

# 農産物の衛生管理技術

内野 敏 剛

九州大学大学院農学研究院

## 1. はじめに

近年、食中毒事件が頻発しており、腸管出血性大腸菌（O157, O111）、サルモネラなどの病原性微生物による農畜産物の汚染が問題視されている。国内では2000年の乳製品による集団食中毒や2011年のユッケ食中毒などの畜産物による事件ばかりでなく、2012年のハクサイ漬けによる食中毒、また、米国では2015年のキュウリを感染源とするサルモネラによる大規模な食中毒など、青果物でも対策が必要とされる。これらの微生物由来の危害は多大な人的被害をもたらすばかりでなく、風評被害も大きく、食品会社を廃業に至らしめることもある。消費者は農産物・食品の安全性に非常に敏感になっているため、農業者や食品会社もGAP, HACCP, FSSC22000などを導入し、安全性の確保に注力している。とくに、2020年の東京オリンピック・パラリンピックでは選手村で扱う食材はGAP認証を取得した農家から調達することが義務づけられており、農産物の衛生管理に対する注目も高まっている。農産物・食品を微生物による汚染や劣化から守り、高い安全性を得るためには、増殖抑制、除菌、遮断、殺菌などの微生物制御を的確に行う必要がある。とくに殺菌は、対象物表面および内部の微生物を滅菌する、あるいは一部を殺滅し初発菌数を減少させることにより、農産物・食品の安全性を担保する有力な操作である。殺菌は病原性微生物に対してだけでなく、農産物・食品を変敗させる腐敗性微生物に対しても有効で、殺菌によりこれらの品質を長期に保つことができる。

殺菌法には Table 1 に示すように物理的、化学的、生

物的方法があり、それぞれに長短を有する。殺菌法については簡便性、経済性、人体への安全性、環境適合性が考慮すべき因子として挙げられている [1]。本稿で対象とする農産物は消費者が摂食するものであることから、人体に有害な薬剤は使用できず、例えば、カット野菜などに対して次亜塩素酸ナトリウムが用いられているが、消費者は健康志向や環境問題から化学的殺菌法を敬遠しているのが実情である。ここでは、物理的殺菌技術のうち著者らが行ってきた研究事例を紹介する。

## 2. 赤外線 (IR)・紫外線 (UV) による殺菌

IR 殺菌は Table 1 では加熱殺菌と電磁波殺菌の両方に分類している。これは、IR は 780 nm~1 mm の波長の電磁波であり、殺菌メカニズムとしては熱殺菌と同等であることによる。乾熱や湿熱などの一般的な加熱殺菌は加熱媒体を殺菌対象物に接触させ、熱伝導・熱伝達により熱源から微生物への熱移動を行い、微生物

Table 1 殺菌法の分類

物理的方法
焼却
加熱 (湿熱・乾熱・煮沸・水蒸気・過熱水蒸気・アクアガス・ジュール熱・赤外線)
超音波
高圧
電磁波 (赤外線・紫外線・γ線・電子線 (ソフトエレクトロン)・X線・マイクロ波)
電気 (高圧パルス・コロナ放電・ジュール熱)
その他 (プラズマ)
化学的方法
酸・塩基
アルコール
ハロゲン系 (塩素・次亜塩素酸・有機塩素等)
酸素系 (過酸化水素・オゾン等)
界面活性剤
水銀系 (シオウコウ、マーキュロクロム等)
抗生物質
酸性水
光触媒
その他
生物学的的方法
拮抗
自己溶菌誘発

### 著者略歴

内野敏剛

昭和52年3月 九州大学農学部農業工学科卒業  
 昭和52年4月 井関農機(株)入社  
 昭和55年6月 千葉大学園芸学部助手  
 平成元年3月 農学博士(九州大学)の学位取得  
 平成3年7月 千葉大学園芸学部助教授  
 平成6年4月 九州大学農学部助教授  
 平成18年4月 九州大学大学院農学研究院教授  
 平成30年3月 同上定年退職  
 平成30年4月 同上特任教授、九州大学名誉教授

