

紫外線照射による農産物の貯蔵に関する研究

II. 紫外線照射装置 (2号機) の試作と酵母菌の紫外線照射

団野皓文・宮里 満・石黒悦爾

(農業物理学研究室)

昭和56年8月10日 受理

Studies on the Preservation Effect of Agricultural Products by the Irradiation of Ultraviolet Ray

II. Construction of Experimental Ultraviolet Irradiation Apparatus (No.2) and Ultraviolet Irradiation of Yeasts

Akibumi DANNO, Mitsuru MIYAZATO and Etsuji ISHIGURO

(Laboratory of Agricultural Physics)

緒 言

前報で、波長 253.7nm の紫外線灯 4 本を装着した紫外線照射装置 (試作 1 号機) を試作し、同装置内の紫外線の線量率分布について報告した¹⁾。今回はこの実験を基にして改良を加え、均一な紫外線の線量率分布が得られる紫外線照射装置 (2 号機) を試作した。2 号機は装置の上部と下部に紫外線灯をそれぞれ 5 本ずつ装着し、上下両面より均一に照射し得るものである。

紫外線照度計を用いて、紫外線灯の出力特性を求め、さらに紫外線線量率の測定を行って 2 号機内線量率分布を求めた。

また、2 種の酵母菌に対して 2 号機を用いて紫外線照射実験を行い、生存曲線ならびに D_{10} 値を決定した。同時に γ 線を用いて酵母菌に照射を行い、紫外線と γ 線による D_{10} 値を比較した。

本研究は、文部省科学研究費、エネルギー特別研究「農業における未利用資源とエネルギー材料の開発」を受けて行った。

紫外線照射装置 (2号機) の構造

1. 照射装置 (2号機) の設計

前回試作した 1 号機は紫外線灯を上部に 4 本装着したもので、試料の上下両面を照射するためには試料を反転させる必要があった。この際、汚染等が生じる恐

れがあるので、上下両面を同時に照射する方法が有利である。そこで 2 号機は上部と下部にそれぞれ 5 本の紫外線灯を配置し、上下両面からの同時照射を行えるように改良した。また紫外線灯の間隔を 4cm から 6cm に広げた。この結果、2 号機は 1 号機に比べ、光源の面積が $14 \times 40\text{cm}$ から $24 \times 40\text{cm}$ と約 2 倍となり、均一な照射が可能となった。

Fig. 1 は 2 号機の構造を示す。厚さ 1mm のアルミ板を周囲に張った。大きさは幅 70cm、奥行は上部で

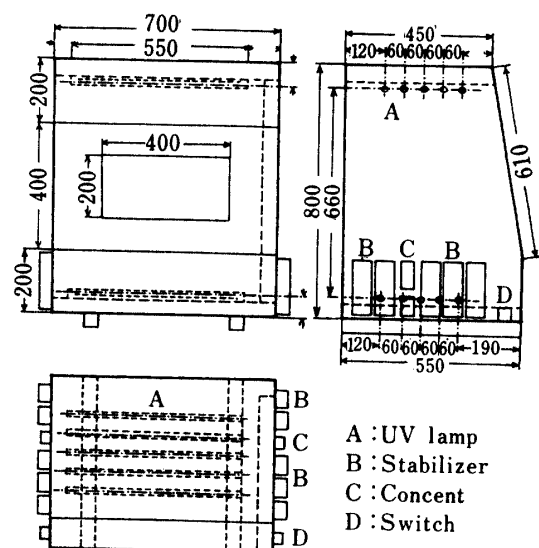


Fig. 1 Drawing of the experimental ultraviolet irradiation apparatus (No. 2).

