

研究論文

## 各種植物病原菌に対する微酸性電解水の抗菌効果

津野和宣・中村悌一<sup>1)</sup>

宮崎大学農学部植物生産環境科学科

<sup>1)</sup> 森永乳業(株)食品基盤研究所生物機能研究部

(2011年12月22日 受理)

### Anti-biotic Effect of Slightly Acidic Electrolyzed Water on Plant Bacterial/Fungal Pathogen

Kazunori TSUNO and Teiichi NAKAMURA<sup>1)</sup>

Department of Agricultural and Environmental Sciences, Faculty of Agriculture, University of Miyazaki

<sup>1)</sup> Biological Function Research Department, Food Science and Technology Institute, Morinaga Milk Industry Co., Ltd.

**Summary :** The anti-biotic effect of slightly acidic electrolyzed water on plant pathogen was determined. The spores of 4 kinds of fungal pathogen and 17 kinds of plant pathogenic bacteria were applied at different concentration.

Slightly acidic electrolyzed water showed strong growth inhibition in germination of fungi spores tested. In addition, by the treatment with slightly acidic electrolyzed water for 30 sec., all kinds of bacteria tested were inhibited to grow on the medium.

The anti-biotic effect observed in this study was considered to be caused by hypochlorous acid (HClO) in the slightly acidic electrolyzed water, which has been pointed out in the inhibition mechanism in case of human pathogen applied with slightly acidic electrolyzed water.

Because the anti-biotic effect of slightly acidic electrolyzed water was not persistent and residual, slightly acidic electrolyzed water may not be effective to control the disease after severely occurred. Slightly acidic electrolyzed water may be useful in the field to control the population of plant pathogen surrounding the plants or to prevent the pathogen invading before the disease occurred.

**Key words :** Anti-biotic Effect, Slightly Acidic Electrolyzed Water, Plant Pathogen, Plant Disease.

### 緒言

植物病害防除のために使用される農薬は、環境汚染や環境ホルモン問題、生産物への残留性、薬剤耐性菌の誘起、生態系かく乱など種々の問題の要因となっており、より安全で環境負荷の小さい植物病害防除法の開発は持続的農業生産の確立のためにも大きな社会的課題となっている。

近年、希塩酸や低濃度の塩の水溶液を電気分解して得られる電解水が広く抗菌作用を有し、食品衛生管理、口腔洗浄、医療器具や手指洗浄などに利用されてきている。この電解水の特徴としては、強い殺菌効果に加えて、急性毒性（経口毒性、皮膚刺激性）や亜急性毒性（外観、体重、血液、組織）などの評価試験によって高い安全性が認めら

れ人畜に与える影響は少ないと考えられている（清水 1993；加藤 1999；中村 2001；掘田 2001；鈴木ら 2005b）。電解水の抗菌作用の主体は次亜塩素酸（有効塩素）と考えられており（中村 2001；掘田 2001），そのため耐性菌出現の可能性が低いと考えられている（機能水研究振興財団 2001；掘田 2001）。これらの利点から，電解水は医療分野（患者の処置・治療，各種医療用器具の洗浄）や歯科分野（口腔洗浄・殺菌）を中心に利用されてきた。

このような背景から，平成14年6月に厚生労働省から電解水は殺菌料として食品添加物に指定され，食品加工（調理施設衛生管理，食材洗浄除菌）や食品関連工場の衛生管理などといった幅広い分野でも殺菌や微生物制御目的（加藤 1999；五十部 1999；中村 2001；掘田 2001）で使用されるようになった。

以上のように，電解水は実用的な抗菌資材として非常に多くの利点がある反面，いくつかの課題も挙げられている。第一に，有機物などに触れることで急速に次亜塩素酸イオンが消費されていき，殺菌効力が急速に低下するため（黄ら 1997），当初の殺菌効力を持続・維持することが困難である。第二に，浸透性がないために動植物などの表面部分での殺菌には効果が認められても，内部の微生物については殺菌効果が見られない点である（鈴木ら 2005c；鈴木ら 2005d）。要するに，電解水は即時的な殺菌力は発揮できても，持続的な殺菌力は期待できず，また，浸透性がないために電解水の触れた部分のみでしか殺菌力を発揮することができない（黄ら 1997；鈴木ら 2005c；鈴木ら 2005d）ということも特徴と言える。これらの点は，低い環境負荷と人畜への安全性（非持続的な抗菌効果，低残留性，低い人畜への毒性，低い環境負荷）を意識した植物病原病害防除を考える上で，極めて有望な特徴である。

電解水は，コレラ菌や赤痢菌などのヒト病原菌等に対して強い抗菌作用を持つことが知られているが（土井 1999，岡本ら 2006），植物の病原菌に対する抗菌作用については筆者の総説（津野 2007）を除いて未報告であった。そこで，本研究は電解水を農業生産分野，特に植物病害の抑制に利用することを目的として，電解水の植物病原菌の分生胞子および植物病原細菌に対する抗菌作用

