

# 非加熱式食品滅菌技術的比較和應用

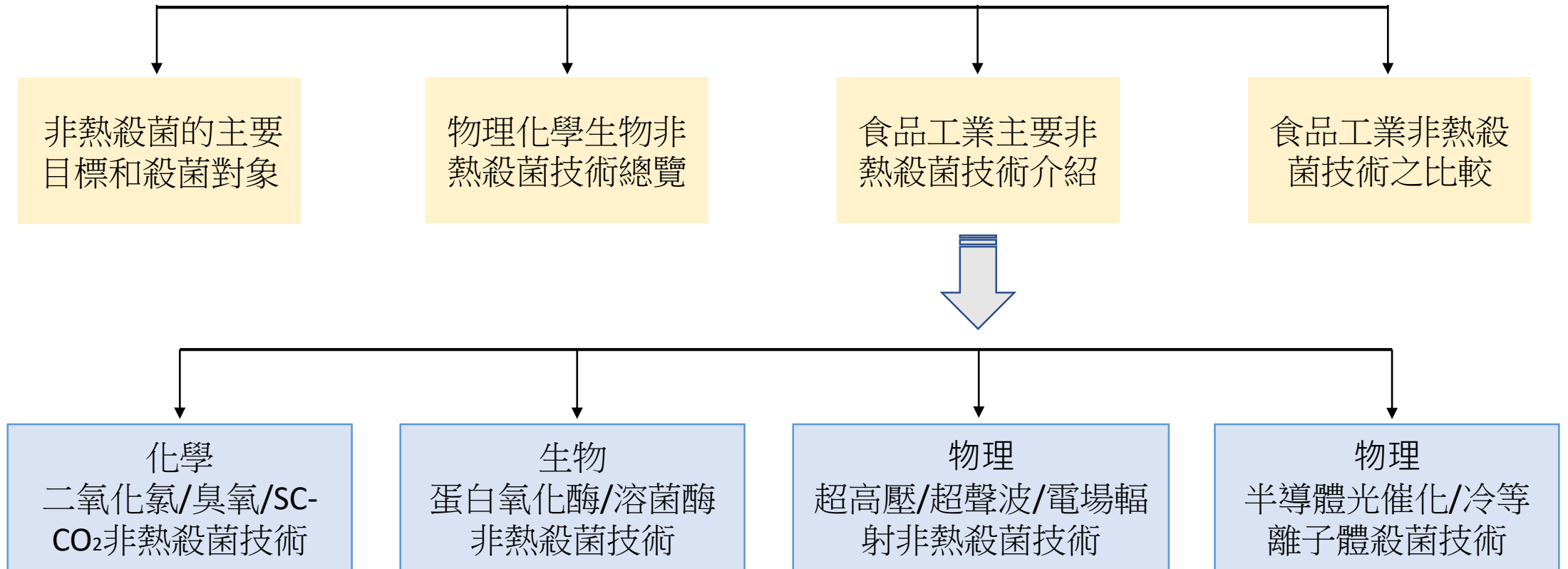
---

佛山科學技術學院食品科學與工程系

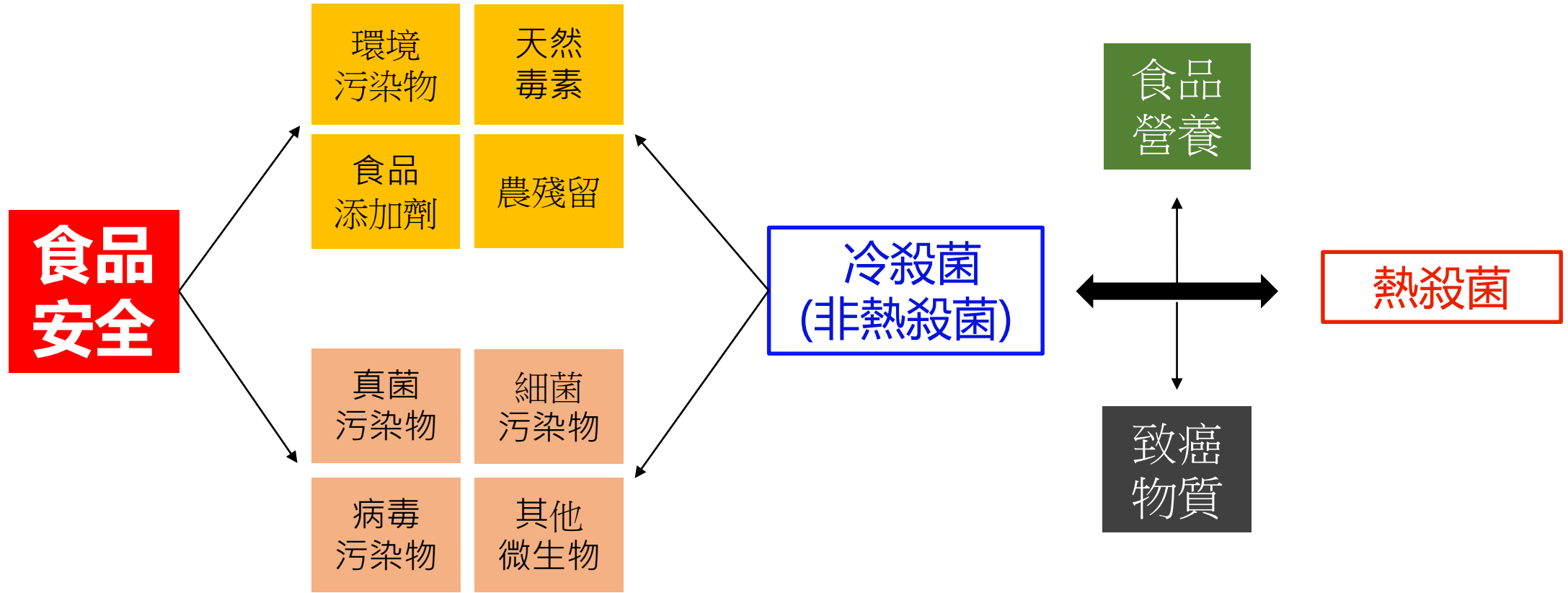
辛美果 博士

meiguo@fosu.edu.cn

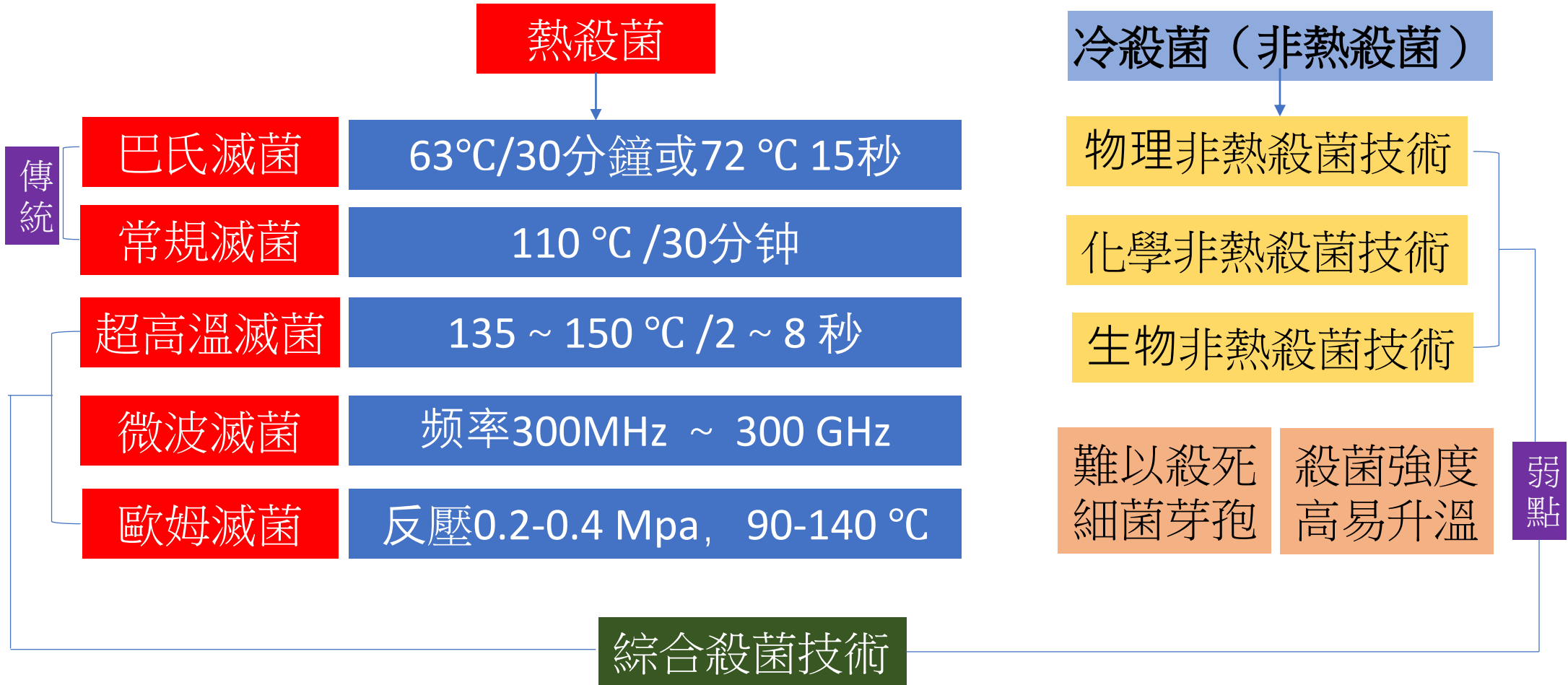
# 演講內容



# 食品非熱殺菌 vs 食品熱殺菌



# 食品殺菌技術總覽



# 先進化學非熱殺菌技術

## 二氧化氯 $\text{ClO}_2$ 殺菌

$\text{ClO}_2$ 只有行業標準，沒有國家標準



設備由儲藥罐和計量泵組成，結構簡單，佔地面積小，操作方便，可連續運行

有效殺死導致果蔬腐爛的細菌，降低果蔬採摘後的腐爛率

食品防腐  