45cm, 下部 55cm, 高さは 80cm である。

試料台は 55×65cm の大きさとした。上部紫外線灯を使用して照射を行うときは、紫外線灯から 15~50cm の距離の間を試料台を 1cm 間隔で調節できるようにした。また上下両面を同時に照射する場合は、1cm 網目の金網を 35×45cm に張った試料台を使用し、試料の中心が上下紫外線灯から等距離の 33cm の位置になるように試料台の位置を調節できるようにした。前面の扉の中央に 20×40cm の観測窓を設け、紫外線照射時の試料の状態を観測できるようにした。窓の材料は紫外線の透過による目や皮膚の被曝を防止するため⁴⁾、5mm 厚さの亚克力板を使用した。

2. 照射装置 (2号機) の配線図

Fig. 2 に 2 号機の配線図を示す。上部と下部に、それぞれ 5 本の紫外線灯を並列に接続した。上部紫外線

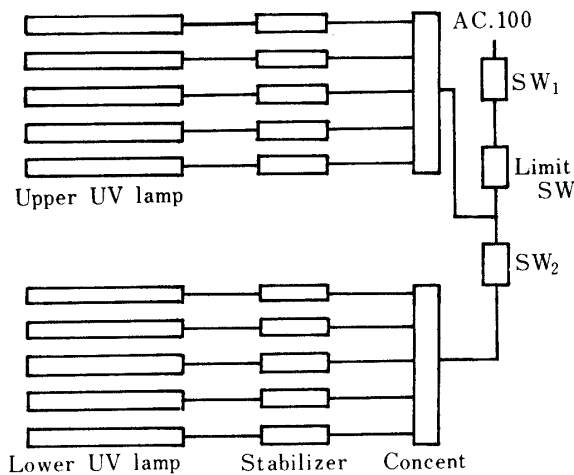


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental ultraviolet irradiation apparatus (No. 2) with its associated electric circuit.

灯のみを使用して照射を行えるようにサブスイッチを設けた。上部下部ともに紫外線灯の点灯数を変えて出力を調節して照射できるように、安定器とスイッチの間にコンセントを設けて接続した。使用した紫外線灯はウシオ電機社製の UL1-45DL2 で、波長 253.7nm, 定格 45W, ランプ電圧 65V, ランプ電流 0.45A, 全長 47cm, 有効長 40cm, 管径 2cmφ である。

紫外線照射装置 (2号機) の性能

1. 紫外線灯の線量率の絶対測定

紫外線灯の線量率の測定はウシオ電機社製の紫外線照度計 (UIT-110) に受光部として光電管型受光器 (UVD-254P) を接続して行った。この受光器の測定領域波長は 200~320nm で、最大感度波長は 227nm で

ある。またこの受光器を紫外線照度計に接続したときの感度は $0.65 \times 10^{-3} \mu\text{W}/\text{cm}^2$ である。

紫外線灯から放射される紫外線の強さ、すなわち線量率は点灯後時間の経過とともに変化する⁵⁾。従って紫外線灯 5 本を連続に点灯して点灯後の線量率の変化を測定した。測定は受光器の受光面が紫外線灯から 33cm の距離になるように試料台の位置を調節して行った。また受光器が温度の影響を受けないように受光器の温度を一定に保つため、受光器を測定時の 15秒前に試料台上に置き、測定後直ちに取り出して行った。

紫外線灯の管壁および受光器に熱電対をとりつけ、さらに試料台上に棒状温度計を置いて紫外線灯点灯後のこれらの温度変化を同時に測定した。

Fig. 3 に紫外線灯点灯後の線量率の変化と紫外線灯管壁の温度変化を示す。点灯後紫外線の線量率は急激に増加し、1.5分後には、 $6.14\text{mW}/\text{cm}^2$ と最大値に達した後急激に減少し 5分後には $4.95\text{mW}/\text{cm}^2$ まで低下した。

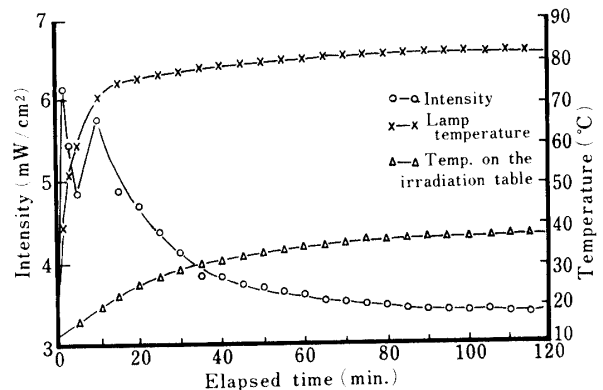


Fig. 3 Changes of ultraviolet intensity and of lamp temperature as a function of the elapsed time with 5 lamps at 33cm.

