

【報文】

## 水耕栽培培養液への弱酸性電解水添加と トマト根腐病の防除効果

山崎 基嘉<sup>1</sup>, 草刈 眞一<sup>1</sup>, 成田 和隆<sup>2</sup>,  
納村 和美<sup>2</sup>, 永井美智子<sup>2</sup>

### Control of Root Rot Disease of Tomatoes by Using Weak Acidic Electrolyzed Water (WAEW) in the Hydroponic Culture Solution

Motoyoshi YAMASAKI<sup>1</sup>, Shin'ichi KUSAKARI<sup>1</sup>, Kazutaka NARITA<sup>2</sup>,  
Kazumi OSAMURA<sup>2</sup> and Michiko NAGAI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agricultural, Food and Environmental Science Research Center of Osaka Prefecture  
442 Shakudo, Habikino, Osaka 583-0862, Japan

<sup>2</sup>Matsushita Navec Co., Ltd.  
3905-3 Aza Kaminakata, Takahi-cho, Kasugai, Aichi 486-8524, Japan

Weak acidic electronized water (WAEW : pH5.6, 40ppm of available chlorine) could kill propagules of plant pathogenic microorganisms such as zoospores of *Pythium aphanidermatum*, conidia of *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum orbiculare*, *Verticillium dahliae* and germ cells of *Ralstonia solanacearum*. Zoospores of *P. aphanidermatum* and germ cells of *R. solanacearum* also have been killed at 20 times the dilution ratio of WAEW. Root rot disease of tomatoes caused by *Pythium aphanidermatum* in hydroponics was suppressed by weak acidic electronized water (WAEW : pH5.6, 40ppm of available chlorine) mixed with the hydroponic nutrient solution. Zoospores of *P. aphanidermatum* were killed in the nutrient solution containing 5 % of WAEW. Moreover, the root rot disease of tomatoes caused by *P. aphanidermatum* was suppressed by the nutrient solution containing 10% of WAEW without browning of the root in green house conditions. WAEW could control the root rot disease of tomatoes when mixed with the hydroponic nutrient solution.

(Accepted 24 April 2006)

**Key words :** Weak electrolyzed acidic water (弱酸性電解水)/Hydroponics (水耕栽培)/  
Control (防除)/Root rot disease (根腐病).

## 緒 言

養液栽培は、作物の栄養源を液状の培養液で供給する栽培方式で高収量、高品質の農作物を栽培できるが、培養液中に病原菌が侵入すると栽培施設全体に病原菌が蔓延し大きな被害となる<sup>1)</sup>。培

養液の殺菌法には、紫外線、オゾン、熱等が利用されているが、装置が高価であったり、設備の導入に伴う、経費の関係で農家への普及は進んでいない<sup>2)</sup>。

次亜塩素酸は、植物病原菌に対して高い殺菌力があり、地上部に散布して病害を防除したり、種

<sup>1</sup>大阪府立食とみどりの総合技術センター 〒583-0862 羽曳野市尺度442 ☎072-958-6551/FAX072-956-9691

<sup>2</sup>松下ナベック株式会社 〒486-8524 愛知県春日井市麻来町字上仲田3905番地3 ☎0568-81-1162/FAX0568-84-5577

子消毒に利用することができる<sup>3)</sup>。次亜塩素酸を水耕栽培の培養液中へ混合することで、培養液中の病原体も殺菌可能と考えられ、養液栽培における培養液殺菌に利用することができる。しかし、次亜塩素酸は、アンモニアと反応してクロラミンを生成し、植物の根に障害を与えるとされ、養液栽培への利用は難しいとされている<sup>4-6)</sup>。一方では、次亜塩素酸は有機物の存在下で容易に分解し消失することも知られており、水耕培養液中では濃度によっては植物への影響を少なくできると考えられる。pH5.6の弱酸性電解水は、次亜塩素酸濃度による、殺菌力があり、培養液と混合して養液栽培の病害防除効果の得られる可能性がある。弱酸性電解水を培養液に混合する方式で培養液殺菌の効果、植物への影響について調査したので報告したい。

## 実験方法

### 1. 弱酸性電解水生成装置

弱酸性電解水は、松下ナベック株式会社製の弱酸性電解水生成装置を用いて調製した。無隔膜式の電解槽に0.2%の塩化カリウム溶液を用いて、pH5.6で、有効塩素濃度40ppmの弱酸性電解水を連続的に生成した。

