小如家禽，浸泡和攪動能有效降低雞隻屠體表面微生物(Lillard and Powel, 1998)。Davey and Smith (1989)以冰水沖洗和噴灑處理並不能有效降低牛屠體表面微生物。

Benedic *et al.* (1991)使用高壓清洗豬屠體結果發現能有效降低表面微生物污染。高壓清洗處理亦能利用於家禽屠體在去內臟之前之清洗，能有效降低微生物數，並可用於在最後一道清洗程序。但高壓清洗有可能會將表面微生物沖入毛囊或肌肉中而增加污染(Shackelford, 1993)。

蒸汽能以熱轉換方式(heat transfer)將熱能傳至微生物

上，破壞微生物正常生理機能，使微生物死滅，降低屠體表面污染，並且不用添加任何化學添加物(Dorsa *et al.*, 1993)。

8. 超高液體壓力(Ultrahigh hydrostatic pressure)：

超高液體壓力殺死微生物的方式是屬於一種物理性作用。Carlez *et al.* (1993)指出以 600 Mpa 的壓力可殺死革蘭氏陽性菌。此種方式使用在牛肉和豬肉操作非常類似，是將食肉包裝後以 1000 公斤以上水壓去除微生物。一般使用於較小的產品如家禽；在絞肉或去骨禽肉上使用亦有極佳效果，但會造成產品褪色之問題。

9. γ -射線(Gamma-irradiation)：

食品中放射線處理通常使用於最後處理，對於微生物抑制作用極佳(Corry *et al.*, 1995)。然而經放射線處理食品約只有 30% 消費者較接受(Brunn, 1995)。以殘留劑量而言，放射線處理所可能造成的放射線殘留問題比添加其他化學性添加物的殘留問題之疑慮要低，所以對於放射線在食品上的利用並非是效果上的疑慮，目前最必須努力的是對消費者的教育(Lagunas-Solar, 1995)。

10. 電擊(Pulsed-field electricity)：

一般肉牛屠宰場常使用於電擊電刺激牛屠體，降低低溫熟成時屠體冷收縮程度，縮短屠後僵直時間，在牛的屠宰場常使用。而研究中同時也發現電擊除了能縮短僵直時間外，亦能降低屠體表面微生物數(Bawcom *et al.*, 1995)，是在發展電擊刺激屠體縮短僵直時間所發現之次要效果。電擊的利用在雞隻屠體並未使用，在火雞的屠體上或許有其利用價值。Li *et al.*

(1995)發現若在雞隻屠體上用電擊能有效降低屠體表面的彎曲桿菌。

11.超音波(Ultrasonic energy) :

超音波被限制使用於能浸泡在溶液中的小型屠體如雞或鴨。其主要是利用快速震動而將細胞震碎，以達到降低污染的目的(Lillard, 1994)。Earnshaw *et al.* (1995)指出超音波可用於家禽或豬隻屠宰的燙毛槽，但會受到槽中有機物含量多寡之影響。

12.紫外光(UV light) :

紫外光被用於提供控制環境下栽培植物水源的去除污染用。而在肉品上常使用於屠體冷藏室或分切加工區空氣進口處。然而若要使用於去除屠體表面污染則會因動物表面毛髮或羽毛的不規則或遮蔽使其效果不佳(Bolder, 1997)。

二、臭氧之基本性質

(一)臭氧的理化性質

臭氧 (ozone) 分子由三個氧原子組成，分子式為 O_3 ，分子量為 48，於 1785 年由 Van Marum 所發現。比重為 1.658 (air=1)，熔點為-192.7，沸點-111.9，液體密度為 1.614 公克 / 公升 (-190.4)，氣體密度 2.14 公克 / 公升 (0，1 atm)，臨界溫度為-12.1，臨界壓力 54.6 氣壓 (O' Donovan, 1965)。臭氧在大氣中的含量很少，在海平面約 0.05 ppm，在地球表面 20-30 公里的平流層，有高濃度的臭氧，此可以避免地表生物受強烈紫外線的照射(吳, 1987; 王, 1992; 鄭, 1988)

在大氣中臭氧的產生有二種途徑：一為閃電激發氧氣而局部生成，二為陽光中之紫外線照射氧氣而產生（吳，1987）。

臭氧分子是氧分子的同素異形體（allotrop），鍵長 1.278 埃，鍵角 116.8°，具有極性。在一般室態，經-180℃冷卻臭氧氣體可得到深藍色的液體（Merck Index, 1989）。臭氧為一強氧化劑，其氧化還原電位為 2.07 V，僅次於氟（F₂）的 2.87 V，高於過氧化氫（H₂O₂）的 1.78 V 和氯（Cl₂）的 1.36 V。此外，臭氧在水中的溶解度，符合亨利定律（Henry's Law）其溶解度為氧氣的 13 倍，但是有許多因素會影響其溶解度（O' Donovan, 1965; Walter and Sherman, 1976; Yang and Chen, 1979）。臭氧在常溫中相當不穩定，會分解成氧，其分解速率會受溫度、光線、水分、金屬或金屬氧化物及其他催化劑的存在而加速。臭氧在大氣中的半衰期為 50 分鐘左右（陳，1988）。當臭氧溶於水中，因水分子而急速分解，所產生的氫氧自由基（OH·）可引起強力的殺菌、脫臭、脫色、及漂白作用（Rice, 1981; Block, 1983; Bott, 1991）。

由於臭氧分子結構的特性，臭氧可因其極性（dipole）而與其他物質產生化學反應，也可因電子分佈的特性以親電子者（electrophilic agent）或親核子者（nucleophilic agent）產生化學反應（Reckhow, *et al.*, 1991）。

（二）臭氧製造

臭氧在自然界中可以因為閃電激發或紫外線照射而自然產生，但在工業為大量製備所需常使用方如電弧法、紫外線照

射法和電解法，其中以電解法最為常見(溫和張，1994)。根據張(1996)所提製造臭氧方法，需先氧分子結合強鍵打斷成為單一氧原子。欲打斷此鍵需要極大能量。當電極中電子放電和氧分子產生碰撞，若電子有效電能達到 7eV ，將使得氧分子分解成氧原子，而氧原子再和氧分子形成臭氧。以高壓放電為原理所產生之臭氧製造機，需要正、負放電電極和絕緣層(如玻璃)、空氣間隙，並提供直流電源和空氣來源即可。以空氣為原料，所得最高臭氧濃度約為 $3\sim 4\%$ ，若以純氧為原料則可達 $6\sim 8\%$ 以上。要產生臭氧需要具有絕緣層，否則經高壓放電只會產生電火花或電弧光。一般會將電極和絕緣層做成同心圓狀，例如市售之空氣清淨機即是將同心圓狀 Al_2O_3 塗上電極再加上電源，利用空氣製造臭氧。

臭氧測量方式目前研究顯示有濕式碘滴定法、紫外光度計法和感測器法。若使用碘滴定法會有操作不易且耗時缺點，因此現在多使用紫外光度計法或感測器法。紫外光度計法具有量測較精確之優點，因此可用於建立臭氧原級標準或臭氧之傳遞標準，但所使用之紫外光分析儀價格昂貴且體積大，判定所需臭氧進氣流量也很大，並不適合做機動性檢測。感測器分為電化學式和固態式，電化學式亦受到二氧化氮氣體的干擾，因此目前研究多著重於固態式感測器研發(吳和林，1998)。固態感測器感測材料為半導體氧化物，將之製作成厚膜，是目前技術開發重點(Sauter *et al.*, 2000)。

(三)臭氧在水中的反應型態

Hoigene and Bader (1978) 曾提出臭氧在水溶液以兩種型態的反應與水中其他物質進行反應：

- 1.直接反應 (direct reaction): 以臭氧分子直接與其他物質進行反應。
- 2.自由基反應 (free-radicals reaction): 臭氧分子在水中分解時產生的自由基與其他物質反應。

臭氧可直接與有機、無機物質或微生物反應，但是此途徑之選擇性高，反應慢，較臭氧分解之反應速率慢。臭氧分解後之自由基反應的選擇性較低，且具有極快的反應速率。圖 1 為臭氧在水中之反應途徑。

三、臭氧與其他消毒劑之比較

(一)殺菌劑殺菌效果之評估方法

使用殺菌前需先判定目標微生物對殺菌劑抵抗能力，在許多研究中通常使用下列方法區分微生物對殺菌之抵抗能力：

1.致死係數(lethality coefficient)：

致死係數是指微生物經消毒劑作用將微生物殺死 99% 所需時間和水中消毒劑剩餘濃度之關係。用以表示微生物對殺菌劑的抵抗效果其公式如下：

$$= \ln 100 / Ct_{99}$$

C：水中餘氧化物質(oxidant)濃度(mg/L)

t₉₉：水中 99% 微生物被殺滅所需時間(分鐘)

表一表示腸內菌、病毒、孢子和原蟲胞囊對臭氧和含氯消毒劑 值的比較。表中值愈大顯示微生物對消毒劑抵抗力越

差，從表中可看出細菌對消毒劑的抵抗力最差(Nebel, 1981)。

表一、微生物對消毒劑致死係數比較。

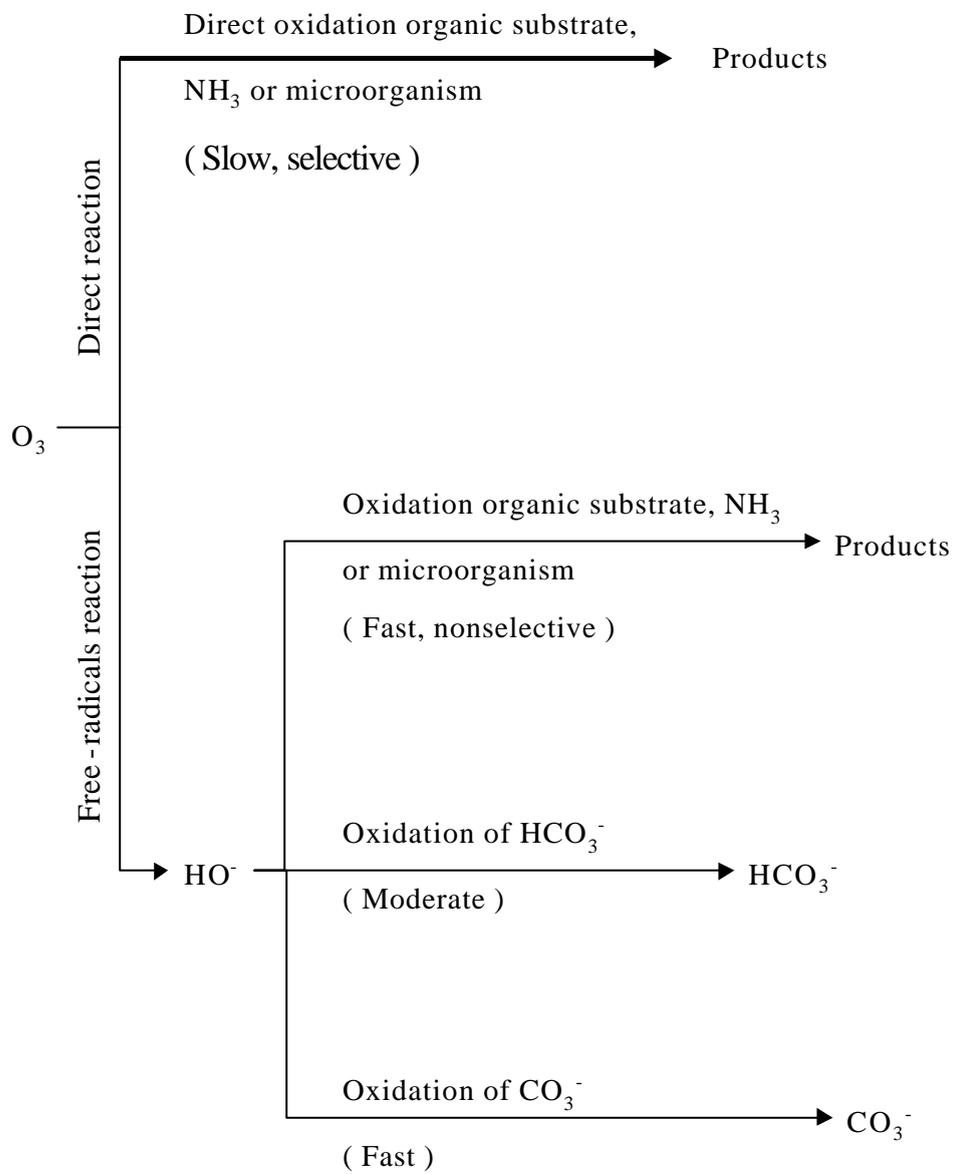
消毒劑	腸內菌	病毒	孢子	原蟲胞囊
臭氧	500	0.5	2	0.5
次氯酸	20	1.0	0.5	0.05
次氯酸根	0.2	0.02	0.0005	0
氯胺	0.1	0.005	0.02	0.02

(Nebel, 1981)

2.C T value (concentration of residual ozone times contact time) :

$$C \quad T = \text{mg/L} \quad \text{min}$$

C T 值是指臭氧在水中接觸時間和其殘存量之關係。在同一狀況下 C T 值愈大表使微生物對臭氧抵抗能力愈大。如果水溫低於 10 ， pH 值接近中性時，降低 99% *E. coli*



圖一、臭氧在水中的反應途徑。(Hoigene and Bader, 1976, 1977)

Fig. 1. The reaction of ozone in water.

生長活性為 0.006 mg/L min (Singer, 1990)。

使用 C T 值判定微生物和消毒劑作用必須先瞭解臭氧不穩定性和水溫與 pH 值均會影響 C T 值。水中具有有機物質可能會使 C T 值上昇數倍至數十倍。若以 C T 值估計消毒劑有效消毒能力，必須考慮水中不溶解之臭氧劑量以決定臭氧在水中應有之接觸時間。

Hoff (1987)和 Wickramanayake *et al.* (1984)對一些微生物在 5 ， pH 值 6~7 的環境下對臭氧 C T 值的研究如表二。

表二、微生物對臭氧之 C T 值。

類型	名稱	C T
細菌	<i>Escherichia coli</i>	0.02
病毒	<i>Ploio 1. Virus</i>	0.2
	<i>Rotavirus</i>	0.006~0.06
原蟲胞囊	<i>Giardia lamblia cyst</i>	0.5~2.0
	<i>Naegleria gruberi cyst</i>	4.23

(Hoff, 1987; Wickramanayake *et al.*, 1984)

(二)消毒劑效果之衡量要項

在選擇消毒劑時，必須根據消毒劑的特性與使用上的需要做選擇，更要把經濟因素列入考慮。良好的消毒劑所應具有的特性如下 (曾等，1986；Katz, 1980)：

- 1.製造方便，最好是廣泛地被使用。
- 2.殺菌力或將病毒去活性的能力強。

- 3.在水中可產生殘留量 (residual), 並且易於測定。
- 4.在水中不會產生或產生相當少量有害副產物 (by-product)
- 5.在價格上不昂貴。

(三)各種消毒劑效果之比較

根據上述標準，則可以將氯氣、臭氧、氯胺及二氧化氯等消毒劑作一比較如表三所示 (Rice, 1981)。於表中較為重要而值得一提者為：

- (1)在製造或生產方式上，僅有氯氣可以在場址外生產後再運至場址使用，其他均必須當場製造。
- (2)在最重要的消毒能力上，由強至弱的順序為：
臭氧>二氧化氯>氯氣>氯胺。
- (3)在消毒後之殘留物質上，由於臭氧在水中會在很短的時間內自行分解 (半衰期在 20 下約 22 分鐘)，所以無法保持足夠的殘留量，使物質溶液受到再污染，這是臭氧作為消毒劑之一大缺點。其他三類消毒劑則沒有這問題存在。
- (4)在副產物的生成上，僅有使用加氯消毒會產生三鹵甲烷 (THMs)，其他三種消毒劑也會有一些副產物的產生，但並不包括具高致癌性的三鹵甲烷。
- (5)在花費上，臭氧和二氧化氯的成本較氯氣和氯胺為高，這也是臭氧消毒仍無法普及的一個重要原因。
- (6)在使用情形上，氯氣在美國與歐洲以外的地區至今仍被大量使用，而臭氧和二氧化氯則在歐洲地區使用較多。

整體而言，臭氧是一種消毒力很強的消毒劑，並可去除水

中其他污染物之好處，表四為各種常用消毒劑與水中有機物之反應。但亦有若干的缺點，各種消毒劑之優劣點如表五所示。臭氧與含氯消毒劑的優缺點比較如下（Francis, 1972; Block, 1983; Bott, 1991）：

使用臭氧的優點：

- (1) 氧化力強，不會形成 THMs。
- (2) 高消毒力，能殺滅或去活化各種細菌、病毒及胞囊。
- (3) 反應速率快，且不會殘留化學物質。
- (4) 消毒時之適宜 pH 值及溫度範圍較大。
- (5) 能去除水中之色度、臭味及有機物。

使用臭氧的缺點：

- (1) 臭氧生產設備費昂貴，且必須在現場製造。
- (2) 在水中分解快，不易保持殘餘濃度。
- (3) 受水中有機物及無機物影響大。
- (4) 缺乏指定作用上的選擇性。

表三、常用消毒劑之比較。

	氯氣	臭氧	二氧化氯	氯胺
使用情形	在美國和歐洲以外其他國家使用	在歐洲地區廣為使用	在歐洲地區廣為使用	少用
產生方式	廠外生產，裝瓶至現場使用	現場製造，現場使用	廠外或現場製造均可	現場製造
消毒能力 順序 受 pH 影響	HOCl > OCl ⁻ 3 4 大	1 小	2 小	NHCl ₂ > NH ₂ Cl 4 5 大
殘留消毒劑	能持久	不能持久，可能再受污染	能持久	能持久
水中產物	三鹵甲烷 (THMs)、氯胺、HOCl, OCl ⁻	水中原本具有物質之氧化產物，臭氧與其殘基不存在	ClO ₂ , ClO ₃	unknow
三鹵甲烷	有	無	無	
成本比例	1.00	Air Oxygen 2.00 1.95	2.16	0.47 消毒效果較其他三者差

(Rice, 1981; Rice *et al.*, 1991)

表四、二氧化氯、臭氧和氯氣與水中有機物之反應。

	臭氧	二氧化氯	氯氣
酚	<ul style="list-style-type: none"> *中間產物為多羥芳環類、焜類 *開環後形成非鹵化雙官能基產物（醇—醛、醇—酸、酮—酸） *最終產物為草酸、CO₂、H₂O 	<ul style="list-style-type: none"> *中間產物與臭氧反應相同，另有氯酚、氯焜生成 *開環後生成物與臭氧反應相同，另有氯化反應相同，另有氯化脂肪族生成 	<ul style="list-style-type: none"> *生成氯酚、氯化物（開環後） *非氯化有機物（芳環或直鏈）
氯酚	<ul style="list-style-type: none"> *部分產物與酚及氯和臭氧之反應相同 *氯離子 *最終產物為草酸、CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> *氯酚 *鹵化、非鹵化脂肪族 	<ul style="list-style-type: none"> *多氯酚 *直鏈化合物
其他芳環化合物	<ul style="list-style-type: none"> *有硝基、胺基、磺酸類取代芳香族進行開環作用，但比氯之反應慢 *最終產物為草酸、CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> *苯酸、苯磺酸、肉桂酸與 ClO₂ 不起反應 *芳環行氧化作用時會脫去硝基 	
多環芳香族	<ul style="list-style-type: none"> *開環後形成較不易被氧化的多羧基芳香族 	<ul style="list-style-type: none"> *非鹵化多環焜 *鹵化多環芳香族 *可能會開環，但較臭氣反應慢 	可能與 ClO ₂ 反應相同
二苯聯胺 二苯胺	<ul style="list-style-type: none"> *生成羥胺 *二苯胺的環狀結構接上羥基 	<ul style="list-style-type: none"> *非鹵化多環焜 *鹵化多環芳香族 *可能會開環，但較臭氣反應慢 	
含氯雜環化合物	<ul style="list-style-type: none"> *開環後產生胺基酸 *最終產物為脂肪族 	<ul style="list-style-type: none"> *thianine 不反應 *嘓啉及引朵的環狀物不反應，取代基被氧化，但並非被氯化 	
不飽和脂肪酸	<ul style="list-style-type: none"> *雙鍵位置反應生成醛、酮和酸 *可能形成過氧化物 	<ul style="list-style-type: none"> *氯化物 *氯酮、氯醇 *環氧化合物 	<ul style="list-style-type: none"> *氯化物 *氯醇 *鹼性環境下形成環氧化物
氯仿	<ul style="list-style-type: none"> *即使存在，也不會反應 	<ul style="list-style-type: none"> *可能不起反應 	不反應

(Katz, 1997)

表四、二氧化氯、臭氧和氯氣與水中有機物之反應(續前頁)。

	臭氧	二氧化氯	氯氣
一級脂肪醛	*生成醛、酸和 CO ₂ *乙醇在特殊反應條件下生成致突變性的二氧化羥過氧化物	*形成不易氧化的酸類化合物 *不飽和酸與之不反應	
二級醇	酮類 酸類 CO ₂	*酮類 乙酸(穩定物種)	
一級脂肪胺		不反應	
二級脂肪胺	*醛肪 含氮化合物(不包括亞硝胺)	反應慢	
三級脂肪胺		*二級胺 *醛	
腐植酸	*反應緩慢 *產物為酚、CO ₂ 和不易與臭氧反應之酸類	*反應緩慢 *產物為酚	*三鹵甲烷
糖、碳水化合物		*環上取代基被氧化 *若 ClO ₂ 過量, 則進行開環作用	
三鹵甲烷前質	*臭氧能合併短時間加氯反應, 可降低 THMs 65% 的生成量 *臭氧合併加氯反應 24 小時對 THMs 生成無影響	*純 ClO ₂ (無自由氯) 與之反應不產生 THMs	*三鹵甲烷