その後再び増加して10分後には $5.78\text{mW}/\text{cm}^2$ と次の最大値に達した。10分後から線量率は指数関数的に減少し、90分後には $3.60\text{mW}/\text{cm}^2$ まで減少したが、90分以後はほぼ安定な線量率となった。この時の紫外線灯管壁の温度は指数関数的な増加を示し、線量率が最大の 1.5分後には 40°C 、10分後には 70°C 、60分後には 80°C となり、最大温度は 120分後に 82°C であった。これら測定時の受光器の温度は $15\sim 21^\circ\text{C}$ であった。

2. 垂直分布

紫外線灯からの距離と線量率の関係を求めるため、受光器の位置を紫外線灯から 15~50cm の距離に変え

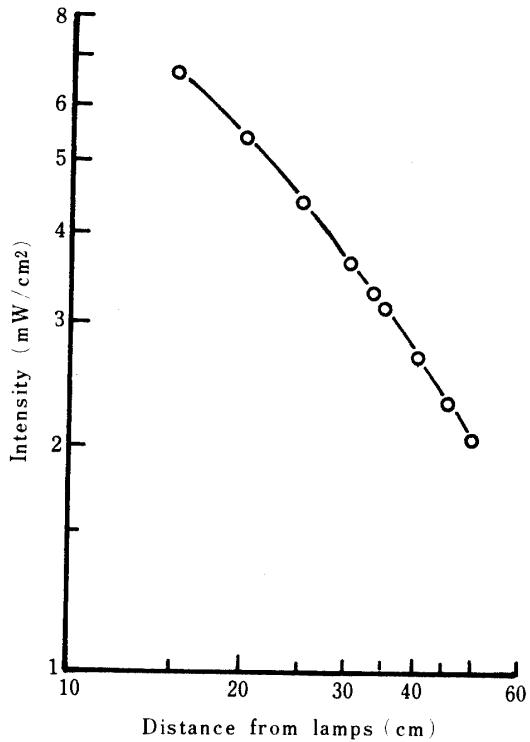


Fig. 4 Relationship between the ultraviolet intensity and distance with 5 lamps.

て線量率を測定した。上部の紫外線灯5本を点灯し、120分経過して安定な線量率の状態となつてから測定を開始した。

Fig. 4 に紫外線灯からの距離と線量率の関係を示す。線量率は 6.66~2.31mW/cm² まで変化し、紫外線灯からの距離に反比例して減少した。

一般に、点光源の場合には線量率は距離の二乗に反比例して減少する。しかし今回の測定は 2cmφ×40cm の紫外線灯を 6cm 間隔で5本平行に配置した装置を用いて行ったので、24×40cm の面光源とみなされ、このように光源に対して近い距離の範囲では距離に反比例して減少したものと考えられる。

3. 平面分布

上部、下部の紫外線灯から等距離の 33cm の位置における試料台上の紫外線線量率の分布を測定した。上部5本の紫外線灯を点灯し120分経過してから測定を開始した。測定は試料台の中心から前後・左右に6cm 間隔の位置に対して行った。受光器の温度変化を防ぐため、受光器を測定時の15秒前に測定位置に固定し、測定後直ちに取り出し、5分経過後別の位置に固定して測定した。