### 2. 水耕装置

水耕栽培は、協和株式会社製のハイポニカを用

いた。水耕装置は、100ℓの栽培槽3台と300ℓのタンクで構成されており、培養液の加温、冷却が可能で毎分24Lの培養液を循環できる。弱酸性電解水生成装置は培養液タンクに接続し、毎分20LのpH5.6、有効塩素40ppmの弱酸性電解水を供給できる (Fig.1)。

### 3. 供試病原菌

弱酸性電解水の植物病原菌に対する殺菌効果を調べるため、トマト根腐病菌 (*Pythium aphanidermatum*)、トマト萎凋病菌 (*Fusarium oxysporum*)、トマト青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) の他、灰色かび病菌 (*Botrytis cinerea*)、炭そ病菌 (*Colletotrichum orbiculare*)、半身萎凋病菌 (*Verticillium dahliae*) を供試した。

*P. aphanidermatum* は、Schmitthenner の培地<sup>7)</sup>で培養し遊走子を形成させ、 $10^3$  cfu/ml の遊走子懸濁液を調製し、弱酸性電解水の殺菌効果および発病試験に供した。*F. oxysporum*, *V. dahliae* は、ジャガイモ煮汁培地 (PDA 培地と略記：ポテトデキストロース寒天培地、日水製薬 (株) 製) で培養後、分生子を採取し  $10^5$  cfu/ml の懸濁液とし供した。*B. cinerea*, *C. orbiculare*, *Alternaria alternata* は、PDA 培地で培養後、恒温培養器内において BLB ライト (Blacklight Blue <BLB> Lamps : ブラックライト蛍光灯 10 W) を照射して分生子形成させ、蒸留水中に  $10^4$

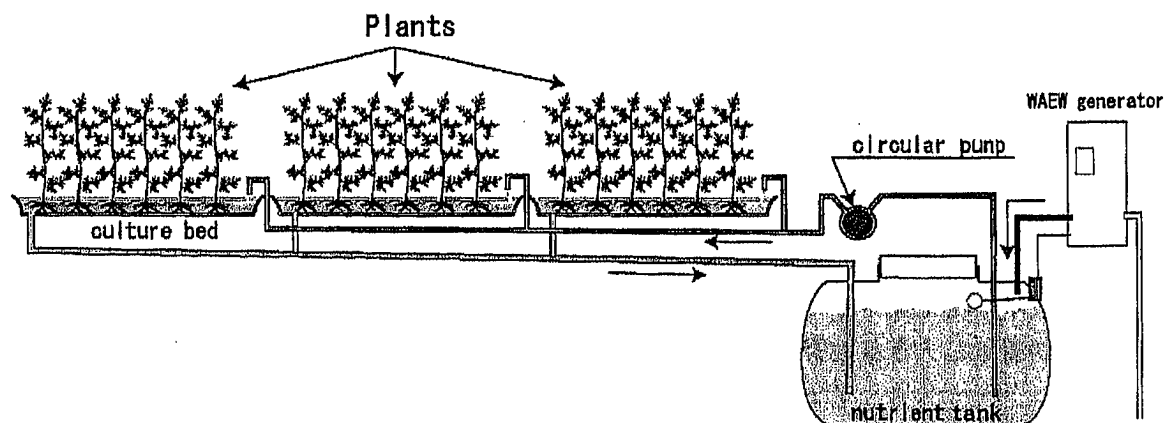


Fig.1. Hydroponic culture system and sterilizer of WAEW

cfu/ml の濃度で懸濁し試験に供した。*R. solanacearum* は、ペプトン・グルコース培地（ペプトン 5g, グルコース 5g, 塩化ナトリウム 3g, 蒸留水 1000ml）で培養後、菌体を 2 回洗浄し、蒸留水に  $10^6$  cfu/ml の濃度で懸濁して用いた。

#### 4. 弱酸性電解水の殺菌効果の検討

供試した植物病原菌に対する弱酸性電解水の殺菌効果は、生成された電解水と病原菌の懸濁液を所定の比率で混合し、殺菌効果を調査した。弱酸性電解水と病原菌懸濁液には、5 分後に滅菌したチオ硫酸ナトリウムの 0.5% 液を添加して塩素を除去し、スライドグラス上において 25℃ で 24 時間懸滴培養し、光学顕微鏡により発芽率を調査した。

