

大氣冷電漿滅菌技術於水產食品之應用

郭科良、蔡慧君

水產試驗所水產加工組

前言

水產品因水分含量高，自家消化酵素活性強，容易遭受微生物的附著與增生而導致腐敗，因此滅菌技術在水產加工業更顯重要。傳統的滅菌方法大致可分化學性滅菌法(如臭氧、過氯酸鹽等)及物理性滅菌法(如紫外光、輻射照射、高溫高壓滅菌等)二種，前者成本便宜、快速，但卻有藥劑殘留及環境污染的問題；後者成本高、耗時，且有可能會因物理性的高強度破壞，而使品質劣變，降低產品價值。由於傳統的滅菌技術在實際運用上有許多瓶頸，故新滅菌技術的開發成為重要研究議題，其中大氣冷電漿滅菌技術 (Atmospheric cold plasma, ACP) 為一種非加熱型的滅菌法，可有效去除水產品的病原菌與腐敗菌，其原理是透過高電壓差讓氣體放電，形成大量的電子、離子與自由基等高活性帶電粒子去破壞細菌的細胞膜，使

其細胞內質流出，達到抑菌效果，且處理後的商品仍可保留較好的品質與風味 (Chen et al., 2018)。

水產品衛生指標菌規範

依據「冷凍食品類微生物衛生標準」(衛生福利部中華民國 108 年 8 月 15 日衛授食字第 1071303671 號令)，我國對於水產品的衛生指標菌規範，以總生菌數 (aerobic plate count, APC)、大腸桿菌與大腸桿菌群 (coliforms) 為主要的檢驗項目 (表 1)，其中以總生菌數為最常用，主要可作為食品衛生狀況之推論，提供衛生管理之參考，亦可用來說明食品之鮮度，進而設定新鮮水產品的保存期限。我國法規規定冷凍生食用魚介類總生菌數須在 10^5 cfu/g 以下，冷凍鮮魚介類則須在 3×10^6 cfu/g 以下，在初期腐敗的魚介類中，總生菌數可達 $10^5 - 10^6$ cfu/g。冷凍

表 1 冷凍食品類微生物衛生標準

類 別	項 目	生菌數 (cfu/g)	大腸桿菌 (MPN/g)	大腸桿菌群 (MPN/g)
冷凍鮮魚介類 (但冷凍生食用魚介類除外)		三百萬以下 (3×10^6)	10 以下	
冷凍生食用魚介類		十萬以下 (1×10^5)	陰 性	10 以下

鮮魚介類大腸桿菌須在 10 MPN/g 以下；生食用或即食魚介類檢測須為陰性，而大腸桿菌群在生食用魚介類中須在 10 MPN/g 以下。

大氣冷電漿滅菌技術原理

大氣冷電漿滅菌原理，主要有兩種說法（張等，2012），一種是藉由靜電崩解（electrostatic disruption），另一種為氧化作用（oxidation）。利用電漿處理後，微生物細胞膜會蓄積電荷，一旦總電荷超過細胞膜總抗張強度，細胞膜便會產生裂解，造成細胞溶質流出。微生物的細胞膜是由脂肽聚糖所構成，革蘭氏陽性菌其脂肽聚糖層較革蘭氏陰性菌厚，因此對於大氣冷電漿更具有耐受性。另一種是藉由氣體放電產生離子或自由基等帶電粒子，這些活性物種與微生物細胞膜接觸後，會產生一連串氧化反應，破壞細胞膜與正常酵素作用，並使 DNA 的合成產生突變，造成微生物無法維持原有的生理特性，最終使微生物死亡。

影響大氣冷電漿滅菌效果

影響滅菌效果的因子包含電漿操作條件參數（氣體種類、處理時間）、微生物種類等，以下就幾項主要因子進行介紹。電漿系統操作時須考量作用距離、使用氣體種類與流量等參數。電漿滅菌作用距離指的是電漿噴口與電極版間的垂直距離，及以噴流電漿接觸電極版為中心點，向外擴張之水平距離。Ma et al. (2008) 研究指出，垂直/水平距離越短，滅菌效果越顯著，然而現有的電漿滅菌設備

因無法移動，僅可應用於小範圍的滅菌處理，如可開發為可移動式，則可增加滅菌面積，更可符合商業滅菌需求及實際效益。鈍性氣體（如氦氣 He、氬氣 Ar）因有較低的放電電壓，且當有氧氣或氮氣存在時較能形成穩定的放電，因此被用來作為電漿滅菌的通入氣體。Lim (2007) 比較以氦氣加氧氣及氬氣加氧氣作為通入氣體的電漿滅菌效果，結果發現處理時間 30 秒時，氬氣加氧氣無明顯滅菌效果，而氬氣加氧氣組則可將枯草芽孢桿菌 (*Bacillus atrophaeus*) 孢子數降低 10^7 cfu/g。另 Colagar 等 (2010) 以氧氣及二氧化碳作為通入氣體，探討電漿滅菌技術對綠膿桿菌的抑菌效果，結果發現在相同的操作參數下，使用氧氣可降低 10^5 個對數 (orders) 的菌落數，而使用二氧化碳只有降低 10^4 個。不同微生物因其細胞構造及生化特性不同，利用電漿冷滅菌的效果也有所差異。例如微生物處於逆境時，會將細胞質收縮並進入孢子型態，此狀態的微生物停止任何的生理活性，耐受性增強，能抵抗乾燥、高溫與防腐劑的作用，因此處在孢子形態下的微生物，電漿滅菌效果也隨之下降。另微生物的菌數密度也是影響滅菌效果的因素之一，Deng et al. (2005) 研究結果顯示，測試菌數越高，滅菌效果越差，作者推測高密度的菌體容易產生堆疊，形成多層次結構，進而保護內部的菌體，因此降低了電漿滅菌的效果。