表五、各類消毒劑優缺點比較。

種類	優點	缺點
氯	<ol style="list-style-type: none"> 1.效果佳，且被廣泛使用。 2.應用範圍廣。 3.費用便宜。 4.可同時最作為主要或輔助消毒劑。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.產生有害消毒副產物。 2.作為輔助消毒劑時，其操作條件和為防止管材腐蝕而控制的 pH 值相互衝突。
臭氧	<ol style="list-style-type: none"> 1.效果極佳。 2.至今被證實產生最少有害副產物。 3.增強慢速砂濾和 GAC 濾器效果。 4.在同一步驟進行氯化或消毒。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.需要輔助消毒劑。 2.相對費用較高。 3.需在現場製造，需複雜之操作技巧。
紫外光	<ol style="list-style-type: none"> 1.對細菌和病毒去除效果極佳且反應較快。 2.不會產生有害物質。 3.操作及維護簡單。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.不適用於含有 <i>Giardia Cyst</i>、高懸浮固體量、高色度、高濁度和溶解性有機物之水。 2.需要輔助消毒劑。
二氧化氯	<ol style="list-style-type: none"> 1.效果佳。 2.相對費用低。 3.通常不會產生 THMs。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.會產生若干有害之副產物。 2.USEPA 之推薦劑量太低且不具殺菌力。 3.必須在現場製造。
氯胺	<ol style="list-style-type: none"> 1.對細菌僅具輕度之去除效果但能維持較長時間之殺菌力。 2.通常不會產生 THMs。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.會產生若干有毒之副產物。 2.對進行腎透析之患者有毒性。 3.僅被推薦為輔助消毒劑，且對病毒和 Cyst 類不具去除能力。

(Francis, 1972; Block, 1983; Bott, 1991)

四、臭氧對微生物的影響

(一) 細菌、黴菌與酵母菌

許多研究證實，臭氧的確為一具強殺菌效果之消毒劑，但在不同的實驗條件下，殺菌效果仍有極大的個別差異。對細菌族群而言，臭氧對革蘭氏陽性球菌的殺菌效果最好，次為革蘭氏陰性桿菌，再次為革蘭氏陽性桿菌（Baired-Parker, 1971; ICMSF, 1980）。Yang and Chen (1979) 以臭氧水對雞肉體表做殺菌試驗：指出長時間、低溫和低酸鹼值會有相對較佳的殺菌效果，而在高溫，5% NaCl 的溶液和添加 albumin 之溶液，會降低其殺菌效果。Rickloff (1987) 指出在 20℃，臭氧水的濃度 10 ppm 的條件下，處理懸浮在水中的 *Clostridium sporogenes* 和 *Bacillus subtilis* 的孢子，可在 8 分鐘內完全殺滅，但如將此孢子乾燥於瓷器載體上，則孢子的抗性會增加。Chen *et al.* (1992) 指出，在 2% 氯化鈉溶液中以 *Staphylococcus aureus* 和 *Pseudomonas aeruginosa* 的殺菌效果最佳，*Vibrio cholerae*、*Vibrio parahaemolyticus* 和 *Salmonella typhimurium* 則較差。陳等 (1987) 的研究報告指出，在蒸餾水中通臭氧 2 分鐘，臭氧濃度為 0.7 ppm，能抑制 *V.cholerae*、*E. coli* 和 *S. typhimurium*。Farooq and Akhlaque (1983) 在流水系統中，將臭氧濃度調整固定為 0.23-0.26 ppm，則試驗菌對臭氧的抗性由大而小依次為：*Mycobacterium fortuitum* > *poliovirus type 1 Mahoneystrain* > *Candida parapsilosis* > *E. coli* > *S. typhimurium*。Broadwater (1973) 對 *E. coli*、*Bacillus cereus* 及 *B. megaterium* 進行臭氧殺菌作用，時間固定為 5 分鐘，*B. cereus* 的致死濃度為 0.12

ppm，而 *E. coli* 和 *B. megaterium* 的致死濃度為 0.19 ppm。Ishizaki *et al.* (1986) 以臭氧的氣體進行 *Bacillus* 細菌孢子的殺菌試驗，相對溼度 (RH) = 45% 時，臭氧無殺菌效果；當 RH = 60-80% 時，臭氧的殺菌效果強。Restaino *et al.* (1995) 指出，0.188 ppm 的臭氧水可以有效降低 *E. coli*、*S. typhimurium*、*Pseudomonas aeruginosa* 和 *Yersinia enterocoliica* 等四種革蘭氏陰性菌的數目，但在四種菌之間其殺菌效果並沒有顯著差距；革蘭氏陽性菌中以 *Listeria monocytogenes* 最為敏感，抗性最強的則為 *B. cereus* 和 *S. aureus*。Bland (1990) 指出，持續性曝氣 9 分鐘的臭氧水，濃度達到 0.8-1.0 ppm，可將 *Lagenidium callinectes*、*Haliphthoros milforensis* 和 *Fusarium solani* 完全殺滅。就微生物種類而言，臭氧易於殺死細菌，但不易殺死黴菌及酵母菌；細菌孢子對臭氧的抗性比營養細胞對臭氧的抗性強約 10 至 15 倍，實驗顯示 20 ppm 的臭氧對 *Bacillus subtilis* 的作用相等於 2 ppm 的臭氧對 *S. aureus* 及 *E. coli* 的作用 (Hoffman, 1971; ICMSF, 1980; Natio, 1982)。

(二) 病毒

Poliovirus type 1 mahoneystrain 在 0.23-0.26 ppm 的臭氧濃度下作用 90 秒，則只減少了 2.5 個對數值 (Farooq, 1982)。Katzenelson *et al.* (1979) 的研究則指出 *poliovirus type 1* 被臭氧作用分為兩個階段：第一個階段當臭氧濃度為 0.1-2.0 ppm 時，最初的 1 秒內 *poliovirus type 1* 有 95-99% 失去活性；第二個階段則須持續作用數分鐘，以確保 virus 的死滅。臭氧對

vesicular stomatitis virus, encephalomyocarditis virus, GDV virus 作用，在 15 秒內可達殺菌效果 (Burleson *et al.*, 1975) Kim *et al.*(1982)以臭氧對 bacteriophage f_2 作用 5 秒，濃度為 0.09 mg /L，則 phage 減少了 5 個對數值，當濃度為 0.8 ppm 時則有 7 個對數值 phage 被抑制。根據實驗證實臭氧對多種病毒，如：M13、HAV、SAH、PV1、VEE、MS2、poliovirus T3 亦具有很強的殺菌效果(Chen *et al.*, 1992; Herbold *et al.*, 1989; Vaughn *et al.*, 1987)

(三) 原生動物

Wickramanayake *et al.* (1984, 1985) 研究指出：*Giardia lamblia* 胞囊以臭氧濃度 0.082 ppm 處理 2 分鐘即可減少 99% 的殘存率，而 *Giardia muris* 則須 0.1 ppm 的臭氧處理 3 分鐘。Korich *et al.* (1990) 則指出 1 ppm 的臭氧，處理 5 分鐘可使 99% 的 *Cryptosporidium parvum* oocyst 去活化。

五、臭氧的消毒機制

臭氧是一種效力極高的消毒劑，然而其殺菌或病毒或原生動物胞囊等的機制較氯等消毒劑要複雜許多。以下就臭氧對細菌、黴菌、酵母菌、病毒和原生胞囊的殺滅或去活化機制加以討論。

(一) 細菌、黴菌及酵母菌

細菌是原核細胞 (procaryotes)，最外是一層細胞壁，當臭

氧被加入水中後，細菌的細胞壁首當其衝接觸臭氧及因臭氧在水中分解而產生的具高氧化力的自由基。Nebel (1981) 認為臭氧造成細菌細胞壁的破壞或解體，而有溶菌現象 (bacteriolysis) 的發生。但 Perrich (1970) and Ishizaki *et al.* (1987) 等研究認為溶菌現象並不是細菌受到臭氧作用後的直接效應，也不是細菌被臭氧殺滅的主因。Giese and Christensen (1954) 認為細胞膜是細菌首先受到臭氧影響的部份。Scott and Leshner (1963) 等人之研究證實，在低濃度的臭氧水中，臭氧並不能穿透 *E. coli* 的細胞膜，而作用於 glutathione 或者是核糖核酸上，但是臭氧可以破壞糖蛋白 (glycoproteins) 及糖脂質 (glycolipids) 之類的蛋白質或不飽和脂肪成份，以改變或者是破壞細胞壁的結構，使得細胞質內的物質流出。Domingu *et al.* (1988) 指出當濃度為 0.1-0.3 ppm 的臭氧水可以在 5 分鐘內將 *L. pneumophila* 殺滅 99% 以上，而且實驗顯示細菌體表的不飽和脂肪酸在臭氧處理後會明顯的減少，因而導致細胞滲透壓之改變是臭氧作用致死的主因。而 Mudd *et al.* (1969) 和 Gddstein *et al.* (1975) 則提出臭氧會破壞 cysteine、tryptophan、methionine、tyrosine、histidine、phinyllalanine 和 cystine 等胺基酸，而導致其構形或是功能上的改變，亦是細菌致死的主因。

臭氧可以穿過細胞膜進入細胞質中，臭氧與酵素系統 (enzyme system) 的 SH 基 (Sulphydryl groups) 作用，使酵素活性改變 (Brum *et al.*, 1991)，而 Vrochinskii (1963) 認為臭氧會破壞細菌內部的酵素，使細菌無法分解糖分；Murray *et al.*

(1965)則認為如此會改變細菌細胞的滲透性(permeability),可能造成細胞膜及細胞壁崩解、細胞質流出等溶菌現象。Perrich (1970)認為溶菌現象是由於高濃度的氧化物質(oxidant)或長時間的臭氧化(ozonation)所造成之結果,而不是臭氧直接把細胞壁給溶解了。

Laddie and Bland (1990)指出臭氧作用於黴菌的孢子後,水中發現許多細胞質的裂片,作者認為應是臭氧破壞細胞膜後,導致細胞質的釋出。Hinze *et al.*(1987)的實驗結果顯示,以臭氧處理呈懸浮狀態的酵母菌 *Saccharomyces cerevisiae*,臭氧會穿透細胞膜,使細胞質內有關代謝的酵素不活化,且臭氧會使試驗菌株的細胞膜的通透性改變,使得原先存在於細胞質中的 ATP 及 ADP 有近 50% 釋出,而 NAD、蛋白質及酵素也分別有通過細胞膜釋出於體外的現象發生。

臭氧還具有一定的穿透能力,能作用於菌體的遺傳物質,或是使體內的酵素活性改變。Ishizaki *et al.*(1987)以 *E. coli* HB101 做實驗,發現在細胞膜未解體的情形下,細胞內的環狀質體 pBR322RNA 會因臭氧之作用而打開,隨作用時間的增加,則呈現打開狀態的質體比例也會隨之增加,作者認為臭氧穿透細胞膜而與細胞質內的成分作用,因此染色體 DNA 也許是臭氧降解作用(degradation)的目標之一,因而造成菌體的死亡。Chen *et al.*(1992)研究指出,在水中臭氧濃度為 5 ppm 時,處理 30 分鐘後,臭氧可以將 *E. coli* 內之病毒 M13 的 RF DNA 分解為三個小片段;而在 Hamelin *et al.*(1977)和 Mik and Groot (1978)研究也相同的指出臭氧會穿透 *E. coli* 導致其內

的 DNA 降解和單股碎片出現，因而造成死亡或是突變。

(二) 病毒

臭氧對病毒的去活化機制較細菌單純許多。由於病毒的構造簡單，僅由蛋白質外鞘及內部的 DNA 或 RNA 遺傳物質所組成，所以臭氧首先攻擊蛋白質外鞘，使病毒因外鞘的傷害而無法附著在宿主表面以致失去致病性。Shinriki (1988) 研究臭氧與菸草病毒 (Tobacco mosaic virus, TMV) 的反應機制指出 TMV 外鞘的色胺酸 (tryptophan) 與酪胺酸 (tyrosine) 可以被臭氧所分解。但是 Roy *et al.* (1981) and Kim *et al.* (1980) 則認為臭氧作用於病毒內部的遺傳物質。

(三) 原生動物之胞囊

原生動物如 Naegleria 阿米巴原蟲 (Acanthamoeba) 和梨形蟲 (Giardia) 等的生命階段分為兩種形態：一是活在生物體內的營養細胞活體 (trophozoite)，另一是存在環境中的胞囊 (cyst)。Perrine *et al.* (1984) 的研究證實臭氧可以在極短的時間內破壞活體細胞膜而殺死活體；Wickramanayake (1984) 認為臭氧破壞梨形蟲胞囊的外殼，使其滲透性增加，終使其死亡。

(四) 全有全無效應 (all or none effect)

此一現象由 Fetner and Ingols (1956) 首先提出，其實驗研究在 1 時氯和臭氧對大腸桿菌之殺菌效率比較，發現水中

溶臭氧在 0.42 ppm 以下時，水中大腸桿菌數幾無變化，而當濃度提高至 0.53 ppm 以上時，水中之大腸桿菌則在 60 秒內被完全殺死，而 Broadwater (1973) 和 ICMSF (1980) 也指出，臭氧對營養細胞及細菌孢子的殺菌作用為全有全無。Nebel (1981) 認為水中含有有機物，形成了該水溶液對於臭氧的起始需求，臭氧進入水中後先與有機物作用，此時殺菌效率相當低，但不等於零；而當臭氧起始需求被滿足後，臭氧之殺菌效率變得非常高，所以可以觀察到「全有或全無效應」。

六、影響臭氧消毒的因子

(一) 溫度

高溫會使水中氣體溶解量下降。當水溫越低，臭氧在水中的溶解度也越大，臭氧的半衰期則越長(吳, 1994; Kusakabe *et al.*, 1991)。黃(1990)指出，溫度越低，臭氧的溶解度越好(如表六)指出在 5 及 25 的情況下，5 的臭氧溶解效率較佳，飽和臭氧濃度也較高(Chen *et al.*, 1992)。

表六、臭氧在水中的溶解度。

溫度	0	5	10	15	25	30	40	50	60
O ₃ ppm	39.4	34.3	29.9	25.9	13.9	7.7	4.2	0.6	0

(Chen *et al.*, 1992)

Labatiuk *et al.* (1992) 研究指出：高溫下會增加臭氧在水中的消耗速率，所以利用臭氧來降低 *G. muriscysts*，在 5℃ 下比在 25℃ 下容易達成。Wang *et al.* (1991a) 指出以速率 160 mg / h 的臭氧通入含 *V. cholerae* 的水溶液中，經 80 分鐘處理，0℃ 和 5℃ 的殺菌效果相近，可減少 5 個對數值，25℃ 則只能減少 3 個對數值。Yang and Chen (1979) 實驗指出，臭氧濃度 37.7 ppm，流速 650 ml / min，於 2℃ 下 10 分鐘可減少 3.6 個對數值，而在 25℃ 下 10 分鐘，則只降低 0.2 個對數值。陳等 (1988) 指出，臭氧的殺菌力和臭氧在水中還原為氧之時間有關；溫度越低，臭氧被還原為氧氣的時間較長，故殺菌能力因而較強；若被還原速度較溶入速度快，則臭氧之殺菌力不但發揮不了作用，其所分解產生之氧氣反而有助於水中微生物之生長。Herbold *et al.* (1989) 在臭氧濃度為 0.38 ppm 的流動式殺菌系統中，HAV (Hapatitia A virus) 及 *E. coli* 在 10℃ 下的殺菌速度較在 20℃ 下為快。Rickloff (1987) 的實驗指出，利用 AOAC 法將 *B. subtilis* 及 *C. sporogenes* 的孢子乾燥於瓷器載體上，次飽和的臭氧水分別於 20℃ 和 60℃ 下，孢子的抗性較佳，文中提出可能因為在高溫下臭氧的溶解度原本就較低，或是在高溫狀態下，水中的臭氧呈不穩定狀態，易分解為強氧化性的自由基，但此自由基無選擇性，易和載體或水中的其他物質作用，導致殺菌效果的不佳。

也有許多研究認為升高溫度能增進消毒效率的結果。Wickramanayake (1984) 和 Roy *et al.* (1982) 研究 *Giardia cyst*、*piliavirus*、*M. fortuitum* 等微生物便證實了此一結果；

Wickramanayake (1984) 實驗指出，在低溫下對氯具有強抗性的 *Giardia lamblia* cyst，在 5 時須 0.53 ppm·min，而在 25 時，只需 0.17 ppm·min 之臭氧水即可將其殺滅 99%。陳等 (1987) 也指出在 5 及 25 時，臭氧殺菌效果並沒有顯著差異。

(二) 酸鹼值 (pH)

黃 (1990) 實驗證實水溶液中的臭氧溶解度，會隨著酸性的增加而提高，當 pH 在 9 以上時，幾乎沒有臭氧的溶入。Walter *et al.* (1976) 指出添加 10 ppm 及 100 ppm 的醋酸，可以延長臭氧在水中的半衰期。雖然在鹼性水溶液下其穩定性低，但是當鹼性濃度升高時，穩定性反而會提高 (Heidt and Lande, 1964)，如在 1 N NaOH 下臭氧半衰期為 2 分鐘，但在 20 N 的 NaOH 下，半衰期則增加為 83 小時 (Merck Index, 1989)。

而在殺菌效果的影響上，Leiguarda *et al.* (1949) 發現在 pH=8 的水溶液中，臭氧殺死 *E. coli* 和 *Clostridium perfringens* 的效率比在 pH=6 時要低，但相差不大。Vaughn *et al.* (1987) 指出臭氧水對 SA-II 病毒的殺菌效果會因 pH 值的升高而降低；對 HRV 也有相同的趨勢，在相同的臭氧濃度下，以 pH 值較高者所需的時間較長。而 Yang and Chen (1979) 的實驗指出，pH=3 時殺菌效果最好，pH=11 時效果最差，pH=5、7 或 9 時殺菌效果居中，但沒有顯著差異。吳 (1994) 指出，臭氧的殺菌力在低 pH 值時比高 pH 值時佳，此乃因 pH 值較低時，臭氧在水中較安定的緣故。而 Farooq *et al.* (1977) 則認為在 pH 值高時，使臭氧殺菌效率降低的原因是溶解的臭氧量

較小所導致，而不是因為臭氧分解速率的直接影響，所以在 pH 值高的水中，若加入起始濃度較高的臭氧，使最後水中臭氧濃度與 pH 值較低時相同，則消毒效率便不會受到影響。

(三) 溶液之有機成分

臭氧在水中與有機物作用有兩條反應路線，第一條為直接路線，以分子態臭氧進行反應，這種反應具有高選擇性，分子態臭氧會很迅速的與活性芳香物質如苯的同系物 酚 (phenol) 間苯二酚 (resorcinol) 水楊酸鹽 (salicylate) 烯類 (olefins) 及簡單的胺類 (amine) 進行反應。第二條路線為間接路線，此反應是以臭氧分解後的自由基當氧化物進行反應，而且無選擇性。某些與分子態臭氧反應慢的有機物質，如脂肪族 (aliphatic acid) 醛 (aldehyde) 酮 (ketone) 以及活性不高的芳香族化合物，就以間接路線與臭氧反應 (鍾，1994)。Finch *et al.* (1988, 1989) 研究在磷酸鹽緩衝溶液中及污泥池之放流水中，臭氧對 *E. coli* 的殺菌效果，結果顯示達到相同的殺菌效果所耗用的臭氧量不同，後者約為前者 960 倍，此乃因污泥池放流水中含有會消耗臭氧的有機物。Nebel (1981) and Finch *et al.* (1989) 等認為有機物造成起始之臭氧濃度需求，延緩消毒作用之進行，甚至使消毒完全停止。ICMSF (1980) 提出：環境中存有有機物時，對細胞具有保護作用，此時可抵抗臭氧的作用，故在實驗室中，未洗過的細胞對臭氧的抗性比洗過的細胞強；在液體培養基內的細菌懸浮液比空氣中微生物對臭氧的抗性強。Foster *et al.* (1980) 研究大腸桿菌和病毒在自由態 (unassociated) 時或與糞便顆粒結合

(fecal-associated) 時被臭氧消毒的情形，發現後者所需臭氧劑量較前者為大。

七、臭氧的應用

(一) 水處理的應用

Blanken (1985) 指出，應用氯及臭氧 (15.3 ppm 及 3.65 ppm) 進行水的消毒，經過 25 分鐘後，臭氧比氯有較好的殺菌效果，且硝化程度亦較低。臭氧亦能促進溶在水中之重金屬離子氧化而沈澱，也可分解水中之有機物、具有脫臭、脫色之功能，還可降低水中濁度、COD 值，使水質澄清，可用來淨化水質(陳等，1988)。Fetner and Ingole (1956) 指出河水經臭氧濃度 2 ppm 處理後，Coliform 的最確數由每 100 ml 的 50 降為 0。Muraca *et al.* (1987) 也指出臭氧作用於醫院水系統中的 *Legionella pneumophila*，其效果優於氯處理。依 Rice (1981) 研究指出，臭氧在自來水處理的應用如表七所示。

臭氧是一很強的氧化劑和消毒劑，早在 1906 年法國 Nice 市的水廠即利用臭氧消毒處理水，Philip (1990) 指出由於三鹵甲烷的問題，美國已愈來愈重視臭氧之應用，以用來代替傳統的消毒和預處理。如今以臭氧作為淨水處理，在世界各國已有 1000 家以上 (Miller *et al.*, 1978); 而目前在台灣地區的礦泉水製造廠則大部分以臭氧處理水質 (鍾，1994)。

表七、臭氧於飲用水處理之應用。

消毒	<ol style="list-style-type: none"> 1. 細菌消毒 2. 病毒去活化
氧化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 色度去除 2. 臭味去除 3. 藻類控制 4. 有機物控制 農藥、酚類、三鹵甲烷之前驅物 5. 無機物破壞 鐵、錳、氰化物、硫酸鹽等
生物處理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 硝化 2. 降低溶解性有機物

(Rice, 1981)。

(二) 食品方面的應用

Maeba *et al.* (1988) 以臭氧處理黃麴毒素 B1、B2、G1 及 G2，以薄層色層分析法及雞胚胎分析法進行實驗，結果指出 B1 及 G1 對臭氧敏感。Ames *et al.* (1975) 的研究結果也顯示出黃麴毒素的致病活性已被臭氧破壞，同時老鼠的急性毒性試驗也檢測不出毒性存在，而黃麴毒素 B2 及 G2 則對臭氧較具抵抗性，需要 30 ppm 的臭氧作用 60 分鐘，才能將其破壞。Sheldon and Brown(1986) 的研究指出，以臭氧水 3.0-4.5 ppm，7，45 分鐘處理，可降低雞屠體的總生菌數 46%、低溫菌 28%、大腸桿菌群 71% 和沙門氏桿菌 48% 的菌數。Barth *et al.* (1995) 提出，冷藏室內空氣含有 0.1 ppm 及 0.3 ppm 的臭氧時，可以防止黴菌的腐敗，也可以延長黑莓儲存時間。Haraguchi *et al.* (1969) 以臭氧氣體處理魚表面的黴菌、酵母菌及好氣性