（生育阻害効果）を詳細に検討した。

## 材料および方法

### 1. 植物病原菌類の分生胞子に対する発芽・遊走子放出抑制効果

微酸性電解水によるキュウリのべと病菌，トマトの葉かび病菌および灰色かび病菌それぞれの分生胞子の発芽・遊走子放出に対する抑制効果を検討した。

#### (1) 供試分生胞子

施設栽培キュウリ葉（品種‘夏ばやし’，自根）およびトマト葉（品種‘桃太郎ファイト’，自根）において自然発病したべと病，葉かび病および灰色かび病それぞれの病斑から採取したキュウリべと病菌 *Pseudoperonospora cubensis*，トマト葉かび病菌 *Fulvia fulva* およびトマト灰色かび病菌 *Botrytis fuckeliana* の分生胞子を供試した。

#### (2) 微酸性電解水

微酸性電解水は，微酸性電解水製造装置（ピュアスターMp-240，森永乳業株式会社）を用いて生成した。被検液として，微酸性電解水（有効塩素濃度25 ppm，pH 3.8～5.8），微酸性電解水を滅菌蒸留水で10倍に希釈した液（有効塩素濃度2.5 ppm），100倍に希釈した液（有効塩素濃度0.25 ppm），および1000倍に希釈した液（有効塩素濃度0.025 ppm）を供試した。微酸性電解水の有効塩素濃度は，（株）東洋製作所製の残留塩素・水素イオン濃度比色測定器OT法II型で測定した。また，pHは東亜ディーケーケー（株）pHメータHM-25型で測定した。対照としては，滅菌蒸留水に希塩酸を添加してpHを微酸性電解水と同様に調整した液を供試した。

#### (3) 分生胞子に対する発芽・遊走子放出の抑制効果

滅菌シャーレ内にろ紙を敷き，滅菌蒸留水をろ紙に適量滴下して湿室を作製した。このシャーレ内にようじを2本並べ，その上にスライドガラスを置いた。このスライドガラス上に，次に述べる分生胞子懸濁液を一定量静置し，経時的（1-3時間毎）に顕微鏡下で全胞子数および発芽胞子数を計測した。全胞子数および発芽胞子数は，3反復の試験を2回行い，各平均によって求めた。

キュウリ葉あるいはトマト葉の病斑部それぞれからキュウリべと病菌，トマト葉かび病菌および

トマト灰色かび病菌の分生胞子を滅菌白金耳でかき取り、100  $\mu$ l の微酸性電解水に懸濁して分生胞子懸濁液を作製した。また、この胞子懸濁液中の胞子濃度を10倍に薄めた胞子懸濁液を作製した。これらの胞子懸濁液をそれぞれ20  $\mu$ l ずつとり、被検液とした。被検液を湿室中のスライドガラスの上に静置した。

## 2. 植物病原菌類の分生胞子に対する殺菌効果

### (1) 供試分生胞子

当研究室保存のトマト萎凋病菌、タマネギ灰色腐敗病菌、トマト灰色かび病菌の胞子を供試した。トマト萎凋病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* KF20-1、タマネギ灰色腐敗病菌 *Botrytis allii* SB21-1 およびトマト灰色かび病菌 *Botrytis cinerea* BT21-1 を PDA 培地 (potato dextrose agar, Difco 社) を用いて 25°C で 7-10 日間培養し、形成された胞子を採集して滅菌水中に懸濁してそれぞれの胞子懸濁液を作製した。

微酸性電解水は、先に述べたものと同様のものを用いた。

### (2) 分生胞子に対する殺菌効果

20°C の微酸性電解水 (有効塩素濃度 20 ppm, pH 6.2) 9.9 ml と 0.1 ml の各胞子懸濁液を速やかに混和して所定の時間 (30 秒間, 1 分間, 2 分間, 5 分間) 静置した後に、0.1 ml をとり PDA 培地上にコンラージ棒で塗布した。25°C で 7 日間インキュベート後の生育コロニー数を計測した。対照として、微酸性電解水の代わりに滅菌蒸留水を用いた。また、微酸性電解水に含まれる有効塩素濃度と殺菌効果との関係の評価するために、有効塩素濃度の異なる 3 種類の微酸性電解水 (10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, それぞれ pH 6.2) を供試した。対照として、微酸性電解水の代わりに滅菌蒸留水を用いた。

## 3. 植物病原細菌に対する殺菌効果

### (1) 供試植物病原細菌

当研究室保存の寄生性を異にする各種植物病原細菌 17 種類 (*Agrobacterium tumefaciens* KU7411, *Erwinia carotavora* subsp. *carotavora* N7106, *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* 318-2, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* III, *Xanthomonas campestris* pv. *glycines* S-12, *Xanthomonas campestris* pv. *citri* (*Xanthomonas*