保鮮

生產設備及空間  
環境的消毒處理

## 臭氧殺菌

2001年FDA列為可與食品接觸的添加劑



超長壽命的石英結構放電單元，放電均勻，臭氧產量大，濃度高，不產生有害污染，手提便攜。

滅菌時效是氯的300-600倍，紫外線的3000倍，能夠消滅水中一切對人體有害物質，包括重金屬及有機物。

生產用水的  
殺菌淨化

食品冷庫保鮮  
冷庫的消毒

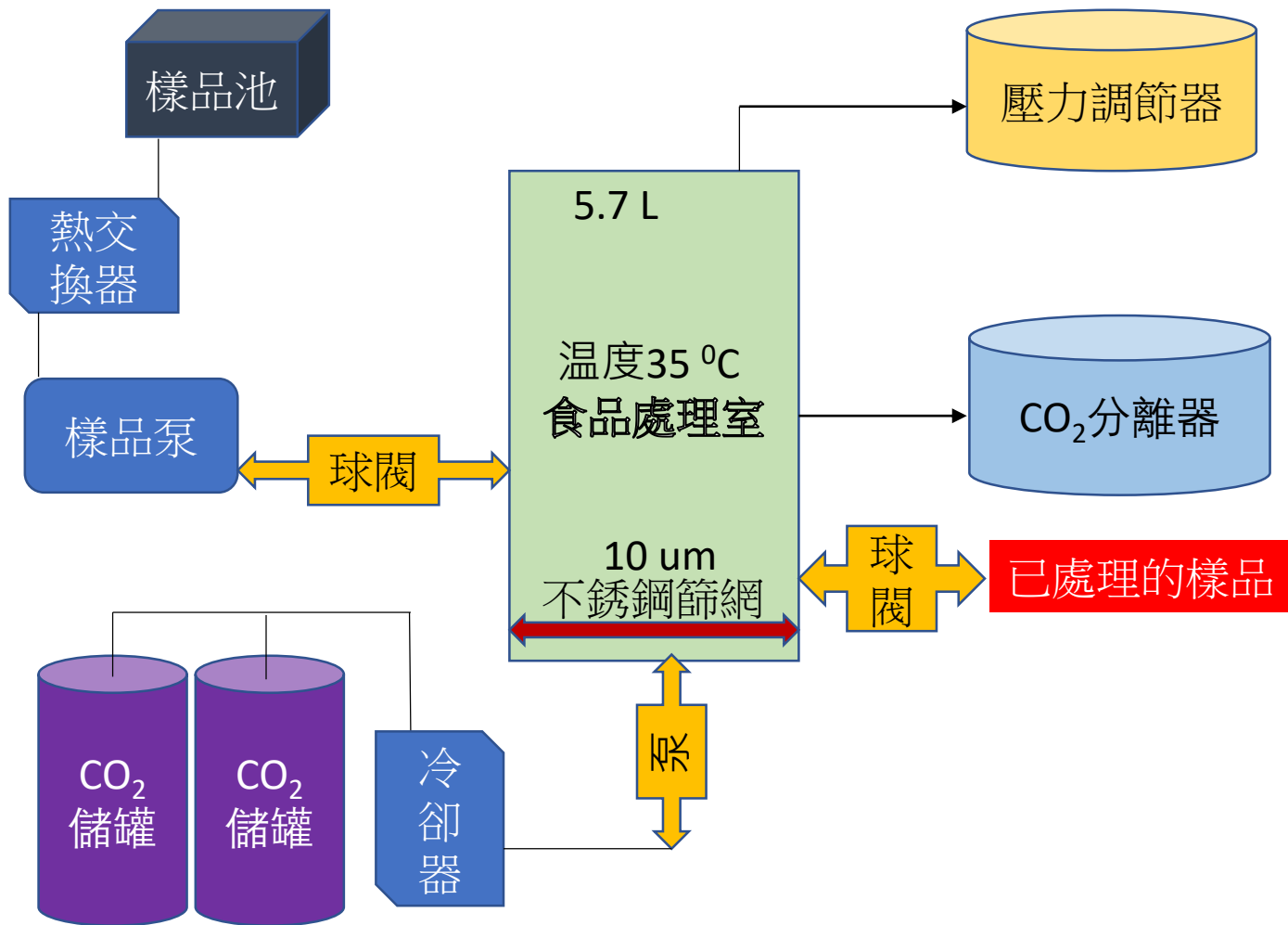
設備

應用

設備

應用

# 先進化學非熱殺菌技術-超臨界二氧化碳



## 動態超臨界CO<sub>2</sub>滅菌

溫度高於31 °C，壓力高於7.34 Pma，CO<sub>2</sub>處於超臨界，具備氣體和液體特徵，黏度低，擴散性和溶解度高。能有效殺滅各種細菌和真菌以及微生物孢子

