

称号及び氏名	博士（農学）阿知波 信夫
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 31 日
論文名	「電解水による野菜の品質・微生物制御 ならびに食素材の安全性確保に関する研究」
論文審査委員	主査 教授 阿部 一博 副査 教授 池田 英男 副査 教授 上田 悦範 副査 総括研究員 草刈 真一

## 論文要旨

### 緒言

水道水に少量の食塩（または塩化カリウム）を添加後、隔膜を介して電気分解して得られる 2 種の電解水のうち、陽極側に生成した pH2.7 以下で有効塩素を含有する溶液を強酸性電解水と呼び、陰極側に生成した pH11.3 以上の溶液を強アルカリ性電解水と呼ぶ。

強酸性電解水は、食中毒細菌や薬剤耐性菌を含めた種々の微生物に対して優れた殺菌効果を示し、平成 14 年 6 月に食品添加物の殺菌料（登録名は次亜塩素酸水）として指定された。これは、食品の殺菌に加え二次汚染防止を目的とした厨房器材の洗浄除菌にも利用され、食中毒事故防止に貢献している。医療分野では院内感染防止のほかに、治療への応用についても研究が進んでいる。農業分野においても特定防除資材としての申請が行われており、現時点では生産者の責任の元で利用できる経過措置となっている。

一方、強アルカリ性電解水は、器物に付着したタンパク質や油脂等の有機物を

除去する効果が確認されている。

そこで本研究では、この両電解水に着目し、農産物の安全性を生産から消費まで確保するための手段として、各ステージにおける利用法を明らかにした。

## 第1章 農業生産における電解水利用による微生物制御

植物の病害微生物に対する効果を *in vitro* で確認した。各種病害微生物の菌そうあるいは遊走子等に対して低濃度で殺菌効果を示したことから、強酸性電解水が接触できる環境を整えられれば殺菌は可能である。ミツバの種子消毒では、60℃に温めた強アルカリ性電解水での処理後に強酸性電解水で処理をすることで、短時間でも通常の種子消毒剤と同等以上の消毒効果が得られるだけでなく、発芽率も高まった。また、ミツバの養液栽培に利用したパネルを強酸性電解水で処理した場合も、資材殺菌剤と同等の効果が得られた。通常の薬剤を使用した場合と比較して、作業時の操作性や安全性、さらには廃液処理のコストと煩雑さを考慮すると電解水による処理は種子消毒と資材殺菌に利用可能な方法であることを明らかにした。

栽培中の病害防除を目的とした強酸性電解水の葉面散布では、キュウリうどんこ病に対しては通常の農薬と同等の防除価が得られ、キュウリ炭そ病に対しては農薬には及ばないものの無処理区に比べて高い防除価が得られた。イチゴ灰色かび病に対しては7日間隔の散布により、発病果率を大きく抑えることができた。散布を停止して数日後には防除効果が低くなることから、農産物への残留性も低いことが明らかになり、強酸性電解水は残留性が低く、栽培中の病害の防除にも有効であることを明らかにした。

## 第2章 電解水による生育制御と生産物の品質特性

電解水の殺菌以外の利用法として、野菜栽培における生育ならびに品質向上を目的とした研究を行った。強アルカリ性電解水を培養液に混入させたところ、養液栽培ミツバは強アルカリ性電解水の濃度が高い場合は生育が遅れたが、10倍に希釈した場合には収穫量と乾物率が増加した。通常の養液栽培では、培養液濃度を高めてストレスを与えると化学成分濃度が高くなるが、強アルカリ性電解水の濃度を高めたストレスでは、フェノール物質と無機成分濃度は高くなったが、クロロフィルと遊離アミノ酸濃度は低下した。このことは、強アルカリ性電解水による水分ストレスは、一般的な塩類高濃度ストレスとは異なることを明らかにした。

また、強アルカリ性電解水の50%希釈液、あるいは強アルカリ性電解水と強酸性電解水の混合液を、栽培中のミツバに葉面散布することで、収穫量を増加させることができた。ネギでは、強酸性電解水と強アルカリ性電解水を単独にあるいはそれらを交互に散布したところ、交互散布区では新鮮重と茎径が有意に増加した。