*axonopodis* pv. *citri*) 1-1, *Xanthomonas campestris* pv. *cucurbitae* K-6, *Xanthomonas campestris* pv. *vignicola* 268-3, *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatria* tomato-muro, *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* T7174, *Xanthomonas oryzae* pv. *orizicola* 2-3, *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci* KU7103, *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* NIAS1321, *Pseudomonas syringae* pv. *striafaciens* P-73, *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea* KN-35, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* MAFF 03-0159, *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* MAFF 03-01213) を供試した。これらに加えて、腐生性細菌 (*Pseudomonas fluorescens*) および大腸菌 (*Escherichia coli* HB101) の計 19 種類の細菌に対する殺菌効果を評価した。

微酸性電解水は、先に述べたものと同様のものを用いた。

### (2) 細菌に対する殺菌効果

細菌は PSA (ジャガイモ半合成寒天) 培地で前培養の後に、10 ml の PS 液体培地で 24-48 時間、25-30°C で液体振とう培養機で振とう培養し、所定の濃度に滅菌蒸留水で希釈後に 0.2 ml をとり、1.8 ml の微酸性電解水を混和し約 30 秒間作用後に直ちに 100 倍以上に希釈し、希釈平板法で常法に従って細菌数 (cfu) を計測した。

微酸性電解水処理に供した細菌の濃度 (cfu/0.2 ml) は、概ね  $10^{2-1}$  cfu,  $10^{5-6}$  cfu,  $10^{7-8}$  cfu の 3 段階を設定して行った。対照として微酸性電解水と同じ pH に塩酸で調整した滅菌水を用い、供試細菌数の計測を行った。

## 結果および考察

### 1. 植物病原菌類の分生胞子の発芽・遊走子放出に対する抑制効果

微酸性電解水中に懸濁したキュウリべと病菌、トマト葉かび病菌、トマト灰色かび病菌の分生胞子それぞれの発芽・遊走子放出数および対照を 100 としたときの各発芽・遊走子放出率を表 1 に示した。この表から明らかのように、対照では供試したいずれの菌の分生胞子においても概して半数程度が発芽あるいは遊走子放出を行ったが、微酸性電解水で処理したものでは各分生胞子の発芽率あるいは遊走子放出率は対照のほぼ 40% 程度あるいはそれ以下であった。

表 1 微酸性電解水が孢子発芽・遊走子放出に及ぼす影響

処理区	キュウリベと病菌	トマト葉かび病菌	トマト灰色かび病菌
微酸性電解水 <sup>1)</sup>	19.9 (34.8) <sup>2)</sup>	16.8 (37.8)	19.4 (40.1)
対照 <sup>2)</sup>	57.1 (100)	44.5 (100)	48.4 (100)

<sup>1)</sup> 微酸性電解水：有効塩素濃度20 ppm, pH 5.8

<sup>2)</sup> 対照：滅菌蒸留水を0.1M HClでpH 5.8に調整

<sup>3)</sup> 数値は処理10時間後の孢子発芽・遊走子放出数、カッコ内は対照を100としたときの相対値

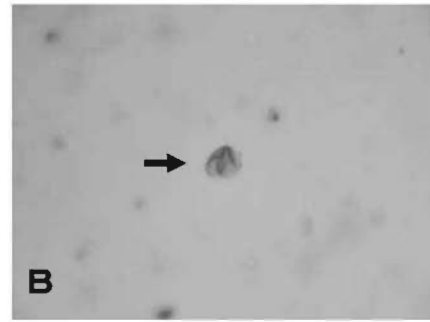
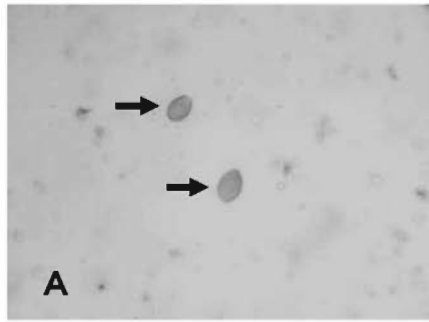