營養損失少 安全性高 時間短  
溫度低 無殘留 無污染

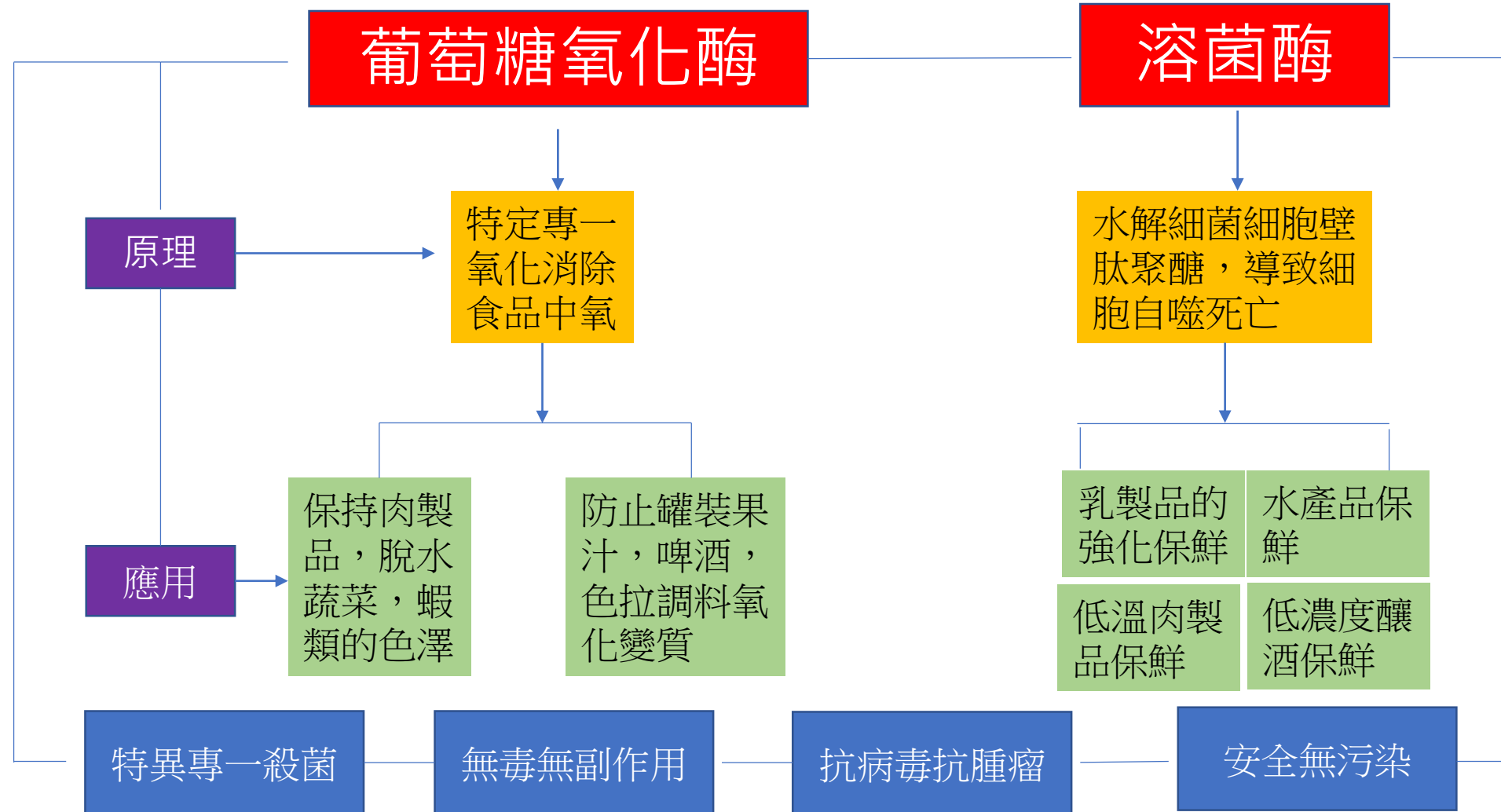
液態食品：牛奶，啤酒

固態食品：牛肉，鮮切果蔬

# 先進生物非熱殺菌技術

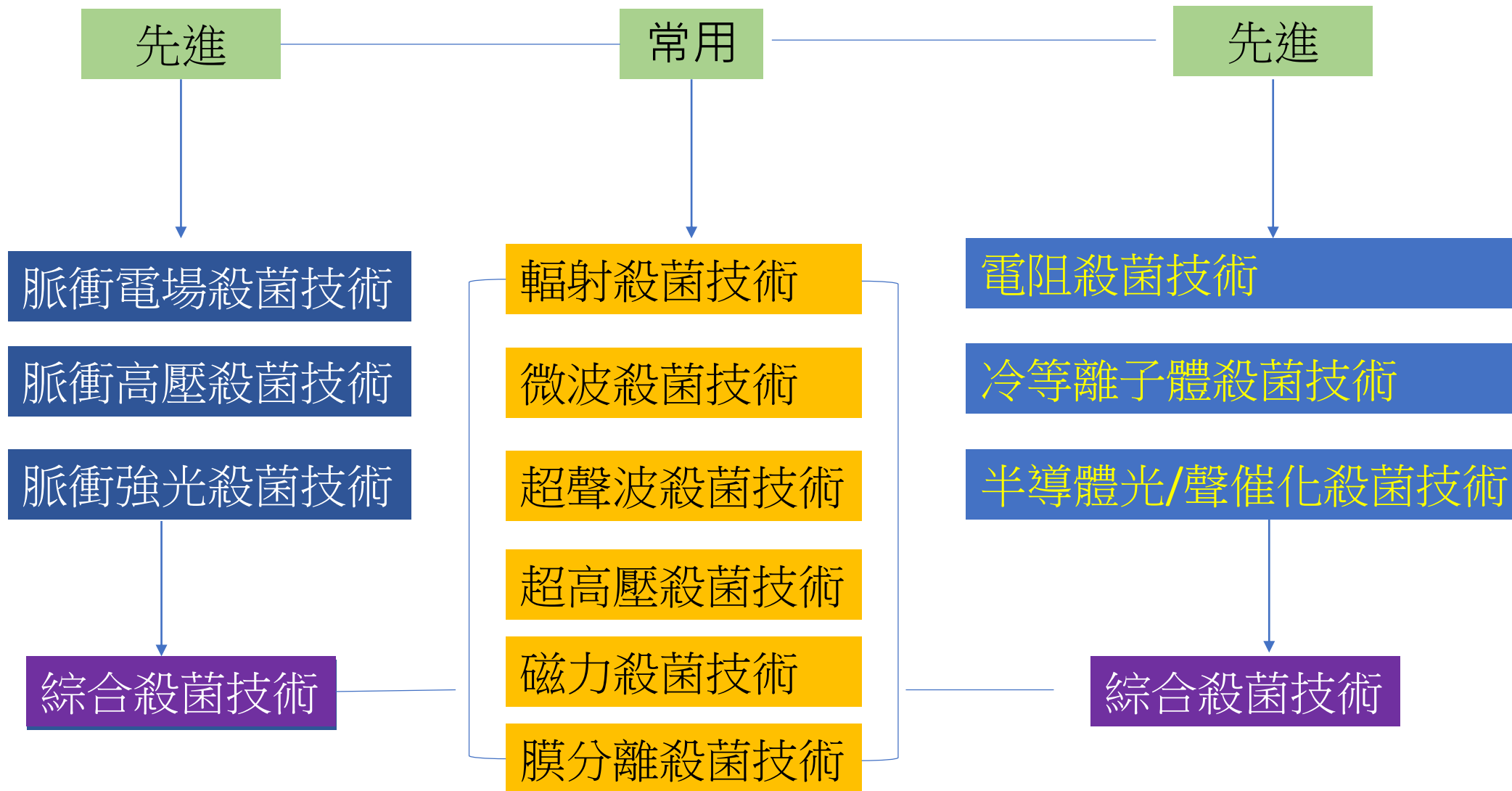


# 先進生物非熱殺菌技術-酶殺菌





# 先進物理非熱殺菌技術



# 先進物理非熱殺菌技術-超高壓、輻射、超聲波

## 超高壓殺菌技術



採用觸摸控制，殺菌精準控制，可根據不同食品設置流程，殺菌均勻，保證殺菌前提下，保存不同食品的色香味口感

醃菜：提高保存率，實現低鹽化  
果醬殺菌：保持果實色香味和  
Avure(USA), Hiperbaric(Spain), Multivac(Germany). 2015年98億美元-2025年550億美元

## 輻射殺菌技術



食品用： $^{60}\text{Co}$  &  $^{137}\text{Cs}$  伽馬射線；電子流 (10 MeV)；X-ray (5 MV) 50Gy ~ 10kGy。不影響食品風味和營養。小於10 kGy照射食品安全。Labelled "Radura"