非孢子產生菌，結果指出 *Staphylococcus*、*S. typhimurium*、*P. aeruginosa*、*P. huorescens* 須經 60 分鐘處理，*E. coli* 30 分鐘，*B. cereus*、*Aspergillus oryzae* 經 15 分鐘處理死滅；而在含有臭氧 0.6 ppm 的 3% 氯化鈉溶液中，可使魚體菌數減少 10^2 - 10^3 CFU / g，若每隔兩天利用臭氧處理一次，則可延長保存期限 1.2-1.6 倍，但如果只是在開始儲存時使用臭氧處理一次，則在殺菌方面沒有顯著影響，並且會加速揮發性含氮鹽基的生成。劉 (1992) 則指出，冷卻方法對貢丸產品品質影響甚鉅，其研究顯示以臭氧水冷卻組較對照組冷卻方法所產生之貢丸，其色澤較為潔白，咬感亦較佳，而其產品增重率亦極為顯著的提高。黃豆原料加工前，若使用臭氧水浸漬，可提高澎潤率與製品收成率，且不易起泡；蔬菜以臭氧水浸洗，可殺滅 90% 之微生物 (Nul, 1992)。其餘在食品方面的應用還有：綠茶和紅茶的轉化 (Geaham *et al.*, 1969)；在甲殼類的清洗 (Anonymous, 1972)；用於魚類的防腐 (Anonymous, 1983; Haraguchi *et al.*, 1969)；花生和棉籽粕中黃麴毒素的控制 (Dwankanth *et al.*, 1968)；水果、乾酪、洋菇、牛肉及培根等的氣態臭氧殺菌作用 (Kaess and Weideman, 1968; Ganmmon and Kerelak, 1973)。臭氧之應用在食品的殺菌及脫臭方面如下所示：(內藤，1987)

臭 氧 水：1.流水殺菌－飲料水、鮮魚、果實、容器、食品
加工用水。

2.低溫鹽水洗淨殺菌－鮮魚、果實、豬肉。

3.低溫鹽水解凍殺菌－冷凍魚。

臭 氧 氣 體：1.原料殺菌－麵粉、米、香辛料。

2.製造設備的殺菌。

3.工廠內空氣的殺菌－肉類、水產品製造工廠。

(三) 其他方面的應用

臭氧除了在食品及水處理上有良好的效果外，當臭氧應用在醫學無塵室的除菌作用，效果優於甲醛（Masaoka *et al.*, 1982）。臭氧應用於有機化合物的合成上，它能夠氧化芳香族有機物，成為高附加價值的有機化合物，如 Naphthalene、Phenanthrene 和 Anthracene 等芳香族有機物的氧化，臭氧對乙烯的反應為 1,2,3-Trioxdane Phenol 氧化成 Aldenhydic acid, Glvox alic acid 和 Aldehyde acid 等化合物（溫與張，1994）。

八、臭氧的危險性

人體可以感覺的刺激性臭味之臭氧濃度在 0.01-0.05 ppm, 20-30 ppm 的臭氧會刺激眼睛、鼻子及喉嚨，若高於 1000 ppm 會致死；當人處於 1.5-2.0 ppm 的臭氧濃度下 2 小時，會出現口乾舌燥、胸部作痛、浮躁不安、思想組合困難、咳嗽等症狀，須 1-14 天才能完全恢復正常；在 1 ppm 的工作環境下，不能連續工作超過 8 個小時（Baird-Parker, 1971；ICMSF, 1980；Masschelein, 1982；黃，1989）。當臭氧與氧氣混合之濃度超過 20%（wt）時，可能會產生爆炸。

肆、材料與方法

一、實驗儀器

1. 氧氣生成機：使用氧氣生成機(New-life, Air sep Co., USA) 製造純度 95% 以上之氧氣供臭氧水製造機使用。
2. 臭氧水製造機：將純氧導入高效率套組式臭氧生成機中 (OW-K2/A/O , 祁賢科技股份有限公司 , 台灣) , 以高壓放電方式將氧氣激發成氧原子 , 進而形成臭氧 , 臭氧產生量為 3 g/hr , 再經高壓幫浦將臭氧氣體送入不鏽鋼溶解排氣塔中與水進行溶解而生成臭氧水。
3. 臭氧濃度測定器：實驗使用 Rosemount 公司之濃度測定器 (Model: 1054BOZ, Rosemount Co., USA) , 可以直接讀取水中的臭氧濃度 (ppb~ppm)
4. 高壓清洗機：將臭氧水製造機所生成之臭氧水導入高壓清洗機(Model: Clean Boy-101, Marina Co., Italy) , 以固定壓力 (15 bar) 與角度(45 度) 噴灑豬屠體。

實驗儀器設備配置如圖二所示。

二、實驗方法

1. 臭氧水製備：將氧氣生成機所產生純度 95% 以上氧氣與水通入臭氧水製造機生成臭氧水 , 將臭氧水通入貯存桶中 , 並以臭氧濃度測定器測定且調整到所需使用之濃度。臭氧產生機生成未溶入水中之臭氧以管線接到室外排放。
2. 實驗步驟：

實驗用豬隻屠體是經屠宰場完成一般屠宰作業之後 , 將屠

體推入預冷室後進行，逢機標示剛推入預冷室中之豬屠體以為實驗所用。

實驗分為 3 個濃度：清水、臭氧水濃度 1.5 ppm 和 3.0 ppm；2 個噴灑時間：30 和 60 秒，共 6 個處理組。噴灑條件為水溫 23-25、壓力 15 bar、使用水量 8 公升/分鐘、距離 60 公分，出水噴灑角度為 45 度，由上而下噴灑豬屠體。於處理前、後在接近鼠蹊部以塗抹法(swab)進行表皮的微生物採樣。

逢機選取處理組豬隻屠體，取下腹脅部分，分切後置於 PS 淺盤中，以 PE 保鮮膜進行包裝。將包裝好之腹脅肉置於 4

貯存低溫櫃中貯存，並於第 0、3、6 和 9 天進行總生菌數、低溫菌數、大腸桿菌群、大腸桿菌、沙門氏桿菌、彎曲桿菌數、硫巴比妥酸值、酸鹼值、色澤、官能品評和剪力值。實驗設計流程圖如圖三。

三、分析項目

1.微生物測定

屠體表面微生物之測定採用塗抹法，以 0.1% peptone water 溼潤過後之滅菌棉花棒以滅菌後金屬採樣板約 $2 \times 5 \text{ cm}^2$ 塗抹屠體腹脅部表皮。塗抹過後之棉花棒投入 10 mL 之 0.1% peptone water，強力震盪混合，並取均質液 1mL 加滅菌水 9mL 做連續 10 倍系列稀釋至適當倍數後供微生物測定之用。

(1)總生菌數 (Total plate count, TPC)

取適當稀釋倍數之 1mL 均質液，接種於培養基(Plate count

agar, DIFCO), 於 37 °C 下培養 48 ± 2 小時, 計算菌落數 (FDA, 1992)。

(2) 低溫菌數 (Psychrotrophic microorganism, PPC)

取適當稀釋倍數之 1mL 均質液, 接種於培養基(Plate count agar, DIFCO) 於 7 °C 下培養 10 天, 計算菌落數 (FDA, 1992)。

(3) 大腸桿菌群 (Coliform) 和大腸桿菌 (*E. coli*)

取適當稀釋倍數之 1mL 均質液, 接種於培養基 (Chromocult coliform agar, Merck), 於 35 °C 下培養 24 ± 2 小時。Chromocult coliform agar 內含 Salmon-Gal 酵素受質, 會與 Coliform 專一的 Galactosidase 反應而產生紅色菌落; X-Gluc 酵素受質與 *E. coli* 專一的 Glucuronidase 反應, 會產生深藍色至紫色菌落, 其餘腸內菌為無色, 計算紅色和深藍色至紫色菌落數。

(4) 沙門氏桿菌 (*Salmonella spp.*)

取適當稀釋倍數之 1mL 均質液, 接種於培養基(*Salmonella shigella* agar, Merck), 於 35 °C 下培養 48 ± 2 小時。若為可疑 *Salmonella*, 在培養基上菌落會產生黑色中心, 且菌落周圍會轉變成黃色, 而非 *Salmonella* 為紅色菌落, 計算菌落數。

利用斜面畫線穿刺法, 分別取可疑菌落接種於 TSI (Triple sugar iron agar) 和 LIA (Lysine iron agar) 培養基, 並置於 35 °C 下培養 24 ± 2 小時觀察反應情形。若為可疑 *Salmonella* 在

TSI 培養基的斜面呈紅色反應（鹼性），底部呈黃色反應（酸性），有硫化氫產生；LIA 培養基上之斜面呈紫色反應（鹼性），底部呈紫色反應（酸性），有硫化氫產生。

(5)彎曲桿菌 (*Campylobacter spp.*)

取 1 mL 稀釋液置入 *Campylobacter* blood-free agar base (Oxoid) 與 CCDA selective supplement (Oxoid) 混合之培養基中，放入厭氧缸 (GasPak) 後加入微氧產氣包 (Merck)，使厭氧缸內約含有 5-6% 之氧氣、10% 之二氧化碳及 84-85% 之氮氣，於 42 °C 下培養 48 ± 2 小時，計算菌落數 (Stern *et al.* 1992)。

2. 硫巴比妥酸值 (Thiobarbituric acid value, TBA value)

依 Ockerman (1985) 之方法測定之。秤取 0.5 cm 厚度 10g 之表皮樣品，加入 50 mL 之蒸餾水，經 2 分鐘細碎混合，再加入 47 mL 的蒸餾水和 3 mL 經稀釋 (HCl:H₂O = 1:2) 之 HCl 溶液，5 滴消泡劑和數顆沸石，於 Kjeldahl flask 中蒸餾之。收集 50 mL 蒸餾液，取其中 5 mL 蒸餾液加入 5 mL 之 TBA 試劑，於沸水浴中反應 35 分鐘，流水冷卻 10 鐘，以分光光度計 (Spectrophotometer, HITACHI U-2000, Japan) 在波長 538 nm 下測其吸光值 (Optical density, O.D.)，結果以 O.D. 值表示。

3. 酸鹼值 (pH value)

依 Ockerman (1985) 之方法測定。取 10 g 瘦肉再加入 90 mL 蒸餾水細碎混合 2 分鐘，以 pH-meter (MP320, Mettler Toledo,

Switzerland) 測定之。

4.色澤 (Coloring difference test)

以亮度值 (L value) 紅色值 (a value) 及黃色值 (b value) 表示色澤。各處理組樣品於分析前以色差儀 (Color and Color difference meter, Model TC-1, 東京電色株式會社, 日本), 分別測定生鮮肉之表皮、脂肪和瘦肉色澤, 每組處理測二重複, 每次重複測四點。

5.官能評估 (Sensory evaluation)

依據 *Cardiello et al.* (1983) 的方式分析之。將腹脅肉(外腹斜肌, external abdominal oblique) 精肉取下, 以烤箱 (SO-1100, 尚朋堂, 台灣) 加熱 (220 , 10 分鐘) 後, 再切成相同大小之肉塊 (2 × 1 × 1cm³), 經固定之品評人員評分, 評分方式為嗜好性試驗中之嗜好評分試驗 (Hedonic Scale Test, Australian standard, 1989), 評分方式採 5 點計分法, 各項目代表的意義如下: 顏色, 1 = 極淡、5 = 極濃; 風味, 1 = 極淡、5 = 極濃; 總接受性, 1 = 極討厭、5 = 極喜歡。

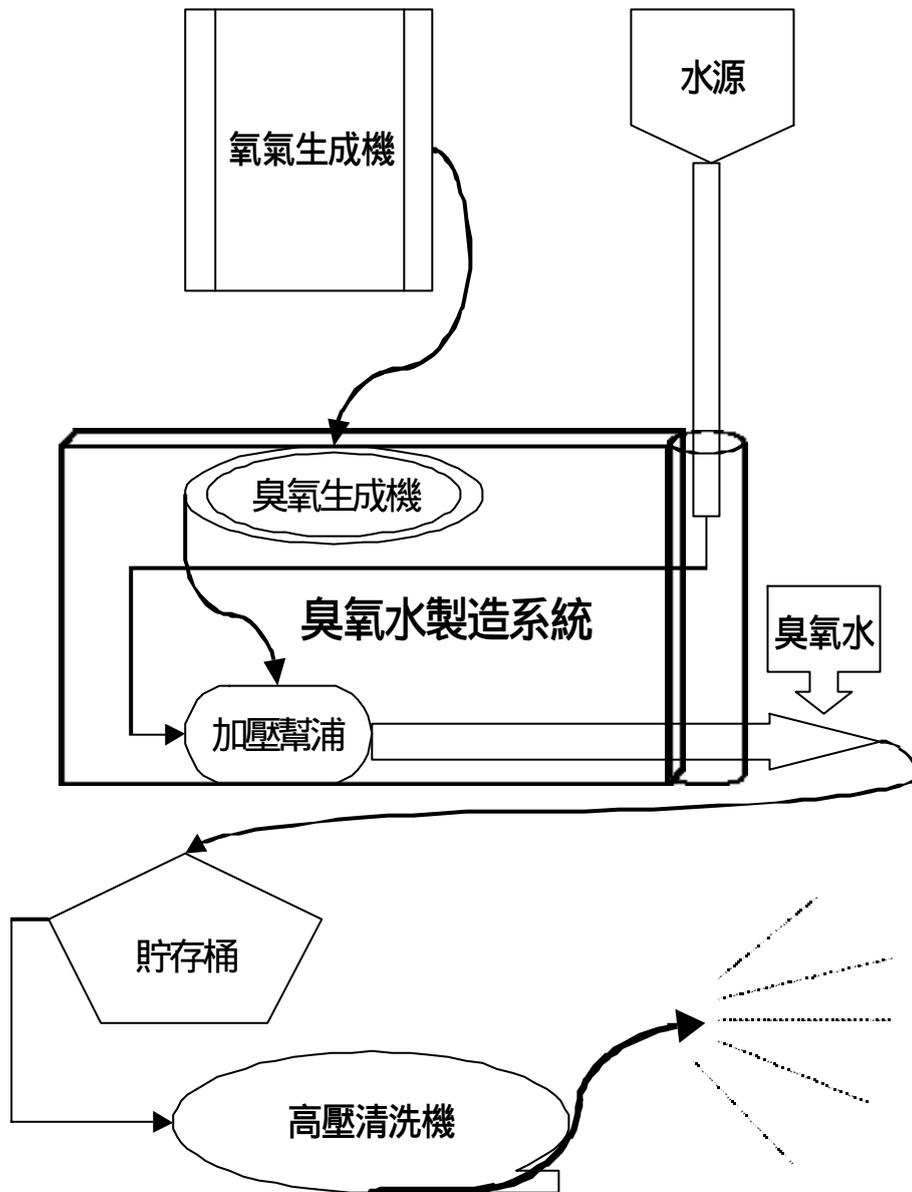
6.剪力值 (shear value)

將腹脅肉(外腹斜肌, external abdominal oblique) 精肉取下, 以烤箱 (SO-1100, 尚朋堂, 台灣) 加熱 (220 , 10 分鐘) 後, 再切成相同大小之肉塊 (2 × 1 × 1cm³), 以物性測定儀 (Rheometer, Model NRM-2010J-CW, 不動工業株式會社, 日本) 配合附件 31 號之刀型接頭, 以 6 cm/min 之速度對樣品做

模擬咬切，以物性記錄器(Rheometer, Model FR-801,不動工業株式會社，日本)記錄之，測定剪切之最高抗力值(kg/cm^2)。

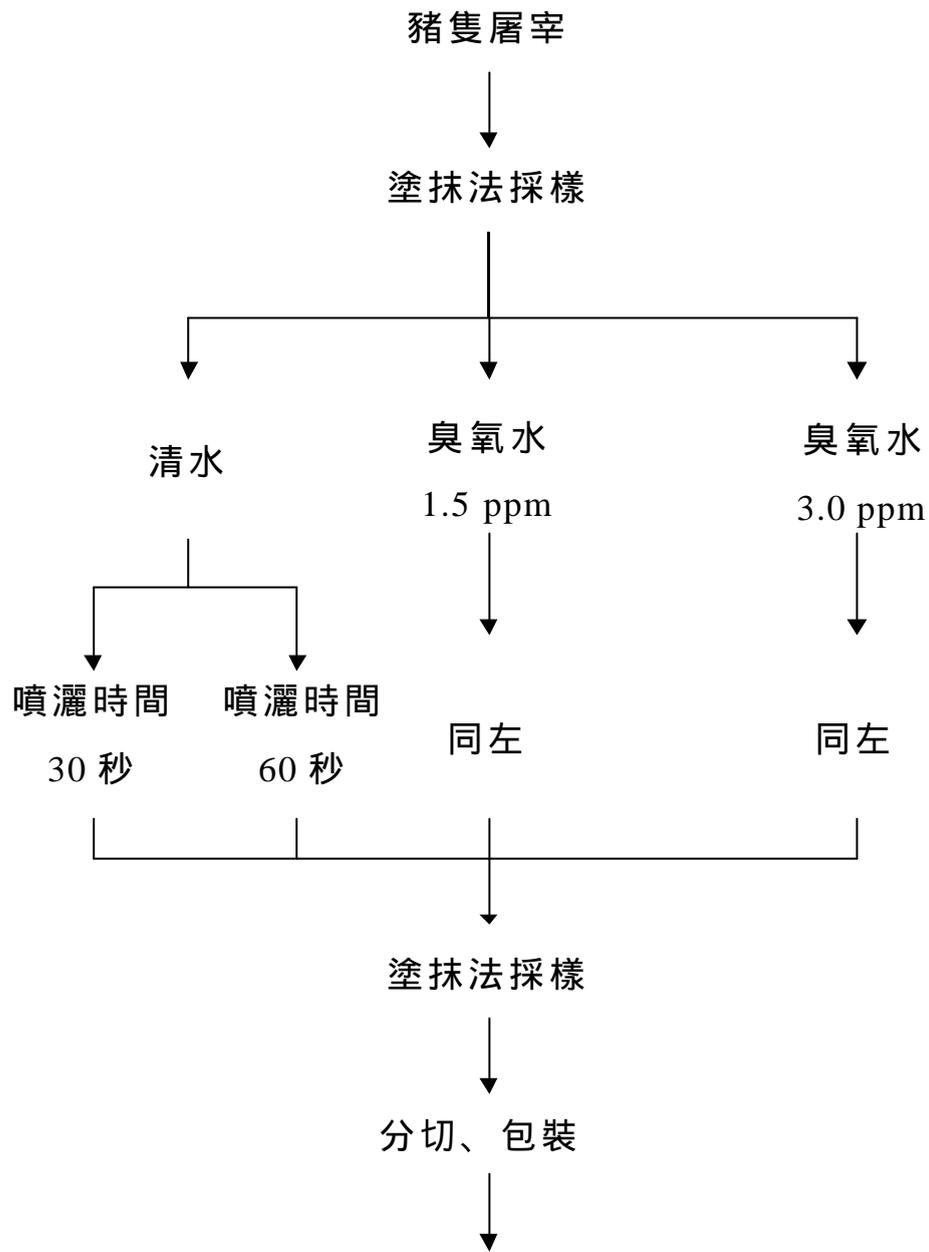
四、統計分析

試驗資料利用 SAS 統計套裝軟體分析，為 $3 \times 2 \times 4$ 複因子設計(Factorial experiment)，以不同濃度臭氧水為因子一，不同噴灑時間為因子二，貯存時間為因子三，採用完全隨機設計(CRD)。將實驗結果以一般線性模式(GLM procedure)進行不同處理間之差異性測定；另外以 least-squares means 測定法比較各處理組平均值之差異顯著性(SAS, 1999)。



圖二、實驗機器設備配置圖。

Fig. 3. The machine part disposed for experiment.



4 貯存，於第0、3、6和9天進行分析。

圖三、實驗設計流程圖。

Fig. 3. Flow chart of experiment design.

伍、結果與討論

一、臭氧化處理對水中微生物之影響

一般屠宰場都會以清水清洗屠體以降低表面之污染，但若所使用之水源含有多量之微生物則會降低清洗的效果，甚而增加污染。

實驗中，工廠所使用的水經臭氧化處理後，微生物數目變化如表八所示，由表八中可知在工廠水中所含的總菌數為 2.34 個對數值，但經臭氧化處理至臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 時水中的總生菌數無法測得，顯示臭氧化處理能顯著降低水中微生物數($P < 0.05$)。在表中低溫菌、大腸桿菌群和大腸桿菌在各處理組中並未檢測出。

此結果與 Restaino (1995) 將臭氧導入水中而使原本接種菌數高達 7 個對數值的微生物數經臭氧化處理 7 分鐘以下即可將水中微生物如大腸桿菌、沙門氏桿菌、假單孢菌和耶爾辛氏桿菌降至不能測得之程度結果相符，證實水的臭氧化處理對抑制微生物生長效果極佳。

其抑菌現象可能是因臭氧造成細胞壁被破壞或解體，而有溶菌(bacteriolysis)現象產生(Nebel, 1981)。根據 Scott and Leshner (1963) 研究證實臭氧可破壞醣蛋白(glycoproteins)和醣脂質(glycolipids)的蛋白質與不飽和脂肪成分，因而改變或破壞細胞壁結構，使細胞內容物流出。Perrich (1970) 認為造成此種溶菌現象是由於高濃度氧化物質(oxidant)或長時間臭氧化(ozonated)所造成，並非是臭氧直接將細胞壁溶解。

本實驗中所使用之水經長時間臭氧化處理達到目標濃度 (1.5 和 3.0 ppm) 使得水中微生物數無法測得，降低經過噴灑處理污染增加的危險。

表八、臭氧水濃度對噴灑用水中微生物之影響

Table 8. Effect of ozonated water on microorganisms of spraying water

Ozone conc.	TPC ^A	PPC	Coliform	<i>E. coli</i>
0 ppm	2.34 ^a	ND	ND	ND
1.5 ppm	ND ^{Bb}	ND	ND	ND
3.0 ppm	ND ^b	ND	ND	ND

A:單位：Log CFU/ml

Unit: Log CFU/ml

B:未檢測出。

ND : not detected.

