

過熱水蒸気による食材・食品の殺菌

青山康司, 重田有仁, 渡部 緑, 渡邊弥生, 岡崎 尚

Sterilizing ingredients and foods using superheated steam

Yasushi Aoyama, Yujin Shigeta, Midori Watanabe, Yayoi Watanabe and Takashi Okazaki

Non-spore-forming bacteria, as *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Lactobacillus plantarum*, and yeast were inoculated into cucumber and dried cuttlefish; after being heated at 100-160°C for 5 sec. with superheated steam, they died. Superheated steam treatment was used to sterilize ingredients and foods difficult to sterilize by heat treatment, since their quality is easily deteriorated thereby. The microorganism populations in cucumber, dried cuttlefish and boiled and dried baby sardines could be decreased to the original population level of spores in each ingredient by using superheated steam at 120-160°C for 5 sec. There was no observably significant difference in quality as compared with unprocessed samples. Before bactericidal effects were observed, a decrease in quality was seen in vegetables and fruits of soft texture, such as strawberries and tomatoes.

食の安全性に関して加工食品だけでなく、使われる食材についても消費者の関心が高まり、食品加工メーカーとしても安全で高品質な食材の確保が急務である。現在、食材・食品の殺菌は、加熱処理や洗浄・薬剤処理によって行われることが多いが、一部の微生物の生残や洗剤・薬剤の残存が懸念される。過熱水蒸気は100°Cで蒸発した飽和水蒸気をさらに加熱した水蒸気であり、低温のものと接触すると凝縮して水に戻るという水蒸気の性質と試料を乾燥、焼成させるという加熱空気の性質とを併せ持った気体である。また、加熱空気は対流伝熱のみによって伝わるが過熱水蒸気は対流伝熱と放射伝熱により伝わるため伝熱速度が速いという特徴を持っている¹⁾。これらの特徴によって、洗剤・薬剤の残存がなく安全で、熱による食材・食品の品質の劣化を最小限に食い止めながら、微生物の殺菌が可能となることが期待される。

これまで過熱水蒸気による殺菌の研究は数多くされているが、いずれも過熱水蒸気処理前後の食材の一般生菌数や大腸菌群から殺菌効果を評価している¹⁾²⁾。本研究では、安全性を確認するため、食材に代表的な食品腐敗菌を接種し、個々の腐敗菌の過熱水蒸気処理による死滅挙動を明らかにした。さらにその上で、従来、品質が劣化し易いため加熱殺菌できなかった食材・食品を対象に過熱水蒸気処理の適用を試みた。

実験方法

1. 使用菌株及び菌液の調製

代表的な食品腐敗菌である *Escherichia coli* IFO3301 (大腸菌), *Staphylococcus aureus* IFO13276 (ブドウ球菌), *Lactobacillus plantarum* IAM1041 (乳酸菌),

Saccharomyces cerevisiae IAM 4178 (酵母) を用いた。各菌を液体培地 (細菌類は乾燥ブイヨン培地 (日水製薬)、酵母は YPD 培地を使用) で一晩静置培養後、培養液を食材塗布用の菌液として用いた。

2. 過熱水蒸気処理装置

研究に用いた過熱水蒸気装置 (第一機電) の概略図を図1に示す。市販のボイラ (三浦工業) で発生させた飽和水蒸気を、電磁誘導加熱により100°C以上に加熱した。過熱水蒸気は処理槽 (475mm × 450mm × 485mm) 内部の上下に設置したノズルから槽内に供給した。試料挿入時の槽内の温度低下を防ぐため、試料は処理槽中央部に設置した引き出し式の処理室 (145mm × 120mm × 15mm) に入れ、出し入れを行った。蒸気量は使用後の過熱水蒸気を冷却水で凝縮し、単位時間当たりの凝縮水の液量から求め、21L/h を流した。

