

淺談酸化罐頭食品殺菌製程、設備原理與溫度量測

魏軍豪¹ 江昱甫² 廖慧琳² 蕭惠文² 鄭維智² 闕麗卿² 蔡淑貞²

¹財團法人食品工業發展研究所 ²衛生福利部食品藥物管理署食品組

摘要

酸化罐頭食品之殺菌指標菌為大腸桿菌O157:H7 (*Escherichia coli* O157:H7)，使用巴斯德殺菌法即可達到殺菌強度要求，因此可運用之製程與殺菌系統較低酸性罐頭食品多元。酸化罐頭食品製程主要有熱充填與加熱升溫兩種，殺菌系統則可分為密閉式與開放式，兩種殺菌系統又分別可使用多種類的殺菌設備，包含不同形式的殺菌釜、殺菌機、熱水浴槽等，不同殺菌設備之構造及原理亦不同。故介紹各形式之殺菌設備原理，並說明如何了解產品內部之升溫情形，及殺菌值(Least Sterilization Value, LSV)的計算，確認產品LSV可達到0.2分鐘以上，以確保產品的衛生安全。

關鍵詞：酸化罐頭食品、殺菌值、LSV、殺菌設備

前言

回顧食品的技術發展，以「酸」來保存食品的保存技術已有相當久遠歷史，最早以酸來保存的是發酵食品，例如：酸菜、泡菜等，這些食品主要以食品中微生物產生的乳酸來保存食品，乳酸可同時抑制或破壞微生物或病原菌；不過，在食品保存技術中，亦可以添加酸的方式來降低酸鹼值(下稱pH值)，這些食品即稱作酸化食品。美國聯邦法規將酸化食品的定義及規範列於條文Part 114 (FDA, 2023)⁽¹⁾，其重點在於如何有效的對產品調酸及管控pH值 ≤ 4.6 。酸化食品若再經商業滅菌而可於室溫下常溫保存，即為酸化罐頭食品，國內將酸化罐頭食品之管理規範列於「食品良好衛生規範準則」(下稱GHP)⁽²⁾第八章「低酸性及酸化罐頭食品製造業」。

酸化罐頭與低酸性罐頭之殺菌方式，皆係

以熱殺菌為主，故其殺菌原理相似，僅為殺菌條件之差異。低酸性罐頭的殺菌指標為肉毒桿菌孢子，須採高溫高壓之加熱條件，但高溫高壓之加熱條件亦造成產品口感不佳、顏色褐變、包材材質與型態受限等缺點。

酸化罐頭食品因已調節pH值，pH值 ≤ 4.6 即可抑制肉毒桿菌生長，爰使用巴斯德殺菌法即可達到商業滅菌之要求，其殺菌條件多以80°C - 90°C相對較低溫的條件對產品加熱殺菌，除產品口味可能偏酸外，較可保留原料原有組織口感、保留食材原有色澤、包材選擇與殺菌方式亦較為多元，因此，本文將聚焦於酸化罐頭食品如何評估並建立殺菌條件及常用的殺菌設備。

酸化罐頭食品殺菌條件評估及建立方式

GHP定義酸化罐頭食品是以低酸性或酸

性食品為原料，添加酸化劑及(或)酸性食品調節pH值，使其最終平衡pH值 ≤ 4.6 ，水活性 > 0.85 之罐頭食品。透過名詞定義可以看出，pH值的管控極為重要，其風險核心在於產孢菌，當產品pH值 ≤ 4.6 時，可以抑制大部分的孢子菌生長，其中也包括了肉毒桿菌，因此透過降低pH值達到欄柵效果，可有效抑制大部分孢子菌生長。不過，此時仍存在有害微生物生長的風險，但這些非產孢微生物大多數耐熱性不佳，在環境溫度75℃以上，即可對其破壞。

