

紫外線殺菌(一種新的無菌化操作技術)

郭鴻均

海洋大學水產食品科學系

一、紫外線(Ultraviolet)

1. 電磁波與紫外線：

電磁波的種類很多，紫外線亦是電磁波的一部份。它的波長範圍非常的寬廣，運用在通訊上的電磁波波長可以從數米至數千米，X射線的波長則可以小至幾千萬分之一米。圖1、圖2中顯示紫外線的波長範圍在100~400nm，是介於X射線與可見光間的電磁波。(1mm=10nm, 10mm=1cm, 100cm=1m)。

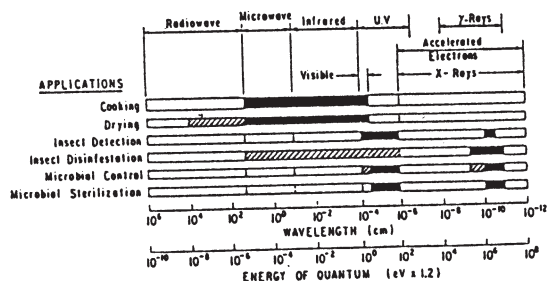


圖1電磁波光譜的各部名稱

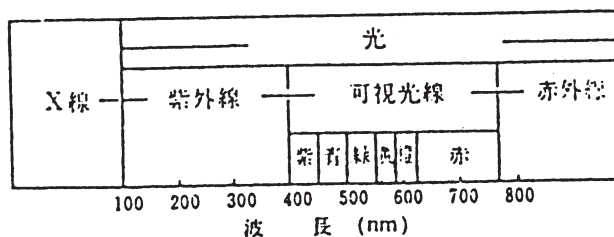


圖2光波波長名稱

2. 紫外線的分類：

不同波長的紫外線所產生的物理作用與化學作用性質不同，對於生物的生理作用亦不相同。依據波長或性質而有幾種不同的分類。圖3的分類是依據所引起的生物效應而分為UVA、UVB與UVC。UVA會使皮膚變黑議會引發產生某些物質，UVB則會使皮膚產生紅斑，日光中會引起生物活性(Biologicd Activity)及具有危險性的正域都屬於此範圍。UVC則具有殺菌效能目前工業上所應用紫外線殺菌燈(253.7nm)都隸屬於此範圍。圖4是紫外線光譜與分類名稱。

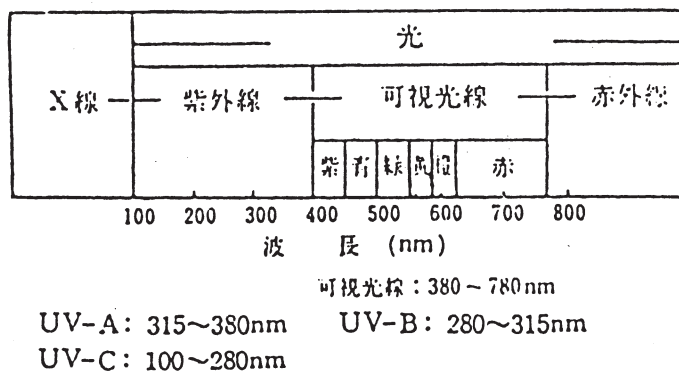


圖3 紫外線分類

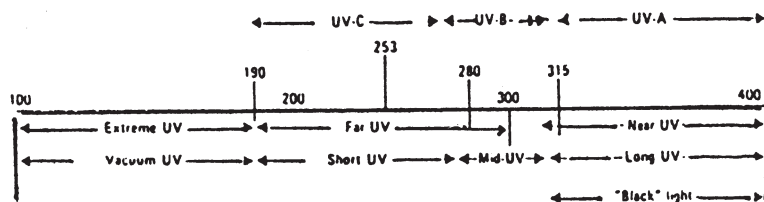


圖4 紫外線光譜各種分類與名稱

3. 紫外線的來源：

紫外線的光源可分為天然及人造兩類，前者如太陽後者如紫外線燈。當物體在達到2500° K以上高溫時便會自然發射出在紫外線能量範圍內的質子。不過來源不同的紫外線它的光譜並不相同，即使是來源相同但產生的條件不同所的光譜亦不相同。

4. 太陽光與紫外線：

太陽所發射的電磁波在大氣層外尚包含有X-射線範圍的波段，但經過臭氧層(Ozone layer)及受到空氣中氣體分子、水蒸氣、塵埃等物質吸收，到達地表時僅剩下波長在290nm以上的紫外線了，圖5及表示日光得變化情形。須注意者