#### 5. 次亜塩素酸添加とトマトの生育

トマトの生育に対する弱酸性電解水の添加量の影響は、ワグナーポット（1/2000a < 2000 分の 1 アール >）中に 10L の園試処方均衡培養液（Table 1）を用いて行った。培養液中に調製された弱酸性電解水を所定量混合し、トマト子苗を定植、培養液の減水量に対して同一容量で弱酸性電解水を混合した培養液を毎日添加して栽培した。培養液中には 8 時間ごとに各 30 分間（10L/分）通気した。トマトはハウス内で管理し、定植 2 週間後に草丈、根量を調査した。培養液中の塩素濃度は、DPD 残留塩素測定装置（HACH 社ポケット残留塩素計）により測定した。

#### 6. 根腐病菌接種培養液への弱酸性電解水

Table 1. Components of the nutrient medium

| Inorganic salts                                      | Content(/ ℓ) |
|------------------------------------------------------|--------------|
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O | 944mg        |
| KNO <sub>3</sub>                                     | 808mg        |
| MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                 | 492mg        |
| NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>       | 152mg        |
| Mn ion                                               | 0.5ppm       |
| B ion                                                | 0.5ppm       |
| Fe ion                                               | 3.0ppm       |
| Cu ion                                               | 0.02ppm      |
| Zn ion                                               | 0.05ppm      |
| Mo ion                                               | 0.01ppm      |

#### 混合と防除効果

弱酸性電解水混合による根腐病防除効果は、1/2000 a ワグナーポット（2000 分の 1 アール < 100 m<sup>2</sup> > 規格のポット）中の 10ℓ の園試処方均衡培養液に *P. aphanidermatum* の遊走子を 5 cfu/ml および 50cfu/ml 接種して調査した。ワグナーポット中の培養液には、弱酸性電解水を所定量混合し、直後に病原菌を接種、3 時間経過後に本葉 3 枚展開したトマトの子苗を定植し、ハウス内で栽培管理して発病率を調査した。無処理区は、同様に培養液に病原菌を接種し、トマト子苗を移植して発病率を調査した。

#### 7. 水耕装置への弱酸性電解水混合と根腐病防除効果

実用規模の水耕装置における弱酸性電解水の培養液混合とトマト根腐病の防除効果は、培養液量 500L の協和株式会社製ハイポニカを用いて調査した。1 単位 pH6.4 の園試処方均衡培養液に 10 % 量の弱酸性電解水を混合し、塩素濃度を測定後、病原菌 *P. aphanidermatum* を接種した。試験水耕装置には、水耕栽培で育苗管理した本葉 4 枚のトマトの子苗を定植した。装置には、1 日 3 回、8 時間間隔で 1 時間培養液を循環しトマトを栽培した。生育期間中、弱酸性電解水は、培養液量の減水量に対して 10% 量となるよう供給した。

### 実 験 結 果

#### 1. 弱酸性電解水の植物病原菌に対する殺菌効果

供試植物病原菌に対する弱酸性電解水の殺菌効果を調査してところ、次亜塩素酸濃度 40ppm, pH5.6 では、*P. aphanidermatum* の遊走子、*F. oxysporum*, *B. cinerea*, *A. alternata*, *C. orbiculare*, *V. dahliae* の分生子、*R. solanacearum* の菌体は 1 分以内に殺菌された。次亜塩素酸濃度 40ppm の弱酸性電解水の希釈倍数と殺菌効果を調査したところ、*P. aphanidermatum* の遊走子、*R. solanacearum* は、20 倍希釈で発芽率、生育が抑制されたが、*F. oxysporum*, *B. cinerea*, *C. orbiculare* の分生子

Table 2. Suppression of germination and swimming ability of *Pythium* zoospores in diluted WEAW

| Dilution of WEAW | Concentration of available chlorine | zoospore swimming | germination |
|------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| 0                | 40 ppm                              | -*                | -**         |
| 2                | 20                                  | -                 | -           |
| 4                | 10                                  | -                 | -           |
| 8                | 5                                   | -                 | -           |
| 16               | 2                                   | -                 | -           |
| 32               | 1                                   | +                 | +           |
| 64               | 0.5                                 | +                 | +           |