温度を致死温度以上にして殺菌する。他方、IR 殺菌は放射伝熱によるため、加熱媒体を必要とせず、殺菌対象物表面上の菌体温度を致死温度まで上げることができる。これにより、IR 殺菌は一般的な加熱殺菌と比べ、効率的な殺菌処理が可能となる [2]。また、短時間で対象物の表面温度を上昇させることが可能で、内部温度が上がりにくいため [3]、農産物・食品の内部品質を維持するのに有利である。

UV 殺菌には波長 100~280 nm の UV-C が一般的に用いられる。これは、細胞（微生物）の核酸の吸収帯は 260 nm 付近にピークをもち、UV-C の波長帯と一致するためである。同一鎖に隣接して存在するピリミジン塩基（チミン、シトシン、ウラシル）に UV-C が照射されたとき、紫外線の作用によりこの塩基（チミンが代表的）が 1 量体から 2 量体になり、核酸の複製機能が失われることにより殺菌が行われるとされる。微生物は二量体を形成後、青色光から UV-A の波長帯の電磁波を DNA フォトリアーゼが受光することにより、2 量体を 1 量体へ修復する光回復を行う。

IR, UV は、①菌に耐抗性を作らない、②残留性がなく殺菌後の青果物を摂食しても健康被害がない、③環境に被害を及ぼさない、④取り扱いが容易で自動運転に適する、⑤処理時間が短い、⑥安価等の利点を持つ。一方で短所としては、①残留効果がない、②表面殺菌に限られる、③被照射部位だけしか効果がない（遮蔽物があると効果がない）などがある。

IR, UV は単独でも殺菌効果を有するが、両者を併用することにより Fig. 1 に示すような効果が得られる。ここで用いた糸状菌胞子は UV には耐性があるが、IR 照射は効果的で、60 秒で 3 桁以上菌数は減少している。併用照射（IR, UV それぞれの照射時間は同じで、両者の合計照射時間は単独照射の時間と同一）の場合も IR と同等の効果が得られ、それぞれの電磁波の照射時間が半分となり IR 照射時間が短縮されることから、温度上昇による対象物の品質低下を軽減できる [4]。

著者らは S 社と共同で IR・UV 殺菌装置 (Fig. 2) を開発し、青果物表在微生物の殺菌試験を行った。イチジクの表面殺菌では、IR, UV を 30 秒ずつ併用照射することでイチジクに付着する一般生菌数を 4 桁以上、真菌数を 3 桁以上、減少可能であった [5]。また、照射殺菌後 3 日間カビの発生率を調査したところ、無処理では 3 日目に全てのイチジクにカビが発生したのに対し、30 秒ずつの併用照射では 2 割に発生したのみで、2 日目以前ではカビの発生はみられなかった (Fig. 3)。他にはイチゴ、モモ、温州ミカンなどで効果が得られている。

### 3. 大気圧プラズマによる空中浮遊菌の殺菌

農産物の貯蔵時あるいは船舶による長時間大量輸送

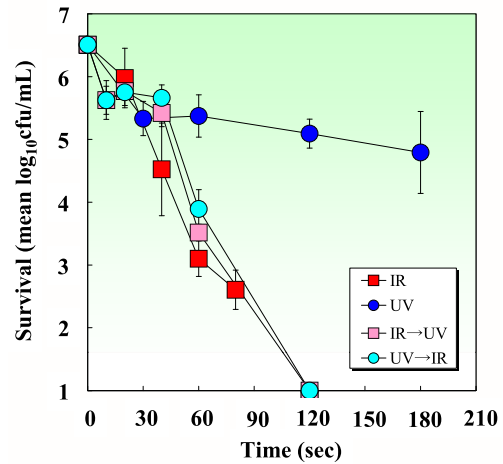


Fig. 1 *Aspergillus* 属の糸状菌胞子に対する赤外線 (IR) および紫外線 (UV) あるいは併用照射処理の影響、IR・UV の併用照射では各照射時間 ( $t_{IR}=t_{UV}=1/2t$ ) の合計が横軸の照射時間 ( $t$ ) となる [4]。