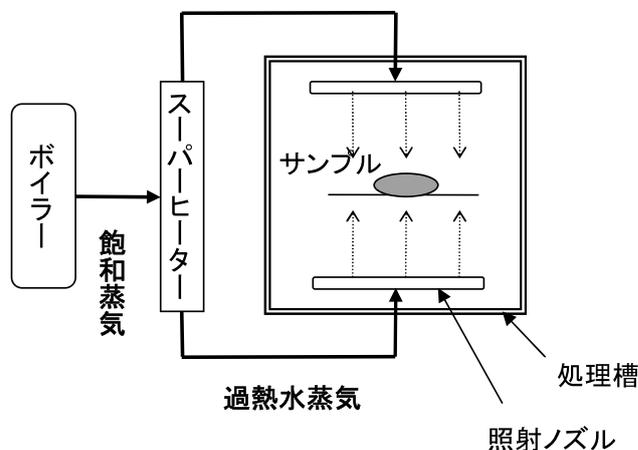


図1 過熱水蒸気装置の概略図

3. 微生物を塗布した食材の過熱水蒸気による殺菌試験

食材への微生物の塗布は以下のように行った。キュウリは無菌袋に4本入れ、菌液40mlを加え、よく攪拌後、液を切り、冷蔵庫に一晩静置後、1/4に切断し殺菌試験に用いた。スルメの場合、数センチ角に切断し、菌液10mlに浸漬、よく液をきった後、冷蔵庫に一晩静置し、殺菌試験に用いた。微生物を塗布した食材を過熱水蒸気槽の処理室にセットし、一定温度（100～160℃）で10秒間過熱水蒸気処理し、処理後菌数の測定を行った。

4. 食品・食材の過熱水蒸気による殺菌試験

微生物を塗布した食材同様に食材を過熱水蒸気槽の処理室にセットし、一定温度（100～180℃）で10秒間過熱水蒸気処理し、処理後菌数の測定を行った。また同時に過熱水蒸気処理による品質の影響を調べるため、水分量の測定や官能検査を行った。

5. 菌数検査

大腸菌、黄色ブドウ球菌、一般生菌数は標準寒天培地（日水製薬）、乳酸菌は標準寒天培地またはBCP加プレートカウント培地（日水製薬）を用いて混積培養（35℃、2日間）後、発生したコロニー数を計測した。酵母はポテト

デキストロス培地（日水製薬）を用いて混積培養（30℃、4～5日間）後、発生したコロニー数を計測した。また、芽胞数は80℃・10分処理後、一般生菌数同様に測定を行った。

実験結果および考察

1. 微生物を塗布した食材の過熱水蒸気による殺菌試験

代表的な食品腐敗菌である大腸菌、ブドウ球菌、乳酸菌、酵母に対する過熱水蒸気処理による殺菌効果を検証するため、これらの微生物をキュウリ、スルメに塗布し、過熱水蒸気処理を行った。その結果を図2および図3に示す。キュウリに大腸菌（ $10^6 \sim 10^7$ CFU/g）を塗布し処理したとき、バラツキは見られるが処理温度に関係なく、5秒後の生菌数は、原料中の芽胞数（ 10^{27} CFU/g）程度まで減少した。キュウリには原料由来の微生物も附着しており、処理後、生菌数が原料中の芽胞数程度まで減少した結果から、塗布した大腸菌はほぼ完全に死滅したと考えられる。なお、この程度の処理では食材表面に水蒸気が凝縮し、完全に蒸発する前に処理が終了することから、食材表面が100℃以上になることはなく、細菌芽胞はほとんど死滅し