肉類，水產品，蛋類：10KGy輔以1%CO氣體，溫度肉紅色8週  
果汁，營養口服液，葡萄汁，柑橘汁：13KGy，顯著延長保存時間，且不影響色香味

## 超聲波殺菌技術



有液動式，清洗槽式，變幅桿式超聲波設備。與臭氧、微波、激光，納米二氧化鈦等協同滅菌，效果更好。

豬肉解凍：500kHz, 1.5-2.5h。  
蔗糖乾燥：16-50kHz, 聲強150 dB, 16min, 完全乾燥。  
分離提取：19.3kW, 醬油1-2min  
澄清保一年。葡萄酒澄清1-2小時  
空化作用，乳化均質，輔助結晶

# 半導體光非熱殺菌技術



空氣淨化器



殺菌燈

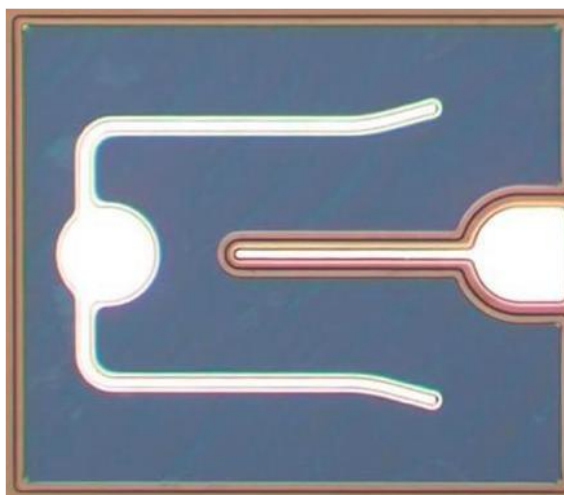


消毒燈



淨水器

**UVC半導體殺菌：波長100-280nm的紫外線。時間短，殺菌消毒效果強，滅活病毒徹底**



半導體光芯片

- 1) 提升UVC半導體芯片性能（採用矽鎂參雜梯度技術）
- 2) 提升殺菌效率（理論265nm最好，但芯片易碎）
- 3) 改善散熱（採用陶瓷基板的封裝材料）
- 4) 降低成本（降低芯片製造成本）