Fig. 5 は試料台上の各測定位置における線量率の実測値ならびに最大線量率に対する相対線量率を求め等線量率の曲線を示したものである。最大線量率の位

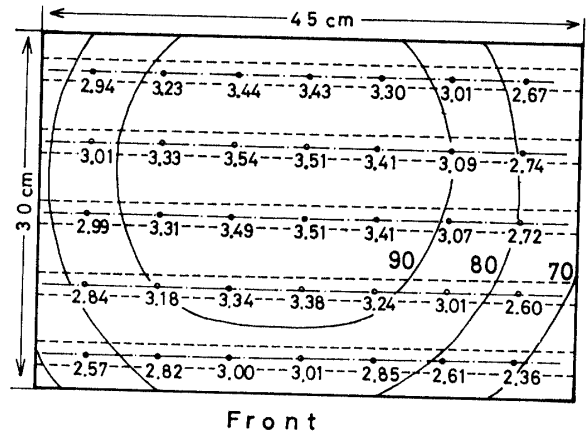


Fig. 5 Relative intensity distribution on the irradiation table with 5 lamps at 33cm.

置は試料台の中央すなわち面光源の中心より左後方にかたよつた。これは装置側壁に使用したアルミ板からの反射の影響によるものと思われる。試料台の中央から半径 15cm の円内では、相対線量率は90%以上となり均一な分布を示した。

今後、この距離で多くの試料を同時に照射する場合でも、相対線量率が90%以上となる円内に試料を置いて照射を行う必要がある。

酵母菌の殺菌

2号機は均一な線量率の分布が得られ、また照射線量の絶対値の測定が行えるので、殺菌殺量 D₁₀ 値を精密に測定できる。2号機を用いて微生物に対する紫外線殺菌の基礎実験を行うにあたり、前回報告したと同じ酵母菌について再度照射を行った。さらに比較のため、γ線による照射実験を行った。

実験に供した酵母菌は次の2種である。Saccharomyces cerevisiae IFO 2193および Candida utilis IAM 4215である。

これらの酵母菌に PDA 寒天培地および czapek 寒天培地をそれぞれ培地として用い、1~2週間斜面培地上で培養した菌に滅菌水を加えて試料液とした。これらの試料液に紫外線およびγ線を照射した。

1. 照射方法

紫外線照射は2号機を用いて上部の紫外線灯を5本点灯し、紫外線灯から50cmの位置で行った。この時の紫外線線量率は 2.31mW/cm² であった。紫外線灯点灯後120分経過してから照射を開始し、照射時間を変えて照射した。紫外線の水による減衰を考慮して^{1,2,6)}、試料液 30ml をシャーレに注ぎ、水深を 0.5cm 以内で照射した。

γ 線照射は鹿児島大学学内共同利用 RI 実験室のガンマーセル, GC-40 を用いた。GC-40 は Cs-137, 3690 Ci 線源で, 線量率は 7.3krad/h であった。三角フラスコに 100ml の試料液を入れ, 照射時間を変えて照射した。

2. 希釈・培養および生存率

紫外線照射および γ 線照射のいずれの場合も, 照射後直ちに試料液は10進法で数段階の希釈を行った⁷⁾。

各段階に希釈した試料液 1ml をシャーレ中に滴下し, 45°C に保った培地をシャーレに注ぎ, 25°C の定温器で72時間培養した。

30~300個の集落がみられるシャーレについて計数を行い, これに希釈倍数を乗じて検体 1ml あたりの生菌数として算出した⁷⁾。

未照射の場合の生菌数と照射した場合の生菌数の割合を生存率として求めた。

3. 生存曲線

Fig. 6 は紫外線照射, Fig. 7 は γ 線照射による生存曲線を示す。縦軸は対数目盛りで生存率を示し, 横軸は照射線量を示す。

30秒照射すると紫外線の照射線量は 69.3mW·sec/cm² となり, Fig. 6 に示すように *C. utilis* は 5×10^{-5} , *Sacch. cerevisiae* は 1×10^{-5} に殺菌され, 照射線量の