^{ab}同列之不同標示代表差異顯著($P < 0.05$)。

Mean in the same column having different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

二、臭氧水噴灑處理對豬屠體表面微生物之影響

經臭氧水噴灑處理後屠體表面總生菌數和低溫菌數變化如表九所示。在總生菌數部分，清水噴灑 60 秒、臭氧水濃度 1.5 ppm 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒能顯著降低屠體表面總生菌數($P < 0.05$)。以臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒能減少的總菌數顯著比清水噴灑 30 和 60 秒及臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 秒要多($P < 0.05$)；其中以臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 60 秒所能減少的菌數最高。以不同臭氧水濃度比較，在同一噴灑時間下(30 或 60 秒)，所能降低總生菌數隨著臭氧水濃度增加而增加，以 3.0 ppm 最佳，1.5 ppm 次之，清水效果最差；表示提高臭氧水濃度可減少沖洗時間。以不同噴灑時間比較，在相同臭氧水濃度時，各組降低的菌數隨噴灑時間增加而增加，以清水和臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑處理 30 和 60 秒處理組最為顯著($P < 0.05$)；而 3.0 ppm 之臭氧水濃度兩個噴灑時間之間並無顯著差異，但有隨時間增加而增加的趨勢($P > 0.05$)，顯示在臭氧水濃度較低時需要較長噴灑時間。推論其原因可能是因噴灑 30 秒時間過短，導致有效臭氧濃度不足，而臭氧先與屠體表面有機物質先反應，使得臭氧無法與微生物完全反應，而造成殺菌效果不佳(林，1997)。臭氧會先與有機質如血液等進行反應，進而消耗臭氧的有效濃度，延緩消毒作用的進行，甚至使消毒作用完全停止(Nebel, 1981; Finch and Smith, 1989; ICMSF, 1980)。Reagan *et al.* (1996)以臭氧水 2.3 ppm，壓力 138 bar 噴灑牛屠體 13 秒，可以顯著降低表面微生物總菌數($P < 0.05$)，而本實驗與之相似，均能有效降低屠體表面微生物菌數。

冷藏豬肉在低溫下貯存，而低溫菌會成為優勢菌種，故本

實驗除總菌數外需測定低溫菌以作為指標。其餘如大腸桿菌為衛生條件之指標菌，沙門氏菌和彎曲桿菌為常見病原菌本實驗亦測定之。

屠體經過燙毛槽熱水處理後會降低表面低溫菌數。在本實驗中起始低溫菌數在 2-3 個對數值間，各處理組間菌數差異極大，顯示燙毛槽對屠體表面低溫菌滅菌效果並不穩定。一般燙毛槽處理溫度約為 60 浸泡 8 分鐘以下，但隨著屠體相繼進入而將槽中微生物污染提高，因而污染下一隻進入燙毛槽屠體 (Nickels *et al.*, 1976; Gill and Bryant, 1992)。經臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒後能顯著降低屠體表面低溫菌數 ($P < 0.05$)，而所降低之菌數顯著比以清水噴灑 30 和 60 秒處理組要多 ($P < 0.05$)。經臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑處理所降低的菌數在各組間無顯著差異 ($P > 0.05$)，顯示臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑處理對低溫菌效果類似。在相同臭氧水濃度下，不同噴灑時間之間並無顯著差異 ($P > 0.05$)。由上述結果可知臭氧水濃度對低溫菌的影響比噴灑時間要大。

在表九中可發現經清水噴灑 30 秒處理組對屠體表面並無除菌之效果，且在低溫菌數部分有稍微增加之情形發生。在實驗進行中，將屠體靜置於預冷室中經過 30 分鐘後發現總生菌數增加約 0.9 個對數值，而低溫菌數增加 1.0 個對數值(數據未列出)。此現象表示屠體在預冷室(室溫約為 18-25)之中等待分切或出場時，表面微生物持續增殖；因而在實驗進行噴灑處理後到等待水滴乾之後採樣的一段時間中菌數會增加。另外從表八中得知工廠用水含有多量微生物，因而經噴灑後可能將水中微生物轉移至屠體表面。Davey and Smith (1989) 以清水高壓噴灑對屠體表面微生物有降低趨勢，但其效果並不顯

著；故本實驗中清水噴灑 30 秒應有些許除菌效果，但被其他微生物增殖效果抵銷，故其對屠體表面殺菌效果不佳。

表十表示臭氧水噴灑處理前後大腸桿菌群和大腸桿菌在屠體上的菌數。以臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒與 3.0 ppm 噴灑處理能顯著降低表面大腸桿菌群($P < 0.05$)；各處理能降低菌數以臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑處理組最高($P < 0.05$)。以各濃度作比較，結果顯示臭氧水濃度 3.0 ppm 對大腸桿菌群除菌效果較 1.5 ppm 佳；但在不同噴灑時間之間並無顯著差異，表示大腸桿菌群受到臭氧水濃度影響較大。在大腸桿菌部分，屠體表面清水噴灑 60 秒、臭氧水濃度 1.5 ppm 與 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組中無法檢測出大腸桿菌，所能降低的菌數顯著比清水噴灑 30 秒要高($P < 0.05$)；而 1.5 ppm 與 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理效果類似，能降低菌數均高於清水處理組，顯示高壓清洗處理能有效降低屠體表面大腸桿菌的菌數，而以臭氧水噴灑處理能降低噴灑時間。

Barnes and Impey (1968) 認為大腸桿菌群和大腸桿菌是屠宰過程中污染於屠體表面，而其餘微生物可能存在於表皮毛囊內而受到保護，故臭氧水對大腸桿菌群和大腸桿菌之殺菌效果較總生菌數佳。本實驗結果與 Reagan *et al.* (1996) 利用臭氧水噴灑牛屠體對大腸桿菌之顯著滅菌效果相仿，能有效降低屠體表面大腸桿菌。Tinney (1997) 發現經除菌處理之牛屠體表面所殘留的大腸桿菌群菌數比大腸桿菌要高，而大腸桿菌群主要包括 *E. coli*、*E. Aerogenes*、*Citrobacter* 和 *Klebsiella* 等菌，本實驗對於大腸桿菌之較低菌數單一菌之殺菌效果較大腸桿菌群多種混和菌之效果要好。

一般認為若食入 10^5 個沙門氏桿菌活菌即可能出現中毒

現象，但仍有一些只需低量($<100-200$ CFU/g)沙門氏桿菌就能引起感染(Snyder, 1992)。表十一顯示經臭氧水 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理後能顯著降低屠體表面沙門氏桿菌 ($P<0.05$)。臭氧水 3.0 ppm 噴灑 60 秒降低屠體表面沙門氏桿菌菌數顯著比以臭氧水 3.0 ppm 噴灑 30 秒、臭氧水 1.5 ppm 和清水噴灑 30 和 60 秒處理組要高 ($P<0.05$)。而臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 秒與 1.5 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組三組間所降低的菌數並無顯著差異 ($P>0.05$)，但顯著比清水噴灑 30 秒要高 ($P<0.05$)。從表中可看出相同濃度不同時間並無顯著差異，可推論屠體表面沙門氏桿菌受到臭氧水濃度影響較大。屠體表面彎曲桿菌經高壓清洗處理後顯著較處理前低，且殘留菌數均在 10 個/cm² 以下。經臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 60 秒降低彎曲桿菌數顯著比清水與臭氧水 1.5 ppm 噴灑 60 秒處理組要高 ($P<0.05$)。臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒處理組所能降低菌數雖顯著比 30 秒要低，但殘留的菌數並無顯著差異 ($P>0.05$)，而與清水噴灑 60 秒處理組亦無差異存在 ($P>0.05$)。推測其原因可能為高壓清洗對彎曲桿菌即能達到去除的效果，而殘留之菌數可能是因毛囊遮蔽作用而使殘留菌數間無顯著差異。

根據表十和十一的結果發現臭氧水對病原菌抑制效果佳，而 Baird-Parker (1971) 提出臭氧對革蘭氏陽性球菌的殺菌效果最好，次為革蘭氏陰性桿菌，再次為革蘭氏陽性桿菌；本實驗結果顯示實驗中所測量 4 種病原菌為革蘭性陰性桿菌對臭氧之敏感度極高，此兩結果相互符合。臭氧水噴灑處理對病原菌的殺菌效果與 Sheldon and Brown (1986) 結果相似，經臭氧水冷卻處理之雞隻屠體其表面的大腸桿菌群、大腸桿菌和

沙門氏桿菌均顯著比清水和熱水浸泡處理組低。Reagan (1996) 使用臭氧水濃度 0.3-2.3 ppm 噴灑牛屠體可顯著降低牛屠體表面總菌數 1.30 個對數值，對屠體表面大腸桿菌和沙門氏桿菌也有顯著的抑制效果($P < 0.05$)。屠宰流程中若以清水清洗一次後再以臭氧水清洗一次和人工修整屠體兩者對牛屠體表面微生物污染去除效果相當顯著($P < 0.05$)，但兩種處理比較並無顯著差異($P > 0.05$) (Grman, 1995)。

由表九、十和十一可知經臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑豬屠體 30 和 60 秒能顯著降低屠體表面總生菌數、低溫菌數和沙門氏桿菌($P < 0.05$)。臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒和 3.0 ppm 噴灑豬屠體 30 和 60 秒能顯著降低屠體表面大腸桿菌群($P < 0.05$)。屠體表面彎曲桿菌經噴灑處理後均能有效降低菌數殘留量($P < 0.05$)。此結果顯示臭氧水應用於屠體殺菌上效果極佳，臭氧水濃度 1.5 ppm 以上噴灑 30 秒能有效降低屠體微生物和病原菌污染。

表九、臭氧水濃度和噴灑時間對豬屠體表面總生菌數和低溫菌數之影響

Table 9. Effect of ozonated water and spraying time on total plate counts and psychrotrophic plate counts of swine carcasses

O ₃	Time	TPC (Log CFU/cm ²)			PPC (Log CFU/cm ²)		
		Before	After	Reduction	Before	After	Reduction
清水	30 sec	2.89 ^x	2.92 ^x	-0.03 ^d	2.57 ^x	2.68 ^x	-0.11 ^b
	60 sec	3.41 ^x	3.08 ^y	0.33 ^c	2.45 ^x	2.36 ^x	0.09 ^b
1.5 ppm	30 sec	3.24 ^x	2.82 ^y	0.42 ^c	2.85 ^x	2.14 ^y	0.71 ^a
	60 sec	3.68 ^x	2.83 ^y	0.84 ^b	2.29 ^x	1.54 ^y	0.75 ^a
3.0 ppm	30 sec	3.16 ^x	2.26 ^y	0.89 ^{ab}	2.09 ^x	1.20 ^y	0.89 ^a
	60 sec	3.88 ^x	2.76 ^y	1.13 ^a	2.55 ^x	1.28 ^y	1.26 ^a

^{xy}同行之不同標示代表差異顯著(P<0.05)。

Mean in the same row having different superscripts are significantly different (P<0.05).

^{ab}同列之不同標示代表差異顯著(P<0.05)。

Mean in the same column having different superscripts are significantly different (P<0.05).

表十、臭氧水濃度和噴灑時間對豬屠體表面大腸桿菌群
和大腸桿菌數之影響

Table 10. Effect of ozonated water and spraying time on
Coliform and *E. coli* of swine carcasses

O ₃	Time	Coliform (CFU/10 cm ²)			<i>E. coli</i> (CFU/10 cm ²)		
		Before	After	Reduction	Before	After	Reduction
清水	30 sec	776 ^x	870 ^x	-94 ^c	131 ^x	161 ^x	-31 ^c
	60 sec	2130 ^x	977 ^x	1153 ^b	85 ^x	ND ^{Ay}	85 ^b
1.5 ppm	30 sec	7244 ^x	3467 ^x	3777 ^b	316 ^x	ND ^y	316 ^a
	60 sec	3236 ^x	1023 ^y	2213 ^b	181 ^x	ND ^y	181 ^a
3.0 ppm	30 sec	4571 ^x	155 ^y	4416 ^a	135 ^x	ND ^y	135 ^a
	60 sec	5754 ^x	125 ^y	5629 ^a	275 ^x	ND ^y	275 ^a

A:未檢測出。

ND : not detected.

^{xy}同行之不同標示代表差異顯著(P<0.05)。

Mean in the same row having different superscripts are significantly different (P<0.05).

^{ab}同列之不同標示代表差異顯著(P<0.05)。

Mean in the same column having different superscripts are significantly different (P<0.05).

表十一、臭氧水濃度和噴灑時間對豬屠體表面沙門氏桿菌和彎曲桿菌之影響

Table 11. Effect of ozonated water and spraying time on *Salmonella spp.* and *Campylobacter spp.* of swine carcasses

O ₃	Time	<i>Salmonella spp.</i> (CFU/10 cm ²)			<i>Campylobacter spp.</i> (CFU/10 cm ²)		
		Before	After	Reduction	Before	After	Reduction
清水	30 sec	138 ^x	126 ^x	12 ^c	1000 ^x	42 ^y	958 ^a
	60 sec	173 ^x	128 ^x	45 ^c	512 ^x	31 ^y	481 ^c
1.5 ppm	30 sec	660 ^x	158 ^y	502 ^a	1071 ^x	21 ^y	1050 ^a
	60 sec	126 ^x	26 ^y	100 ^b	251 ^x	31 ^y	220 ^c
3.0 ppm	30 sec	79 ^x	ND ^{Ay}	79 ^b	467 ^x	ND ^y	467 ^c
	60 sec	479 ^x	ND ^y	479 ^a	708 ^x	ND ^y	708 ^{ab}

A:未檢測出。

ND : not detected.

^{xy}同行之不同標示代表差異顯著(P<0.05)。

Mean in the same row having different superscripts are significantly different (P<0.05).

^{ab}同列之不同標示代表差異顯著(P<0.05)。

Mean in the same column having different superscripts are significantly different (P<0.05).

三、臭氧水處理對冷藏豬肉貯存期間微生物之影響

屠體經臭氧水處理後，將腹脅肉取下分切、包裝後，貯存於低溫冷藏櫃 4 下貯存，於第 0、3、6 和 9 天以塗抹法採取表皮表面微生物。一般超市在販售冷藏豬肉時通常從進貨到下架約有 6 到 7 天時間，展示時間約有 2 天，通常是在第 2 到第 4 天。

圖四表示臭氧水處理後貯存期間冷藏豬肉之總生菌數變化。依照食品微生物檢驗法(CNS, 1980)之總生菌數標準，冷藏肉品之總生菌數需在 3×10^7 CFU/cm² 以下。低溫貯存期間，以清水噴灑 30 和 60 秒處理組在 9 天中總菌數為最高 (P<0.05)，但在標準以下，顯示若僅考慮總生菌下其品質尚可接受；其他組在貯存第 9 天總菌數均在 4 個對數值以下。由圖中可看出在第 0 天除了臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 秒處理組菌數較低以外，其餘各處理組在第 0 天總生菌數並無顯著差異 (P>0.05)。而臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 60 秒處理組菌數較高於臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 秒處理組並非是殺菌效果較差，由表九中可看出噴灑處理前屠體表面總生菌數在各處理組間差異極大，實驗進行時此處理組均被排在最後一組進行，可能因此使得處理前起使菌數較高，由表九中可看出其殺菌效果顯著高於清水和臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組。在貯存第 3 天時，清水噴灑 30 和 60 秒處理組總生菌數有增加的趨勢(P>0.05)；臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組在貯存第 3 天菌數並未顯著增加(P>0.05)。以清水噴灑豬屠體在貯存期間菌數有增加趨勢之結果與王和陳(1989)將生鮮豬肉置於 4 下貯存從第 0 天至第 7 天總生菌數增加 1.4 個對數值結果相仿。貯存第 6 天時菌數由高至低依次為清水噴

灑 30 秒 > 清水噴灑 60 秒與臭氧水 1.5 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組 > 臭氧水 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組($P < 0.05$)。經臭氧水噴灑處理後清水噴灑 30 和 60 秒處理組在 9 天貯存試驗中菌數上升較快；臭氧水 1.5 ppm 噴灑處理組次之；而臭氧水 3.0 ppm 噴灑處理組則無顯著上升，表示臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑處理對冷藏豬肉微生物品質維持較臭氧水濃度 1.5 ppm 更佳；而在同一濃度下，不同噴灑時間在貯存期間對總生菌數並無影響。臭氧水對冷藏肉品微生物品質的效果如 Greer and Jones (1989) 使用臭氧水濃度 0.03 ppm 噴灑牛屠體後將之置於低溫下貯存，經 9 天熟成期後總菌數有較對照組低之趨勢($P > 0.05$)，與本實驗結果相仿。

當生鮮肉品置於低溫時貯存時，低溫菌如 *Pseudomonas* 和 *Achromobacter* 會成為優勢菌種(ICMSF, 1980)，故其生長會較一般中溫菌生長更佳。在貯存期間低溫菌數方面(圖五)，低溫菌菌數隨著貯存時間增加而顯著增加；經臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理後菌數上升較清水噴灑 30 和 60 秒處理緩和，顯示臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑處理對生鮮肉品貯存期間低溫菌生長有良好抑制效果。經臭氧水噴灑處理各處理組在貯存第 0 天並無顯著差異；而貯存至第 3 天時，低溫菌數在清水噴灑 30 秒和臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 秒處理組顯著高於臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組($P < 0.05$)。在貯存第 6 天時，低溫菌數在清水噴灑 30 和 60 秒處理組顯著高於臭氧水 1.5 和 3.0 ppm 噴灑處理組($P < 0.05$)。在貯存第 9 天時，所有處理組菌數均未超過 3×10^7 CFU/cm²，清水噴灑 30 秒處理組低溫菌數最高($P < 0.05$)。

臭氧水 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組低溫菌數顯著

($P < 0.05$)較低於清水噴灑 30 和 60 秒處理組和臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 秒處理組；與臭氧水 1.5 ppm 噴灑 60 秒處理組無顯著差異($P > 0.05$)，但有較低之趨勢；在同一臭氧水濃度下，不同噴灑時間之間並無顯著差異，顯示對貯存期間低溫菌方面噴灑時間對貯存期間低溫菌數並無顯著影響。此結果在牛肉上亦同(Greer and Jones, 1989)。而低溫菌數在第 9 天高於總生菌數，推論其原因應是因為低溫貯存不利於中溫菌生長，而使得在 37℃ 培養的菌數相對較少，此時總生菌數測定結果能反映的應是中溫菌數而非總生菌數。

綜合以上總生菌數和低溫菌數之結果可證明臭氧水噴灑處理確實能有效抑制貯存期間總生菌和低溫菌生長。

大腸桿菌群(圖六)在貯存期間各處理組隨貯存時間增加菌數有增殖遲緩或下降趨勢，顯示低溫貯存對大腸桿菌群生長增殖為不良環境，因而使得大腸桿菌群菌數生長不良或甚至死亡(王, 1998)。貯存第 0 天臭氧水 3.0 ppm 噴灑處理顯著比清水和臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組菌數低($P < 0.05$)。貯存第 3 天時以臭氧水 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理顯著較清水和臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 秒處理組菌數低($P < 0.05$)，但與臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒處理組無顯著差異($P > 0.05$)，顯示臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑處理後對菌體傷害較大，細菌不易增殖。冷藏豬肉貯存至第 6 天時菌數並無顯著增加之現象。在貯存性試驗中，可發現對大腸桿菌群之效果在噴灑時間上並無顯著差異，而在濃度之對大腸桿菌群增殖抑制效果順序為 3.0 ppm > 1.5 ppm > 清水。

大腸桿菌(圖七)在貯存第 0 天以清水噴灑 30 秒處理組顯著較其他組高($P < 0.05$)。在 9 天貯存期中大腸桿菌數臭氧水 3.0

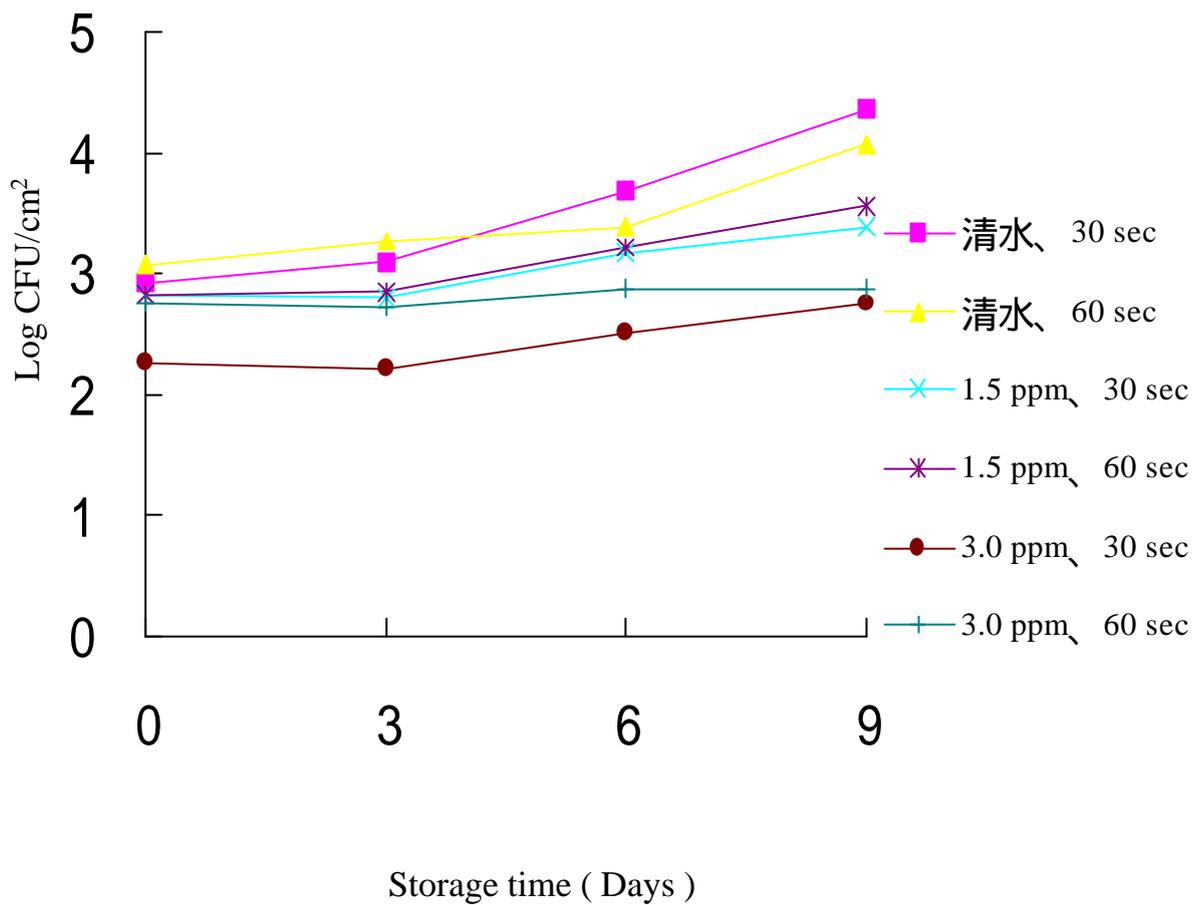
ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組無法測出，顯著低於其他處理組 ($P < 0.05$)；清水和臭氧水濃度 1.5 ppm 處理噴灑 30 和 60 秒處理組在貯存期間大腸桿菌數在 3 至 6 天並無顯著變化。大腸桿菌在 5℃ 左右低溫環境下生長不良且增殖緩慢(王, 1998)，因而在本實驗中大腸桿菌經 9 天貯存後菌數依然很低。