## 半導體光殺菌機器人

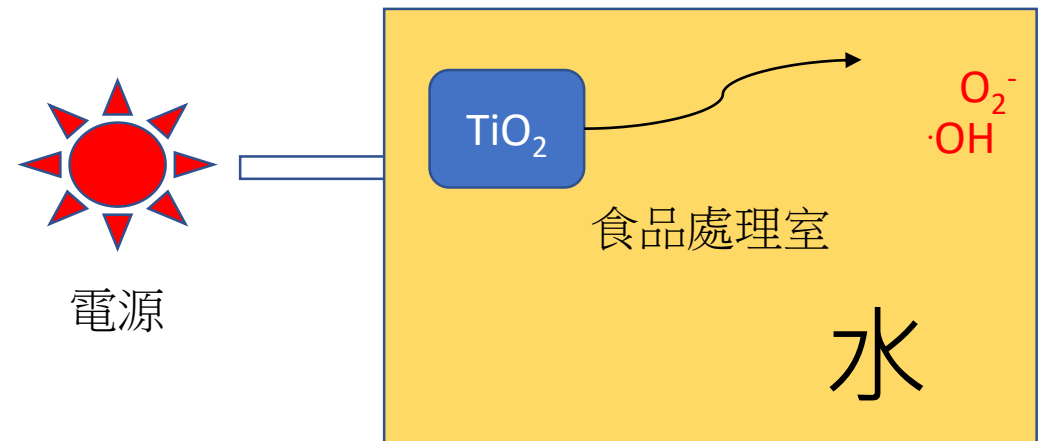


# 半導體光非熱殺菌技術的應用

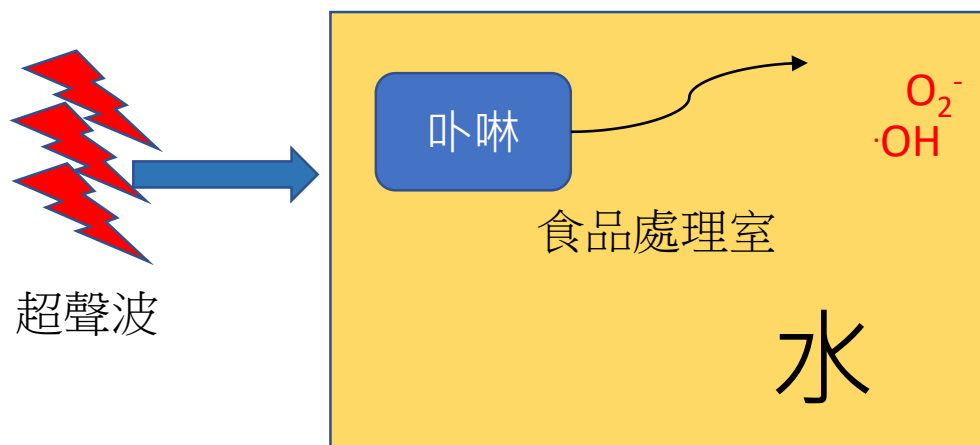
飲用水的深度處理：殺死大多數微生物（大腸桿菌，乳酸桿菌，酵母菌）。礦化絕大多數有機污染物（三氯甲烷，四氯化碳，六氯取代苯，六六六等）  
食品浸泡在水里殺菌處理：容易商業化

基於半導體封裝設備的食品殺菌技術：食品在半導體封裝設備內，防氧化及真空殺菌

半導體光誘導黑色納米二氧化鈦的食品滅菌技術：



# 聲動力非熱殺菌技術



聲敏劑形成活性氧的殺菌效果

卟啉 +  $O_2$  + 超聲波 --- ROS.