直射的日光，所具有的殺菌力並不是因紫外線的原故而是利用所產生的臭氧來殺菌。

表1 紫外線來源

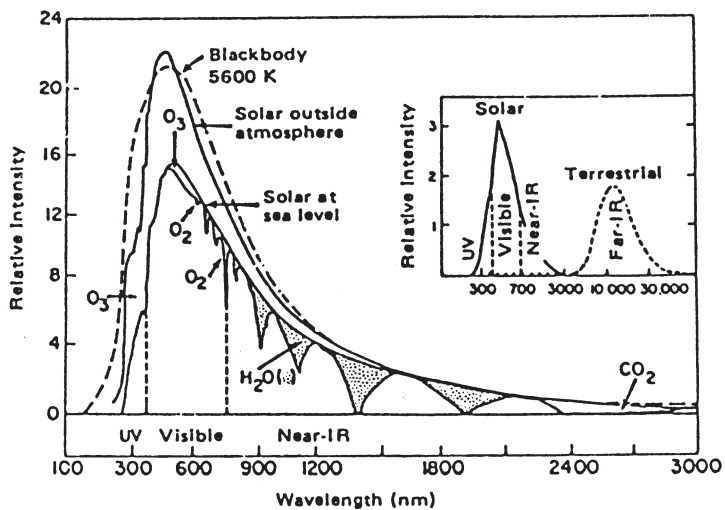
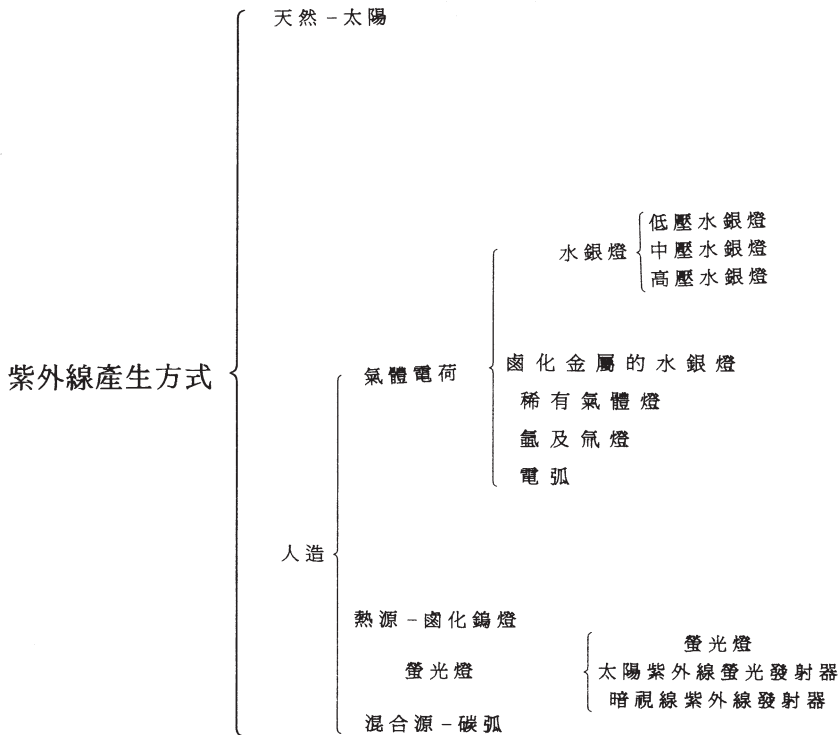


圖5 海面與大氣層外日光層

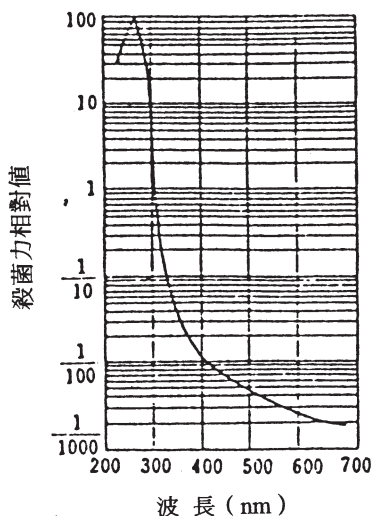


圖6 波長與殺菌力

5. 紫外線的效應：

(1) 產生臭氧(Ozone O_3)

空氣中的氧分子受到波長100~230nm的紫外線照射而氧化產生臭氧($3O_2 \rightarrow 2O_3$)，臭氧有一種特有的臭味，具有很強的殺菌力與氧化力且有害人體，因此使用時必須注意。

(2) 殺菌作用

自古以來人們即知曉日光具有殺菌作用，直到今日人們仍舊廣泛的應用日光消毒。日光的殺菌作用主要是內含紫外線的緣故。殺菌力的強弱受到波長的影響，不同波長的殺菌力不同，波長與殺菌力的關係如圖6。波長在260nm附近的紫外線的殺菌力是波長350nm的1600倍。