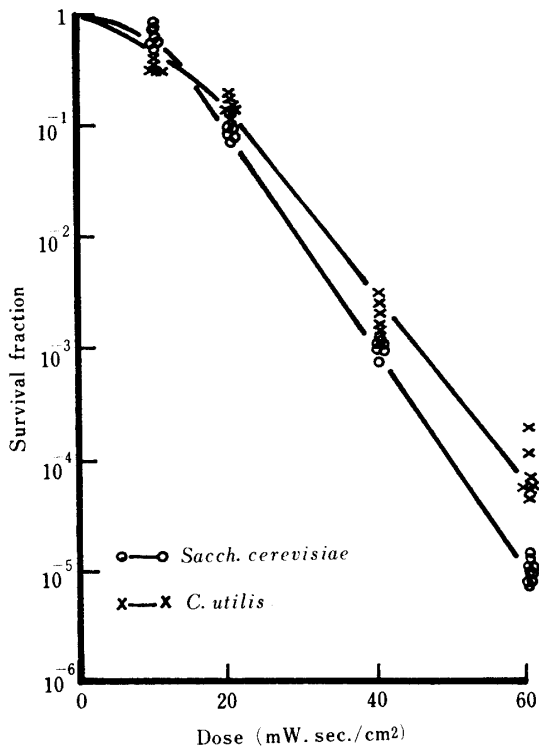


Fig. 6 Survival curves of yeasts irradiated with ultraviolet with 5 lamps at 50cm. (UV intensity: 2.31mW/cm²)

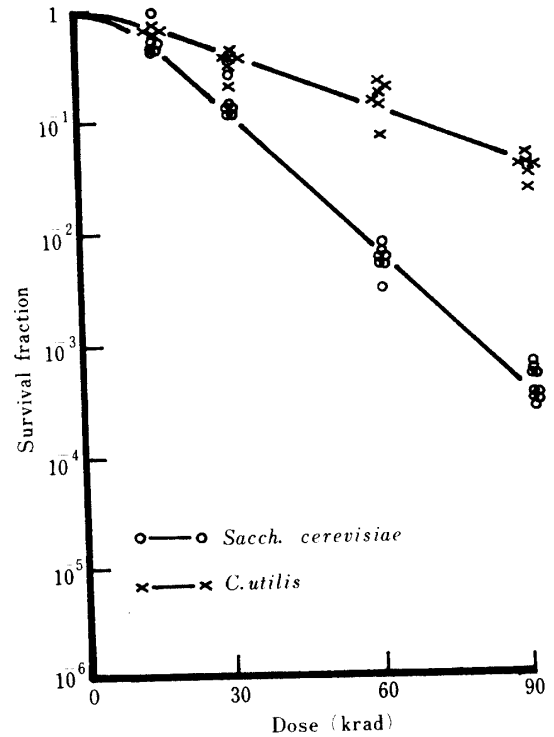


Fig. 7 Survival curves of yeasts irradiated with gamma-ray from Cs-137 of 3690 Ci (Dose rate: 7.3 krad/h)

増加につれて生存率は指数関数的に減少した。また生存曲線は肩を持つ直線すなわちシグモイド型になることが示された。

γ 線照射を行うと, Fig. 7 に示すように生存曲線は紫外線照射の場合と同様にシグモイド型となった。90 krad の照射線量では, *C. utilis* は 4×10^{-2} にしか殺菌されなかったが, *Sacch. cerevisiae* では 3×10^{-4} にも殺菌され, 2つの酵母菌では生存率に大きな差を生じた。

4. 殺菌線量 D_{10} 値

Figs. 6, 7 の生存曲線より 90% を殺菌するのに必要な線量 D_{10} 値を求めると, Table 1 に示す結果が得られた。

紫外線の D_{10} 値は *Sacch. cerevisiae* では 11.32mW·sec/cm², *C. utilis* では 13.17mW·sec/cm² となった。

γ 線の D_{10} 値は *Sacch. cerevisiae* では 22.5krad, *C. utilis* では 56.3krad となった。 γ 線の D_{10} 値は紫外線の D_{10} 値に比べ, *Sacch. cerevisiae* と *C. utilis* との値に大きな差を生じた。