穿透力强

靶向性好

滅菌效果佳

聲敏劑的選擇

卟啉類化合物，黃原酮類

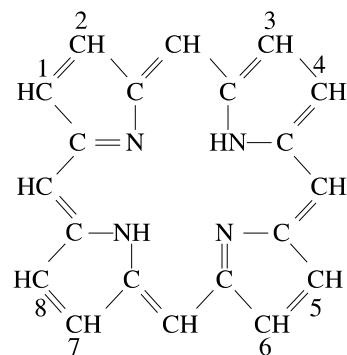


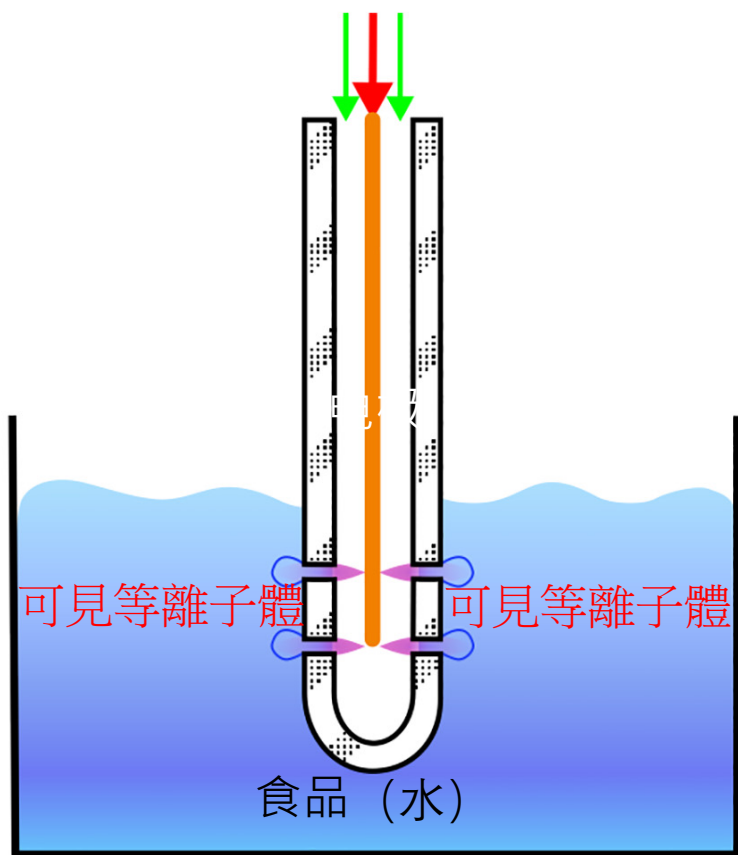
图2 卟啉结构式

聲敏劑納米化  
聲敏劑包合物  
聲敏劑+抗菌肽  
聲敏劑+脂質體

抗菌食品包裝材料

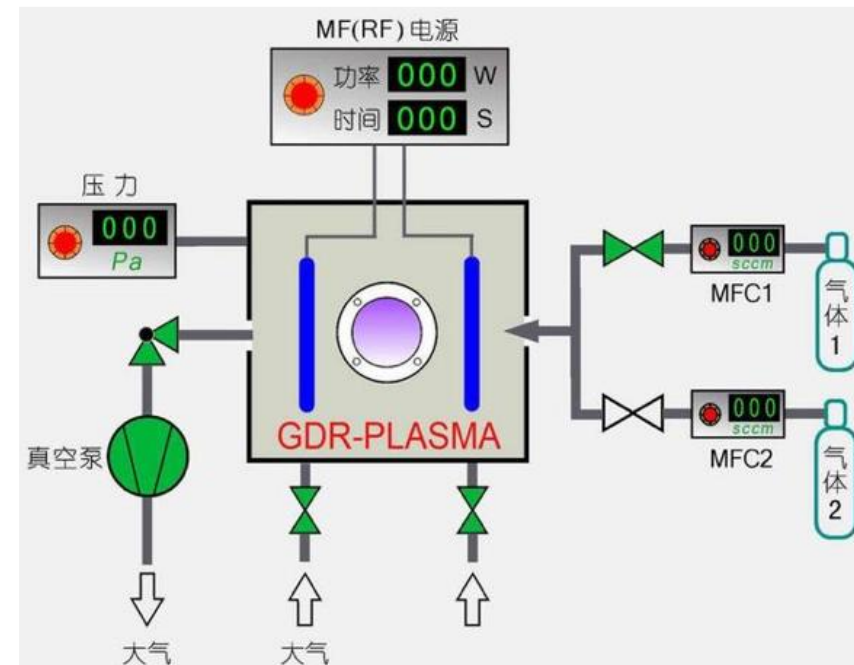
# 冷等離子體非熱殺菌技術

等離子體包括：電子，離子，原子，紫外線，帶電荷。



氣體組分  
電壓大小  
處理時間  
離子密度

可見等離子體



1993年通過FDA認證

蛋白質變性

細胞破裂

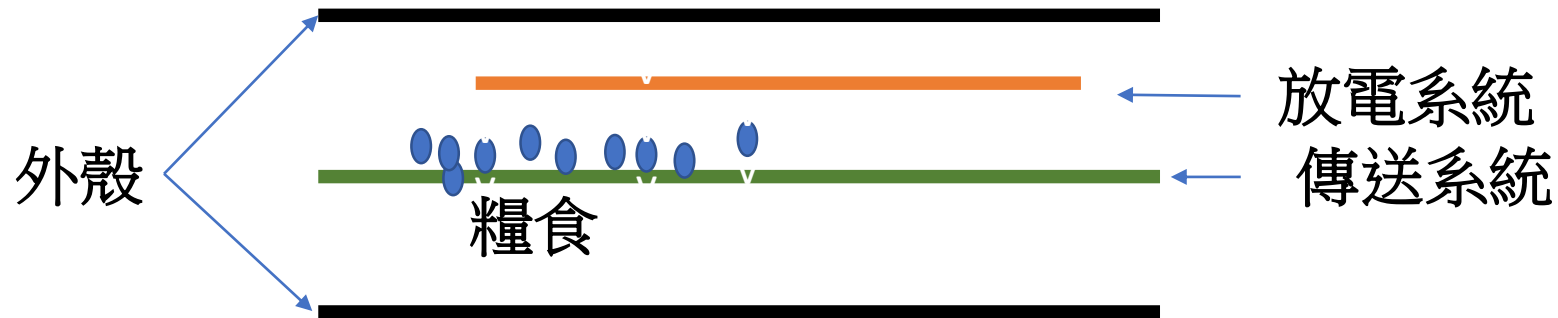
DNA損傷

脂過氧化

# 冷等離子體非熱殺菌技術之應用

果蔬制品	肉製品及水產品	乳製品	堅果製品
<p>鮮切甜瓜：60kV，60min 總噬溫菌：3.4 log 乳酸菌：2 log 總噬冷菌：&lt; 1.0 log</p> <p>蘿蔔泡菜：60kV，1min 產氣酵母菌：4.0 log</p> <p>白葡萄汁：80kV，4min 酵母菌：7.4 log</p> <p>椰汁：90kV，2min，冷24h 大腸桿菌：5.0 log 单增李斯特菌：5.0 log</p>	<p>火腿：150W，2min 单增李斯特菌：1.73 log</p> <p>雞狗肉：50kHz，2min 单增李斯特菌：4.73 log</p> <p>牛肉乾：15kHz，10min 大腸桿菌：2.65 log 单增李斯特菌：2.36 log 鼠傷寒沙門氏菌：3.03 log 黃曲霉：3.10 log</p>	<p>奶酪：15kHz，10min處理</p> <p>大腸桿菌：3.2 