(3) 對皮膚得穿透作用

不同波長的紫外線對皮膚的穿透力亦不同相同，波長短穿透力差僅止於表皮層，波長增加穿透深度亦隨著增加，有的甚至可達皮層組織如圖7。

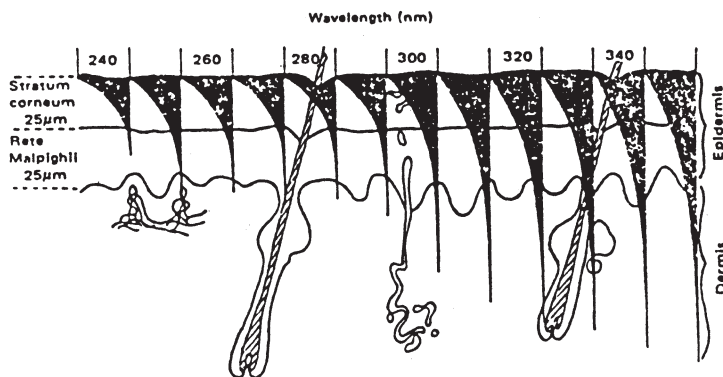


圖7 各種紫外線對皮膚的穿透作用

(4)紅斑作用

波長在200~340nm間的紫外線會使表皮內的胺基酸產生變化並促使微血管擴張而生紅斑。若經常時間的照射則會引起色素沈積的現象。

(5)產生維生素D

波長在280~320nm的紫外線常稱為健康紫外線，尤其是波長在280~313nm的紫外線它能促使體內合成維生素D，具有抗佝僂病特性，同時可以促進鈣、磷等礦物質的代謝。

(6)色素沈積

波長320~400nm的紫外線照射表皮時首先會引起紅斑，然後會產生黑色素(Melanin)而沈積在表皮下。

(7)光化學作用

一般照相材料的感光波長在300~400

nm，此範圍是屬於近紫外線(Near UV)波長範圍。可利用此光學反應的特性來複印與製版，如利用重氮(Diazo)的影印與印刷製版的應用即為一例，前者是利用重氮(Diazo)化合物受到紫外線的光解作用使得它無法與發色劑結合而變成無色，後者則是利用具光敏感性樹脂經紫外線照射後產生硬化的特性，使樹脂部分硬化後再將未硬化部分以藥劑溶解，這樣光感部分就形成一塊印刷凸版。

二、影響紫外線殺菌的因子

1.點燈時間：

圖8顯示點燈時間長短會左右紫外線燈殺菌能力，如高功率紫外線燈經8000小時，一般紫外線燈則在3000小時後功率會降至原來70%。原因是：

- (1)管壁受到長時間光子的撞擊而產生變化或老化而形成Solorization。
- (2)壁表面形成氧化汞(HgO)。
- (3)電極蒸發物或是燈管等不純物混入而與水銀形成汞化合物(合金)。

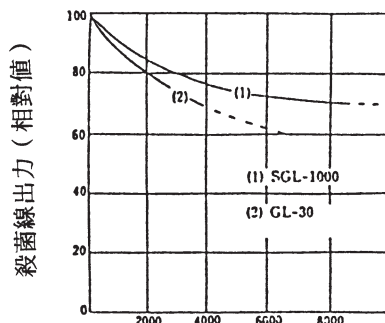


圖8 點燈時間與殺菌強度

上述原因都是因透過率減低而導致於殺菌功率降低。這種老化現象主要是因燈管的組織為玻璃的緣故，因此只要將燈管換為石英材質即可解決。不過在製造過程中必須將不純物去除且防止電極物質的蒸發。

2. 環境溫度：

環境周遭溫度對於紫外燈所產生的殺菌力有很大影響如圖9。一般30瓦的紫外燈在溫度20~25℃，管壁溫度在40℃附近時殺菌力最高，高密度紫外線燈(High Density UV)因發熱量較大且內部對於水銀蒸氣壓得控制亦較特別，因此它在30~35℃時殺菌力最強，而高溫用的高密度紫外燈(H.U.V)則在40~45℃時最強。實際上在設計一殺菌裝置時必要考慮燈管發熱量、風量、水量與環境溫度等因子。

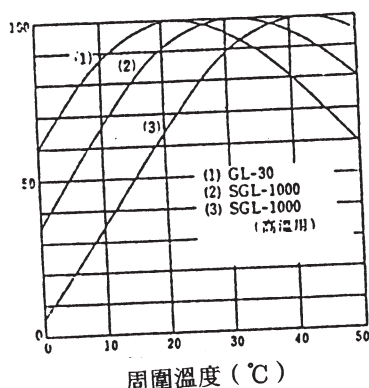


圖9、紫外線殺菌與溫度關係

3. 開、關次數：

殺菌燈的壽命與一般日光燈相同，且會受到開、關次數多少而影響它壽命。圖10中是以1000瓦高功率紫外燈使用壽命與開關次數關係的特性曲線。若每小時開關10次則壽命會降低85%，且開關次數增加時電極物質蒸發量亦隨之增加使殺菌率減低。若以開燈2.5小時後關燈30分鐘或是開燈三小時後關燈15分鐘時，它的初期效力會降低至70%，而平均壽命亦會減短。其他像電壓變動或是頻率因子亦會影響紫外線燈的殺菌力，當電壓下降至90%時紫外燈可能不亮。同時頻率必須在50~60赫茲(HZ)的範圍內紫外燈才會產生殺菌效力。