\* : -; Not swimming, +; swimming,

\*\* : -; No germination, +; germinated

では、ほとんど発芽抑制が見られず、10倍希釈までが発芽抑制の限界であった。トマト根腐病菌の遊走子に対する弱酸性電解水の希釈倍数と遊泳運動、発芽阻害の関係を Table 2 に示した。

## 2. 弱酸性電解水の培養液混合とトマトの根の褐変

1/2000a ワグナーポットを用いて、園試処方均衡培養液に弱酸性電解水を所定量混合してトマトを2週間栽培し、根の褐変を調査したところ、弱酸性電解水を10~20%混合した場合に根に褐変を認めたが、5%の混合ではほとんど褐変を認めなかった (Table 3)。

## 3. 弱酸性電解水の添加量と根腐病防除効果

水耕培養液中に所定量の弱酸性電解水を添加し、*P. aphanidermatum* の遊走子を接種後、トマト子苗を移植して被害発生を調査したところ、10%の弱酸性電解水を添加した区では、遊走子50

Table 3. Occurrence of root browning of tomato in the hydroponic nutrient solution with WEAW

| Concentration of WEAW | Occurrence of browning of roots* | Chlorine concentration** |
|-----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 0%                    | -                                | 0 ppm                    |
| 5                     | -                                | 0.1-1.5                  |
| 10                    | +                                | 0.1-3.2                  |
| 20                    | +                                | 0.1-4.9                  |

-; No browning, +; Root browning

\*\* : Concentration of total chlorine. Total chlorine was measured by the DPD free chlorine reagent. Max value was measured immediately after addition of WEAW. Minimum value was also measured 1 day after addition of WEAW.

cfu/ml の密度下においても発病を認めなかった。しかし、5%の弱酸性電解水を混合した区では、遊走子接種濃度が5 cfu/ml の場合、発病を認めなかったが、遊走子密度が50 cfu/ml 区では、発病が認められた (Table 4)。

弱酸性電解水混合による培養液中の微生物数は、5%混合区では、ほとんど減少しなかったが、10%、20%混合区では1/100以下に全微生物数が減少した (Fig.2)。

Table 4. Effects of the concentration of WEAW on the suppression of root rot disease

| Concentration of WEAW | Inoculum density <sup>1)</sup> | Disease Incidence <sup>2)</sup> |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 10%                   | 5cfu/ml                        | 0%                              |
| 10                    | 50                             | 0                               |
| 5                     | 5                              | 0                               |
| 5                     | 50                             | 27                              |
| 0                     | 5                              | 67                              |
| 0                     | 50                             | 100                             |

1) A zoospore suspension of *P. aphanidermatum* ( $5 \times 10^4$  cfu/mL) was used as an inoculum.

2) Date shows average from three plots.

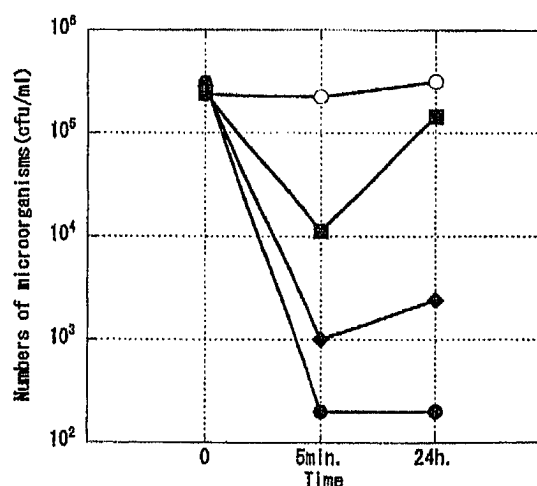


Fig.2. Suppression of microorganisms in nutrient solution by WAEW

Numbers of microorganisms in nutrient solutions were investigated.

The nutrient solution was sampled after 5 min. or 24 hours, with WAEW mixed into the nutrient solution. Concentration of WAEW are indicated below.