log 单增李斯特菌：2.1 log 鼠傷寒沙門氏菌：5.8 log</p>	<p>榛子：300W，5min 寄生曲霉：6 log</p> <p>花生：300W，20min 寄生曲霉：4 log</p> <p>開心果：300W，20min 寄生曲霉減少5.5 log</p> <p>杏仁：549W，20s 大腸桿菌6cm處：1.34 log 沙門氏菌4cm處：1.16 log</p>

# 冷等離子體非熱殺菌技術之應用



冷等離子體處理顯著提高了小麥籽粒新鮮度，有助於改善其生理特性，延長安全儲備週期。與此同時，增加了小麥中蛋白質大分子聚合體含量，說明冷等離子體處理有利於增強麵筋蛋白聚合度增加麵筋強度，改善小麥的食用品質。

商業化前景：

- 1) 所用氣體的安全性
- 2) 離子與食品介質的作用產物
- 3) 處理結果的重複性
- 4) 工業擴大規模
- 5) 技術轉移可靠性
- 6) 費用
- 7) 設備的維護



雙頭流水線全自動冷等離子體表面處理機



# 主要非熱食品殺菌技術之比較

非熱殺菌技術	優點	缺點	食品工業上的應用	備註
(化學) 二氧化氯/臭氧非熱殺菌	無死角，無殘留，無污染，殺菌廣譜	成本高，尚不能直接作用於食品	食品加工車間，環境消毒	
(化學) 超臨界二氧化碳非熱殺菌	營養損失少，溫度低，時間短，安全無污染	成本高	咖啡裡脫咖啡因	
(生物) 蛋白酶/溶菌酶非熱殺菌	滅菌專一，特異性強，安全無污染	受不同食品成分及處理條件影響大	肉製品，水產品保鮮。飲料啤酒保存	
(物理) 半導體光催化非熱殺菌	殺菌效率高	受材料和食品成分影響大	飲用水的深度處理，食品增白劑殺菌	
(物理) 冷等離子體非熱殺菌	殺菌快，副產物無毒，低成本	較小工作表面，穿透裡不強，增加食品脂肪氧化，減少食品色澤	糧食，鮮切水果，乳品，肉製品，水產品，堅果	細菌病毒可能不徹底死亡