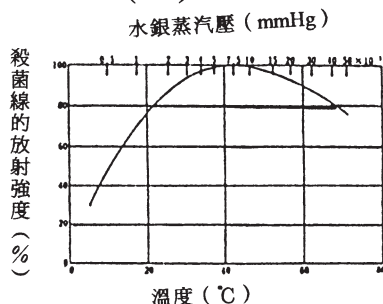


圖10 水銀蒸汽壓與253.7 (nm) 放射線變化

三、紫外線照射

紫外燈的殺菌功率(W)係指自殺菌燈放射的能量總和，亦即與所有產生的殺菌線照度有密切不可分的關係。

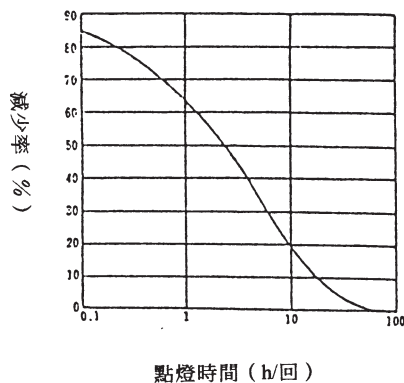


圖11 紫外燈開燈時間與使用壽命時間減少率

1. 照度與距離：

紫外燈照度亦與一般燈管的照度相同，會隨著距離的改變而不同，在近距離(L)時(小於燈管長度1/2)，照度變化與距離成反比(1/L)，而在遠距離(超過燈管長度1/2)時照度與距離平方成反比(1/L²)。

2. 照度分佈

一般照度分佈是依據燈管可利用長度(有效長度)及與燈軸垂直方向來決定。

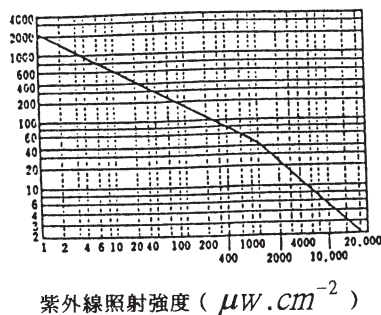


圖12 殺菌燈照度與距離關係

圖13中式依據燈長方向與距離關係照度分佈。其中愈接近燈管它的照度就愈像臺狀分佈，而愈遠時則照度分佈就如同正弦波一樣，同時在近距離中管端處照度有急劇下降情形。圖14中式根據垂直距離所描繪出的平面照度分佈，這是在實際設計應用上來決定有效殺菌(長度與寬度)不可或缺的資料。一般紫外線燈燈管表面亮度分佈如圖15。

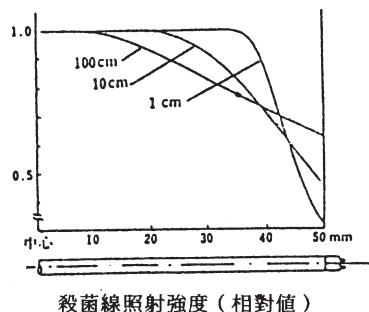


圖13 燈長方向與距離關係照度分佈。

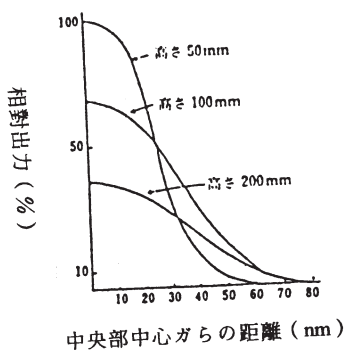


圖14 距離與照度

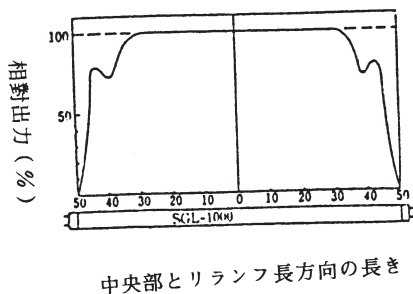


圖15 紫外線燈表面的亮度分佈

四、紫外線照射量與殺菌效果

紫外線殺菌燈中以波長253.7nm最具殺菌能力如圖16。紫外線殺菌燈的殺菌效果可以用下列式子來表示，它必須依據細菌的種類以及殺菌線照射量來決定。

$$S = P/P_0 = e^{-E \cdot t \cdot Q}$$

S：細菌殘存率。

P：照射後細菌殘存數。

P₀：照射前細菌數。

E：有效紫外線照射強度(μW/cm)

t：照射時間(min)。

Q：使S能符合 $1/e = 36.8\%$ 所需照射量(μW.min/cm)。

所需紫外線的照射量，除了會隨著菌種不同外仍會受到菌體濃度、殺菌率及周遭環境的影響，因此在實際上的殺菌效果曲線必須根據基本條件如紫外線的照度、照射範圍、照射時間、及照射場所終生菌數變化，目標殺菌率來決定殺菌裝置與功率。圖17即是一紫外線表面殺菌裝置對於枯草菌孢子的殺菌效果曲線。