根據美國農業部(USDA)委託北卡羅來納州立大學(North Carolina State University)研究學者Breidt等人研究發表之文獻(Breidt *et al.*, 2010)⁽³⁾，指出酸化罐頭食品常見之致病菌為大腸桿菌O157:H7、腸道沙門氏菌及李斯特菌，其中又以大腸桿菌O157:H7耐熱程度最高。美國對酸化罐頭食品之管理即參考該篇文獻，將大腸桿菌O157:H7定為酸化罐頭食品的殺菌指標微生物。在國內亦將大腸桿菌O157:H7做為酸化罐頭食品的殺菌指標菌。

若要將酸化罐頭食品達到5D (菌數量減少5個對數)的要求，依該文獻的參考溫度(T_{ref})為82.22℃ (180°F)，大腸桿菌O157:H7的z值(如圖一)為10.83℃ (19.5°F)，經工程計算可知，

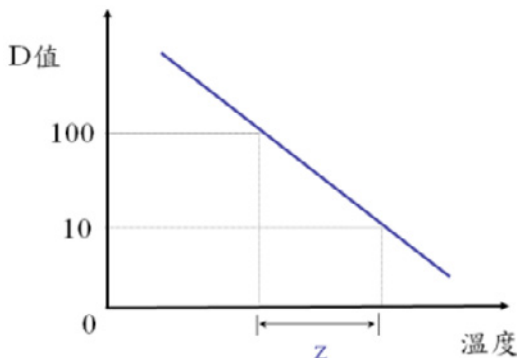
當大腸桿菌O157:H7達5D要求時，其LSV需高於0.1分鐘，以符合商業殺菌之要求。惟考量國內食品廠環境衛生、殺菌設備效能等未知因素，將安全係數提高1倍，殺菌程度提升為10D，等同於LSV達0.2分鐘以上。

針對不同的產品製程，如何建立殺菌條件，以達商業滅菌之要求，說明如下：

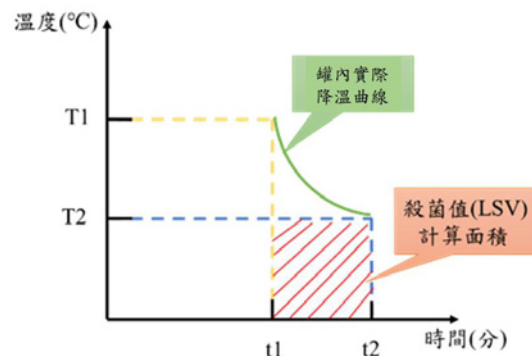
一、熱充填製程建立殺菌條件

熱充填製程的加熱技術，又可稱為降溫型殺菌，產品會先以加熱設備加熱升溫，其設備可以是二重釜(調理鍋)、殺菌機等，將產品加熱至中心溫度至少達85℃以上後，充填產品於包裝容器。透過產品所帶的餘熱對產品及其包裝容器殺菌，通常會配置恆溫型充填機，以維持充填溫度，並配合倒瓶輸送帶，將高溫產品流至瓶口處對瓶蓋及瓶口上部殺菌。此殺菌條件建立適用於降溫型殺菌模組(如圖二)，以量測容器內最冷點處的方式，並計算維持之時間，藉以計算其所達到的殺菌強度。以圖二為例，假設y軸產品充填溫度(T_1)為90℃，產品最冷點處溫度之管制下限(T_2)為75℃，x軸t1至t2為時間2分鐘，此產品的LSV即以中心溫度75℃，維持2分鐘做計算，即可求得該產品的LSV(如圖二斜線處)。

熱充填製程之產品，自充填溫度降溫至殺



圖一、z值為微生物D值減少90%所需要增加的溫度(單位℃)