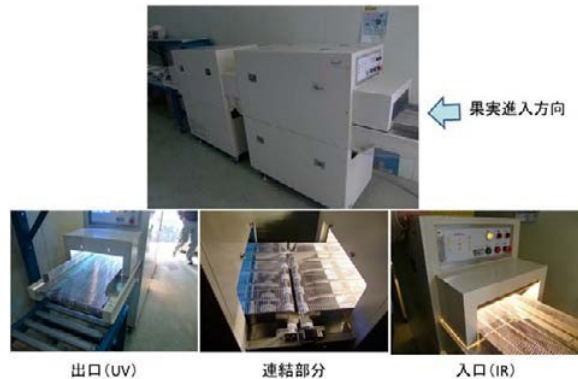


Fig. 2 赤外線・紫外線殺菌装置

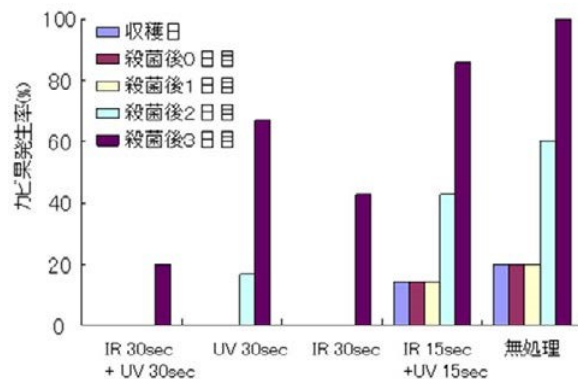


Fig. 3 赤外線・紫外線照射後のイチジクカビ果発生率

時は対象物の品質保持のため、微生物制御が必要で、微生物被害の拡大を防ぐためには、空気中の浮遊菌の制御が有効と考えられる。これには、紫外線、オゾン [6-8] を利用する方法が研究されているが、プラズマの利用も有効な方法である。プラズマによる殺菌は

Table 1では物理的殺菌のその他に分類している。しかしながら、プラズマ殺菌は活性種の効果によるとされていることを考えれば、光触媒と同様に化学的殺菌に分類してもよいかもしれない。プラズマを用いることにより、例えば、貯蔵中の青果物が発声するエチレンを分解すると同時に殺菌も行うことができるため、青果物の品質保持に有効である。筆者らは大気圧プラズマを用いて空中に浮遊する微生物の殺菌を試験しており、ここではその一部を紹介する。大気圧プラズマ殺菌の長所としては、簡便、安全、低温、菌種依存性が小さいなどが挙げられる [9]。

供試菌には *Penicillium italicum* (アオカビ病原菌) を用いた。Fig. 4に実験装置の概要を示す。三角フラスコ内に乾燥した供試菌を入れ、スターラで攪拌しながらガスボンベの空気 (21% O<sub>2</sub>, 79% N<sub>2</sub>) を流量 4 L/min で流入させ、空中浮遊菌を作出した。これを殺菌槽に導き、イオナイザのコロナ放電によりプラズマを発生させ、生じた活性種で殺菌を行った。浮遊菌は Koide *et al.* の方法 [10] でインビンジャ (Fig. 4の生理食塩水をいれたフラスコ) に収集し、平板培養法で菌数を測定した。正弦波、60 Hz、5~8 kVの電圧をイオナイザへ印加し、電圧の殺菌への影響を検討した。実験結果は Fig. 5に示すように、電圧の増加に伴い生菌数は減少し、7 kVで電圧無印加の対照区に比べ1桁以上菌数は減少し、その差は5%水準で有意であった。また、印加電圧を7 kV、50Hzに固定して電圧波形を三角波、矩形波、正弦波と比較したところ、3者の殺菌効果に大きな差はみられなかった。研究はまだ途上であり、さらなる実験が必要であるが、青果物貯蔵庫などに対し有用な方法と考えている。