沙門氏桿菌為一種嗜中溫性微生物，一般認為若食入 10^5 個即會造成中毒。生鮮豬肉經臭氧水噴灑處理後在貯存期間沙門氏桿菌數變化如圖八所示。在貯存 9 天中各組菌數增加緩慢，以臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組效果最佳，臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑處理組次之。在貯存第 0 和 3 天時清水和臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組顯著較臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組要高 ($P < 0.05$)；臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒處理組與臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組間無顯著差異 ($P > 0.05$)。貯存第 6 天時以清水噴灑 30 秒處理組顯著高於其他組；至第 9 天時清水噴灑 30 和 60 秒處理組顯著高於臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組 ($P < 0.05$)。由上述結果可知對貯存期間沙門氏桿菌之效果以臭氧水濃度影響較大；而同一濃度下，不同噴灑時間並無顯著差異。貯存期間沙門氏桿菌增殖停滯或緩慢顯示低溫環境不適嗜中溫性之沙門氏桿菌生長，故最初菌數的降低有利於防止冷藏豬肉受到沙門氏桿菌污染。

圖九表示經臭氧水噴灑處理彎曲桿菌數變化。貯存期間彎曲桿菌菌數在清水噴灑 60 秒處理組隨時間增加而顯著增加 ($P < 0.05$)，其他處理組在貯存期間菌數並未隨貯存時間增加而增加。以相同濃度不同時間做比較，是以臭氧水濃度 3.0 ppm 處理效果優於臭氧水濃度 1.5 ppm 處理效果；而不同噴灑時間

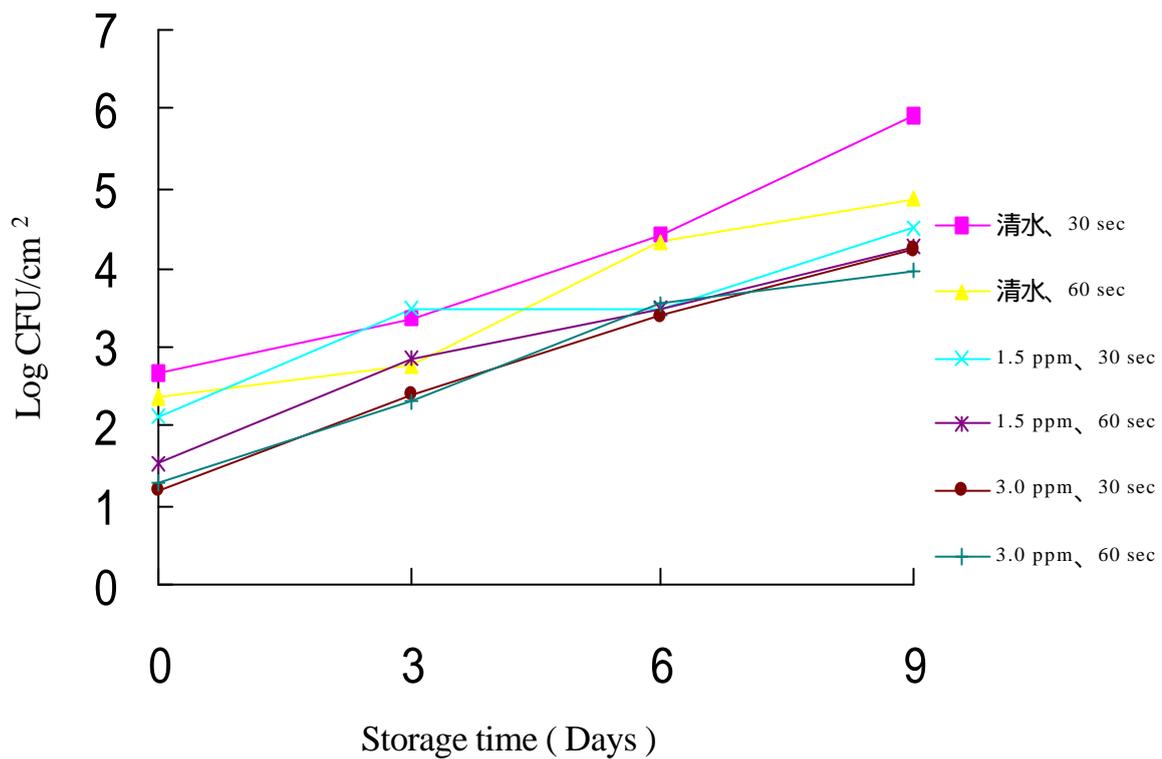
處理並無顯著差異。在貯存第 0 天時臭氧水 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組彎曲桿菌數顯著較其他組低($P < 0.05$)。隨著貯存時間增加，在第 6 天時臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 60 秒處理組顯著較其他組低($P < 0.05$)，而臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 秒處理組在第 0 和 3 天比較菌數顯著增加($P < 0.05$)。在貯存第 9 天，清水和臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組和臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 秒次之；臭氧水 3.0 ppm 噴灑 60 秒處理組最低。整體而言彎曲桿菌在貯存性試驗中生長並不佳。彎曲桿菌是微好氣性菌，最適合生長條件為：5% O_2 、10% CO_2 和 85% N_2 ，溫度為 37-42℃，故在一般好氣包裝冷藏貯存條件下，會不利於彎曲桿菌之生長(Bolton *et al.*, 1982)。此種結果與 Brancewell *et al.* (1985)所提出彎曲桿菌因樣本表面乾燥或溫度下降所造成菌體死亡或生長緩慢結果一致。

經臭氧水噴灑處理後清水噴灑 30 和 60 秒處理組在 9 天貯存試驗中總生菌數上升較快；臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組次之；而臭氧水 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組則無顯著上升；在低溫貯存期間低溫菌經臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組菌數上升較清水噴灑 30 和 60 秒處理組緩和，由上述結果可知臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑處理對冷藏豬肉微生物品質維持較佳。而在病原菌部分，將豬肉置於低溫下貯存並不利於病原菌生長，上述結果顯示微生物增殖緩慢，推論是由於低溫貯存所致；若要避免冷藏豬肉受致病性微生物污染除了低溫貯存以外，需降低初始菌數，由本實驗結果可顯示臭氧水噴灑處理確實能達到此目的。



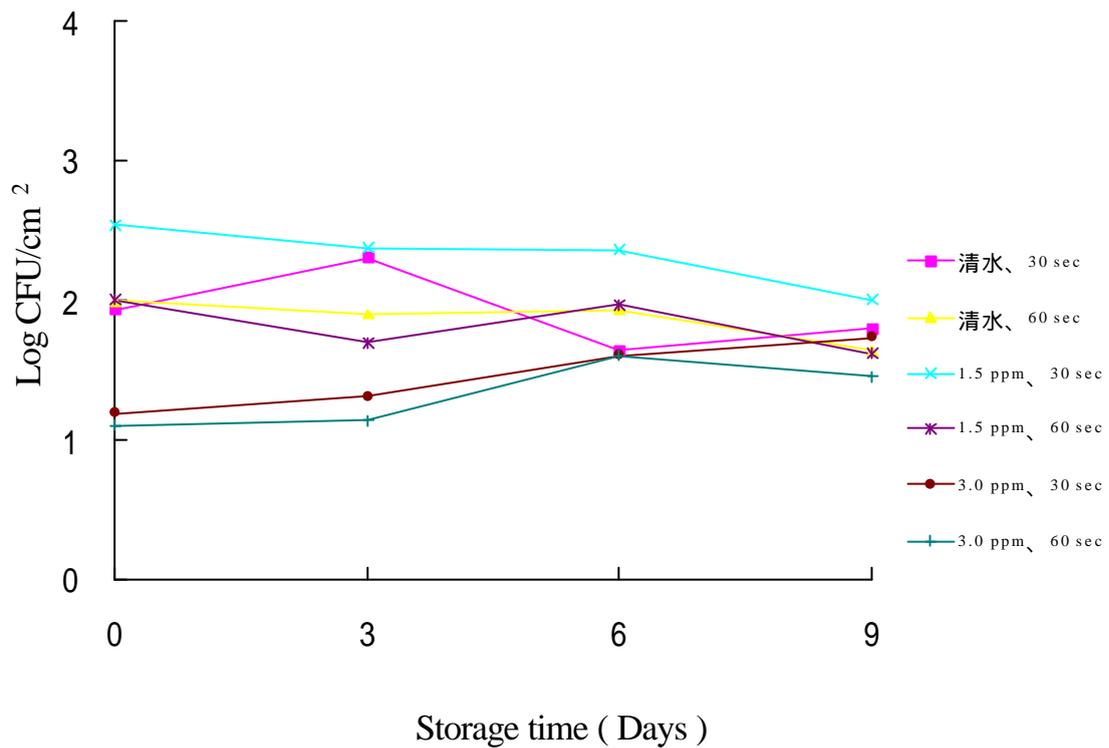
圖四、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間總生菌數之影響。

Fig. 4. Effect of ozonated water and spraying time on TPC of pork during storage.



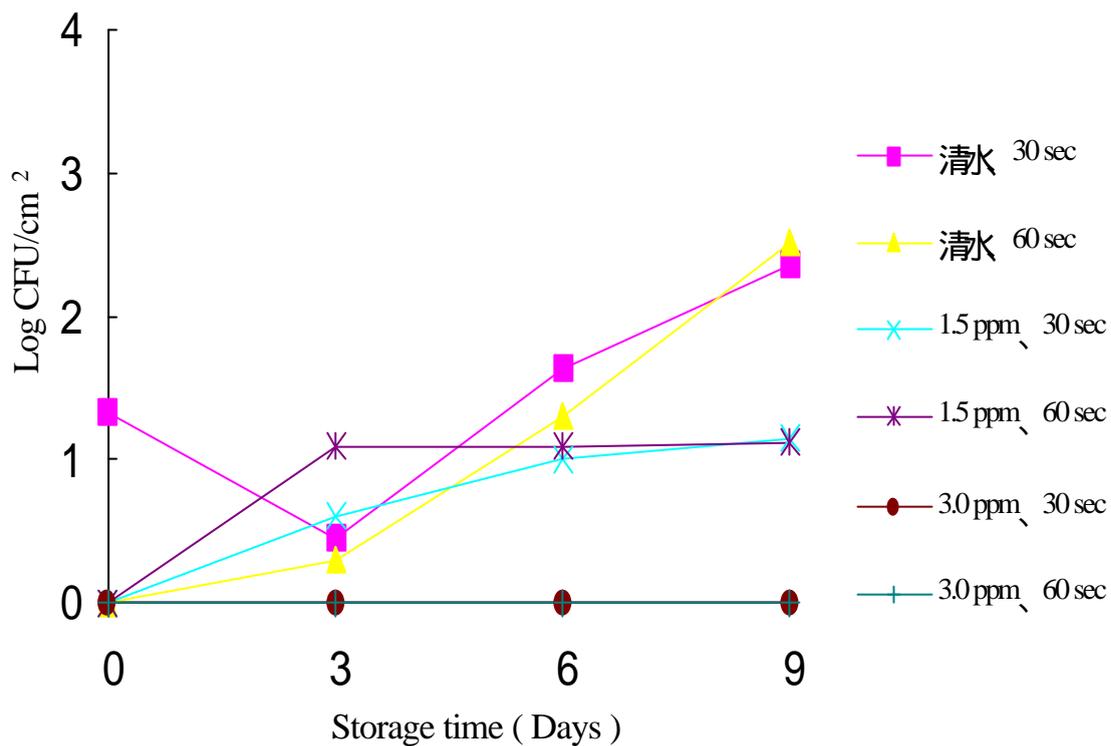
圖五、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間低溫菌數之影響。

Fig. 5. Effect of ozonated water and spraying time on PPC of pork during storage.



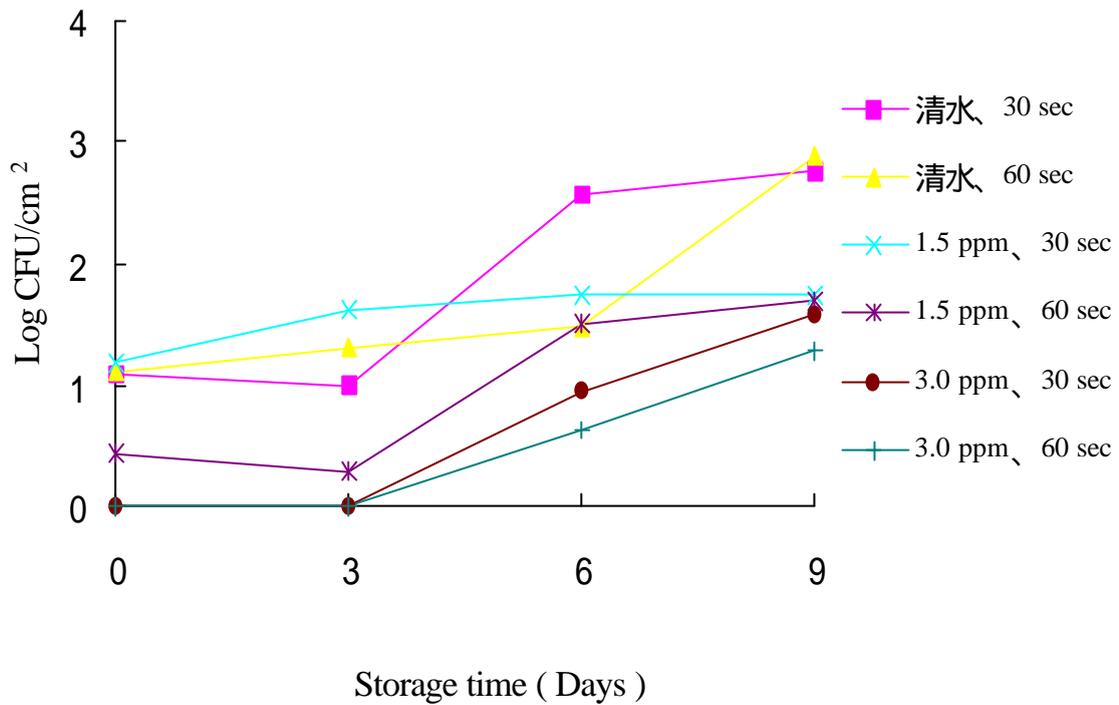
圖六、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間大腸桿菌群之影響。

Fig. 6. Effect of ozonated water and spraying time on Coliform of pork during storage.



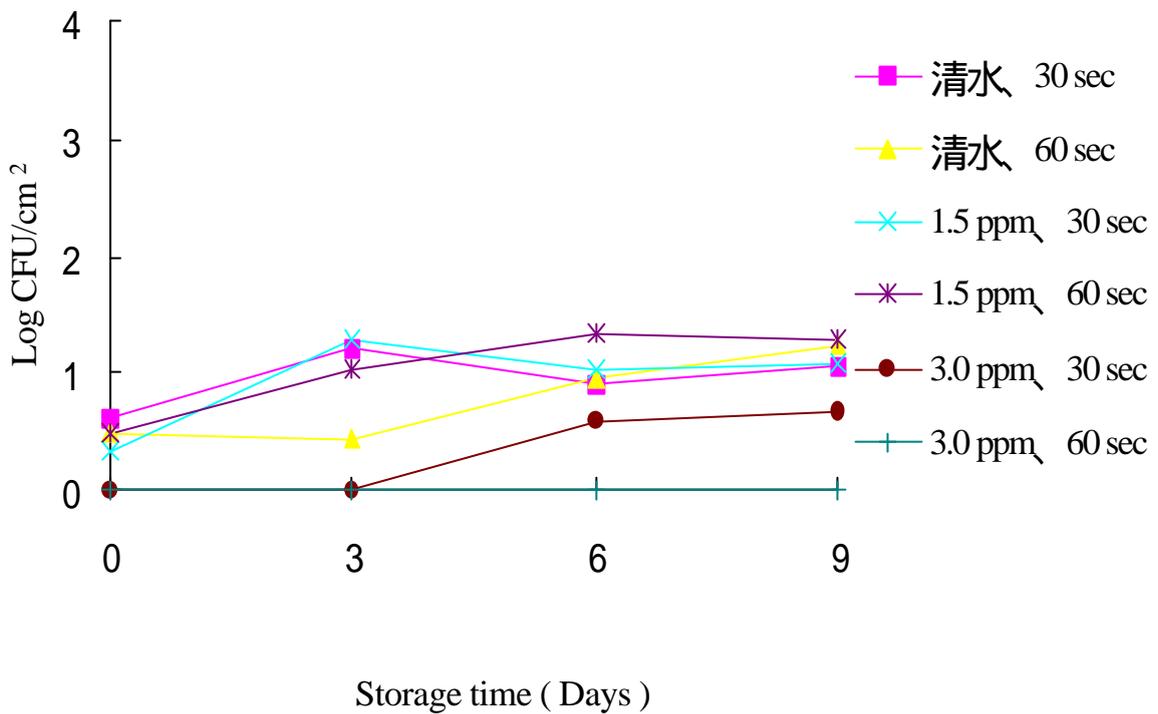
圖七、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間大腸桿菌之影響。

Fig. 7. Effect of ozonated water and spraying time on *E. coli* of pork during storage.



圖八、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間沙門氏桿菌之影響。

Fig. 8. Effect of ozonated water and spraying time on *Salmonella spp.* of pork during storage.



圖九、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間彎曲桿菌之影響。

Fig. 9. Effect of ozonated water and spraying time on *Campylobacter spp.* of pork during storage.

四、臭氧水處理對冷藏豬肉貯存期間硫巴比妥酸值和酸鹼值之影響

硫巴比妥酸值(Thiobarbituric acid value, TBA value)會隨貯存時間增加而增加，主要是因隨著貯存時間增加脂肪氧化成為中間產物(malonaldehyde)增加，因而測定硫巴比妥酸敗值能推論貯存期中肉品品質變化(王等，1982)。臭氧具有極大氧化能力，本實驗在操作時臭氧水作用部分是在屠體表皮，故測定貯存時間表皮之氧化酸敗值。

豬屠體經臭氧水噴灑處理後取下腹脅肉，經包裝後置於 4 下冷藏貯存，取樣時切下 0.5 公分厚之表皮和脂肪以作為試驗用。貯存期間表皮 TBA 值如圖十所示。在貯存第 0 天，TBA 值以臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 60 秒處理組顯著較其他組高 ($P < 0.05$) ;其餘各組在第 0 天時 TBA 值無顯著差異 ($P > 0.05$) 。在貯存第 3 天，TBA 值以臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒、臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組顯著低於清水噴灑 30 和 60 秒處理組 ($P < 0.05$) ;而臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 秒處理組與此兩結果間並無顯著差異 ($P > 0.05$) 。貯存第 6 天時，臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 秒處理組顯著高於臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒、臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組 ($P < 0.05$) ;但與清水噴灑 60 秒間無顯著差異 ($P > 0.05$) ;清水噴灑 60 秒與臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組間並無顯著差異 ($P > 0.05$) 。臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組在貯存第 6 天 TBA 值為最低。冷藏豬肉貯存至第 9 天時 TBA 值以清水噴灑 30 秒和 60 秒處理組最高 ($P < 0.05$) ,而臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 秒次之，臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒和臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 秒處理組再次之，臭氧水

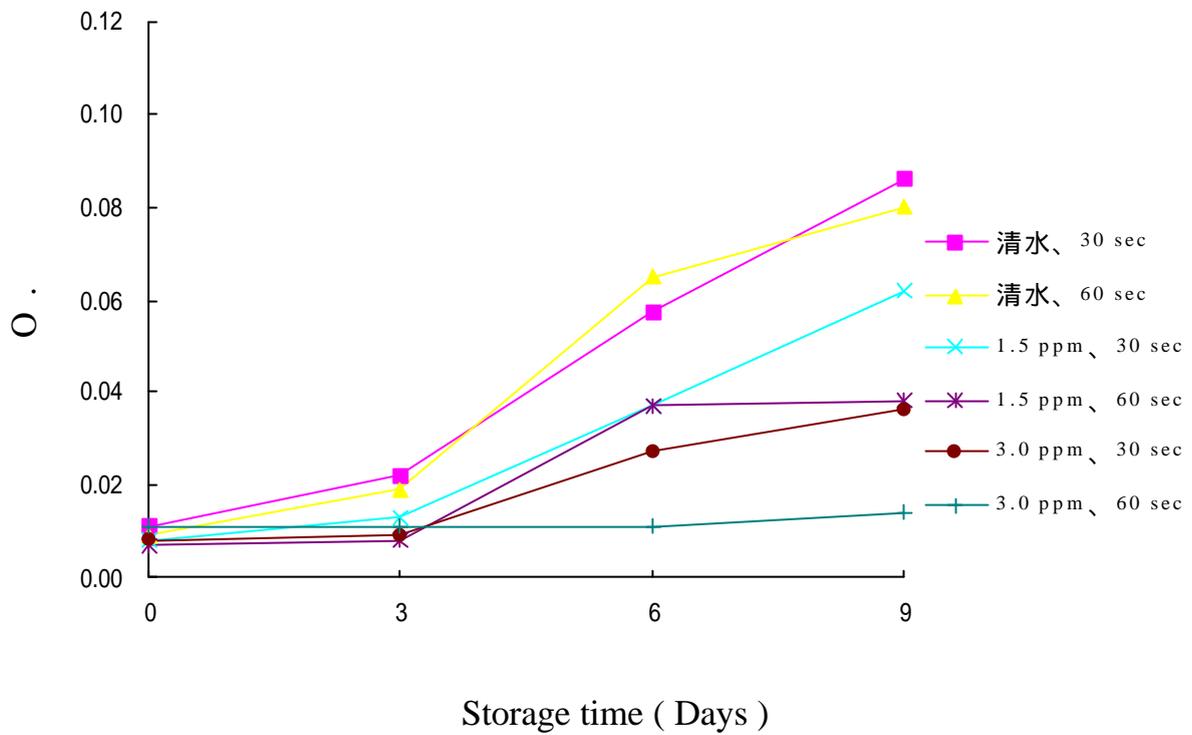
3.0 ppm 噴灑 60 秒處理組最低($P < 0.05$)。

由圖中可看出在貯存期間 TBA 值除了臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 60 秒處理組以外，其餘各組均隨貯存時間增加顯著增加($P < 0.05$)；臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 60 秒處理組雖未達顯著水準但亦有隨時間增加而增加的趨勢($P > 0.05$)。而經臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒和臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組在貯存期間 TBA 值上升較緩和。此結果與 Yook *et al.* (1998) 以臭氧處理花粉，在貯存 6 天中 TBA 值隨時間增加而增加結果相符。而其中臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 60 秒處理組 TBA 值在貯存時間無顯著變化之結果推論可能是因屠體表面脂肪被過份氧化而造成，此種現象與使用臭氧水浸泡碎魚肉中之後過氧化價顯著增加現象相當，顯示因為臭氧強氧化能力將冷藏豬肉表皮過份氧化因而使的中間產物(malonaldehyde)無法測得有關(Chen *et al.*, 1997)。

