

氏名(本籍)	井 ^{いの} 上 ^{うえ} 孝 ^{たか} 司 ^し (愛知県)		
学位の種類	博士(農学)		
学位記番号	博甲第4478号		
学位授与年月日	平成19年7月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	液状食品の連続殺菌および酵素失活のための交流高電界装置の開発と特性評価		
主査	筑波大学教授	工学博士	中嶋光敏
副査	筑波大学教授	農学博士	土居修一
副査	筑波大学准教授	博士(工学)	市川創作
副査	筑波大学准教授(連携大学院)	農学博士	小林秀行

論文の内容の要旨

1997年以來、わが国において病原性大腸菌 O-157:H7 による食中毒が各地に発生し、食品の安全性確保が大きな社会問題となってきた。更に、食品の非加熱技術を利用した殺菌と保存は、加熱による食品の品質劣化、ビタミンや必須栄養成分の破壊、テクスチャーや香りの変化、色調の変化などが生じないため、品質の高い食品を製造する技術として消費者から望まれている。そこで、熱以外の物理エネルギーを食品の殺菌に応用した非熱殺菌技術の開発が積極的に進められているの現状であり、①高圧処理、②高電圧パルス、③振動磁場、④パルス光線照射、⑤放射線、⑥化学物質、⑦ハードルテクノロジーの7種類に大別することが出来き、①～⑤までが物理的処理となる。

一方、我が国の液状食品の殺菌には、厚生省にて定められた「食品衛生法」により各液状食品の pH や水分活性や流通方法に対応した加熱殺菌の条件や包装形態が決められている。したがって、食品の製造販売に際して、加熱工程を伴わない殺菌処理を行うためには、法令の改正を行わなければならない。

現状の法令に準拠した加熱を伴う新たな液状食品の殺菌方法として、植村らが開発した交流高電界技術が挙げられる。交流高電界技術とは、食品材料に交流高電界を印加すると、電気抵抗を持つ材料(食品)に電流が流れ、自身が発熱するジュール熱とよばれる原理を利用した食品の急速加熱と、高電界の効果により、微生物の細胞膜に損傷を与えて微生物を瞬間的に死滅させることを利用した技術である。

そこで、本研究は、本研究では「交流高電界技術」を利用することにより、食品の熱劣化を伴わずに食品中で問題となる耐熱性微生物胞子の殺菌や食品中に含まれる酵素の失活が出来る新たな装置開発を行い、高電界装置の特性を評価することを目的とした。

交流高電界は、高周波の交流を発生させる電源部、交流を印加する電極部、発熱した被処理物を直ちに冷却する冷却部と処理物を連続的に一定量を送液できるポンプ及び処理系内を一定に保圧出来る保圧部からなる構成の装置を作製した。

電源部の出力仕様は電力 25kW、周波数 20kHz、最大電圧 2000V であり、電極部はテフロン製の流路中にチタニウム製の平行平板電極を配置した構造について検討した。

本交流高電界装置は、120℃、1秒以内の処理で *B. subtilis* 胞子を 10⁴ CFU/ml 以上殺菌出来ることが明らかになった。更に、印加電界強度が高い程殺菌効果が高くなることや印加電界時間が長いほど殺菌効果が高くなることが明らかになった。また、処理時の圧力については処理圧力が高いほど殺菌効果が高くなり、0.6MPa 以上の圧力の場合に運転が安定することが明らかになった。中温性耐熱性菌や高温性耐熱性菌および好酸性耐熱性菌と言った食品の変敗の原因となる各種微生物胞子を 10³ CFU/ml 以上殺菌出来ることが明らかになった。交流高電界殺菌の特性は、微生物胞子固有の耐熱性以上の温度で処理した場合、処理温度が高くなるほど殺菌効果が高くなることが分り、更に、交流高電界技術における昇温幅（電流）は、微生物胞子の殺菌効果に影響を与えないことが明らかになった。

次に、処理圧力が材料の沸点上昇以上に高くする必要があった理由は、CFD によるシュミレーション解析の結果から電極近傍の局所的な温度が中心部よりも 10℃ 以上高くなるためであることが明らかになった。また、本装置による胞子の殺菌メカニズム解明のために、胞子の走査型電子顕微鏡での性状観察及び胞子中に含まれる特異物質であるジピコリン酸 (DPA) の放出量について、従来の加熱殺菌である超高温殺菌 (UHT) と比較したところ、胞子の外観に大きな違いは認められないものの、DPA の放出量が UHT 殺菌処理したものと比較すると 34% 程度少ない放出量で殺菌されていた。これは、交流高電界殺菌は従来の加熱殺菌以外の電気的効果で死滅していることが考えられた。

また、100% オレンジ果汁を用いた殺菌結果では、食塩水中と同様な殺菌効果を示した。UHT と同じ殺菌効率となる条件で 100% オレンジ果汁を交流高電界処理した結果、100% オレンジ果汁中に含まれる有効成分や香り成分の分解や劣化が少ないことが分った。さらに、オレンジ果汁を 27h 連続運転した時の殺菌効果や使用した電極の性状を分析したところ、27h 連続運転しても殺菌効果に変化しないことや電極の腐食等の問題も認められないことが分った。さらに、不溶性固形物であるパルプが含まれていても殺菌効果に変化しないことや pH が 4.0 以上の茶飲料でもオレンジ果汁と同じ殺菌効果が得られたことから、交流高電界殺菌技術が幅広く食品加工の殺菌工程へ適応できることが明らかになった。

また、処理量を 60 l/h から最大 500 l/h まで増やすように装置のスケールアップを行った場合に殺菌効果が低減しないことも明らかになった。

次に、100% レモン果汁を交流高電界 75℃、1s 以内の処理を行なうことで天然果汁に含まれているペクチンエステラーゼを完全に失活出来ることが分った。さらに、加熱処理やマイクロ波の加熱失活に比べ効果的にペクチンエステラーゼを失活出来ることが明らかになった。この、他の加熱方法よりも交流高電界処理により効果的にペクチンエステラーゼを失活できる理由は、電界強度が酵素活性に影響を与えるのではなく、0.1s 以内という短時間に 50℃ 以上昇温させた急激な温度変化がペクチンメチルエステラーゼを効果的に失活出来た要因であることが明らかになった。

以上の結果より交流高電界処理を食品へ応用することで微生物胞子の殺菌や不要酵素の失活による食品の品質保持性の向上が実現し、更に、加熱による食品の品質劣化、ビタミンや必須栄養成分の破壊や香りの変化、色調の変化などが生じない、品質の高い食品を製造する技術確立ができた。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は交流高電界技術を利用して、果汁中の微生物胞子の殺菌および果汁の酵素（ペクチンエステラーゼ）を失活させる装置を開発し、その特性を評価したものである。殺菌への応用では、各種運転パラメータと殺菌特性の関係を明らかにし、枯草菌胞子、中温性耐熱芽胞菌、高温性耐熱芽胞菌、好酸性耐熱芽胞菌の殺菌に成功した。また、装置の実用化を目指して、500L/h 処理量を実現する装置のスケールアップおよび 27 時間の連続運転試験に成功し、実用化の目処を個々の問題を解決することで、実用化の目処を立てた。

酵素失活への応用では、従来法の 1 / 100 以下の処理時間で、酵素を完全に失活することを明らかにし、高品質な酵素失活方法として新しい分野を開拓したことなど、社会に貢献する応用研究として多いに評価できる。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。