

学 位 論 文 題 名

電解水による野菜殺菌技術の高度化

学位論文内容の要旨

<背景と目的>

本研究は最近急速に高まっている「消費者の生鮮食品の安全性向上に対する要望」に対応するために、医療分野をはじめとする多方面で殺菌力が注目されている強酸性電解水の食品分野での応用を検討したものである。電解水（強酸性および強アルカリ性電解水）に関する研究はその効果に注目が集まり、電解水自体の性質を検討した例は少数であった。そこで本研究ではまず電解水の基礎特性を把握することを目的とした。次に食品の中でも微生物汚染度が高く、かつ殺菌が困難なカット野菜を対象として電解水による洗浄・殺菌効果および品質保持効果を明らかにすることを目的とした。さらに、電解水による洗浄・殺菌技術を中核としたカット野菜製造における HACCP プランを策定した。

<結果と考察>

1. 電解水の基礎特性

短期間の保存において、強酸性電解水の酸化還元電位（ORP）、有効塩素濃度（ACC）は明所開放条件において速やかに低下し、有効性を失うことが示された。一方、遮光密閉条件において強酸性電解水は安定していることが確認された。pH は保存条件によらず安定していた。また、強アルカリ性電解水は保存条件によらず不安定であった。次に強酸性電解水は通気・攪拌を加えることで経時的に、還元剤を添加することで添加濃度に比例して ACC が減少することが確認された。また、強酸性電解水の ORP は ACC が完全に消失するまで 1000mV 以上の高い値を維持した。強酸性電解水の pH は通気・攪拌および還元剤を加えても変化しなかった。さらに強酸性電解水の使用に際して問題となっている金属腐食について各種金属を用いて検討した結果、強酸性電解水はステンレス鋼（SUS304, SUS316）に対して腐食作用を示さなかったことから、強酸性電解水の食品工場等における使用に問題がないことが明らかになった。

2. 電解水を用いたカット野菜の殺菌

強酸性電解水を用いて各種カット野菜（キャベツ、レタス、ニンジン、キュウリ、ゴボウ）の殺菌効果を検討した結果、キュウリ以外の試料においては強酸性電解水への 10 分間以内の浸漬により一般生菌数は初発菌数の 1/10～1/100 あるいはそれ以下にまで減少した。また、強酸性電解水はカット野菜の殺菌において従来使用されている次亜塩素酸ナトリウム水溶液（ACC 150 ppm 程度）と同等の殺菌効果を有することが確認された。次にカット

野菜を強アルカリ性電解水により攪拌しながら前洗浄した後、強酸性電解水で攪拌しながら殺菌した場合、キュウリのような殺菌しにくい野菜でも各 5 分間の処理で初発菌数の 1/100 まで殺菌することが確認された。また、ACC や pH を調整して強酸性電解水の殺菌効果を検討した結果、強酸性電解水の殺菌力の主体が低 pH 下で酸化力を増大した有効塩素であることを確認した。さらに、殺菌力を維持するのに必要な ACC が 20ppm 以上であることを確認した。次に、野菜表面の微生物に対する強酸性電解水の作用を走査電子顕微鏡 (SEM) による野菜表面の観察と拭き取り法による表面微生物の殺菌効果との両面から検討した結果、レタスの表面は強酸性電解水の殺菌効果により清浄化されることが拭き取り試験と SEM による観察の両面から確認された。一方、キュウリやイチゴでは十分な殺菌がなされていないことが拭き取り試験と SEM による観察の両面から確認された。また、電解水による洗浄・殺菌が野菜の品質（外観やビタミン C 含量）に悪影響を与えないことを確認した。

3. 電解水殺菌と修飾空気を併用したカット野菜の品質保持

電解水によって殺菌したカット野菜を高品質を保持した状態で流通させるために、電解水による殺菌処理と窒素ガス (N_2) 充填包装との併用によりカット野菜の外観品質および微生物増殖に与える影響を検討した。カット野菜を N_2 充填包装することで野菜の保存に適した低 O_2 ・高 CO_2 のガス条件を作り出すことができた。さらに褐変等の外観劣化を抑制することを確認した。しかし微生物増殖は包装内ガス組成に関わらず増殖し、増殖速度は保存温度にのみ依存することが明らかになった。そこで、低温保存中のカット野菜の微生物数データをもとにカット野菜の微生物増殖モデルを構築し、品質保持期間を予測した。カット野菜の一般生菌、大腸菌群、*B. cereus* および低温細菌の増殖は 5 および 10℃ 保存においてゴンペルツ曲線として表すことができ、初発菌数と保存温度の情報から保存中の細菌数の予測が可能となった。カット野菜を強酸性電解水で殺菌して細菌数を減少させても、その殺菌効果が持続するのは 5℃ および 10℃ 保存では 3~4 日間であった。また、殺菌によって細菌数を減少させた場合に細菌の増殖速度が速くなることが示され、低温保持との併用が必要不可欠であることが明らかになった。

4. 強酸性電解水氷を用いた野菜の新規殺菌技術の開発

有効塩素濃度 20 ppm の強酸性電解水から調製した強酸性電解水氷をレタスとともに断熱容器に封入した場合には容器内の塩素ガス濃度が 3.9 ± 0.5 ppm/h にまで上昇し、レタスに存在する各種微生物に対して強酸性電解水に浸漬した場合と同等の殺菌効果を示した。また強酸性電解水氷により野菜を氷詰めにすることで低温保持も可能となり、保冷と殺菌を同時に行う新規殺菌技術としての利用可能性が示された。