図 1 A：微酸性電解水によるキュウリベと病菌分生孢子からの遊走子放出の抑制（微酸性電解水処理10時間後）とB：キュウリベと病菌分生孢子からの遊走子放出（対照）

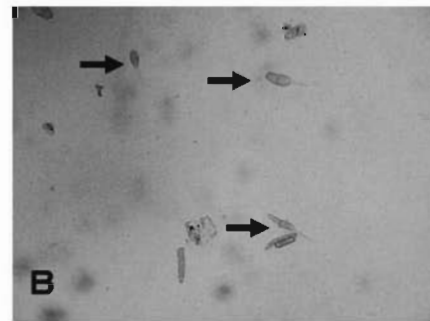
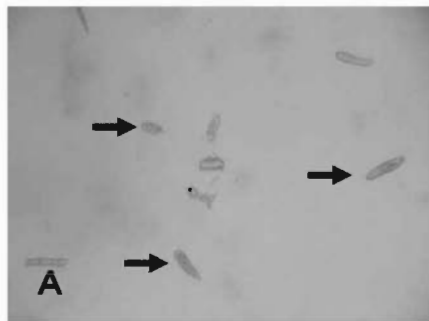


図 2 A：微酸性電解水によるトマト葉かび病菌分生孢子的発芽抑制（微酸性電解水処理10時間後）とB：トマト葉かび病菌分生孢子的発芽（対照）

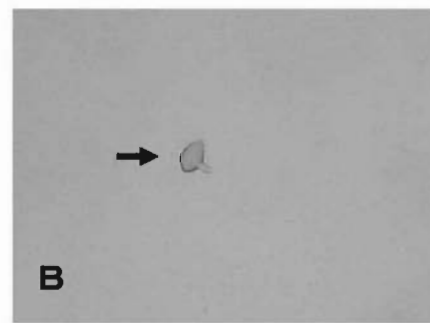
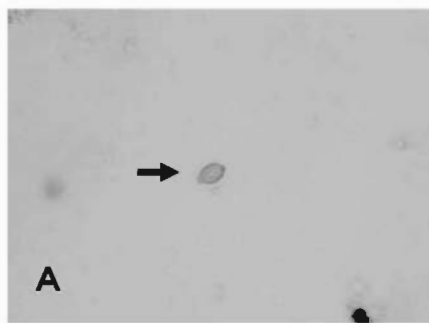


図 3 A：微酸性電解水によるトマト灰色かび病菌分生孢子的発芽抑制（処理10時間後）とB：トマト灰色かび病菌分生孢子的発芽（対照）

また、図 1～3 に微酸性電解水処理10時間後におけるキュウリベと病菌、トマト葉かび病菌およびトマト灰色かび病菌の分生孢子的発芽・遊走子放出阻害を示す顕微鏡写真を示した。各分生孢子は形態的な異常は呈さず、発芽・遊走子放出を停止していた。これらのことから、微酸性電解水は

植物病原（糸状）菌類の分生孢子からの発芽あるいは遊走子放出を強く阻害するものと考えられた。微酸性電解水を段階希釈して処理した各分生孢子的発芽・遊走子放出の結果を表 2 に示した。いずれの菌種の分生孢子においても、微酸性電解水の希釈倍率が高くなるにつれて発芽あるいは遊走子

表2 希釈した微酸性電解水が胞子発芽・遊走子放出に及ぼす影響

処理区	キュウリべと病菌	トマト葉かび病菌	トマト灰色かび病菌
微酸性電解水 <sup>1)</sup>	22.1 (40.6) <sup>2)</sup>	10.7 (22.4)	20.0 (36.0)
微酸性電解水10倍希釈液	31.8 (58.5)	17.1 (35.8)	32.1 (57.8)
微酸性電解水100倍希釈液	41.5 (76.3)	29.0 (60.7)	38.2 (68.8)
微酸性電解水1,000倍希釈液	51.0 (93.8)	42.0 (87.9)	48.3 (87.0)
対照 <sup>2)</sup>	54.4 (100)	47.8 (100)	55.5 (100)

<sup>1)</sup> 微酸性電解水：有効塩素濃度20-25 ppm, pH 3.7-5.7

<sup>2)</sup> 対照：滅菌蒸留水を0.1M HClでpH 3.7-5.7に調整

<sup>3)</sup> 数値は処理10時間後の胞子発芽・遊走子放出数, カッコ内は対照を100としたときの相対値

表3 分生胞子に対する微酸性電解水の殺菌効果

植物病原菌類	微酸性電解水処理時間 (分)				
	0	0.5	1	2	5
トマト萎凋病菌	$2.4 \times 10^5$	0	0	0	0
タマネギ灰色腐敗病菌	$2.7 \times 10^5$	0	0	0	0
トマト灰色かび病菌	$5.5 \times 10^4$	$2.8 \times 10^3$	$4.0 \times 10^2$	2	0

<sup>1)</sup> 表中の数値はPDA培地におけるcfu/ml

放出率が高まった。すなわち、微酸性電解水に含まれる有効塩素（次亜塩素酸）の濃度の低下とともに分生胞子の発芽あるいは遊走子放出率が高まった。100倍希釈した微酸性電解水（次亜塩素酸濃度0.2~0.25 ppm）で処理した分生胞子では、希釈していない微酸性電解水（次亜塩素酸濃度20~25 ppm）で処理したものに比べて2~3倍程度発芽率あるいは遊走子放出率が高かった。1,000倍希釈した微酸性電解水（次亜塩素酸濃度0.02~0.025 ppm）で処理した分生胞子では、対照の9割程度の発芽あるいは遊走子放出が認められた。