—○— control (1 unit of nutrient solution)  
 —●— 20% of WAEW in the nutrient solution  
 —◆— 10% of WAEW in the nutrient solution  
 —■— 5% of WAEW in the nutrient solution

#### 4. 水耕装置への弱酸性電解水混合と根腐病防除

弱酸性電解水を10%混合した培養液に *P. aphanidermatum* の遊走子を50cfu/ml 接種し、トマトを定植して栽培したところ、無処理区では、接種7日後から発病が観察され、2週間後の発病

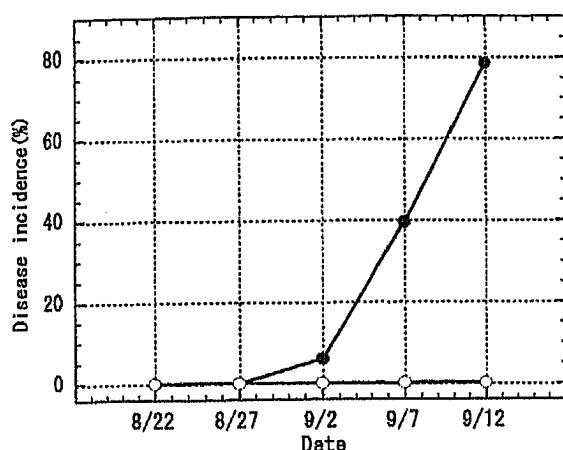


Fig.3. Suppression of root rot disease by WAEW added to the nutrient solution

Zoospores of *P. aphanidermatum* were inoculated into hydroponic nutrient solution, and seedlings of tomato were transplanted into the nutrient solution. Control was the nutrient solution mixed with 10% volume of water. Suppressive effect of the addition of WAEW was investigated. Disease incidence of two treatments is indicated.

- control (nutrient solution)
- Nutrient solution containing 10% WAEW

率は58%に達した。しかし、弱酸性電解水を添加した区では発病が認められなかった (Fig.3, 4)。培養液中の塩素濃度は、培養液に対して10%混合した時点から経時的に測定したところ、混合直後は1~3 ppmであったが、1時間後には0.5 ppm以下となり、急速に減少した (Fig.5)。

弱電解酸性水を添加した培養液中におけるトマトの根部褐変は、弱酸性電解水を添加した翌日に、わずかに観察されたが、変色はその後回復し、生育に異常は認めなかった。

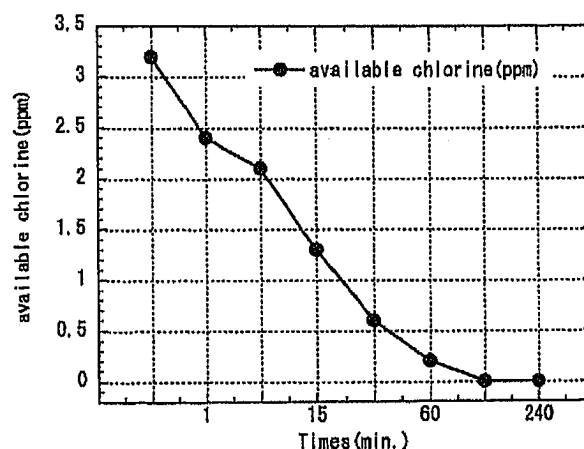


Fig.5. Decrease of available chlorine in the hydroponic nutrient solution

Weak Acidic Electrolyzed Water (WAEW) was added to the hydroponic nutrient solution. Available chlorine was measured at regular intervals by the DPD methods.