5. 電解水を用いたカット野菜製造・流通における HACCP

カット野菜製造における衛生管理対策としてモデル HACCP プランを作成した。まず、強酸性電解水氷によって低温保持と殺菌を行いつつ原料となる野菜を搬入する。その後、強アルカリ性電解水によって洗浄してから強酸性電解水で洗浄することで確実な殺菌効果を得ることが可能となる。さらに、窒素充填包装をすることによって外観品質の劣化を抑制する。以上のようにこのモデル HACCP プランには本研究で得られた成果が盛り込まれており、これまで示されてきたモデルよりも高度な衛生管理体制を確立し得ることが明らかになった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 藤 和 彦

副 査 教 授 端 俊 一

副 査 教 授 松 田 從 三

副 査 助 教 授 川 村 周 三

学 位 論 文 題 名

電解水による野菜殺菌技術の高度化

本論文は7章から構成されており、図95、表24、参考文献166を含む総頁数217の和文論文である。別に参考論文が7編添えられている。

本研究は最近急速に高まっている「消費者の生鮮加工食品の安全性向上に対する要望」に対応するために、カット野菜を対象として医療分野をはじめとする多方面でその殺菌力が注目されている強酸性電解水を用いた殺菌技術の高度化を目的としている。最初に電解水の基礎特性を把握し、強酸性電解水を用いたカット野菜の殺菌および品質保持法の検討、強酸性電解水を用いた新規殺菌技術の開発並びに強酸性電解水を基軸としたカット野菜製造工程と流通過程のHACCPプランを提案している。内容は以下のように要約される。

1. 電解水の基礎特性

強酸性電解水の酸化還元電位（ORP）および有効塩素濃度（ACC）は遮光密閉条件において安定していることを確認した。また、強アルカリ性電解水は保存条件によらず不安定であった。強酸性電解水は有機物と反応して比較的短時間にACCが減少することを確認した。また、強酸性電解水の使用に際して問題となっている金属腐食について各種金属を用いて検討した結果、強酸性電解水はステンレス鋼に対して腐食作用を示さなかったことから、強酸性電解水の食品工場等における使用に問題がないことを明らかにした。

2. 電解水を用いたカット野菜の殺菌

強酸性電解水を用いて各種カット野菜（キャベツ、レタス、ニンジン、キュウリ、ゴボウ）の殺菌効果を検討した結果、キュウリ以外の試料を強酸性電解水に浸漬した場合、10分間以内に一般生菌数を初発菌数の1/10～1/100あるいはそれ以下にまで減少させることが可能であることを明らかにした。また、強酸性電解水はカット野菜の殺菌において従来から使用されている次亜塩素酸ナトリウム水溶液（ACC濃度150ppm程度）と同等の殺菌効果を保持していることを明らかにした。次にカット野菜を強酸

性電解水による殺菌の前処理として強アルカリ性電解水を用いて洗浄を行った結果、キュウリのような殺菌しにくい野菜でも各 5 分間の処理で初発菌数の 1/100 まで殺菌できることを明らかにした。強酸性電解水の殺菌力の主体が低 pH 下で酸化力を増大した有効塩素であることを確認し、さらに、殺菌力を維持するための必要最小限度の ACC は 20ppm であることを明らかにした。次に、野菜表面の微生物に対する強酸性電解水の作用を走査電子顕微鏡 (SEM) による野菜表面の観察と拭き取り法による表面微生物の殺菌効果との両面から検討した結果、レタスの表面は強酸性電解水の殺菌効果により清浄化されることを認めた。また、電解水による洗浄・殺菌が野菜の品質（外観やアスコルビン酸含量）に悪影響を与えないことを確認した。

3. 電解水殺菌と修飾空気を併用したカット野菜の品質保持

殺菌後のカット野菜を N_2 充填包装することで野菜の保存に適した低 O_2 ・高 CO_2 のガス条件を作り出すことができることを明らかにした。さらに褐変等の外観劣化を抑制することを確認した。しかし微生物増殖は包装内ガス組成に関わらず増殖し、増殖速度は保存温度にのみ依存することが明らかにした。そこで、低温保存中のカット野菜の微生物数データをもとに微生物増殖モデルを構築し、品質保持期間を予測した。カット野菜の各種微生物の増殖は 5 および 10℃ 保存においてゴンペルツ曲線として表すことができ、初発菌数と保存温度の情報から保存中の細菌数の予測が可能となった。

4. 強酸性電解水氷を用いた野菜の新規殺菌技術の開発

有効塩素濃度 20 ppm の強酸性電解水から調製した強酸性電解水氷をレタスとともに断熱容器に封入した場合、容器内の塩素ガス濃度が 4ppm にまで上昇した。レタスに存在する各種微生物に対して強酸性電解水に浸漬した場合と同等の殺菌効果を示した。また強酸性電解水氷により野菜を氷詰めにすることで低温保持も可能となり、保冷と殺菌を同時に行う新規殺菌技術を提案した。

5. 電解水を用いたカット野菜製造・流通における HACCP

本研究で得られた結果を盛り込んだ HACCP プランを作成し、これまで示されてきた HACCP プランよりもさらに高度な衛生管理体制を確立し得ることを明らかにした。

以上のように、本研究は電解水の性質および殺菌特性に関する基礎的な知見を提起した新規性の高いものであるとともに、カット野菜の製造、流通における実用化レベルでの応用を提起しており、先駆性を有する研究として関係学会および関係業界で高く評価されている。よって審査員一同は、小関 成樹が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。