以上のように、微酸性電解水の植物病原（糸状）菌類の分生胞子からの発芽あるいは遊走子放出を阻害する作用は、1）阻害過程における分生胞子の形態は維持されていること、2）分生胞子からの発芽・遊走子放出に対する阻害作用は微酸性電解水の希釈に伴って減じていくことなどから、微酸性電解水の抗菌機作はヒトの病原菌における抗菌機作（鈴木ら 2005a；鈴木ら 2005b）と同様に微酸性電解水中の次亜塩素酸によるものと考えられた。

## 2. 植物病原菌類の分生胞子に対する殺菌効果

微酸性電解水による分生胞子の殺菌効果を表3に示した。供試した各植物病原菌類の分生胞子濃度は、トマト萎凋病菌が $2.4 \times 10^5$  cfu/ml、タマネ

ギ灰色腐敗病菌が $2.7 \times 10^5$  cfu/ml、トマト灰色かび病菌が $5.5 \times 10^4$  cfu/mlであった。トマト萎凋病菌およびタマネギ灰色腐敗病菌の分生胞子は、0.5分間以上の微酸性電解水処理によって殺菌された。一方、トマト灰色かび病菌の分生胞子は、0.5分間の微酸性電解水処理によって約9割が殺菌され、1分間の微酸性電解水処理によってさらに約9割が殺菌された、2分間以上の微酸性電解水処理によって供試した全ての分生胞子が生育しなかった。これらのことから、微酸性電解水は、植物病原菌類の種類によって若干の差はあるものの極めて短い時間で分生胞子を殺菌することが明らかとなった。

表4（一部既発表）に異なる有効塩素（次亜塩素酸）濃度の微酸性電解水で分生胞子を処理した結果を示した。このとき供試した各植物病原菌類の分生胞子濃度は、トマト萎凋病菌が $8 \times 10^5$  cfu/ml、タマネギ灰色腐敗病菌が $1.5 \times 10^4$  cfu/ml、トマト灰色かび病菌が $5.0 \times 10^6$  cfu/mlであった。微酸性電解水の殺菌効果は菌種によって多少の変動が見られるものの、いずれの供試した菌種の分生胞子においても次亜塩素酸濃度20 ppm以上で2分間処理することで殺菌効果が認められた。

したがって、表4においても、表2の結果と同様に微酸性電解水の抗菌作用は微酸性電解水中に含まれる有効塩素（次亜塩素酸）濃度に依存して

いることが示され、短時間で抗菌効果を発揮する理由は次亜塩素酸が胞子と接触することによるものと考えられた。これまで、植物病原菌以外の真菌類に対する電解水の抗菌作用は報告されてきたが（清水および古沢 1993；黄ら 1997）、本研究によって植物病原菌類に対する抗菌作用についても示すことができた。また、微酸性電解水が  $10^4$  cfu/ml以上という高濃度の胞子密度の菌に対しても十分な殺菌効果を発揮することを明らかにしたことから、微酸性電解水の殺菌作用を農業生産現

場で実用的に利用できる可能性は高いと思われた。

### 3. 植物病原細菌に対する殺菌効果

微酸性電解水で低い濃度 ( $10^{2-4}$  cfu/0.2 ml) の細菌を30秒間処理した結果、供試した細菌はいずれも生育しなかった（表5）。さらに10~100倍濃度 ( $10^{5-6}$  cfu/0.2 ml) という比較的高濃度の細菌を微酸性電解水で処理した結果、一部の細菌において若干の生育が認められたものの、多くの細菌では生育が見られなかった（表6：一部既発表）。

表4 異なる有効塩素濃度の微酸性電解水による分生胞子に対する殺菌効果

植物病原菌類	微酸性電解水の 有効塩素濃度	微酸性電解水処理時間 (分)			
		0.5	1	2	5
トマト萎凋病菌	10 ppm	+	-	-	-
	20 ppm	-	-	-	-
	30 ppm	-	-	-	-
トマト灰色かび病菌	10 ppm	+	+	-	-
	20 ppm	+	-	-	-
	30 ppm	-	-	-	-
タマネギ灰色腐敗病菌	10 ppm	+	+	+	+
	20 ppm	+	+	-	-
	30 ppm	+	+	-	-

+ : コロニー生育あり, - : コロニー生育なし

表5 微酸性電解水の植物病原細菌に対する生育阻害 (1)