大氣冷電漿滅菌技術於鯖魚之實際應用

Chen et al. (2018) 探討利用大氣冷電漿

滅菌技術處理白腹鯖 (*Scomber japonicus*) 的滅菌效果，並藉由揮發性鹽基態氮 (TVB-N)、硫代巴比妥酸 (TBA) 數值、總生菌數與感官品評，來評估經滅菌後白腹鯖的品質。使用的大氣冷電漿裝置如圖 1 所示，此裝置是由高電壓電極與接地電極所組成，二電極間放置一個聚丙烯容器作為樣品架。將 6 片鯖魚片 (每片大小為長 60 mm、厚度 12 mm，重量 15 g) 放置於樣品架中並通以 0–70 KV 電壓，反應時間為 0–75 秒。結果顯示，以電壓 60 KV、處理時間 60 秒的滅菌效果最好，可降低初始總生菌數達 3.15 個對數值，且將處理後的魚片放置於 4°C 冷藏，其總生菌數在第 14 天時才達到初始腐敗 (菌數 10^6 cfu/g)。然未經滅菌處理的魚片則在第 6 天時即開始腐敗。另以官能品評分析貯藏不同天數的魚片氣味、質地、外觀及整體接受度，結果顯示經電漿處理後的魚片，在各項指標分數均高於未處理組。經電漿處理後

的組別，於 4°C 存放 6 天後 TVB-N 含量為 14.5 mg/100g，而未經處理組則高達 32.84 mg/100g (我國衛生標準為 25 mg/100g)；在脂質氧化方面，以電漿處理組的 TBA 值顯著低於未處理組。由以上各項指標顯示，電漿滅菌能延長水產品的保存期限，並且依然能保有良好的品質。

結語

電漿滅菌技術已廣泛的應用在醫療、食品 and 生物技術等領域，主要原理是利用電漿具有高電壓與低電流的特性，達到滅菌效果且對生物組織不會產生損害。電漿滅菌技術具有短時間、非熱處理及無化學溶劑的優點，惟實際運用在生鮮水產品的例子並不多，因此如何降低設備成本問題，以及建立標的微生物之最佳化滅菌條件，仍是目前尚待探討與研究的重點。

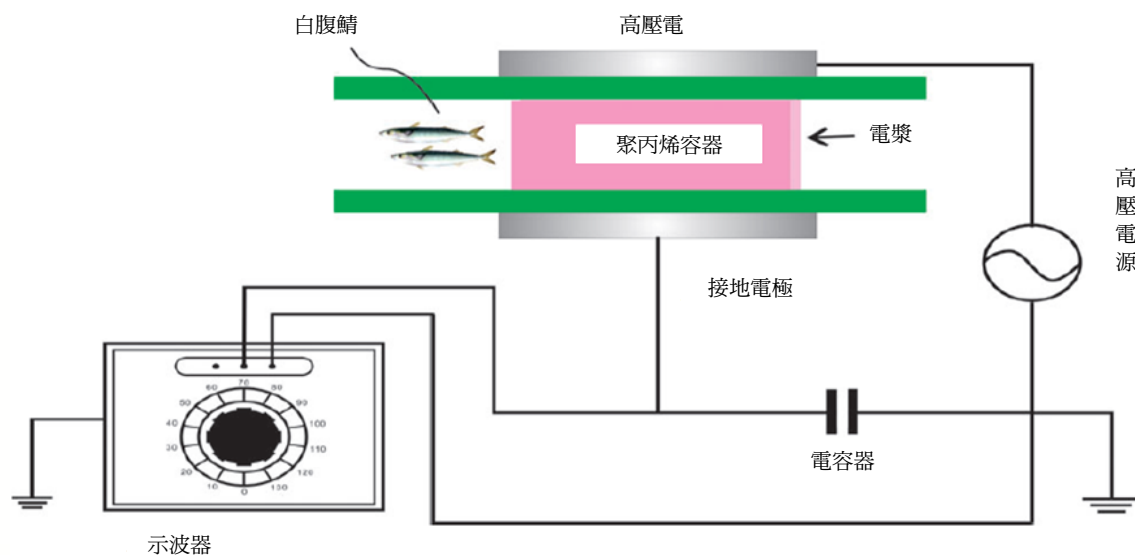


圖 1 利用大氣冷電漿裝置處理白腹鯖之示意圖 (修改自 Chen et al., 2018)