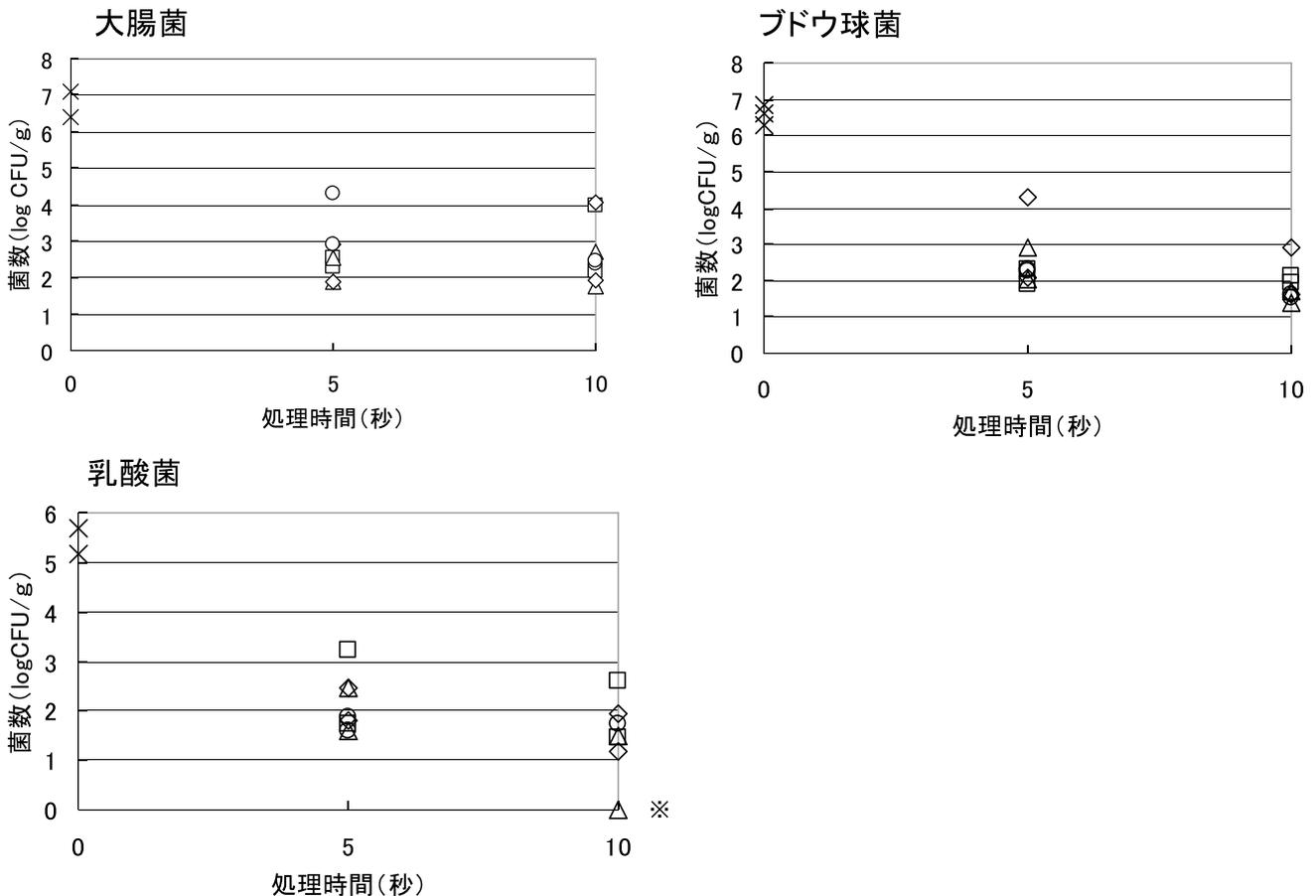


図2 キュウリに塗布した種々の微生物の過熱水蒸気による死滅挙動
 ×, 初発菌数; □, 100℃処理; △, 120℃処理; ◇, 140℃処理; ○, 160℃処理
 ※菌が不検出の場合、菌数を 10^0 とした。