細菌	処理細菌数 (cfu)	生育細菌数 (cfu)
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	$6.96 \times 10^3$	0
<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i>	$7.90 \times 10^3$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>phaseoli</i>	$7.60 \times 10^3$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i>	$7.30 \times 10^3$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>glycines</i>	$7.00 \times 10^3$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>citri</i>	$1.10 \times 10^4$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>cucurbitae</i>	$9.00 \times 10^3$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vignicola</i>	$1.28 \times 10^4$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatrix</i>	$5.63 \times 10^3$	0
<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>	$4.15 \times 10^3$	0
<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>orizicola</i>	$7.55 \times 10^3$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tabaci</i>	$1.30 \times 10^4$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>lachrymans</i>	$1.23 \times 10^4$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>striafaciens</i>	$4.00 \times 10^2$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>glycinea</i>	$1.70 \times 10^2$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	$1.30 \times 10^2$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>pisi</i>	$4.23 \times 10^3$	0
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	$5.70 \times 10^2$	0
<i>Escherichia coli</i>	$3.11 \times 10^3$	0

微酸性電解水は、有効塩素濃度25 ppm, pH 5.0-5.2

表6 微酸性電解水の植物病原細菌に対する生育阻害(2)

細菌	処理細菌数 (cfu)	生育細菌数 (cfu)
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	$3.04 \times 10^6$	0
<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i>	$3.29 \times 10^6$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>phaseoli</i>	$1.56 \times 10^6$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i>	$9.16 \times 10^5$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>glycinea</i>	$1.43 \times 10^6$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>citri</i>	$1.34 \times 10^6$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>cucurbitae</i>	$2.55 \times 10^6$	3
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vignicola</i>	$1.24 \times 10^6$	0
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatrix</i>	$1.49 \times 10^6$	0
<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>	$3.74 \times 10^5$	0
<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>orizicola</i>	$1.63 \times 10^6$	3
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tabaci</i>	$1.70 \times 10^4$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>lachrymans</i>	$4.11 \times 10^6$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>strifaciens</i>	$3.09 \times 10^6$	1
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>glycinea</i>	$2.97 \times 10^5$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	$3.41 \times 10^6$	0
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>pisi</i>	$2.51 \times 10^5$	0
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	$1.03 \times 10^6$	0
<i>Escherichia coli</i>	$1.04 \times 10^6$	0

微酸性電解水は、有効塩素濃度25 ppm、pH 5.0-5.2

表7 微酸性電解水の植物病原細菌に対する生育阻害(3)

細菌	処理細菌数 (cfu)	生育細菌数 (cfu)
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	$1.66 \times 10^8$	+ <sup>1)</sup>
<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i>	$1.92 \times 10^8$	+
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>phaseoli</i>	$6.90 \times 10^7$	+
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i>	$4.25 \times 10^7$	+
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>glycinea</i>	$6.23 \times 10^7$	+
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>citri</i>	$4.33 \times 10^7$	+
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>cucurbitae</i>	$1.15 \times 10^8$	+
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vignicola</i>	$3.06 \times 10^7$	+
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatrix</i>	$3.21 \times 10^7$	+
<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>	$9.67 \times 10^7$	+
<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>orizicola</i>	$1.35 \times 10^7$	+
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tabaci</i>	$3.00 \times 10^6$	+
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>lachrymans</i>	$8.54 \times 10^7$	+
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>strifaciens</i>	$1.27 \times 10^8$	+
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>glycinea</i>	$1.18 \times 10^7$	+
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	$9.54 \times 10^7$	+
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>pisi</i>	$4.23 \times 10^7$	+
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	$5.20 \times 10^7$	+
<i>Escherichia coli</i>	$2.22 \times 10^7$	+

微酸性電解水は、有効塩素濃度25 ppm、pH 5.0-5.2

<sup>1)</sup> +は1,000cfu以上の生育数を示す

微酸性電解水で高い濃度 ( $10^{7-8}$  cfu/0.2 ml) の細菌を処理した場合には、供試したいずれの細菌種においても  $10^3$  cfu を超える生存細菌が認められた。すなわち、微酸性電解水の細菌に対する殺菌（生育阻害）効果は、供試した細菌の種類に関係なく細菌が低い濃度ほど顕著に認められ、概ね  $10^{5-6}$  cfu/0.2 ml 程度までの細菌濃度において効果が見られた。