由實驗結果發現經過臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理後冷藏豬肉表皮硫巴比妥酸值上升較和緩，此結果與總生菌數和低溫菌數結果相符，顯示臭氧水噴灑處理有助於冷藏豬肉品質維持。

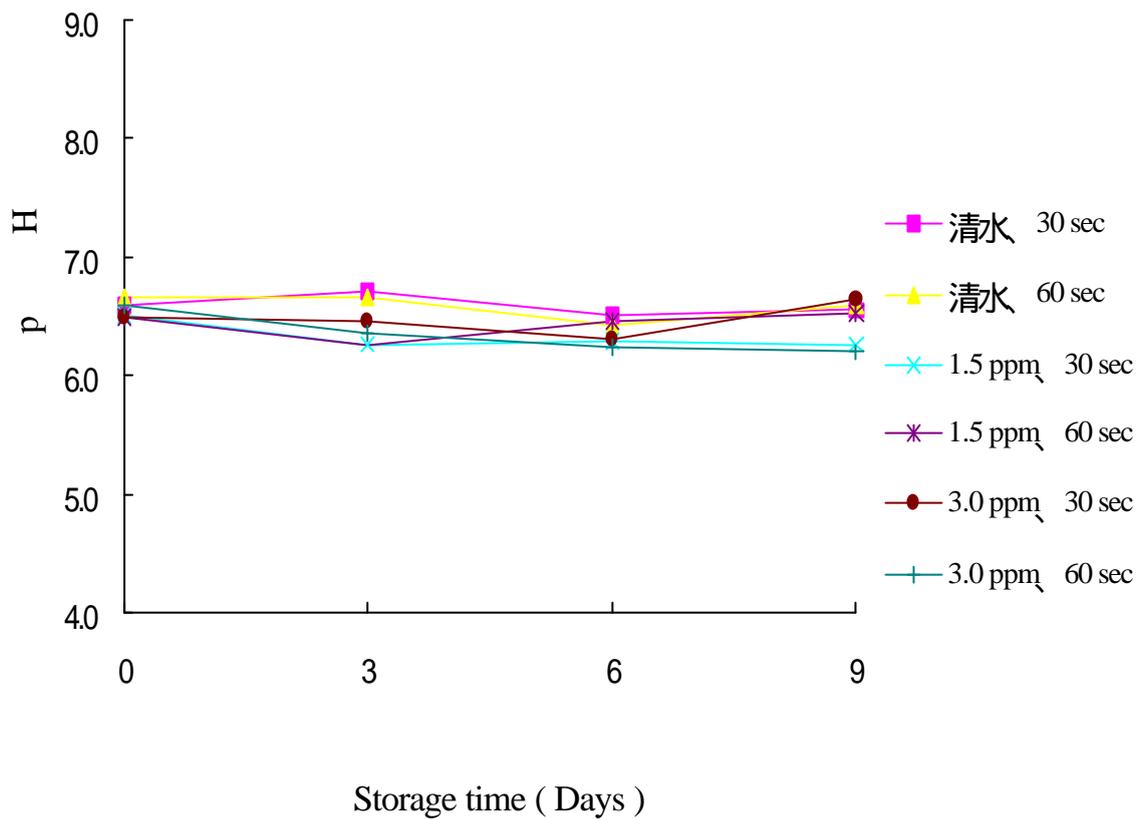
屠體經臭氧水處理，在冷藏貯存期間酸鹼值變化如圖十一。結果顯示在第 0、3、6 和 9 天各處理組間並無顯著差異($P > 0.05$)，而各處理組在貯存期間並無顯著變化($P > 0.05$)。顯示酸鹼值並未受到臭氧水噴灑處理之影響。食肉在屠宰完畢貯存期間酸鹼度會先降低而後升高，以豬肉正常屠宰而言在 0-24 小時之中酸鹼度會降低，而後再升高。本實驗並未在貯存第 1 和 2 天進行酸鹼值測定，由文獻中指出 0-3 天中酸鹼值應有所變化，但本實驗並未測定(王等，1982)。實驗中臭氧水所噴

灑部分為表皮，臭氧作用是在表皮部分，而對精肉的部分影響不大(Sheldon and Brown, 1986)。在 9 天貯存期間之中並未發現臭氧水對精肉酸鹼值有顯著影響。



圖十、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間表皮
 硫巴比妥酸值之影響。

Fig. 10. Effect of ozonated water and spraying time on TBA-value
 of pork skin during storage.



圖十一、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間精肉酸鹼值之影響。

Fig. 11. Effect of ozonated water and spraying time on pH value of pork during storage.

五、臭氧水處理對冷藏豬肉貯存期間色澤之影響

消費者選購豬肉時會由外觀判斷肉品的新鮮度，而色澤為最先給予消費者的第一判斷依據。實驗中直接以色差記直接測定生肉表皮、脂肪和精肉之亮度、紅色和黃色值。圖十二到十九表示臭氧水噴灑處理對冷藏豬肉貯存期間色澤變化。在表皮亮度值(圖十二)部分，經過清水噴灑 60 秒、臭氧水濃度 1.5 ppm 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理後，在第 0 天時亮度值均顯著較清水噴灑 30 秒處理組要高($P < 0.05$)；臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組表皮亮度值顯著比其他組高($P < 0.05$)。以各處理濃度而言，相同濃度之下不同處理時間並無顯著差異($P > 0.05$)，顯示臭氧水濃度(清水、1.5 和 3.0 ppm)和噴灑時間對屠體表皮亮度值影響，是以臭氧水濃度影響較大。在貯存期間，清水噴灑 30 秒和臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 30 秒處理組亮度值並無顯著變化，但有下降趨勢($P > 0.05$)。清水噴灑 60 秒、臭氧水濃度 1.5 ppm 噴灑 60 秒與 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組之亮度值在貯存期間隨貯存時間增加而顯著降低($P < 0.05$)。紅色值越高表示顏色越紅，由圖十三中可知經臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理對表皮紅色值有顯著降低效果($P < 0.05$)，其他處理組間則無顯著差異($P > 0.05$)。表皮紅色值在貯存期間經濃度 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理後並無顯著變化($P > 0.05$)，而其他處理組則隨貯存時間增加而顯著降低($p < 0.05$)。各組紅色值在貯存第 3 天後並無顯著差異($P > 0.05$)。黃色值越高表示色澤越黃，實驗中各處理對表皮黃色值影響如圖十四所示，由圖中可看出臭氧水噴灑處理對表皮黃色值沒有顯著影響($P > 0.05$)，在貯存期間各組黃色值有下降趨勢但未達顯著水準($P > 0.05$)。臭氧水噴灑處理對表皮亮度值

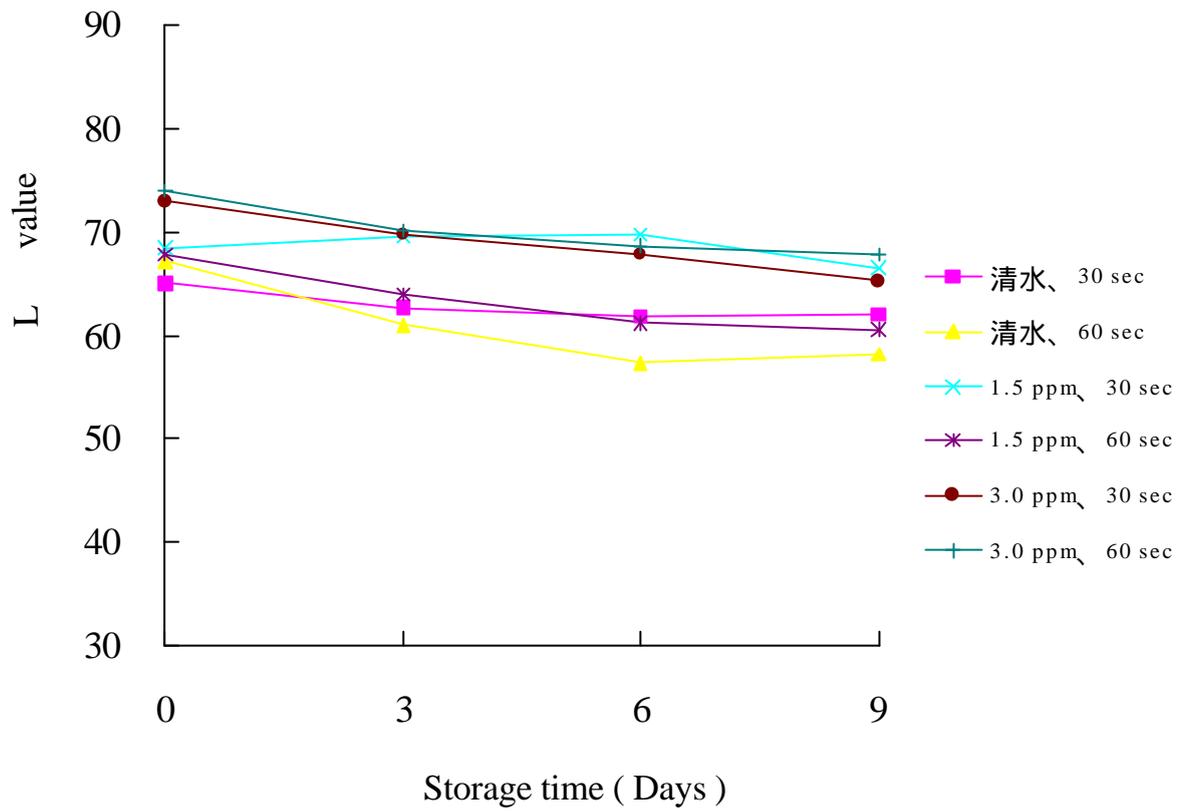
和紅色值有顯著影響，對黃色值無顯著影響，此結果與 Greer and Jones (1986) 結果相似。

臭氧水噴灑處理對脂肪亮度值影響如圖十五。結果顯示經過不同處理後，在各處理間脂肪亮度值並無顯著差異 ($P>0.05$)，且各處理組在貯存期間亮度值隨貯存時間增加而顯著降低 ($P<0.05$)。圖十六與十七表示經過噴灑處理後脂肪紅色值和黃色值。結果顯示各組之間並無顯著差異 ($P>0.05$)，在貯存時間脂肪紅色值有下降趨勢 ($P>0.05$)，黃色值則無顯著變化。

臭氧水噴灑處理對精肉色澤貯存時間之影響如圖十八和十九。圖十八表示經臭氧水噴灑處理後精肉亮度值，結果顯示各處理組間沒有顯著差異 ($P>0.05$)，而在貯存期間清水噴灑 30 秒和臭氧水濃度 3.0 ppm 噴灑 60 秒處理組在貯存期間亮度值隨貯存時間增加而顯著降低 ($P<0.05$)，其餘各組雖未達顯著水準但有下降趨勢 ($P>0.05$)。圖十九表示經過噴灑處理後瘦肉紅色值。結果顯示各組之間並無顯著差異 ($P>0.05$)，在貯存時間瘦肉紅色值無顯著變化 ($P>0.05$)。

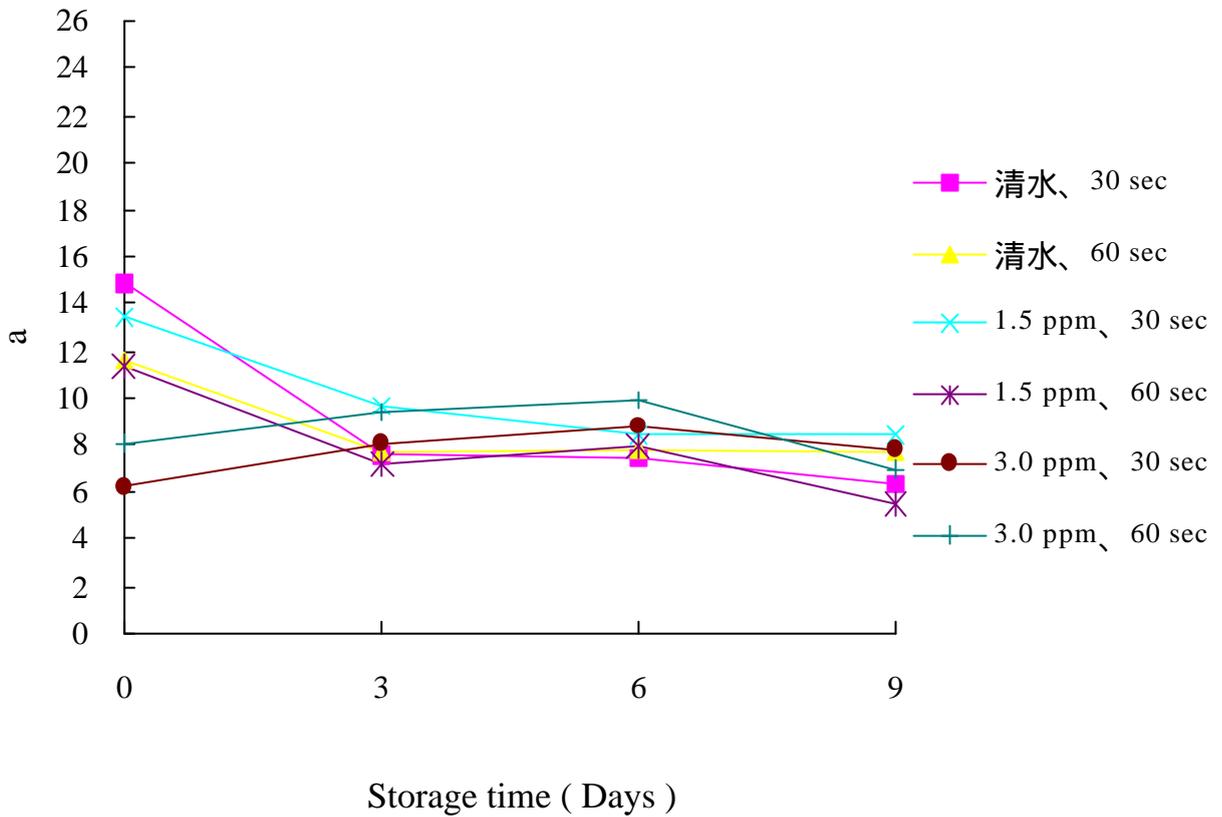
臭氧水噴灑處理對表皮亮度值增加和紅色值下降之顯著影響，會造成表皮褪色效果；而對脂肪和瘦肉色澤並無顯著影響。貯存期間隨著時間增加在表皮和精肉亮度值有下降現象，主要是因為表面脫水緣故。臭氧水噴灑處理後會造成冷藏豬肉色澤較白，但經過 3 天貯存後各部位在色澤上並無顯著差異，且在肉眼上亦無法辨識出。生鮮肉品在貯存期間會表面水分會隨著貯存時間增加而減少因而造成亮度值、紅色值和黃色值隨著貯存時間增加而降低之現象。本實驗中臭氧水雖有褪色效果但隨著脫水現象產生，色澤間並無差異。在肉眼上判斷，經臭

氧水噴灑處理後生鮮肉之表皮有較白之現象，但經貯存期間在肉眼上無法分辨出。由此可推論臭氧水噴灑處理對貯存期間冷藏豬肉色澤並無不良影響。



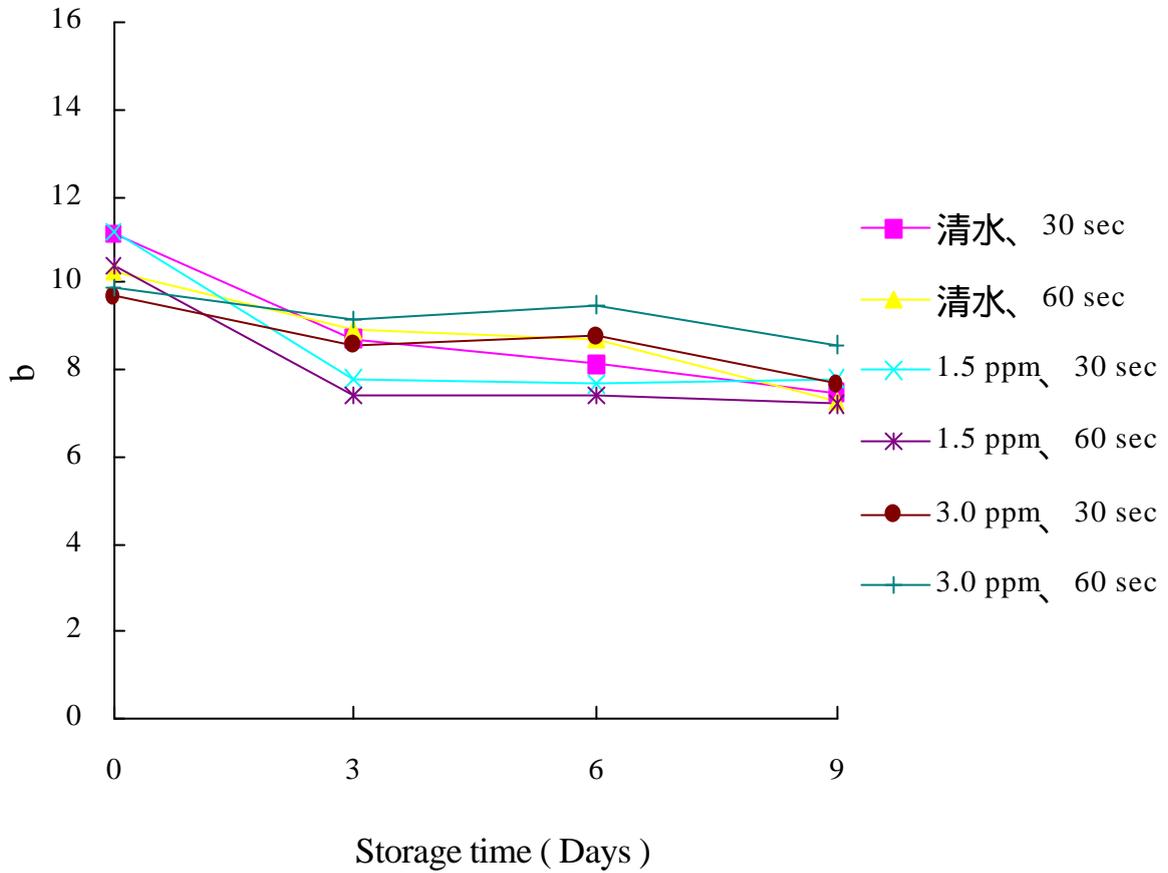
圖十二、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間表皮亮度值之影響。

Fig. 12. Effect of ozonated water and spraying time on L-value of pork skin during storage.



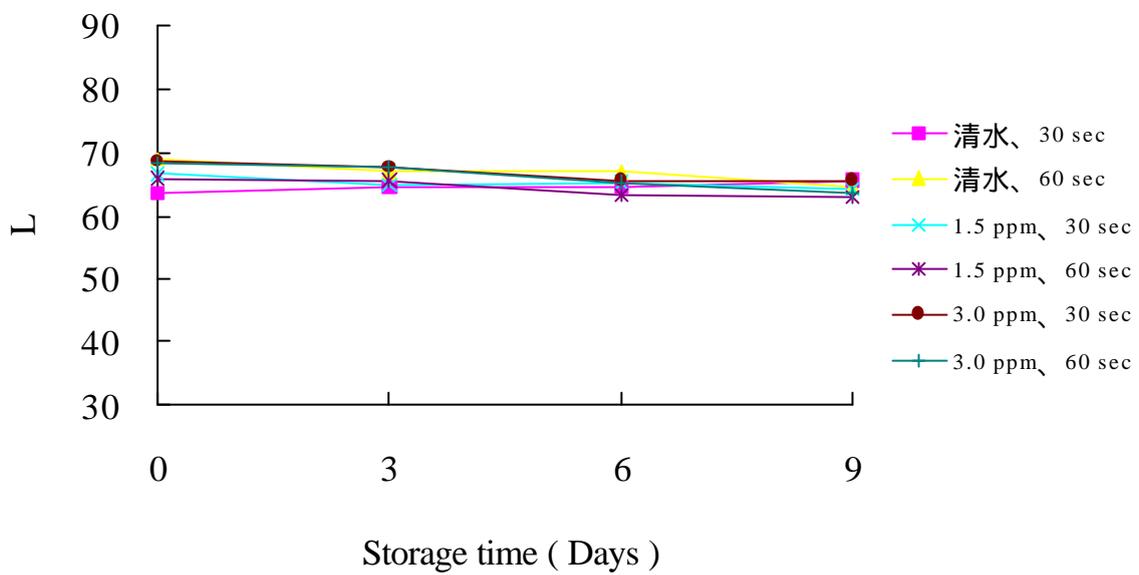
圖十三、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間表皮紅色值之影響。

Fig. 13. Effect of ozonated water and spraying time on a-value of pork skin during storage.