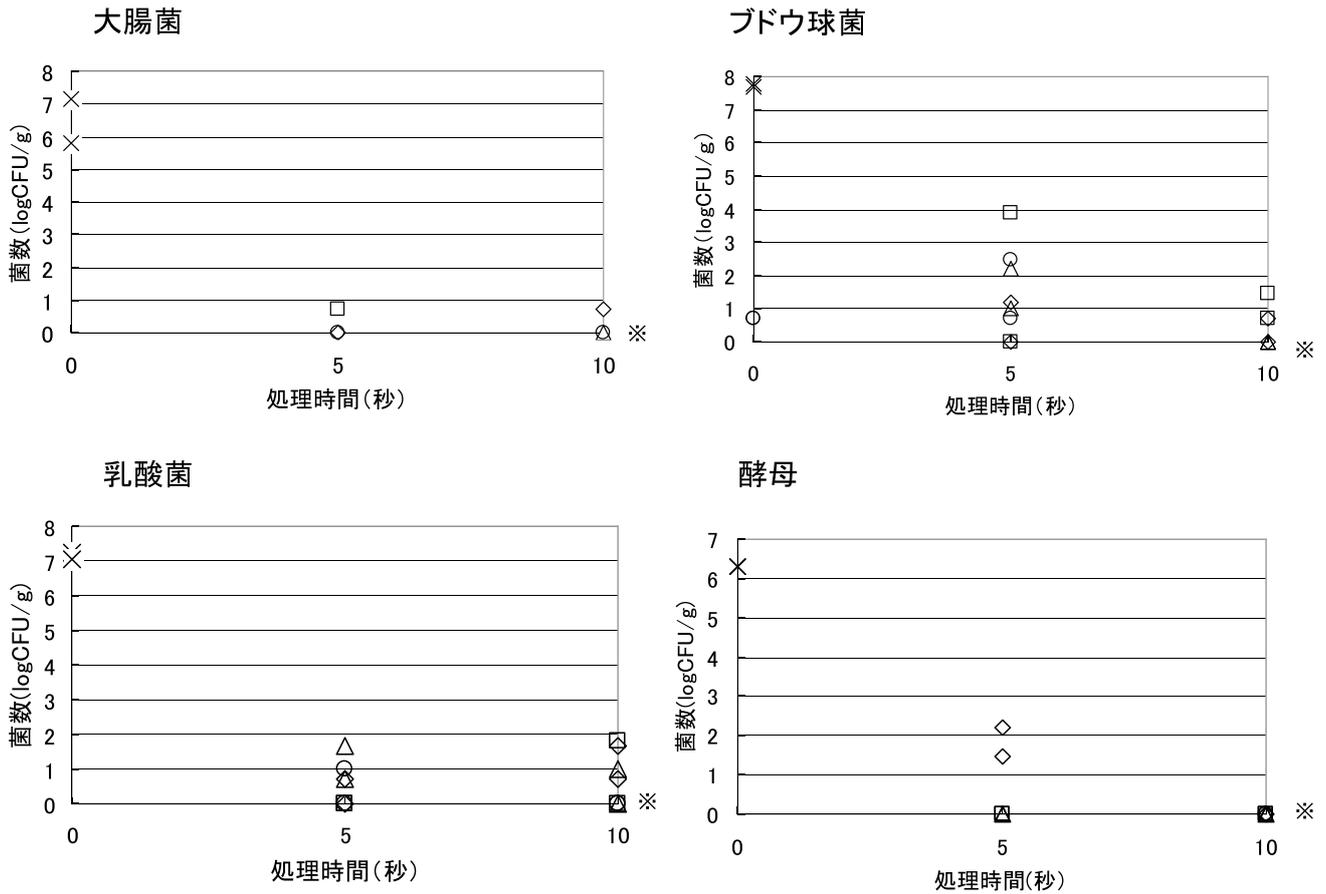


図3 スルメに塗布した種々の微生物の過熱水蒸気による死滅挙動
 ×, 初発菌数; □, 100°C処理; △, 120°C処理; ◇, 140°C処理; ○, 160°C処理
 ※菌が不検出の場合, 菌数を 10^0 とした。

ない。キュウリにブドウ球菌 ($10^6 \sim 10^7$ CFU/g) 及び乳酸菌 ($10^5 \sim 10^6$ CFU/g) を塗布したときも同様の結果となった。