微酸性電解水は各種の植物病原細菌に対しても強い抗菌作用を示し、 $10^8$  cfu/ml という高濃度の細菌濃度であっても殺菌効果を発揮した。すなわち、電解水がヒトなどの病原細菌に対して強い殺菌効果は有することは既に報告されてきており（清水・古沢 1993）、その効果は植物病原細菌に対しても認められることが明確となった。本研究で供試した植物病原細菌はグラム陰性のものであるが、その理由は多くの植物細菌病がグラム陰性細菌によるものであるためである。しかしながら、グラム陽性の細菌に起因する植物細菌病もあるため、今後、グラム陽性植物病原細菌に対する殺菌効果についても調べる必要があるかもしれない。グラム陽性細菌である *Bacillus* 属細菌の芽胞や乳酸球菌に対する微酸性電解水の殺菌効果については既に報告されているため（中山ら 2003）、グラム陽性植物病原細菌に対する効果についても十分に期待できるものと考えられる。

#### 4. 微酸性電解水の植物病害防除への利用

電解水は、洗浄や殺菌・消毒など主に衛生管理の用途に使われる強電解水（強酸性電解水、強アルカリ性電解水、微酸性電解水）と飲用アルカリ水（アルカリイオン水）とに大別される（機能水研究振興財団 2001）。強酸性電解水および強アルカリ性電解水は、隔膜で仕切った電解槽で原水（水道水など）に電解促進剤（KCl や NaCl など）を添加して直流電圧で電解処理し、陽極と陰極それぞれに生成されてくる電解水を別々に取り出す方式（有隔膜二室型電解）によって生成される。この際、陽極側に生成される電解水は強酸性電解水と呼ばれ、有効塩素濃度 20~60 ppm, pH 2.2~2.7 を示す（機能水研究振興財団 2001、堀田 2001、平野 1999）。一方、微酸性電解水は、希塩酸を無隔膜で電解処理し、原水（水道水）で希釈して得る方式（無隔膜一室型電解）によって生成され、

有効塩素濃度 10~30 ppm, pH 5.0~6.5 を示す（機能水研究振興財団 2001、平野 1999）。

強酸性電解水と微酸性電解水とを比較すると、微酸性電解水の方が中性に近く、塩素濃度が低いため無味無臭である（中村 2001）。このため、微酸性電解水処理による食材本来の風味や食感の低下は見られない（鈴木ら 2005c、中村 2001）と考えられている。また、微酸性電解水は強酸性電解水よりも pH が中性に近いために金属腐食性が低く（機能水研究振興財団 2001）、施設内の金属や器具類に与える影響が少ないと考えられる。これらの特徴から、微酸性電解水は、食品・飲料加工工場などにおいて食材、調理器具類、金属性パイプ、床などの殺菌洗浄においては強酸性電解水より適していると考えられている。このように、微酸性電解水は、食品分野における衛生環境（微生物環境）の改善に大きく貢献しつつある（中村 2001；堀田 2001；加藤 1999）。さらに、微酸性電解水は、下水排除基準 pH 5.0~9.0 に適合し、使用后、中和させることなく排水できることなどから、廃水処理設備へ与える影響も少ないために（加藤 1999）、微酸性電解水が環境に与える負荷は、他の殺菌剤等と比較すると非常に少ないと考えられている。したがって、農業生産において利用する電解水としては、強酸性電解水よりも微酸性電解水の方が利点が多いものと判断された。

次亜塩素酸が殺菌効果の主体であれば、次亜塩素酸ナトリウム等を適当に希釈して用いればすむように考えがちであるが、それらはアルカリ性溶液でありアルカリ性溶液中では次亜塩素酸は殺菌効果の低い次亜塩素酸イオンとなってしまう、極めて高濃度の次亜塩素酸イオンを含む溶液でないと殺菌効果を発揮しない。したがって、非常に低濃度の次亜塩素酸で効果的に殺菌効果を発揮できる酸性側領域での次亜塩素酸溶液の生成には希塩酸の電解によることが最も効率がよいとされている（土井 2002；鈴木ら 2005a；中村 2001；岡本ら 2006）。

本研究において、微酸性電解水の植物病原菌類や植物病原細菌に対する強い抗菌効果は、微酸性電解水中の次亜塩素酸が菌類分生孢子あるいは細菌細胞と接触することによる殺菌作用であると考えられた。これは、既に他の真菌類や細菌に対する電解水の殺菌作用として考えられていることで



あり、本研究結果もその殺菌作用を支持するものであった。

また、微酸性電解水の抗菌効果は短時間で発揮される一方、抗菌の主体である次亜塩素酸は持続性に乏しく継続的な殺菌効果は期待できないという特性があり、この点で食品添加物として認可された。この特性から考えると、抗菌物質の残留性や浸透性を期待した利用方法ではなく、一過性の殺菌を目的とした利用方法が適当であることが示唆される。すなわち、微酸性電解水は農薬の代用としての目的ではなく、むしろ栽培環境や植物個体表面等の殺菌・清浄目的で利用することが適当と考えられる。その結果として植物病原菌類や植物病原細菌が植物生産環境や植物個体表面から低減することによって、植物病害を抑制することを目指すべきである。このような目的で微酸性電解水を農業生産現場で利用することは、持続的農業生産を目指す今後の植物病害抑制の手段の一つとして極めて有効な方法であると考えられた。