#### 4. おわりに

ここでは、物理的殺菌法のうち、IR・UV併用照射、および、プラズマを用いた殺菌法について述べた。農

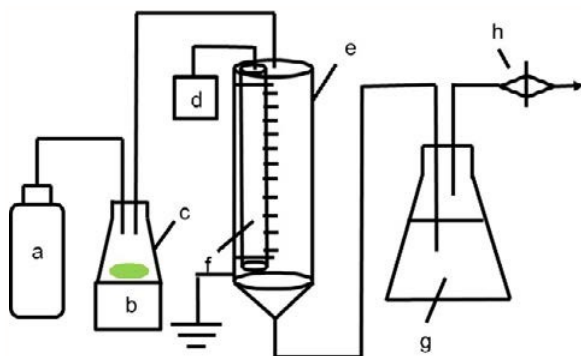


Fig. 4 プラズマ殺菌装置概略図, a:エアボンベ, b:スターラ, c: フラスコ, d: 高圧電源, e: 殺菌槽, f: イオナイザ, g: 生理食塩水, h: フィルタ

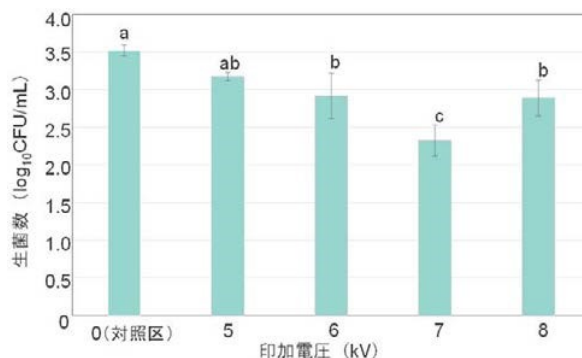


Fig. 5 印加電圧の殺菌効果への影響

産物とくに青果物は一般的な加熱殺菌を用いることができないため、これらは有効な方法と考えられる。

【謝辞】本講演の一部は JSPS 科研費 16H05005 の助成を受けたものです。

#### 引用文献

- 1) 土戸哲明; 食品の殺菌手法—原理・特徴・現状・課題 [2] 食品の殺菌法概説, 防菌防黴, **36**, 403-409 (2008).
- 2) 久保哲治郎; 遠赤外線による食品の殺菌, 食品と開発, **21**, 29-32 (1986).
- 3) 濱中大介, 田中史彦, 内野敏剛; 食品の殺菌手法—原理・特徴・現状・課題 [14] 物理的手法 (5) 食品の電磁波殺菌 その2. 赤外線殺菌, 防菌防黴, **37**, 377-383 (2009).
- 4) 内野敏剛; 農産物の物理的殺菌技術, 農業電化, **64**, 17-20 (2011).
- 5) D. Hamanaka, N. Norimura, N. Baba, K. Mano, M. Kakiuchi, F. Tanaka, T. Uchino; Surface decontamination of fig fruit by combination of infrared radiation heating with ultraviolet irradiation, Food Cont., **22**, 375-380 (2011)
- 6) 池田彰・河相好孝・江崎謙治・中山繁樹; 低濃度オゾンによる低温貯蔵時の野菜の殺菌, 植工場学会誌, **10**, 237-242 (1998).
- 7) 池田裕朗; オゾン処理がカンキツ‘不知火’果実の長期貯蔵中の腐敗防止に及ぼす影響, 広島農技セ研報, **75**, 41-48 (2003).
- 8) R. Ozkan, J.L. Smilanick, O.A. Karabulut; Toxicity of ozone gas to conidia of *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* and *Botrytis cinerea* and control of gray mold on table grapes, Postharvest Biol. Tech., **60**, 47-51 (2011).
- 9) 佐藤岳彦; プラズマによる殺菌作用, 電気学会技術報告, **1350**, 11-13 (2015).
- 10) S. Koide, A. Nakagawa, K. Omoe, K. Takaki, T. Uchino; Physical and microbial collection efficiencies of an electrostatic precipitator for abating airborne particulates in postharvest agricultural processing, J. Electrostatics, **74**, 734-738 (2013).