つまり、電解水を適宜希釈して培養液に混入したり葉面に散布したりすることで、電解水に溶存していた無機成分が吸収され、植物体の生育ならびに化学成分的な品質が変化したものと考えられる。さらにネギへの葉面散布では、塩素を含有している強酸性電解水を単独にあるいは交互に散布した区で、収穫時のネギの生菌数を有意に減少させることができたことから、野菜の栽培における電解水の有効な利用法を明らかにした。

### 第3章 収穫物の微生物特性と電解水による制御

収穫した野菜の殺菌を確実にを行うために、まず野菜組織における微生物の分布と細菌を接種したときの経時的な変化を調査した。レタスとネギの表面に存在する細菌をレーザー顕微鏡で観察したところ、気孔部と細胞間隙に多く存在し、菌塊は表皮から約  $10\mu\text{m}$  までに存在すること、損傷した細胞では内部に侵入していることなどを確認した。強酸性電解水で処理を行うと表皮付近に存在する細菌数を減少させることは可能であるが、孔辺細胞内部までは殺菌できていないことを確認した。

無切断のニンジンの生菌数を部位別に測定したところ、皮層部の細菌数が最も多く、内部に進むほど菌数は減少した。ニンジンの異なる部位から調製したディスクを強酸性電解水で処理すると、細菌数は減少したが滅菌はできなかったことから、殺菌効果は切片の表面とそれに近い細胞間隙であることを明らかにした。また、異なる部位のすべてのディスクにおいて呼吸量が増加したことから、強酸性電解水によるストレスは切断面から切片内部までの生理活性に影響を及ぼしていることを確認した。強酸性電解水の殺菌効果は内部までは浸透しないが、ニンジン個体を強酸性電解水で処理して皮層部の生菌数を減少させることで、切断・調製した師部と形成層部、さらには木部の生菌数を減少させることができた。このことは、包丁やナイフによる切断処理が皮層部に付着している細菌を師部と形成層部さらに木部にまで導いてしまっていることを明らかにし、加工前の原料野菜の表面殺菌の重要性を示した。

カットキャベツの二次汚染を防止するための強酸性電解水による表面殺菌の効果性を検証した。その結果、大腸菌接種後のカットキャベツは保存温度にかか

ならず、接種3時間後までは効果が確認されたが、8時間後では極端に低下した。これは、細菌が経時的にカット面から内部へ侵入したため、表面殺菌を主とする強酸性電解水処理では内部の殺菌効果が低くなることを示している。

#### 第4章 電解水利用による食品素材の品質向上と微生物制御

市場に流通しているサラダを、カット野菜工場で個別包装されて出荷後直接消費者が購入するグループと、一たん店舗に入荷後作業者によって盛り付けられるグループに分けて、生菌数を調査した。その結果7月には、厚生省の目標値である106CFU/gを超えているものを確認した。また、すべてのサラダを購入直後に強酸性電解水で殺菌処理したところ、店舗で盛り付けを行ったグループでは高い殺菌効果が得られたものがあり、盛り付け時に二次汚染が発生している可能性と強酸性電解水による二次汚染の防止が可能であることを明らかにした。

現在、最も普及している食品殺菌料である次亜塩素酸ナトリウムと強酸性電解水との殺菌効果を比較した。強酸性電解水は装置からの連続注水が可能であるため、短時間で、厚生省が推奨する次亜塩素酸ナトリウムによる処理と同等の殺菌効果が得られた。処理を行ったキャベツ中のトリハロメタンは、強酸性電解水では検出されなかったのに対し、次亜塩素酸ナトリウム処理では72時間まで継続して約50ppbの濃度で存在した。官能検査では、処理直後でも強酸性電解水では臭いや食味に異常を感じた人がいなかったのに対し、次亜塩素酸ナト

リウムでは異常を感じた人が多かった。しかしながら、処理 1 時間後には異常は感じられなくなったため、トリハロメタンの残存を官能的に判断することは困難であった。強酸性電解水は、次亜塩素酸ナトリウムと同等の殺菌効果でありながら、トリハロメタンの生成もなく摂食直前の処理が可能であることから、安全面と健康面、さらに品質面からも有効な処理方法で、カット野菜工場での処理から一般飲食店における処理まで、幅広く利用が可能であることを明らかにした。

以上、本研究では電解水の特性を生かした利用法は、農産物の生産から消費までの各ステージで従来法と同等あるいはそれ以上の効果でありながら、それぞれの欠点を補える技術であることを明らかにした。