## 要約

希塩酸を無隔膜で電気分解して得られる微酸性電解水は、ヒトの病原細菌等に対して抗菌作用を示すことが知られており、食品添加物として認可されたために食品加工・製造分野などで殺菌・減菌目的で利用されてきている。3%塩酸を無隔膜で電気分解して得た有効塩素20 ppm, pH 6.3の微酸性電解水を用いて、各種植物病原細菌17種類および病原糸状菌4種類に対する抗菌活性を検討した。

1. 微酸性電解水中に懸濁したキュウリべと病菌、トマト葉かび病菌、トマト灰色かび病菌の分生孢子それぞれの発芽・遊走子放出は著しく抑制された。また、微酸性電解水を段階希釈して処理した各分生孢子の発芽・遊走子放出の結果から、微酸性電解水の抗菌機作はヒトの病原菌における抗菌機作と同様に微酸性電解水中の次亜塩素酸によるものと考えられた。
2. 微酸性電解水はトマト萎凋病菌、タマネギ灰色腐敗病菌、トマト灰色かび病菌それぞれの分生孢子を極めて短い時間で殺菌することが明らかとなった。
3. 微酸性電解水は高濃度の各種植物病原細菌を極めて短時間で殺菌した。

以上の結果と、微酸性電解水は残留性や浸透性に乏しい特性とを考え併せ、微酸性電解水は農薬の代用としての目的ではなく、むしろ栽培環境や植物個体表面等の殺菌・清浄目的で利用することが適当と考えられた。また、微酸性電解水を農業生産現場で利用することは、持続的農業生産を目指す今後の植物病害抑制の手段の一つとして極めて有効な方法であると考えられた。

キーワード：抗菌効果、微酸性電解水、植物病原、植物病害

## 引用文献

- 電解水ガイド (2001). (財)機能水研究振興財団学術選考委員会 (財)機能水研究振興財団
- 堀田国元 (2001). 「電解水とは何か?—科学・技術・社会の動向—」機能水バイオフィォーラム山梨 2001:1-7
- 五十部誠一郎 (1999). 「電解機能水利用技術の確立のための取り組み」機能水シンポジウム '99 東京大会プログラム・講演要旨集:86-87
- 加藤 良 (1999). 「電解塩素水の食品衛生への利用」機能水シンポジウム '99東京大会プログラム・講演要旨集:48-49
- 黄 吉城, 高島浩介, 熊谷 進, 高橋敦子 (1997). 「酸化電位水の殺真菌効果」防菌防黴誌 25(7):387-391
- 中村悌一 (2001). 「食品製造工程における弱酸性電解水の有効利用」機能水バイオフィォーラム山梨 2001:25-28
- 中山素一, 藤本章人, 樋口 彰, 渡辺 誠, 飯尾雅嘉, 宮本敬久 2003. 微酸性次亜塩素酸水の *Bacillus* 属細菌芽胞及び乳酸球菌に対する効果と特性 防菌防黴誌 31(8):421-425.
- 岡本公彰, 駒形安子, 奥田舜治, 西本右子, 鴨志田真弓, 中村悌一, 小宮山寛機 (2006). 微酸性電解水の抗微生物効果 防菌防黴誌 34(1):3-10.
- 清水義信, 古沢利武 (1993). 「電解による酸化電位水の殺ウイルス, 殺細菌および殺真菌の作用」歯科ジャーナル 37(6):1055-1060
- 鈴木 潔, 中村悌一, 小久保貞之, 富田 守 (2005)a. 「塩酸を原料にした微酸性電解水の物理学的性質」防菌防黴誌 33(2):55-62

- 鈴木 潔, 中村悌一, 小久保貞之, 富田 守  
(2005)b. 「塩酸を原料にした微酸性電解水の化学的性質」防菌防黴誌 33(2) : 63-71
- 鈴木 潔, 中村悌一, 土井豊彦, 小久保貞之, 富田 守 (2005)c. 「塩酸を原料にして製造した微酸性電解水によるレタスの洗浄殺菌効果について」防菌防黴誌 33(11) : 589-597
- 鈴木 潔, 中村悌一, 土井豊彦, 小久保貞之, 富田 守 (2005)d. 「塩酸を原料にして製造した微酸性電解水によるネギ類などの野菜の洗浄殺菌効果について」防菌防黴誌 33(10) : 509-522
- 土井豊彦 (2002). 「微酸性次亜塩素酸水の機能と食品への利用」防菌防黴誌 30(12) : 813-819.
- 津野和宣 (2007). 「微酸性電解水による植物病害の抑制」農業および園芸 82(9) : 998-1004.