圖二、降溫型殺菌模組

菌溫度下限之過程，同樣是具有殺菌效力，故實際殺菌強度是高於計算值。

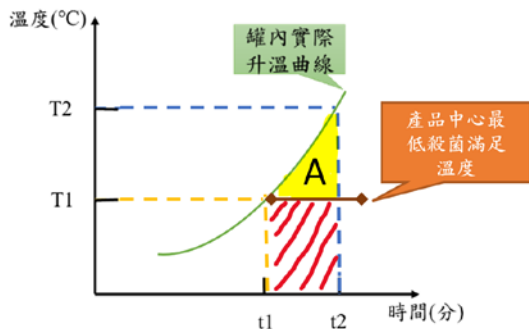
以熱充填建立殺菌條件須注意下列要點：

- (一)產品加熱溫度達設定溫度
- (二)產品充填溫度維持在管制下限以上
- (三)充填機(桶)是否具恆溫功能
- (四)產品充填後倒瓶時間
- (五)產品中心溫度及維持時間是否足以達到商業殺菌最低要求($LSV \geq 0.2$ 分鐘)

二、加熱升溫製程建立殺菌條件

加熱升溫型製程的加熱技術，其殺菌控制的關鍵在於後段的加熱殺菌步驟，因此前段無論熱充填或常溫冷充填都適用。

在升溫型的熱加工程序，使用的設備較為多元，可以是殺菌釜、熱水槽、回溫機等。無論使用何種設備，升溫型製程即是產品送入後，開始對其加熱。經蒐集產品內部溫度數據，即可得到升溫型殺菌模組溫度曲線，產品升溫趨勢如圖三。與降溫型相似處為皆以量測容器內最冷點處，並計算維持之時間，藉以計算其所達到的殺菌強度。以圖三為例，假設y軸產品中心最低殺菌溫度(T_1)為 75°C ，產品在殺菌終了溫度(T_2)為 80°C ，x軸 t_1 至 t_2 為中心溫度維持時間5分鐘，此產品的LSV以中心溫度 75°C ，維持5分鐘計算，即求得該產品的LSV(如圖三斜線處)。



圖三、升溫型殺菌模組

另可以發現產品中心溫度在 75°C 後還在上升，此情形為產品在持溫時間時，仍處於加熱環境的關係。因此實際殺菌強度應加上「A」區的殺菌效力，總計是大於原計算結果，實際安全係數高於計算值。

以加熱升溫建立殺菌條件須注意下列要點：

- (一)產品初始溫度
- (二)產品滿載數量(最大裝罐量)
- (三)產品充填量
- (四)後段殺菌之殺菌溫度
- (五)後段殺菌之殺菌時間(殺菌釜應留意升溫時間)

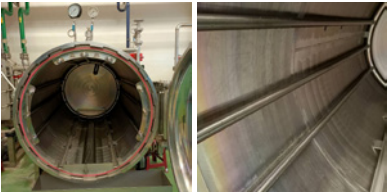
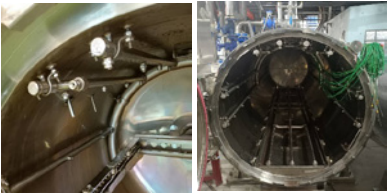
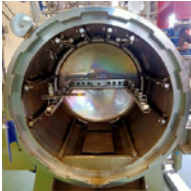
殺菌設備介紹

提到殺菌設備，大致可分為密閉式殺菌系統及開放式殺菌系統兩大類。密閉式殺菌系統(如表一)因為在密閉環境，可對殺菌環境加壓，利用過飽和蒸汽或超高溫熱水(100°C 以上)進行產品殺菌，但相對投入的設備成本較高；開放式殺菌系統以常壓環境殺菌，設備型態非常多元，如傳統常見的水浴槽、連續式熱水浴等設備(如表二)。但因為是常壓環境，所以加熱水溫無法超過 100°C ，但對於酸化罐頭食品來說已足夠。

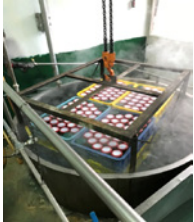
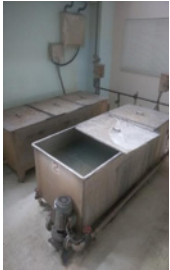
一、殺菌釜