次にスルメに大腸菌 ($10^5 \sim 10^6$ CFU/g), ブドウ球菌 ($10^7 \sim 10^8$ CFU/g), 乳酸菌 ($10^7 \sim 10^8$ CFU/g) 及び酵母 ($10^6 \sim 10^7$ CFU/g) を塗布した。その結果, 若干のバラツキは見られたがキュウリを用いた場合と同様, 5秒間処理によって処理温度に関係なく生菌数が原料中の芽胞数程度 (300CFU/g 以下) まで減少した。以上のことから, 100~160°C・5秒処理によって大腸菌, ブドウ球菌, 乳酸菌, 酵母は処理温度に関係なく死滅させることができると考えられる。このことは試料表面の無芽胞病原性細菌を死滅させるには5秒間程度の過熱水蒸気処理で十分であることを示している。また, 今回の実験で処理温度による殺菌効果の違いが現れなかったが, これは無芽胞細菌や酵母は耐熱性が低い ($D_{100^\circ\text{C}}$ が1秒以下) ため, 処理温度間で見かけ上死滅速度の差が見られなかったと考えられる。このことは無芽胞細菌や酵母を殺菌する場合, 過熱水蒸気を用いなくても飽和水蒸気 (100°Cの蒸気) 処理で十分殺菌が可能であることを示している。しかしながら, 飽和蒸気を用いた

時, 試料及び試料台の表面に凝縮水が多量に付着することから, 低水分食材・食品 (スルメ, チリメン等) を処理する場合は過熱水蒸気が適している。

2. 食材の過熱水蒸気による殺菌試験

次に, 従来品質が劣化し易いため加熱殺菌できなかった食材・食品に過熱水蒸気処理の適用を試みた。生鮮食材・食品としてミニトマト, イチゴ, アメリカンチェリー, キュウリ, 乾燥食材・食品としてスルメ, チリメンを用いて過熱水蒸気処理 (100~160°C・1~20秒間) を行った。ミニトマトとイチゴは, 最も穏やかな条件である100°C・1秒処理で 10^2 オーダーの殺菌効果が得られたが, 組織が柔らかくなっており品質は劣化していた。アメリカンチェリーは, 120°C・1秒間処理で生菌数が 10^2 CFU/gから検出限界以下 (10CFU/g 以下) に減少した。このとき, 官能で生の状態が維持できたのは5秒間処理までであった。キュウリを処理したときの結果を図4に示す。若干のバラツキはみられるが, 微生物添加試験同様処理温度に関係なく, 5秒間処理後生菌数は原料中の芽胞数 (10^{27} CFU/g) 程度まで減少し, その後はほぼ一定となった。品質は官能的には120°C・10秒間処理までは無処理のものと差がな

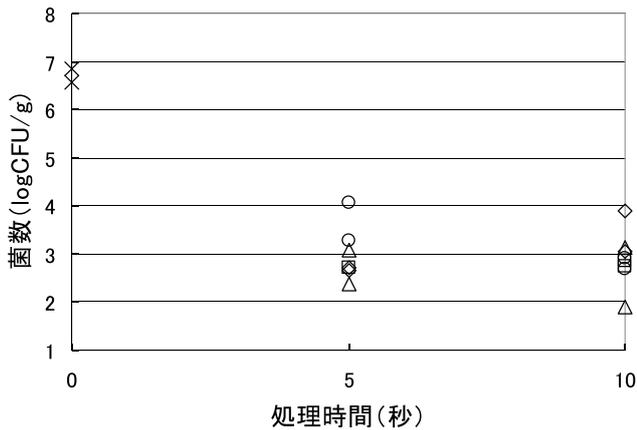


図4 過熱水蒸気処理によるキュウリの菌数変化
 ×, 初発菌数; □, 100°C処理; △, 120°C処理; ◇, 140°C処理;
 ○, 160°C処理
 初発芽胞数 5.0×10^2 (CUF/g).

かったが、30秒間処理では表面が煮えた状態になった。スルメ、チリメンを処理したときの結果を図5および図6に示す。いずれもキュウリ同様処理温度に関係なく、5秒間処理後には原料中の芽胞数以下まで減少した。また、処理後のチリメンの品質を官能で比較した結果、140°C処理の場合10秒間、180°C処理の場合5秒間までは無処理のものと差がなかった。また、食材の過熱水蒸気による殺菌試験において、微生物添加試験同様いずれの原料を用いた場合も処理温度の差は認められなかった。

過熱水蒸気による殺菌が適用できるかどうかは、食材表面の組織の熱耐性に依存している。イチゴやミニトマトは組織が柔らかいため加熱による品質への影響が大きく、葉野菜においても同様で、5秒程度の蒸気処理を行うとパリ