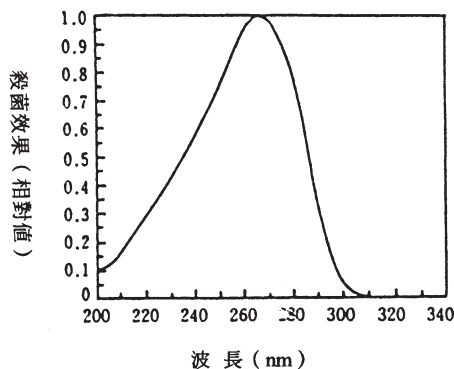


圖16 紫外線各波長殺菌效果

五、紫外線的殺菌應用

近年來由於食品添加物的管理日愈嚴格，人們對於添加物並不了解而對添加物有一份自然排斥與恐懼，再加上人們對於加工品質的要求日愈增高，傳統的熱殺菌方式已無法滿足。因而促進了食品殺菌新技術的發展，且由於高功率紫外線殺菌燈相繼開發出來，促使紫外線再度成爲一種新的殺菌方法。

1. 表面殺菌：

(1) 食品的表面殺菌；

目前食品的流通方式有二，一是經熱殺菌處理包裝的密封食品，另一是以低溫儲藏販賣的冷藏食品，若要促使包裝食品能大量的流通而不經冷藏或熱殺菌處理，對於耐熱性產胞細菌的殺菌處理可以用紫外線殺菌燈來代替(不論是在包裝前或包裝後均可)。

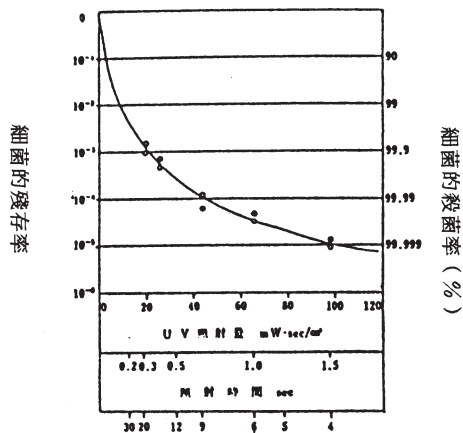


圖17 紫外線表面殺菌裝置對於枯草菌胞的殺菌效果

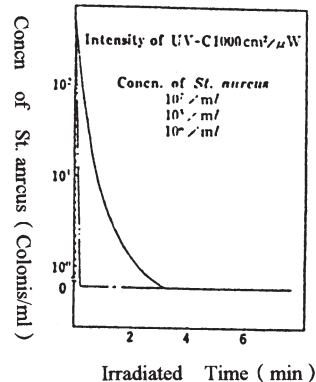


圖18 紫外線照度 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) 與殺菌效果 ($1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)

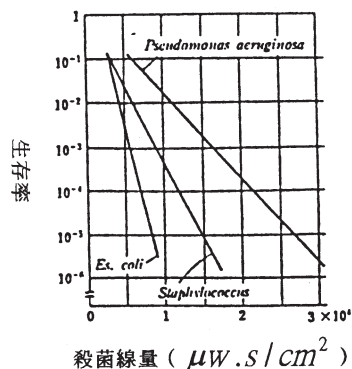


圖19 紫外線照度 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) 與殺菌效果 ($1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)

表2 各種微生物對於紫外線的D值劑量。

微 生 物	90%死滅線量D值 ($\mu.w.sec \times 10^3$)
E.coli	2.1~6.4
Neisseria catarrhalis	3~4
Pr. Vulgaris	<3
Sal. typhi	2.1~4
Ser. marcescens	0.8~4
Sh. Flexneri	3~4
Agrobacterium tumefaciens	3~4
Ps. aeruginosa	5.5
Ps. fluorescens	3~4
Fusobacterium nucleatum	<3
Rhodospirillum rubrum	5~6
B. anthracis	5~6
B. subtilis	6~8
B. subtilis	8~10
Coryneb. diphtheriae	5~6
Micro. piltonensis	6~8
Micro. sphaeroides	10~20
Micro. luteus	10~20
Staph. aureus	4~5
Streptococcus sp	3~5
Strept. pyogenes	2.2
Asp. glaucus	50~100
Asp. flavus	50~100
Asp. niger	200
Mucor racemosus	20~50
Geotrichum lactis	10~20
Pen. digitatum	50~100
Pen. expansum	20~50
Pen. roquefortii	20~50
Rh. nigricans	<200
Sacch. cerevisiae	3~8
Sacch. ellipsoideus	5~10