- (一)殺菌釜之熱媒可分為蒸汽式與熱水式兩大類，傳統蒸汽式的殺菌釜，殺菌方式為透過底部噴汽管，將大量蒸汽噴入釜內進行升溫。蒸汽式殺菌釜的機械結構簡單，且蒸汽易於製造及保存，缺點為產生蒸汽需使用較多能源，成本較高。另殺菌升溫過程，因釜體會同時進行冷空氣的排氣，無法同時加壓，故對於內部空氣含量多的產品，例如；無法達到真空環境的殺菌軟袋、封膜式的PP碗等產品，容易因內部空

表一、密閉式殺菌系統

設備種類	設備特色	設備圖片
靜置式蒸汽臥式高壓殺菌釜	優點： 構造簡單，造價相對便宜；所需熱媒蒸汽易製造及儲存。 缺點： 蒸汽使用量大；排氣時無法加壓，對於產品內部空氣含量多無真空度者較不適合。	
靜置式熱水浸泡立式高壓殺菌釜	優點： 構造簡單，殺菌時可同時控制釜內壓力；可作為開放式設備使用 缺點： 用水量較大；釜內熱對流控制不易，須以加壓空氣進行擾動，調整不當容易造成設備熱分佈不均勻。	
靜置式熱水浸泡臥式高壓殺菌釜 (子母式殺菌釜)	優點： 殺菌時可同時控制釜內壓力；儲水桶可進行預熱，減少昇溫時間，及節省用水量。 缺點： 產品固定不當易造成散亂。	
靜置式熱水淋灑臥式高壓殺菌釜	優點： 蒸氣與用水量節省；包材種類可適性高；可自動化程度高。 缺點： 機械結構精密，需注意維護保養。	
靜置式熱水噴霧臥式高壓殺菌釜	優點： 蒸氣與用水量節省；包材種類可適性高；可自動化程度高。 缺點： 需注意水的硬度(軟水佳)，機械結構精密，需注意維護保養。	
旋轉式蒸汽/熱水臥式高壓殺菌釜	優點： 旋轉可加速產品內部熱傳，適用高黏度、高蛋白之產品。 缺點： 軟性包裝產品不適合。	
管式/板式熱殺菌機	優點： 熱交換面積大，熱效率高；產能大，設備投資成本較低。 缺點： 較適用低黏稠度、顆粒小之產品。	

表二、開放式殺菌系統

設備種類	設備特色	設備圖片
熱水立式殺菌釜 (未上蓋)	優點： 構造簡單，設備成本低，適用包材多元。 缺點： 殺菌軟袋產品易因浮力浮出水面，需以外力固定。	
批次式熱水浴槽	優點： 構造簡單，設備成本低。 缺點： 熱水溫度易分布不均。	
連續式熱水浴槽	優點： 可連續進行殺菌及冷卻，產量大。 缺點：應注意熱水溫度管制。	
二重釜	優點： 構造簡單，設備成本低。 缺點： 批量小，殺菌軟袋產品易因浮力浮出水面，需以外力固定。	
回溫機	優點： 適用寶特瓶連續式生產，可進行持溫與冷卻，產量大。 缺點： 占地面積大，廠區較小者，較受限制。	

氣膨脹造成密封破裂。熱水浸泡式的殺菌釜以熱水為主要熱源，其形態有立式及臥式(子母式)兩種，因為無排氣問題，故適用內部空氣含量多的產品問題。

(二)靜置式熱水淋灑或噴霧臥式高壓殺菌釜為國內常使用的新型式殺菌釜，兩者設備原理大致相同。

淋灑式殺菌釜的工作原理，在啟動時會注入釜內水，開始昇溫時會由循環馬達開始抽取釜內水，經過板式或管式熱交換器與蒸汽進行熱交換，再由釜內上方及左右兩側的噴水管小孔噴出細狀水柱，持續循環此步驟達到釜內昇溫及持溫殺菌的目的。

噴霧式殺菌釜工作原理，其釜內水進水模式與循環的方式和淋灑式相似，而噴霧式殺菌釜則會在噴水管出口加裝霧化器，使噴射出的水柱經過霧化器變成非常細小的霧化小水珠。不過在昇溫時，採以蒸汽管直接通入釜內，將蒸汽直接加熱釜內的霧化水珠，達到昇溫的目的。