## 審査結果の要旨

電解水には、pH2.7以下の強酸性電解水とpH11.3以上の強アルカリ性電解水があり、強酸性電解水は平成14年6月に食品添加物の殺菌料として指定され、食品の殺菌に加えて厨房器材の洗浄除菌にも利用されて食中毒事故防止に貢献している。医療分野で研究が進んでおり、農業分野でも特定防除資材としての申請が行われており、現時点では生産者の責任で利用できる経過措置となっている。強アルカリ性電解水は、タンパク質や油脂等の有機物を除去する効果が確認されている。

本論文では、この両電解水の特性に着目し、農産物への利用法を明らかにした。

第1章では、電解水利用による農業生産での微生物制御について検討した。各種病害微生物の菌そうあるいは遊走子等に対して低濃度で殺菌効果を示したことから、強酸性電解水が微生物に接触できる環境を整えられれば殺菌は可能であることを明らかにした。ミツバの種子を強アルカリ性電解水で処理した後に強酸性電解水で処理することで、通常の消毒剤と同等以上の消毒効果が得られるだけでなく、発芽率も高まる効果を見出した。ミツバの養液栽培では、資材の殺菌に利用可能な方法であることを明らかにした。強酸性電解水の栽培中の葉面散布により、キュウリうどんこ病とキュウリ炭そ病にも高い防除価が得られた。イチゴ灰色かび病に対しては、発病果率を顕著に抑え、農産物への残留性も低いことを明らかにした。

第2章では、電解水による生育制御と生産物の品質向上を検討した。ミツバの養液栽培では、強アルカリ性電解水を10倍に希釈した場合には収穫量と乾物率が増加した。通常の養液栽培では、培養液濃度を高めてストレスを与えると化学成分濃度が高くなるが、強アルカリ性電解水の濃度を高めた場合は、フェノール物質の濃度は高くなったが、クロロフィルと遊離アミノ酸の各濃度は低下した。このことから、強アルカリ性電解水による水分ストレスは、一般的な塩類高濃度ストレスとは異なることを明らかにした。また、強アルカリ性電解水の50%希釈液あるいは両電解水の混合液をミツバやネギに葉面散布することで、収穫量を増加させることができた。ネギへの葉面散布では、強酸性電解水を単独あるいは交互に散布した区で、生菌数を有意に減少させることができた。

第3章では、電解水による収穫物の微生物制御を検討した。ニンジンのディスクを強酸性電解水で処理すると、細菌数は減少したが滅菌はできなかったことから、殺菌効果は切片の表面とそれに近い細胞間隙であることを明らかにした。また、処理は切片内部までの生理活性に影響を及ぼしていることを確認した。ニンジン個体を強酸性電解水で処理して皮層部の生菌数を減少させることで、切断・調製した切片の生菌数を減少させることができた。これは、原料野菜の表面殺菌の重要性を示した。カットキャベツの二次汚染を防止するための強酸性電解水の効果を検証した。

菌接種後のカットキャベツは、接種3時間後までは処理効果が確認されたが、8時間後では極端に低下した。これは、細菌が経時的に切断面から内部へ侵入したため、表面殺菌を主とする強酸性電解水処理では内部の殺菌効果が低くなることを示している。

第4章では、電解水利用による食品素材の品質向上と微生物制御について検討した。一次加工野菜を購入直後に強酸性電解水で殺菌処理したところ、店舗で盛り付けを行ったグループでは高い除菌効果が得られ、盛り付け時に二次汚染が発生している可能性と強酸性電解水による二次汚染の防止が可能であることを明らかにした。除菌処理を行ったキャベツ中のトリハロメタンは、強酸性電解水処理では検出されなかったのに対し、次亜塩素酸ナトリウム処理では検出されたことから、強酸性電解水処理は、品質面から有効な処理方法で、摂食直前の処理が可能であることを明らかにした。

## 審査委員会の所見

以上、本論文は、電解水が農産物の生産から消費までの各ステージで従来法と同等あるいはそれ以上の効果を示すことを明らかにし、安全性を考慮した食素材の流通に貢献する貴重なデータを総合的に含む特段のものであると認める。よって、最終試験の結果と併せて、博士(農学)の学位を授与することを適当と認める。