また99.9%を殺菌するのに必要な線量 $D_{0.1}$ を紫外線照射の *Sacch. cerevisiae* について文献値⁷⁾と比較する

Table 1. D_{10} of yeasts obtained by ultraviolet and gamma-ray irradiation

Radiation	Yeast	Exposure time	D_{10}	$D_{0.1}$	Reference
Ultraviolet	<i>Sacch. cerevisiae</i>	4.9s	11.32mW·s/cm ²	33.96mW·s/cm ²	18.84mW·s/cm ² *1
	<i>Candida utilis</i>	5.7s	13.17mW·s/cm ²	39.51mW·s/cm ²	
Gamma-ray	<i>Sacch. cerevisiae</i>	3.08h	22.5krad	67.5krad	967.7krad*2
	<i>Candida utilis</i>	7.71h	56.3krad	168.9krad	

*1; Kawamoto, Y. (1970)⁷⁾

*2; Bridges, B.A. (1964)³⁾

と、値に約2倍の差が認められた。

今後はさらに実験を行いこの原因について検討するとともに、他の微生物に対しても紫外線照射を行い、生存曲線と D_{10} 値を求める計画である。

要 約

上部と下部にそれぞれ5本の紫外線灯を装着した紫外線照射装置(2号機)を試作し、上下両方向から同時にしかも均一に照射できるようにした。

紫外線照度計を用いて、2号機内の紫外線線量率の垂直分布および平面分布を測定した。

2号機内の線量率は上部の紫外線灯5本を点灯すると6.66~2.31mW/cm²となり、距離に反比例して減少した。

酵母菌に対して、2号機を用いた紫外線照射とガンマーセル GC-40 を用いた Cs-137 の γ 線照射を行った。紫外線照射より得られた生存曲線は、 γ 線照射により得られた生存曲線と同様にシグモイド型となった。

D_{10} 値は *Sacch. cerevisiae* では 11.32mW·sec./cm², *Candida utilis* では 13.17mW·sec./cm² となった。

辞 謝

本研究を行うにあたり、 γ 線照射実験に多大の甚力を賜った鹿児島大学学内共同利用 RI 実験室の西山安夫氏および紫外線照射装置(2号機)の作成に協力を得た当研究室の大学院生中山高秀氏に謝意を表します。

文 献

- 1) 団野皓文・宮里 満・石黒悦爾・中山高秀：紫外線照射による農産物の貯蔵に関する研究。I. 紫外線照射装置の試作について、鹿大農学術報告, No. 31, 157-162, (1981)
- 2) 原田常雄：殺菌灯。照明学会雑誌, 36, 23-28 (1947)
- 3) 門田 元：電離放射線の殺菌作用。食品工業, 7, 7-13 (1963)
- 4) 河本康太郎：紫外線による空気殺菌法とその効果。食品工業, 13, 33-40 (1970)
- 5) 正子 朔：微生物に対する放射線照射の影響。9-30, 京都大学農学部植物病理学研究室業績特別発表, 14, (1961)
- 6) 齊藤民雄：紫外線による水殺菌装置の現状と問題点。食品工業, 17, 36-42 (1974)
- 7) 好井久雄・金子安之・山口和夫：食品微生物学。405-425, 技報堂出版, 東京 (1976)

Summary

An experimental ultraviolet irradiation apparatus (No. 2) was constructed. Five ultraviolet lamps were assembled in each side, namely upper or lower side, of the apparatus. It is possible to irradiate samples in the apparatus from both sides homogeneously.

Intensity distributions of ultraviolet-ray both in vertical and in horizontal directions of the apparatus were measured, using an ultraviolet illuminometer. The vertical intensity distribution with 5 lamps in the upper side changed from 6.66 to 2.31mW/cm², and decreased in inverse proportion to the distance.

Two kinds of yeasts, *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida utilis*, were irradiated both with ultraviolet irradiation apparatus (No. 2) and with gamma-ray from Cs-137, GC-40 type source.

Survival curves of them irradiated with ultraviolet and gamma-ray were measured. The exponential curves with shoulder were obtained in both cases.

D_{10} of *Saccharomyces cerevisiae* and that of *Candida utilis* obtained with ultraviolet irradiation were 11.32 and 13.17mW·sec/cm², respectively.