殺菌燈在食品上的應用並不一定是批式(batch)殺菌，亦可以成為連續式殺菌如隧道式，此種方式是將殺菌燈配合列在隧道中，食品則置放在輸送帶上利

用輸送帶通過隧道時即可進行連續式殺菌。此種方法要有良好的殺菌效果時必須注意殺菌燈的照射能量必須保持在 $3000 \mu W/cm^2$ 以上，照度均勻無陰影。

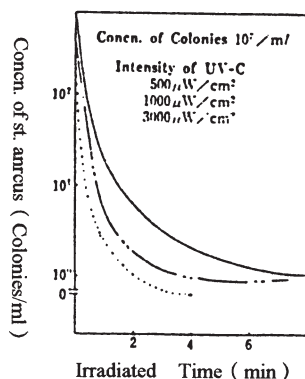


圖20 殺菌線量與殘存率

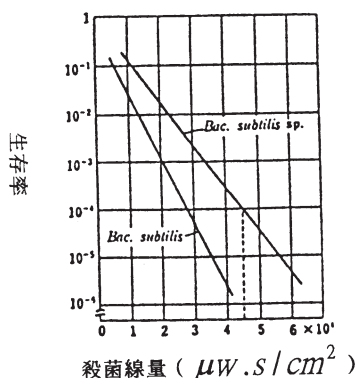


圖20-1殺菌線量與殘存率

因此在裝置上對於殺菌燈的配置，功率及反射材料的選擇是非常重要的。圖21即是一種隧道式紫外線殺菌裝置，隧道內面均配列有殺菌燈，而其水平或垂直的照度均為 $3700 \mu W/cm^2$ ，而輸送帶的速度擇依照產品種類、污染程度與殺菌程度要求而調整。此種方式亦可應用於包裝後食品的表面殺菌。不過要注意的是每一種包裝材料的紫外線透過率不同(圖22)。

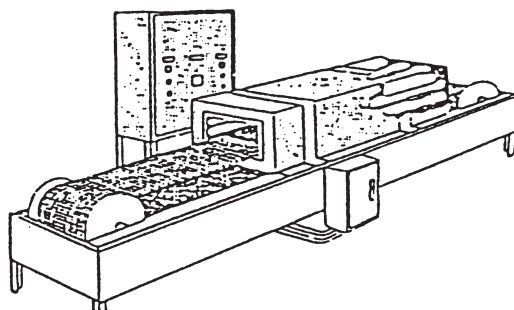


圖21 隧道式紫外線殺菌裝置

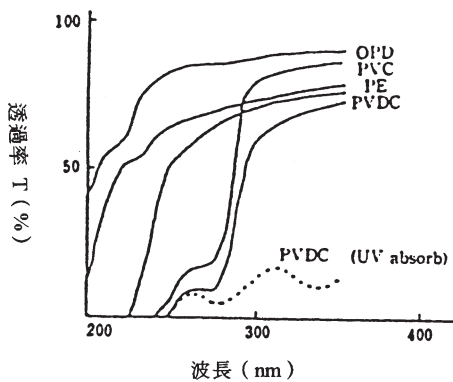


圖22 各種包裝材料紫外線透過率

表3 各種材料的反射率 (253.7nm)

材 料 名 稱	反 射 率 (%)
アルミニウム (蒸著)	87
アルミニウム (研磨)	60 ~ 75
アルマイト	30 ~ 35
クロム	40
ニツケレ	35
ステンレス	20 ~ 30
銀メッキ鐵板	28
銅	7
亞鉛	20
エナメル (白)	10
ペナメル (白)	10 ~ 35
ペナメル (白)	6 ~ 9
メラミン (白)	8
紙 (明色)	20 ~ 30
ラス	5 ~ 10

表3-1 各種材料的反射率（253.7nm）

材 料 名 稱	厚 度 (m m)	透 過 率 (%)
蒸餾水	3000	10
飲料水	100~800	10
海水	50	10
砂糖液（無色）	9	10
砂糖液（褐色）	0.5	10
牛乳	0.07	10
ビール	1.5	10
洋酒	0.8~3	10
合成酒	20	10
ブイヨン	0.002	8.2
人血	0.002	16.0
溶石	2.5	90
竈ガラス	1.0	0
ポリエチレン	0.01	35
セルロイド	0.1	0
セロファン（無色）	0.03	60
鹽化ビニル	0.03	0
ポリスチロール	0.05	0