# 主要物理非熱食品殺菌技術殺滅食源性病毒比較

非熱殺菌技術	對食源性病毒的作用效果	優點	缺點	主要食源性病毒
超高壓殺菌	能有效滅活食源性病毒，但跟病毒的外殼蛋白，實驗條件等有關	對食品營養和品質影響小，食品形狀大小不受影響。時間短，包裝後亦可	食品必須含有超過40%水才有滅活病毒效果。受病毒結構影響	1) Human norovirus 人諾羅病毒 2) Human Rotavirus 人輪狀病毒 3) Hepatitis A Virus(HAV) 甲型肝炎病毒
冷等離子體殺菌	能有效殺滅食品中的病毒。腸道病毒在水和液態食品中被成功滅活	高效滅活各種食源性病毒，時間短，低成本，可在包裝裡	滅活效果受病毒種類，食品屬性，操作條件有關	4) Hepatitis E Virus(HEV) 戊型肝炎病毒 5) Human Astrovirus (HAstV) 人星狀病毒 6) Aichi Virus (AiV) 愛知病毒
紫外燈殺菌	單鏈病毒比雙鏈病毒更容易被殺滅，跟食品成分，病毒種類等很多有關	對食品感觀營養影響小，容易操作，適合於食品表面	受食品成分影響大，不同病毒滅活效果不同	7) Sapovirus (SaV) 沙波病毒
電離輻射殺菌	腸道病毒比細菌，寄生蟲，真菌抵抗力強，滅病毒效果跟病毒大小，食品介質，劑量，溫度有關	高效滅活，能滲透食品裡，包裝後亦可，適合大規模工業化	消費者接受度低，安全管控嚴	8) Human Adenovirus (HAdV) 人腺病毒 9) Enterovirus (EV) 腸道病毒
脈衝電場殺菌	滅活病毒尚在研究中	保營養，處理時間短，節能	受食品成分影響大	10) COVID-19 新冠病毒

# 主要非熱食品殺菌技術在世界一些國家應用狀況

國家	食品	冷殺菌技術	備註
阿根廷	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 水果, 植物, 蔬菜, 牛肉</li> <li>2) 非酒精飲料, 牛奶</li> <li>3) 非酒精飲料, 植物</li> <li>4) 蔬菜, 調料, 海鮮產品</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 超高壓殺菌</li> <li>2) 脈衝電場</li> <li>3) 超聲波</li> <li>4) 電離輻射</li> </ol>	
巴西	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 非酒精飲料, 蔬菜, 肉類, 牛奶製品, 水果</li> <li>2) 麵包, 非酒精飲料</li> <li>3) 肉類, 水果, 寡聚醣, 牛奶, 香料</li> <li>4) 水果, 蔬菜, 肉類, 海鮮, 蛋, 花, 豆穀類</li> <li>5) 寡聚醣</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 超高壓</li> <li>2) 脈衝電場</li> <li>3) 超聲波</li> <li>4) 電離輻射</li> <li>5) 冷等離子體</li> </ol>	
智利	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 水果, 非酒精飲料, 豆類, 植物, 海鮮</li> <li>2) 植物plant</li> <li>3) 蔬菜</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 超高壓</li> <li>2) 超聲波</li> <li>3) 電離輻射</li> </ol>	
哥倫比亞	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 蔬菜, 非酒精飲料</li> <li>2) 海鮮</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 超高壓</li> <li>2) 超聲波</li> </ol>	
墨西哥	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 麵包, 牛奶, 非酒精飲料, 水果</li> <li>2) 非酒精飲料, 發酵飲料, 牛奶, 蛋白</li> <li>3) 植物, 水果, 非酒精飲料, 蔬菜, 蛋白, 蜂蜜</li> <li>4) 水果, 牛奶, 種子</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 超高壓</li> <li>2) 脈衝電場</li> <li>3) 超聲波</li> <li>4) 電離輻射</li> </ol>	

# 主要非熱食品殺菌技術之總結

1. 非熱殺菌比熱殺菌有很多優點，能更好保持食品營養成分及風味，減少因熱加工造成的許多不健康副產品。
2. 物理非熱殺菌技術在當今食品工業佔據主導地位，可以應對大規模的食品加工需要。但是綜合非熱殺菌效果更好。
3. 食品製造商應根據不同食品不同場景選擇相應的食品非熱加工方法。食品非熱加工技術的推廣需要政府，研究機構和食品生產廠家的協同合作。
4. 世界範圍內，政府高校及工業界廣泛認可的食品非熱殺菌技術：1) 超高壓；2) 微波（熱）；3) 紫外燈；4) 脈衝電場；5) 電離輻射。世界上正在廣泛研究的食品非熱技術：1) 超高壓；2) 脈衝電場超聲波；3) 電離輻射；4) 冷等離子體。
5. 未來五年最有可能商業化的非熱殺菌技術：1) 脈衝電場殺菌，2) 超高壓殺菌，3) 電離輻射。
6. 未來十年排前三的非熱殺菌技術：1) 超高壓；2) 冷等離子體；3) 脈衝電場。

# 合作單位

---

- ❖ 佛山科学技术学院
- ❖ 华南理工大学
- ❖ 广东省食品智能制造重点实验室
- ❖ 清华大学深圳研究生院
- ❖ 华南食品安全研究发展中心
- ❖ (中美合资) 广东合辛食品有限公司

**感謝  
聆聽**