熱水淋灑或噴霧式的殺菌釜，其使用之熱媒為釜內水，透過不斷的循環進行殺菌及冷卻，對於用水量及蒸汽使用量相對傳統蒸汽式殺菌釜較低，因此相對節能。透過全自動的電腦化控制，操作人員作業起來也較手動方式來的穩定，此外對於包材種類的適用性亦較多元。

二、管式/板式熱殺菌機

殺菌機分為管式熱殺菌機及板式熱殺菌機兩種，其作用方式是將具流動性的產品流過特定管路，在管路中以不直接接觸熱媒的方式進行熱交換，並快速升溫達到殺菌的目的。

(一)管式熱殺菌機是由機殼、產品流通管、擋板等部件組成，以機體中的產品流通管的管壁面作為熱交換媒介，藉由產品在管內流動，與管外的超高溫熱水進行熱交換，以達到加熱產品的目的，多用於黏稠度較高或含有小顆粒的產品。因管徑較大，所以當產品燒焦或結垢時，對產品的流動性影響較小。

(二)板式熱殺菌機是由多組波紋金屬板組成，板上有四個圓孔，供熱交換的兩種液體分別於密閉流道內通過，形成熱交換。板式熱殺菌機的熱傳面積大，多應用在黏稠性低的果汁或飲料類產品，較不適合含有顆粒、易燒焦或結垢的產品。

酸化罐頭使用熱殺菌機常見的做法為使用95℃左右，維持幾十秒的高溫短時間殺菌(High Temperature Short Time Sterilization, HTST)，並在殺菌機後接上保持管來達到持溫

殺菌。

三、水浴式(浸泡式)殺菌設備

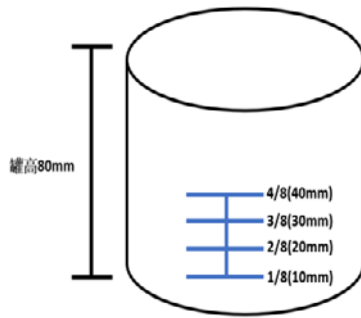
以水浴式殺菌設備進行酸化罐頭食品殺菌在國內非常常見，惟開放式水槽溫度偏差較大，實際水溫往往會與殺菌設定溫度有 $\pm 3 - 5^{\circ}\text{C}$ 的偏差。因此，建議使用水浴式設備的業者，在進行產品溫度量測時，將殺菌溫度設定在管制下限，例如當設備溫度設定90℃，但環境溫度可能會有 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的偏差，建議將殺菌溫度設定為設備溫度管制下限85℃，以確保產品衛生安全。以下為常見的水浴式殺菌設備介紹：

(一)水浴式熱水槽可分為批次式及連續式的水浴槽設備，批次式產品需要於殺菌籃框裝列整齊後，垂吊進水槽，殺菌後再吊掛出來，此殺菌設備機械結構簡單，成本較低。亦有業者將二重釜做為熱水槽的概念，用於產品密封後殺菌。對於產量較大的工廠，則多採連續式水浴槽設備，以輸送帶將封裝後的產品帶入水浴槽中，可藉由控制輸送帶的速度調整產品殺菌時間。

(二)回溫機，又可稱冷卻機或回溫殺菌機，可用於產品殺菌後冷卻，亦可作為加熱殺菌設備，其原理為在回水處加上熱交換設備，以循環的熱水對產品進行殺菌。產品採輸送帶送入回溫機，機器類似一座隧道，利用隧道內部噴水管淋灑的熱水作用，達到升溫殺菌的效果。不過，大部分的回溫機機體較大，對於廠地面積有一定的要求，因此，在廠區面積較不足者，多以Z字型的方式來回輸送，延長滯留時間。