(2)器具、器材的表面殺菌；

除了做為食品的表面殺菌外，它亦可應用於用具及器材的表面殺菌，如無菌包裝容器的表面殺菌、食品調理器具的消毒殺菌、醫藥用具的消毒及病人用寢具消毒。

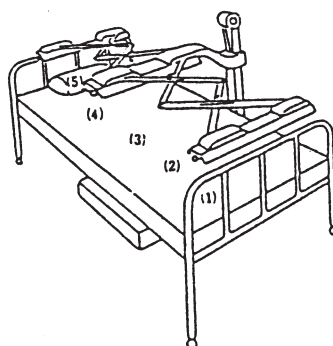


圖23 醫院用紫外線寢具消毒裝置

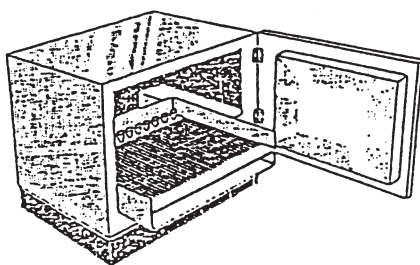


圖24 醫療用紫外線消毒器

2.液體殺菌

一般液體的殺菌方法有加熱法、過濾法、藥品消毒法及紫外線照射法等，其中以紫外線殺菌法最為實用，它的設備簡單、操作、使用及保養都甚為容易。

(1)水殺菌處理

目前殺菌水的用途非常廣泛(表4)。其中尤以食品工業的用量，因依據食品衛生管理法21條所訂定食品業者製造、調配、加工、販賣、儲存食品或食品添加物之場所及設施衛生標準內規定，凡與食品直接接觸之用水應符合飲用水水質標準(表5)。

表4 殺菌水用途

名	稱	用	途
電子工業		IC洗淨用超純水	
製藥業		調合用無菌水、貯存箱內高純水	
醫院		洗淨用水、無菌水	
養殖業		養殖用水	
食品業		原料水、冷卻水、洗淨用水、飲用水	

表5 飲用水與食用冰塊細菌限量衛生標準

類 別	限 量	
	每公撮水中生菌量	每公撮水中大腸桿菌菌屬菌
食用水 ⁽¹⁾	100以下	陰性
食用冰塊 ⁽²⁾	(溶解水) 100以下	(溶解水) 陰性

(1) 台北市飲用水水質標準

(2) 食品衛生標準

對流水的殺菌受到流量、穿透深度、處理程度、滯留時間、殺菌裝置等因素的影響，常見的流水殺菌裝置有栓流型與層流行兩種(圖26、27)。層流型的對於水的殺菌率較佳，不過出水量小($5\text{m}^3/\text{hr}$ 以下)，栓流型則出水量大。

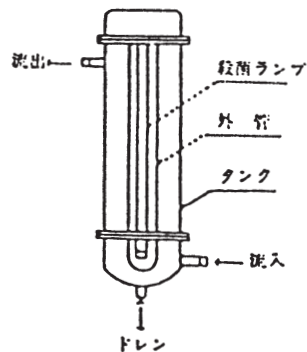


圖25 層流型流水殺菌器

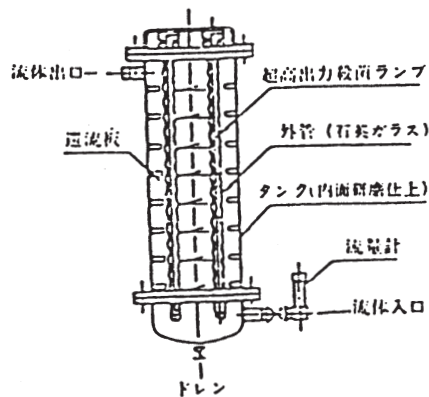


圖26 栓流型流水殺菌裝置

(2)紫外線照射易引起食品中脂質氧化促使食品變味，所以並不是合作為一般液體食品殺菌。Harrington與Hills以紫外線照射蘋果汁發現紫外線可以延長果汁儲藏性，即使照射時間長達120秒亦不會引起香味變化。

表6 經紫外線照射後蘋果汁的貯藏性

照射時間 (秒)	貯藏時間 (日)		
	0	20	35
0	6.58×10^5	4.92×10^5	5.0×10^6
13.5	1.32×10^5	1.35×10^5	1.1×10^6
27	1.7×10^4	4.5×10^4	1.25×10^5
40.5	5×10^3	7×10^3	2.7×10^4
54.0	1.4×10^3	3.5×10^3	1.1×10^4

表7 U.V照射、未照射與新鮮蘋果汁的官能品評

實驗次數	品評人數	平均分數		
		未經處理	照射 120 秒	未經照射
1	45	7.20	7.38	6.82
2	38	7.74	7.45	7.24
3	45	7.07	7.36	7.44