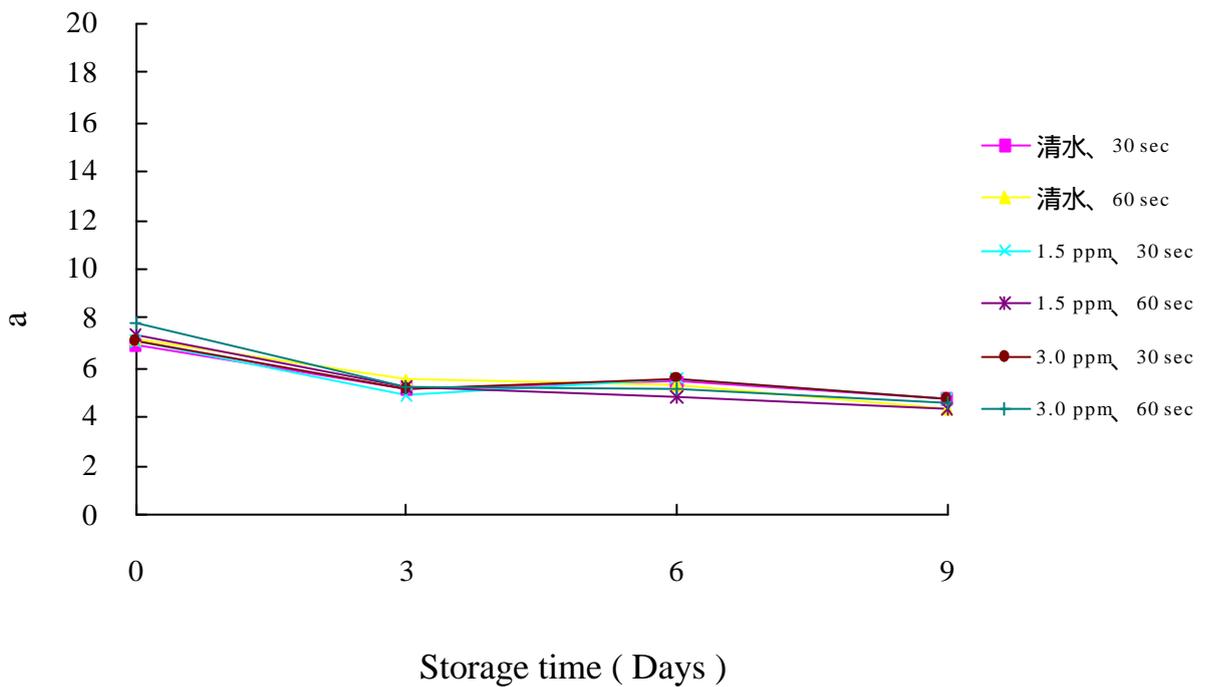
圖十四、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間表皮黃色值之影響。

Fig. 14. Effect of ozonated water and spraying time on b-value of pork skin during storage.



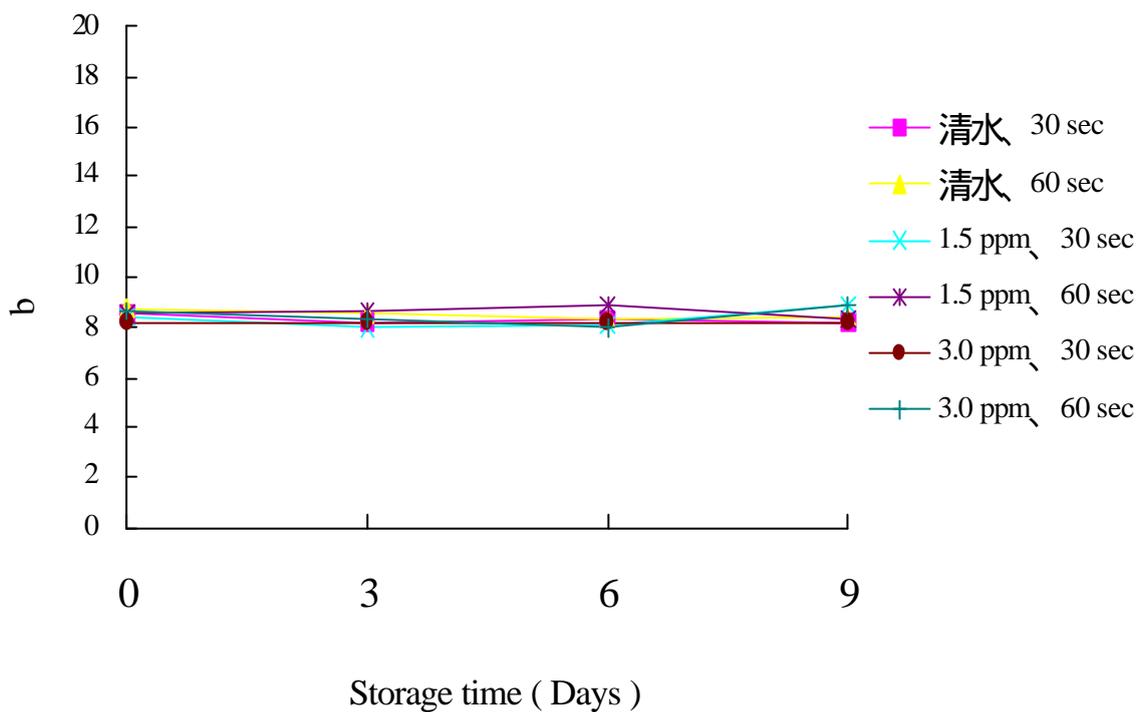
圖十五、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間脂肪亮度值之影響。

Fig. 15. Effect of ozonated water and spraying time on L-value of pork fat during storage.



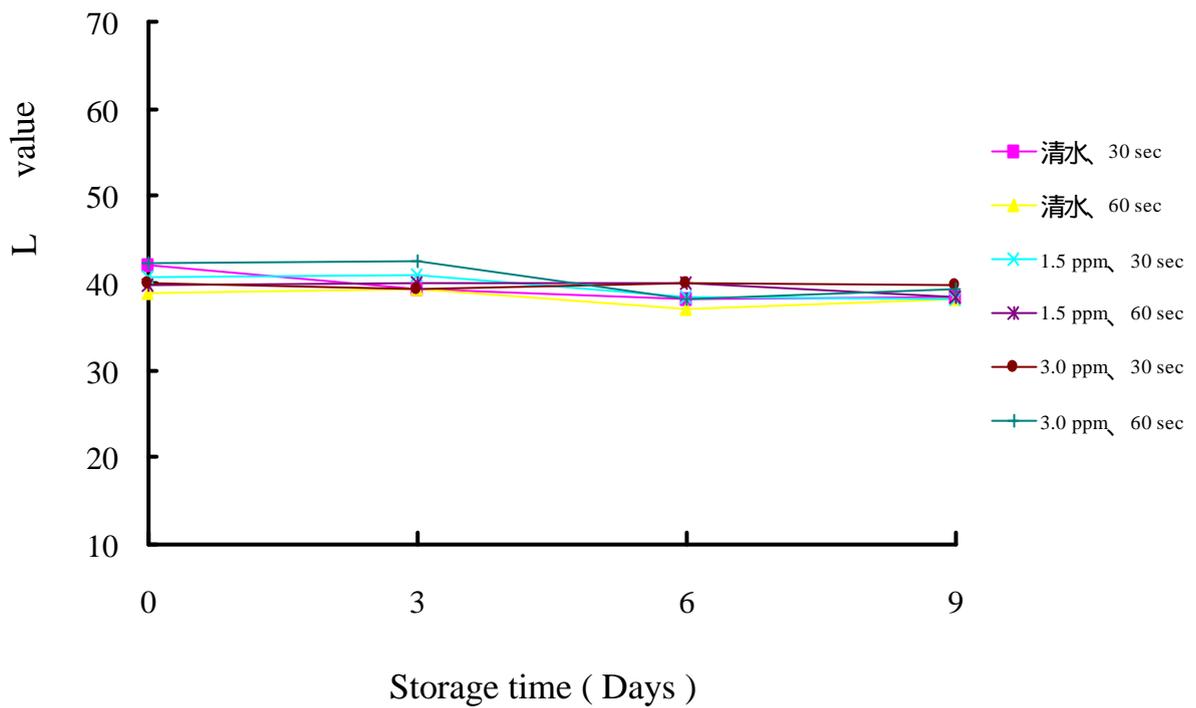
圖十六、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間脂肪紅色值之影響。

Fig. 16. Effect of ozonated water and spraying time on a-value of pork fat during storage.



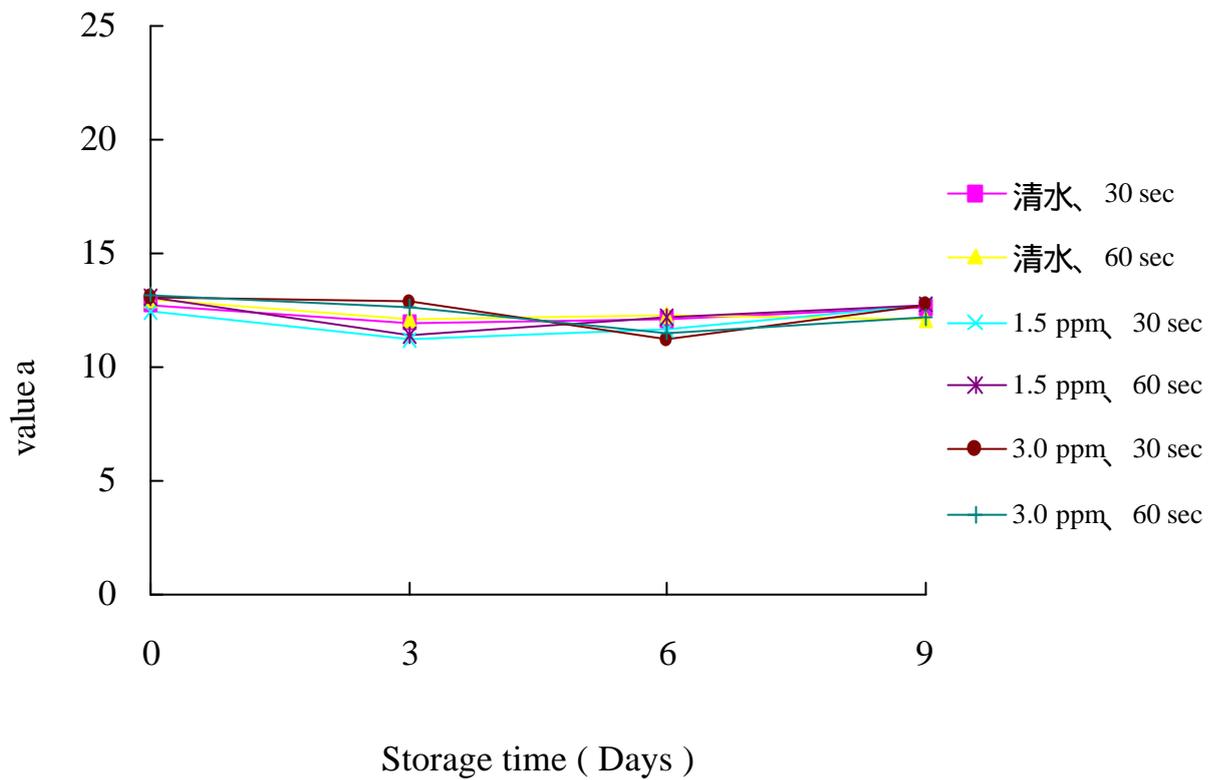
圖十七、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間脂肪黃色值之影響。

Fig. 17. Effect of ozonated water and spraying time on b-value of pork fat during storage.



圖十八、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間精肉亮度值之影響。

Fig. 18. Effect of ozonated water and spraying time on L-value of lean pork during storage.



圖十九、臭氧水濃度和噴灑時間對冷藏豬肉貯存期間精肉紅色值之影響。

Fig. 19. Effect of ozonated water and spraying time on a-value of lean pork during storage.

六、臭氧水處理對冷藏豬肉官能品評和剪力值之影響

取下腹脅部分之精肉將之加熱(220 °C, 10 分鐘), 並分切成小塊(2 × 1 × 1 cm³), 再經由固定品評人員以嗜好性評分 (Hedonic Scale Test) 試驗各組間的差異。評分採 5 點計分法, 試驗項目為色澤、風味和總接受度。並以物性測定儀測定其剪力值(kg/cm²)。

官能品評結果如表十二所示, 各處理組間之色澤、風味和總接受度並無顯著差異(P>0.05)。各處理間色澤無顯著差異之結果與圖十七、十八和十九結果相符, 顯示噴灑處理並未影響瘦肉色澤。

表十二、臭氧水濃度和噴灑時間對腹脅肉精肉官能品評和剪力值之影響^A

Table 12. Effect of ozonated water and spraying time on mean taste penal scores and shear value of belly.

Treatment		色澤	風味	總接受度	剪力值
O ₃	Time	Color	Flavor	Acceptability	Shear value ^B
清水	30 sec	3.5 ^a	3.5 ^a	3.8 ^a	4.6 ^a
	60 sec	3.8 ^a	3.5 ^a	3.5 ^a	4.2 ^a
1.5 ppm	30 sec	3.5 ^a	3.8 ^a	3.5 ^a	4.7 ^a
	60 sec	3.5 ^a	3.5 ^a	3.6 ^a	5.1 ^a
3.0 ppm	30 sec	3.5 ^a	3.5 ^a	3.8 ^a	4.2 ^a
	60 sec	3.5 ^a	3.2 ^a	3.8 ^a	5.0 ^a

^A 官能品評採5點計分法(1=極淡或極不喜歡;5=極濃或極喜歡)

^A : Scores on a 1 to 5 point scale (1 = extremely bland or dislike and 5 = extremely intense or like).

^B: 單位 : kg/cm².

^B: unit : kg/cm².

^a: 同列中不同符號表示有顯著差異。

^a: Mean in the column having different superscripts are significantly different (P<0.05).

陸、結論

經臭氧化至水中臭氧濃度 1.5 和 3.0 ppm 水中無法檢測出微生物，顯示臭氧化處理能有效抑制水中微生物。豬隻屠體經臭氧水噴灑後，屠體表面微生物去除效果隨著臭氧水濃度增加而增加。臭氧水濃度 1.5 與 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組降低屠體表面總生菌數和低溫菌數顯著較清水噴灑處理組要高 ($P<0.05$)；在病原菌部分，經長時間(60 秒)噴灑處理能顯著降低微生物數，但較高臭氧水濃度效果高於延長噴灑時間。由此結果證明臭氧水噴灑處理對屠體表面微生物之影響為臭氧水濃度影響較大。

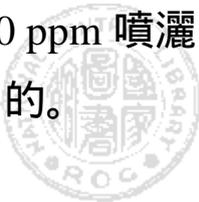
在貯存期間微生物試驗中，以臭氧水 3.0 ppm 噴灑處理之生菌數、低溫菌、大腸桿菌、大腸桿菌群沙門氏桿菌和彎曲桿菌數最低($P<0.05$)；臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組微生物增殖較清水處理組緩慢。低溫貯存有利於保持冷藏豬肉微生物品質，臭氧水噴灑處理後致病性微生物菌數較低且增殖和緩，有助於提升冷藏豬肉品質。

臭氧水噴灑處理在臭氧水濃度和噴灑時間上有顯著交感。臭氧水濃度 1.5 和 3.0 ppm 噴灑處理能有效去除屠體表面微生物污染，以 3.0 ppm 較 1.5 ppm 效果要佳；臭氧水濃度 1.5 噴灑處理 60 秒和 3.0 ppm 噴灑 30 秒效果相近；若以較短噴灑時間而言是以 3.0 ppm 效果最佳，在有使用臭氧水之情形下，噴灑效果遠不及臭氧水濃度重要；而不使用臭氧水處理時，噴灑有少許效果，噴灑時間的控制較為重要。經過臭氧水噴灑處理能顯著降低致病性微生物污染豬隻屠體，並透過低溫貯存條件能避免致病性微生物增殖。

貯存期間臭氧水噴灑處理組 TBA 值上升較緩慢，有利於

減緩豬肉氧化酸敗發生而使品質下降。pH 值並未受到臭氧水噴灑處理影響($P>0.05$)。在色澤部分，臭氧水噴灑處理對表皮亮度值和紅色值有顯著影響。臭氧水噴灑處理後會造成冷藏豬肉色澤較白，但經過 3 天貯存後各部位在色澤上並無顯著差異，且在肉眼上亦無法辨識出不同。臭氧水濃度噴灑處理對官能品評和剪力值沒有顯著影響($P>0.05$)。臭氧水濃度噴灑處理對一般保存性並無顯著影響。

綜合以上結果，臭氧化處理可以有效降低水中微生物數，以防止經含有微生物之噴灑用水處理豬隻屠體表面微生物增加。經臭氧水濃度 1.5 噴灑 60 秒與 3.0 ppm 噴灑 30 和 60 秒處理組能有效降低屠體表面總生菌數、低溫菌數、大腸桿菌群、大腸桿菌、沙門氏桿菌和彎曲桿菌數；在貯存期間，臭氧水 1.5 和 3.0 ppm 處理組微生物增殖緩慢；臭氧水濃度噴灑處理對一般保存性並無顯著影響。根據本實驗結果欲使用臭氧水進行豬隻屠體噴灑處理，建議使用臭氧水濃度 1.5 噴灑 60 秒或 3.0 ppm 噴灑 30 秒，以達到降低污染，增加冷藏豬肉保存性之目的。



柒、參考文獻

- 王明星。1992。大氣化學。pp.281-336。明文書局。台北。
- 王政騰、林慧生、曾弘智、林慶文。1982。屠體之氯化水噴灑、真空包裝材料及冷卻速率對冷藏豬肉品質之影響。中國畜牧學會會誌。11(1-2):23-40。
- 王進琦。1998。食品微生物學。pp.552-526。藝軒圖書出版社。台北。
- 吳仁彰、林義芳。1998。臭氧之應用與濃度量測。量測資訊。62 : 49-52.
- 吳清熊。1987。臭氧在魚介類保鮮及其他食品殺菌之應用。中國水產。415 : 37-41。
- 吳漢民。1994。礦泉水常用的殺菌方法。食品工業。26(8):44-53。
- 林暢貴。1997。食品工廠用水之淨化處理。Taiwan Food News。138 : 35-39。
- 曾迪華、應堅聖。1986。自來水中三鹵甲烷處理技術之回顧與評估。中華民國自來水協會第三屆給水技研討會論文集。pp.147-164。
- 陳錫秋、張瑞璋、賴幸宜、劉天斌。1988。臭氧應用於水質處理之效果。環境保護與生態保育研討會論文專集。pp.181-195。
- 黃國傳。1989。水質之原理與控制。復文書局。台北。
- 溫添進、張家欽。1994。臭氧之應用及其電解法製造。化工。41(3) : 60-71。
- 經濟部中央標準局。1988。食品微生物之檢驗法 - 生菌數之檢

- 驗。中國國家標準 10890 , N6186。
- 鄭子政。1988。大氣科學概論。pp.33-37。國立編譯館。台北。
- 劉正義。1992。冷卻處理對貢丸品質的影響。台糖公司畜產研究所研究報告。12 : 191-197。
- 鍾遠懷。1994。臭氧與水處理。食品工業。26(2) : 27-37。
- 加藤茂三。1987。食品保存與臭氧利用。食品工業。30(18) : 28-48。
- Abee, T., L. Krockel and C. Hill. 1995. Bacteriocins : Modes of action and potentials in food preservation and control of food poisoning. *Int. J. Food Microbiol.* 28:169-185.
- Ames, B. N., J. McCann and E. Yamasaki. 1975. Methods for detecting carcinogens and mutagens with the Salmonella/mammalian microsome mutagenicity test. *Mutation Res.* 31:347-364.
- Anonymous. 1972. Use of ozome in sea water for cleansing shellfish. *Effluent Water Treatment J.* 12: 260.
- Anonymous. 1983. *Seafood Leader.* 3(2): 30.
- Australian standards. 1989. Sensory analysis of foods part 3: Glossary of terms. AS 2542.3.
- Baird-Parker, A. C. and R. Holbrook. 1971. The inhibition and distruction of cocci in the microbial cell. Ed. By W. B. Hugo. pp. 391. Academic Press. London, NY.
- Barnes, E. M. and C. Impey. 1968. Psychrophilic spoilage bacteria of poultry. *J. Appl. Bacteriol.* 31: 97.

- Barth, M. M., C. Zhou, J. Mercier and F. A. Payne. 1995. Ozone storage effects on anthocyanin content and fungal growth in blackberries. *J. Food Sci.* 60(6): 1286-1288.
- Bautista, D., N. Barbut and M. Griffiths. 1997. The decontamination efficacy of antimicrobial rinses on turkey carcasses using response surface designs. *Int. J. Food Microbiol.* 34: 279-292.
- Bawcom, D. W., L. D. Thmompson, M. F. Miller and C. B. Ramsey. 1995. Reduction of microorganisms on beef surfaces utilizing electricity. *J. Food Protect.* 58:35-38.
- Blank, G. and C. Powell. 1995. Microbiological and hydraulic evaluation of immersion chilling for poultry. *J. Food Protect.* 58.1386-1388.
- Blanken, M. J. G. den. 1985. Comparative disinfection of treated sewage with chlorine and ozone. *Water Res.* 19(9): 1129-1140.
- Block, S. S. 1983. Disinfection, sterilization and preservation. Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Bott, T. R. 1991. Ozone as a disinfectant in process plant. *Food Control.* Jan: 44-49.
- Broadwater, W. T., R. C. Hoehn and P. H. King. 1973. Sensitivity of three selected Bacterial species to ozone. *Appl. Microbiol.* 26(3): 391-393.
- Brown, M. H. 1982. Meat microbiology. Elsevier Science

Publishers Ltd., England.

- Bruhn, C. M. 1995. Strategies for communicating the facts on food irradiation to consumers. *J. Food Protect.* 58:213-216.
- Bruno, L. 1991. Ozone in water treatment-application and engineering. American Water Works Association Research Foundation, Lewis Publishers. Pp.11-13.
- Burleson, G. R., T. M. Murray and M. Pollard. 1975. Inactivation of virus and bacteria by ozone, with and without sanitation *Appl. Microbiol.* 39(1): 210-218.
- Cabedo, L., J. N. Sofos and G. C. Smith. 1996. Removal of bacteria from beef tissue by spray washing after different exposure to faecal material. *J. Food Protect.* 59: 1284-1287.
- Cardeillo, A. V., R. A. Segars, J. Secrist, J. Smith, S. H. Cohen and R. Rosenkrans. 1983. Sensory and instrumental texture profile properties of flaked and formed beef. *Food Microstructure* 2: 119-133.
- Carlez, A., J. P. Rosec, N. Richard and J. C. Cheftel. 1993. High pressure inactivation of *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas fluorescens* and *Listeria innocua* in inoculated minced beef muscle. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 26:357-363.
- Chang, Y. H. and B. W. Sheldon. 1986. Efficacy of ozone as a disinfectant for poultry carcasses and chill water. *J. Food Sci.* 51(2):305-309.
- Chen, H. C., S. H. Huang, M. W. Moody and S. T. Jiang. 1992.