食品內部升溫量測方法

在實際量測上，我們必須了解如何有效的取得罐內冷點(Cold Spot)位置、蒐集熱傳數



圖四、罐頭冷點位置1/8-4/8處

據，以計算LSV。若產品充填於鐵鋁罐、PP瓶、玻璃瓶等包材，在量測溫度時，須先取得該產品的冷點位置。取冷點位置的方式，可在產品內部1 / 8 – 4 / 8高度位置(如圖四)分別蒐集罐內溫度數據，以確認該產品在整個殺菌製程的冷點位置，即品溫上升最慢處。至於該用何種量測工具，可依殺菌設備及產品特性選擇合適的量測設備。例如：密閉式殺菌設備的量測工具必須要能進到殺菌釜內紀錄溫度；開放式設備就比較簡單多元，例如類比式溫度計，如酒精、水銀溫度計等，數位式溫度計，如熱電偶等；如果產品有含固形物，如脆瓜、破布子等，則必須選擇可以穿刺固形物的探針。有效蒐集罐內溫度數據，才能順利的計算LSV，LSV計算公式如圖五。

結 論

隨著新興市場不斷的開發，讓罐頭食品產業可以穩定的成長。但蓬勃發展的商業環境，食品的安全性更顯重要。對於罐頭食品而言，酸化罐頭食品所需要的熱殺菌強度，相較於低酸性罐頭食品來的低，但仍須讓產品達到商業殺菌最低要求，即 $LSV \geq 0.2$ 分鐘。雖然熱加工技術的程序並不困難，但因為選擇殺菌設備及設定殺菌條件，沒有制式標準程序，可使用之殺菌設備非常多元，但核心目的皆為找

$$LSV(\text{min}) = 10^{\frac{T-T_{\text{ref}}}{z}} \times t$$

指標菌為 *Escherichia coli* O157:H7

T：產品下限溫度

T_{ref} ：82.22°C

z：10.83°C

t：產品下限溫度維持時間(分鐘)

圖五、LSV計算公式

到產品「殺菌下限溫度」與「殺菌溫度維持時間」。

為強化業者自主管理責任，酸化罐頭食品工廠之殺菌製程，應對於產品配方、殺菌設備與包裝容器尺寸，具整體評估的能力，以確保產品的食用安全。

參考文獻

1. U.S. Food and Drug Administration. CFR - Code of Federal Regulations Title 21. Part 114. ACIDIFIED FOODS. Page Last Updated: 03/10/2023
2. 衛生福利部。2014。食品良好衛生規範準則。中華民國103年11月7日部授食字第1031301901號令發布。
3. FREDERICK BREIDT, K. P. SANDEEP and FLETCHER M. ARRITT. Use of Linear Models for Thermal Processing of Acidified Foods. 2010. Food Protection Trends, Vol. 30, No. 5, Pages 268–272.

The Assessment Method for Sterilizing Value of Acidified Canned Food

JYUN-HAO WEI¹ YU-FU CHIANG² HUEI-LIN LIAO², HUEI-WEN SHIAU²,
WEI-CHIH CHENG², LIH-CHING CHIUEH² AND SHU-JEAN TSAI²

¹Food Industry Research and Development Institute ²Division of Food Safety, TFDA, MOHW

ABSTRACT

The sterilizing indicator bacteria of acidified food in thermo sterilization of acidified canned food is *Escherichia coli* O157:H7 (*Escherichia coli* O157:H7), and the pasteurization method can meet the sterilization intensity requirements. The process and sterilization system are more diverse than low-acid canned food. The process can be mainly divided into two types: hot filling process and heating process, and the sterilization system can be divided into closed sterilization system and open sterilization system. The two sterilization systems can use various types of sterilization equipment, including different forms of sterilization kettles, sterilizers, hot water baths, etc. The structure and principle of different sterilization equipment vary; hence, the principles of each form of sterilization equipment are introduced, and an explanation on how to understand the internal temperature of the product, along with the calculation of the least sterilization value (LSV), to confirm that the product's LSV exceeds 0.2 minutes, in order to ensure product hygiene and safety.

Key words: acidified canned food, sterilization value, LSV, sterilization equipment