* 品評採9點制，點數愈高代表樣品愈佳。

* 本實驗發現三者之間並無顯著差異（顯著水準5%）

(3)室內殺菌；室內空氣殺菌法依照照射形式與目的可分成四類：

①直接照射法

本法系以室內整體殺菌為目的，如無菌室、發酵室、釀造室、冷卻室、儲存室、手術室。

②間接照射法

本法系以室內上部空間為目標利用室內對流減少空中落菌量如乳品加工、麵包、肉品加工、釀造、煉製品、罐頭加工等作業場所、調理場所及包裝場所。

③局部照射

係針對某一特定區域進行殺菌處理，如儲存箱。

④通風管內照射

本法是以照射進入室內的流動空氣為目標，目的是保持無菌室、包裝室與潔淨室(Cleaning Room)等室內的無菌狀態。

室內須安裝燈數 $N=0.05V/HF$ ；

N：燈數。

V：室內體積(m^3)。

H：燈與天花板距離(m)。

F：器具係數(15W吊燈1.5~1.8，壁掛型0.7~0.9(m²))。

管內所需安裝燈數 $N=0.18 L/D$ (15W直型)；

N：燈數。

L：空氣流量(m³/min)。

D：管口橫切面上中央較短的邊長(m)。

六、紫外線殺菌裝置使用上應注意事項

1. 表面殺菌

- (1)紫外線照射表面不能有異物存在，以免產生陰影而造成殺菌不完全。對於具有靜電力的材質應特別注意表面是否吸附塵埃，此類物質如塑膠類。
- (2)細菌濃度過高時，菌體本身會形成陰影而降低殺菌效果，即使經常時間照射亦無法得到很高的殺菌效果。
- (3)濕度太高時亦會降低殺菌效果。
- (4)容器、包裝材料經紫外線照射後可能會產生劣化如硬化、異臭、著色或物性變化。
- (5)食品經紫外線照射後會促使油脂氧化、退色、著色、並有異臭等現象發生。
- (6)殺菌燈受到紫外線開關次數、點燈時間影響而降低殺菌線強度，因此必須注意殺菌線強度的管理。
- (7)不可有漏隙現象。

2. 液體殺菌

- (1)水殺菌線的穿透性受到溶質的種類與濃度影響相大，因此必須事先測定該等因素。
- (2)液體殺菌時除必須檢查殺菌線透過率外亦要瞭解溶質與殺菌線變化關係。

3. 室內殺菌

- (1)避免直接照射人體。
- (2)注意殺菌程度要求與照射量變化。

七、結語

近年來由於高功率與超高功率紫外線殺菌燈相繼開發成功，同時殺菌裝置亦從批式殺菌改良成可連續式殺菌，這些不僅擴大了紫外線在殺菌領域上的功能與範圍，亦使紫外線再度成爲一種令人矚目的殺菌技術。紫外線殺菌的優點在於使用方便，設計簡單並能在短時間內有效減低菌體濃度，除此之外它尚可與超音波、熱或過氧化氫等其他殺菌方法並用而使殺菌技術更加完備。不過在使用紫外線時仍要注意其安全性。

(註：一般紫外線燈功率60W以下，高功率紫外線燈功率60~100W，超高功率紫外線燈功率100W以上)

參考文獻

1. Summary of Radiofrequency and microwaves , Geneva , W.H.O.1981 (Environmental Health Criteria No.16)。
2. 古海浩，1983光殺菌無菌化殺菌方式New Food Industry25(9)：14~23。
3. Ultraviolet Radiation, Geneva W.H.O 1979(Environmental Health Criteria 14)。
4. Duan T.Maunder, 1979, Possible Use of Ultraviolet Sterilization of Containers For Aseptic Packaging, Food Tech 31(4)：36~37。
5. 芝崎勳，1983。“新食品殺菌公學”光琳株式會社出版。
6. 王生博照，1984，高出力紫外線殺菌裝置特色利用食品工業27(6)41~47。
7. W.O.Harrington And Claude H.Hills 1968 Reduction of the Microbial Population of Apple Cider by Ultraviolet Irradiation , Food Tech 22(11)117~120。
8. Catherine E. Bayliss and Nonsporing Bacteria J. Applied. Bact , 48 ; 417~422
9. Catherine E.Bayliss and W.M.Naites1982, Effect of Simultaneous high intensity Ultraviolet Irradiation and Hydrogen peroxide on Bacterial Spores , J.Fdtechnol 17, 467~470。
10. 行政院衛生署，民國72年，食品衛生管理法。
11. 行政院衛生署，民國73年，食品業者製造調配、加工、販賣、儲存、食品或食品添加物之場所及設施衛生標準。
12. 行政院衛生署，民國72年，食品工廠衛生管理工作手冊，郭鴻均。