- Bacteriocidal and mutagenic effects of ozone on shrimp (*penaeus monodon*) meat. *J. Food Sci.* 57(4):923-927.
- Chen, H.H., E. M. Chiu and J. R. Huang. 1997. Color and gel-forming properties of Horse Mackerel (*Trachurus japonicus*) as related to washing conditions. *J. Food Sci.* 62(5): 985-991.
- Chung K. T., J. S. Dickson and J. M. Crouse. 1989. Effects of nisin on growth of bacteria attached to meat. *Appl. Environ. Microbiol.* 55: 1329-1333.
- Corry, J. E. L., C. Adams, S. J. James, and M. Hinton. 1995. *Salmonella*, *Campylobacter* and *Escherichia coli* O157:H7 decontamination techniques for future. *Int. J. Food Microbiol.* 28: 187-196.
- Crisp, L. M. and C. E. Bland. 1990. Potential use of ozone to disinfect sea water of fungi causing diseases of cultured marine crustacea. *J. Invertebrate Pathology.* 55: 380-386.
- Davis, A. and R. Board. 1998. *The microbiology of meat and poultry.* Blackie Academic & Professional, Inc. NY. USA.
- Davey, K. R. and M. C. Smith. 1989. A laboratory evaluation of a novel hot water cabinet for decontamination of sides of beef. *Int. J. Food Sci. Technol.* 24:305-316.
- Dickson, J. S. and M. E. Anderson. 1992. Microbiological decontamination of food animal carcasses by washing and sanitizing systems: A review. *J. Food Protect.* 55: 133-140.

- Doningue, E. L., R. L. Tyndall, W. R. Mayberry and O. Cc. Pancorbo. 1988. Effects of three oxidizing biocides on *Legionella pneumophila serogroup 1*. Appl. Environ. Microbiol. 54(3): 741-747.
- Dorsa, W. J., C. N. Cutter, C. R. Siragusa and M. Koochmariaie. 1996. Microbial decontamination of beef and sheep carcasses by steam, hot water spray washes and a steam-vacuum sanitiser. J. Food Protect. 59: 127-135.
- Dwankanath, C. T., E. T. Rayner, G. E. Mann and F. G. Dollar. 1968. Reduction of aflatoxin levels in cottonseed and peanut meals by ozonization. J. Am. Oil Chem. Soc. 45(2): 93.
- Earnshaw, R. G., J. Appleyard and R. M. Hurst. 1995. Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. Int. J. Food Microbiol. 28: 197-219.
- Farooq, S., E. S. K. Chian and R. S. Engelbrecht. 1977. Basic concepts in disinfection with ozone. J. of WPCF. 49:1818-1831.
- FDA. 2000. Surveillance for foodborne disease outbreaks – United States, 1993-1997. <http://www.cdc.gov/epo/mmwr/preview/mmwrhtml>. 49(SS01):1-51.
- FDA. 1992. Bacteriological Analytical Manual. Association of

- official chemists. Washington, D. C.
- Fetner, R. H. and R. S. Ingols. 1956. A comparison of bactericidal activity of ozone and chlorine against *Escherichia coli* at 1. *Nature*. 15: 381-385.
- Finch, G. R. and D. W. Smith. 1988. Dose-response of *E. coli* in ozone-demand-free phosphate buffer. *Water Res.* 22(12): 1563-1570.
- Finch, G. R. and D. W. Smith. 1989. Ozone dose-response of *E. coli* in activated sludge effluent. *Water Res.* 23:1017-1025.
- Foster, D. M. 1980. Ozone inactivation of cell-and fecal-associated virus and bacteria. *J. WPCF.* 52: 2174-2184.
- Francis, L. Evans. 1972. Ozone in water and wastewater treatment Ann Arbor Science, Michigan.
- Gammon, R. and K. Kerelak. 1973. Gaseous sterilization of foods. *Am. Inst. Chem. Eng. Symp. Ser.* 69(132): 91.
- Giese, A. C. and E. Christensen. 1954. Effects of ozone on organisms. *Physiol. Zool.* 27:101-115.
- Gill, C. O. and J. Bryant. 1992. The contamination of pork with spoilage bacteria during commercial dressing, chilling and cutting of pig carcasses. *Int. J. Food Microbiol.* 16:51-62.
- Gill, C. O. and N. Penny. 1979. Survival of bacteria in carcasses. *Appl. Environ. Microbiol.* 37: 667-669.
- Gill, C. O., N. Penny and P. M. Nottingham. 1976. Effect of delayed evisceration on the microbial quality of meat.

- Appl. Environ. Microbiol. 31: 465-468.
- Gill, C. O., N. Penny and P. M. Nottingham. 1978. Tissue sterility in unevisceration carcasses. Appl. Environ. Microbiol. 36: 356-359.
- Goldstein, B. D. and E. M. McDonagh. 1975. Effect of ozone on cell membrane protection fluorescence 1. In vitro studies utilizing the red cell membrane. Environ. Res. 9:179-186.
- Gorman, B. M., J. N. Sofos, J. B. Morgan, G. R. Schmidt and G. C. Smith. 1995. Evaluation of hard-trimming, various sanitizing agent and hot water spraying–washing as decontamination interventions for beef brisket adipose tissue. J. Food Protect. 58:899-907.
- Graham, H. N., V. V. Struder and M. Gurkin. 1969. Conversion of green tea using ozone. US. Patent. 3,247,484.
- Greer, G. and D. B. Dilts. 1995. Lactic acid inhibition of the growth of spoilage bacteria and cool tolerant pathogens on pork. Int. J. Food Microbiol. 16:141-151.
- Greer, G. G. and S. D. M. Jones. 1989. Effect of ozone on beef carcasses skinkage, muscle quality and bacterial spoilage. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 22(2):156-160.
- Hamelin, C., F. Sarhan and Y. S. Chung. 1977. Ozone induced DAN Degradation in different DAN polymerase Imutants of *Escherichia coli K12*. Biochemi. Biophy. Res. Comm. 77 (1): 220-224.

- Haraguchi, T., U. Simidu and K. Aiso. 1969. Preserving effect of ozone to fish. *Bull. Jap. Sci. Fish.* 35(9): 915-919.
- Heidt, L. J. and V. R. Landi. 1964. Ozone and ozonide production and stabilization in water. *J. Chem. Physics.* 41(1): 176-178.
- Herbold, K., B. Flehmig and K. Botzenhart. 1989. Comparison of ozone inactivation, in flowing water, of hepatitis A virus, poliovirus 1, and indicator organisms. *Appl. Environ. Microbiol.* 55(11): 2949-2953.
- Hinze, H., D. Prakash and H. Holzer. 1987. Effect of ozone on ATP cytosolic enzyme and permeability of *Saccharomyces cerevisiae*. *Arch. Microbiol.* 147: 105-108.
- Hoff, J. C. 1987. Strengths and weaknesses of using $C \cdot T$ value to evaluate disinfection practice, Proc. AWWA seminar, assurance of adequate disinfection or $C \cdot T$ or not $C \cdot T$. AWWA. Denver, CO, 49-65.
- Hoffman, R. K. 1971. Toxic fates in inhibition and destruction of the microbial cell. Ed. By W. B. Hugo. pp.251. Academic Press. London, NY.
- Hollender, R., F. G. Bender, R. K. Jenkins, and C. L. Black. 1993. Research note: Consumer evaluation of chicken treated with a trisodium phosphate application during processing. *Poultry Sci.* 72:755-759.
- Hoigne, J. and H. Bader. 1976. Role of hydroxyl radical

- reactions in ozonation processes in aqueous solutions.
Water Res. 10(10):377-384.
- Hoigen, J. and H. Bader. 1977. Ozonation of water: Selectivity and rate of oxidation of solutes. Proc. 3rd IOA Congress, Paris, France.
- Hoigne, J. and H. Bader. 1977. Rate constants for reactions of ozone with organic pollutants and ammonia in water. IOA Symp., Toronto, Canada.
- Hoigne, J. and H. Bader. 1978. Ozone initiated oxidation of solutes in wastewater: A reaction kinetics approach. Prog. Wtr. Technol. 10:657.
- ICMSF. 1980. Microbial ecology of foods Vol. 1. Factors affecting life and death of microorganisms. Academic Press Inc.
- Ishizaki, K., K. Sawadaishi, K. Miura and N. Shinriki. 1987. Effect of ozone on plasmid DNA of *Escherichia coli* in situ. Water Res. 21(7): 823-827.
- James, O. J., R. L. Brewer, J. C. Prucha, W. O. Williams and D. R. Parham. 1992. Effect of chlorination of chill water on bacteriologic profile of raw chicken carcasses and gilets. J. Am. Vet. Med. Assoc. 200(1): 60-63.
- Jones, B., T. Nilsson, L. Ekman, and K. Ostlund. 1979. The contamination of pig carcasses with scalding water studied with a radiolabelled colloid. Fleisch-wirtschaft 59:1511

-1513.

- Juven, B. J. and M. D. Pierson. 1996. Antibacterial effects of hydrogen peroxide and methods for its detection and quantitation. *J. Food Protect.* 59: 1233-1241.
- Kaess, G. and J. F. Weidemann. 1968. Ozone treatment of chilled beef. *J. Food Technol.* 3:325.
- Katzenelson, E., G. Koerner, N. Biedermann, M. Peleg and H. I. Shuval. 1979. Measurement of the inactivation kinetics of poliovirus by ozone in a fast-flow mixer. *Appl. Environ. Microbiol.* 37(4): 715-718.
- Katz, J. 1980. Ozone and chlorine dioxide technology for disinfection of drinking water. Noyes Data Corp., NJ.
- Kim, C. K. D. M. Gentile and O. J. Sproul. 1980. Mechanism of ozone inactivation of bacteriophage f2. *Appl. Environ. Microbiol.* 39(1): 210-218.
- Korich, D. G., J. R. Mead, M. S. Madore, N. A. Sinclair and C. R. Sterling. 1990. Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. *Appl. Environ. Micro.* 56: 1423-1428.
- Kusakabe, K., S. Aso, J. I. Hayashi, K. Isomura and S. Morooka. 1990. Decomposition of humic acid and reduction of trihalomethane formation potential in water by ozone with U.V. irradiation. *Water Res.* 24(6): 781-785.
- Kotula, A. W., W. R. Lusby, J. D. Crouse and B. Vries. 1974.

- Beef carcasses washing to reduce bacterial contamination.
J. Anim. Sci. 39: 674-679.
- Labatiuk, C. W., M. Belosevic and G. R. Finch. 1992. Factors.
Influencing the infectivity of *Giardia muris* cysts following
inactivation in laboratory and natural waters. Water Res. 26
(6): 733-743.
- Lagunas-Solar, M. C. 1995. Radiation processing of foods: an
overview of scientific principles and current status. J. Food
Protect. 58: 186-192.
- Leiguarda, R. H., O. A. Peso and de A. Palazzola. 1949.
Bactericidal action of ozone. Anal. Assoc. Quim. Argent.
97:165.
- Li, J., J. T. Walker, M. F. Slavik and H. Wang. 1995. Electrical
treatment of poultry chiller water to destroy *Campylobacter
jejuni*. J. Food Protect. 58: 1330-1334.
- Lillard, H. S. 1994. Decontamination of poultry skin by
sonication. J. Food Technol. 48: 72-73.
- Lillard, H. S.. 1988. Comparison of sampling methods and
implications for bacterial decontamination of poultry
carcasses by rinsing. J. Food Protect. 51: 405-408.
- Lillard, H. S. and J. E. Thomson. 1983. Efficacy of hydrogen
peroxide as a bactericide in poultry chill water. J. Food Sci.
48: 125-126.
- Maeba, H., Y. Takamoto, M. Kamimura and T, Miura. 1988.

- Destruction and detoxification of aflatoxins with ozone. *J. Food Sci.* 53(2): 667-668.
- Marriott, N. G. 1999. Principles of food sanitation – Forth edition. An Aspen Publisher, Inc. USA.
- Masaoka, T., Y. Kubota, S. Namiuchi, T. Takubo, T. Ueda, H. Shibata, H. Nakamura, J. Yoshitake, T. Yamayoshi, H. Doi and T. Kamiki. 1982. Ozone decontamination of bioclean rooms. *Appl. Environ. Microbiol.* 43(3): 509-513.
- Matches, J. R. and J. Liston. 1968. Low temperature growth of *Salmonella*. *J. Food Sci.* 33:641.
- Merck Index. 1989. Ozone. Pp.1105. Merck & Co. Inc. N. J. U.S.A
- Mik, G. and I. Groot. 1978. Breaks induced in the deoxyribonucleic acid of aerosolized *Escherichia coli* by ozonized cyclohexene. *Appl. Environ. Microbiol.* 35(1): 6-10.
- Mollender, R., F. G. Bender, R. K. Jenkins, and C. L. Black. 1993. Research note: Consums evaluation of chicken treaded with a trisodium phosphate application during processing. *Poultry Sci.* 72: 465-469.
- Mudd, J. B., R. Leavitt, A. Ongun and T. T. Mcmanus. 1969. Reaction of ozone with amino acids and proteins. *Atmos. Environ. Perg.* 3: 669-682.
- Mulder, R. W. A. W., M. C. Hulst and N. M. Bolder. 1987.

- Research note: *Salmonella* decontamination of broiler carcasses with lactic acid , L-Cysteine and hydrogen peroxide. Poultry Sci. 66: 1555-1557.
- Murray, R. G. E. 1965. The location of the mucopeptide of section of the cell wall of *E. coli* and other gram-negative bacteria. Can. J. Micro. 11(3): 547-560.
- Naito, S. 1982. Microbicidal properties of ozone in virus microorganisms suspended in water. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi. 29(1): 1-10.
- Nebel, C. 1981. Ozone treatment of potable water-Part 1. Public Works. June: 86-90.
- Nickles, C., I. Svensson, A. Ternstron and L. Wickbery. 1976. Hygiene scalding with condensed water vapour and in tank. Proceedings of the 22nd Eurpean Meeting of meat Research Worker, Malmo, Sweden, Vol. C1, pp. 1-10.
- O`Donovan, D. C. 1965. Treatment with ozone. J. AWWA. 57: 1167-1192.
- Ockerman, H. W. 1985. Quality control of post- mortem muscle tissue. Animal Science Dept., The Ohio State Univ., Columous, OH.
- Pearson, A. M. and T. R. Dutson. 1986. Advances in meat research Volume 2: Meat and poultry microbiology. Avi publishing com. Inc. USA.
- Perrich, S. R. 1975. Second International Symposium on Ozone

Technology. pp.486.

Perrine, D. 1984. Action d l`Ozone surles trophozoites d`Amiber libers pathogens ou non. Bull. Sos. Franc. Parasitol. 3: 81.

Reagan, J. M. *et al.*. 1996. Trimming and washing of beef carcasses as a method of improving the microbiological quality of meat. J. Food Protect. 59: 751-756.

Reckhow, D. A. and P.C. Singer. 1990. Chlorination by-products in drinking waters:From formation potentials to finished water concentrations. J. AWWA. 82(4): 173-180.

Restaino, L., E. W. Frampton and J. B. Hemphill. 1995. Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms. Appl. Environ. Microbiol. 61(9): 3471-3475.

Rice, R. G., C. M. Robson, G. W. Miller and A. G. Hill. 1981. Uses of ozone in drinking water treatment. J. AWWA. 73(1):44-57.

Rice, R. G., L. J. Bollyky and W, J. Lacy. 1991. Analytical aspects of ozone-treatment of water wastewater. Lewis Publishers, Michigan. USA.

Rickloff, J. R. 1987. An evaluation of the sporicidal activity of ozone. Appl. Environ. Microbiol. 53(4): 683-686.

Roy, D., O. K. Y. Wong, R. S. Engelbrecht and E. S. K. Chian. 1981. Mechanism of enteroviral inactivation by ozone. Appl. Environ. Microbiol. 41(3): 718-723.

- Roy, D., P. K. Y. Wong, R. S. Engelbrecht and E. S. K. Chian. 1982. Comparative inactivation of six enteroviruses by ozone. *J. AWWA*. 660-664.
- SAS Ins. Stat. Anal. System. 1999. SAS procedure guide for personal computers. Version 6th ed. SAS Institute Inc. Cary, NC. U.S.A.
- Sauter, D., U. Weimar, G. Noetzel, J. Mitrovics and W. Gopel. 1999. Development of modular ozone sensory system for application in partial use. *Sensors and Actuators B* 69:1-9.
- Scott, D. B. M. and E. C. Leshner. 1963. Effect of ozone on survival and permeability of *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.* 85: 567-576.
- Shackletford, A. D. 1993. Evaluation of high pressure on the microbiological quality of uneviscerated. *Poultry Sci. Abstr.* 118.
- Sheldon, B. W. 1984. Effect of dietary tocopherol on the oxidative stability of turkey meat. *Poult. Sci.* 63: 673.
- Sheldon, B. W. and A. F. Brown. 1986. Efficacy of ozone as a disinfectant for poultry carcasses and chill water. *J. Food Sci.* 51: 305-309.
- Shinriki, N. 1988. Mechanism of inactivation of Tobacco Mosaic virus with ozone. *Water Res.* 22(7): 933-938.
- Singer, P. C. 1990. Assessing ozonation research needs in water treatment. *J. AWWA.* 82(10): 78-88.

- Skelly, G. C., G. E. Fandino, J. H. Haigler and R. C. Sherard. 1985. Bacteriology and weight loss of pork carcasses treated with a sodium hypochlorite solution. *J. Food Protect.* 48: 578-581.
- Smulders, F. J. M. 1987. Preospectives for microbial decontamination of meat and poultry by organic acid with special reference to lactic acid. Elimination of pathogenic organisms from meat and poultry. pp319-344. Elsevier.
- Snyder, O. P. 1992. HACCP-an industry food safety self-control program-part III. Dairy Food and Enviromental sanitation. 164-167.
- Speck, M. C. 1984. Compendium of methods for the microbiological examination of food. 2nd ed. American Public Health Association, Inc.
- Stern, N. J. and J. E. Line. 1992. Comparison of three methods for recovery of *Campylobacter* spp. From Broiler carcasses. *J. Food Prot.* 55: 663-666.
- Stevens, K. A., B. W. Sheldon, N. A. Kalapes and T. R. Klaenhammer. 1992. Effect of treatment conditions on Nisin inactivation of gram-negative bacteria. *J. Food Protect.* 55: 763-766.
- Terra, N. N., R. V. Mello and C. R. Valenet. 1993. Orangic acis in the conversation of refrigerated poultry carcasses. Prosessing of 39th international congress on meat science

and technology Calgary. s8p21.

- Tinney, K. S., M. E. Miller, C. B. Ramsey, L. D. Thompson and M.A. Carr. 1997. Reduction of microorganisms on beef surfaces with electricity and acetic acid. *J. Food Protect.* 60: 625-628.
- Vaughn, J. M., Y. S. Chen, K. Lindburg and D. Morales. 1987. Inactivation of human and simian rotaviruses by ozone. *Appl. Environ. Microbiol.* 53(9): 2218-2221.
- Vrochinskii, K. K. 1963. Experimental data on water decontamination with ozone. *Hyg. Sanit.* 28:3.
- Walter, H. M. and J. C. Ayres. 1956. Incidence and kinds of organisms associated with commercially dressed poultry. *Appl. Microbiol.* 4: 345-353.
- Walter, R. H. and R. M. Sherman. 1976. Duration of ozone in water in the upper solubility range. *J. Food Sci.* 41:993-995.
- Wang, W. L., H. J. Chai, S. L. Lin and Y. E. Shiue. 1991a. Studies on the sterilization effect of ozone and ultrasonic vibration on microorganism- I. *Bull. Tai. Fish. Res. Ins.* 50: 291-298.
- Wickramanayake, G. B., A. J. Rubin and O. J. Sproul. 1984. Inactivation of *Giardia lamblia* cysts with ozone. *Appl. Environ. Microbiol.* 41: 483-487.
- Wickramanayake, G. B., A. J. Rubin and O. J. Soroul. 1985. Effect of ozone and storage temperature on *Giardia* cysts.

JAWWA. 77:74-77.

Yang, P. P. W. and T. C. Chen. 1979. Stability of ozone and its germicidal properties of poultry meat microorganisms in liquid phase. J. Food Sci. 44(2): 501-504.

Yang, R. and R. Ray. 1994. Prevalence and biological control-producing *Psychrotrophic leuconostoc* associated with spoilage of vacuum-packaged processed meat. J. Food Protect. 57: 209-217.

捌、英文摘要

EFFECT OF OZONATED WATER AND SPRAYING TIME ON KEEPING QUALITY OF PORK

Tain-Jinn Wang

Abstract

The purpose of this experiment was to study the effect of water only, 1.5 and 3.0 ppm ozonated water spraying for 30 and 60 seconds on keeping quality of pork. Belly from swine were stored at 4 °C for 9 days for self-life test. Samples were analyzed at 0, 3 and 9 days for total aerobic plate count, psychrotrophic plate count, Coliform, *E. coli*, *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, TBA value, pH, color, sensory evaluation and shear value.

The results indicated that total aerobic plate count, psychrotrophic plate count, Coliform and *E. coli* were not detected in ozonated water of 1.5 and 3.0 ppm. The treatments with 1.5 and 3.0 ppm ozonated water spraying for 30 and 60 seconds had significantly reduction in total aerobic plate count, psychrotrophic plate count and *Salmonella spp.* ($P < 0.05$). The treatment with 3.0 ppm ozonated water spraying for 30 and 60 seconds had lowest counts in colliform ($P < 0.05$). The *E. coli* was reduced significantly with treatment of water only spraying for 60 seconds, 1.5 and 3.0 ppm ozonated water spraying for 30 and 60 seconds ($p < 0.05$). The treatment of spraying alone reduced *Campylobacter spp.* significantly ($P < 0.05$). The decontamination effect of ozonated water was promoted with the concentration of ozonated water increased. In self-life test, the total aerobic plate

count, psychrotrophic plate count treated with 1.5 and 3.0 ppm ozonated water spraying for 30 and 60 seconds was lower than water only spraying for 30 and 60 seconds treatments ($P < 0.05$). During the storage, the TBA value of treatments with 1.5 ppm ozonated water spraying for 60 seconds and 3.0 ppm ozonated water spraying for 30 and 60 seconds were lower than water only spraying for 30 and 60 seconds treatments. The pathogenic organisms were not changed during chilled storage ($P > 0.05$). The treatment of 3.0 ppm ozonated water spraying for 30 and 60 seconds had significantly higher L-value and low a-value of pork skin at 0 day of storage ($P < 0.05$). After 3 days of storage, there was no significantly difference in the color of pork skin. There were no significantly difference in pH, b-value of skin and color of fat and lean among treatments ($P > 0.05$). No significantly differences were found in sensory evaluation and shear value among treatments ($P > 0.05$).

九、小傳

作者王添進，台灣省雲林縣人，民國 63 年 2 月 4 日生。先後畢業於虎尾鎮立大屯國小、私立揚子中學、省立嘉義高級中學，87 年獲東海大學農學院學士學位，同年考取東海大學畜產研究所畜產品加工組，追隨恩師 吳勇初教授從事肉品加工之研究，承恩師之指導與支持鼓勵，於民國 90 年 5 月完成此論文。