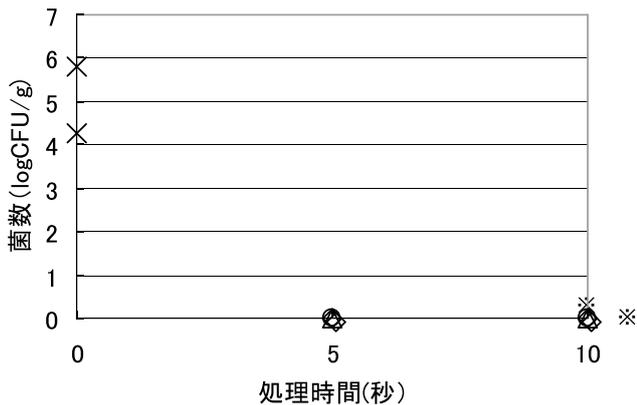


図5 過熱水蒸気処理によるスルメの菌数変化
 ×, 初発菌数; △, 120°C処理; ◇, 140°C処理; ○, 160°C処理
 初発芽胞数は300 (CFU/g) 以下
 ※菌が不検出の場合、菌数を 10^0 とした。

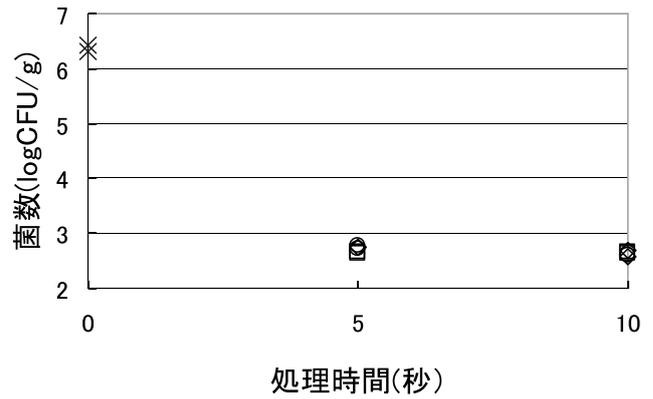


図6 過熱水蒸気処理によるチリメンの菌数変化
 ×, 初発菌数; △, 120°C処理; ◇, 140°C処理; ○, 180°C処理
 初発芽胞数は 7.4×10^2 (CFU/g).

パリ感がなくなり、生の食感が失われた。

以上の結果から、キュウリやチリメンのように表面が濡れることを好まない食材を処理する場合は過熱水蒸気が、濡れても良い場合には飽和蒸気が有効であると考えられる。また、常圧過熱水蒸気処理では水分が完全に蒸発するまで食材表面温度は100°C以上に上がらないため、耐熱性の高い細菌芽胞の殺菌には適さないことがわかった。

要 約

キュウリとスルメに無芽胞細菌（ブドウ球菌、大腸菌、乳酸菌）、酵母を塗布し、100~160°Cで5秒間過熱水蒸気処理を行なったところ、無芽胞菌はいずれも死滅した。また、品質が劣化し易いため加熱殺菌できなかった食材・食品を対象に、過熱水蒸気処理の適用を試みた。キュウリを120°C~160°C・5秒間過熱水蒸気処理することにより原料中の芽胞数レベルまで菌数を減らすことができた。このときの品質を無処理のサンプルと比べた結果、官能的に有意な差は見られなかった。イチゴやトマトのような組織の柔らかい野菜・果実類は殺菌効果が得られる前に品質の低下が見られた。スルメ、チリメンを120°C~160°C・5秒間過熱水蒸気処理することにより原料中の芽胞数レベルまで菌数を減らすことができた。このときの品質を無処理のサンプルと比べた結果、官能的に差は見られなかった。

文 献

- 1) 保坂秀明, 常圧過熱水蒸気の食品への利用, 食品工業, 8 (30), pp46-55 (1999).
- 2) 保坂秀明, 低圧過熱水蒸気の利用による食品加工操作, 食品加工技術, 18 (2), pp59-66 (1998).