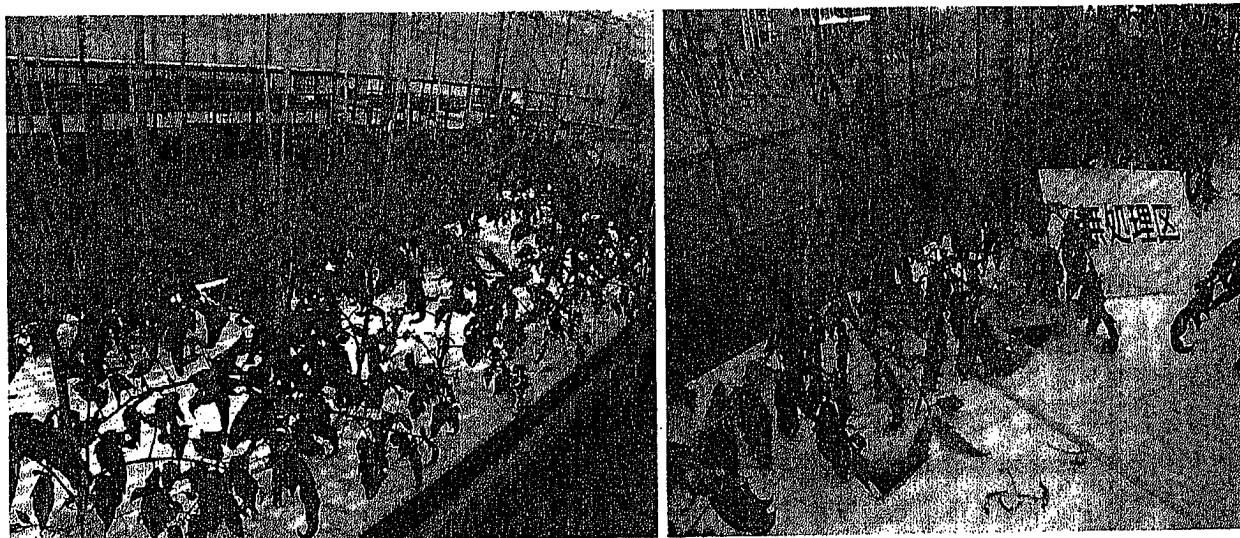


Fig.4. Suppressive effects of WAEW on root rot disease of tomato in hydroponics  
Left: Root rot disease did not appear (WAEW added to the culture solution)  
Right: All plants had wilted (control).

## 考 察

養液栽培で発生する根部障害の90%が *Pythium*, *Phytophthora* 属菌等水生菌類に起因するとされる<sup>7)</sup>。これらの水生菌類による病害や青枯病等が発生した場合、培養液中や作物根部の病原菌を殺菌することが考えられ、次亜塩素酸ナトリウムや次亜塩素酸カルシウム等、塩素製剤による殺菌が検討される。しかし、水耕培養液中への次亜塩素酸ナトリウムの添加は、培養液に含まれるアンモニウム塩との反応で生じるクロラミンにより、植物根の褐変が発症するとされ<sup>6)</sup>、水耕培養液中への塩素の利用は難しいとされる。伊達らは、レタスの水耕栽培において、アンモニアと次亜塩素酸ナトリウムが同時に存在することでクロラミンが生成し根が褐変するとし、培養液からリン酸アンモニウムを除外することで根に障害のないことを報告している<sup>5)</sup>。

酸性電解水を養液栽培に利用するには、植物の根に影響がなく、殺菌力が得られる条件を探し出す必要がある。培養液と有効塩素濃度40ppm, pH5.6の弱酸性電解水の混合量について検討したところ、培養液に対して5%の弱酸性電解水を混合した場合、病原菌密度が5 cfu/mlの条件下で発病抑制効果が得られた。根腐病菌の遊走子の感染ポテンシャルは高く<sup>1)</sup>、遊走子密度が0.1cfu/mlで発病が成立するとされ<sup>8)</sup>、5 cfu/mlの病原菌密度下で60%近い発病率を、弱酸性電解水混合より発病率0%に抑制できたことは、圃場における被害抑制効果が期待できると考えられる。水耕培養液中に弱酸性電解水を添加し、塩素濃度と遊走有効塩素濃度が2 ppm以上で、*Pythium aphanidermatum*の遊走子の運動は停止し殺菌された。また、ワグナーポットを用いた試験から、培養液量に対して5~10%添加することで、低濃度の病原菌密度であれば発病が抑制され、トマトに対しても塩素による顕著な障害の発生がないことが確認された。以上のことから、培養液中に弱酸性電解水(pH5.6, 有効塩素濃度40ppm)を5%添加することで、5 cfu/mlの程度の低菌密度条件下で根腐病の防除が可能と考えられた。

次亜塩素酸は培養液に用いると塩素による障害

の発生が問題となるが、病原菌の密度が低い場合、混合時の有効塩素濃度が2 ppmで病原菌は殺菌され、その後、塩素濃度が減少することからトマトへの障害発生もなく、病原菌による被害発生が抑制できことがわかった。養液栽培では、栽培期間中作物が肥料や水を吸収することから培養液が減少する。養液栽培では、この液肥の減少した量だけ培養液を添加されるが、このとき、調製される肥料溶液に弱酸性電解水を利用することで培養液殺菌が可能となる。湛液式の養液栽培において、常時、培養液を無菌状態にするには、酸性電解水の供給方法を検討する必要がある。実用規模の水耕装置を使った試験から、培養液タンク内において弱酸性電解水を10%量混合して培養液を殺菌する方式は、添加直後で根に軽度の障害を発生する恐れがあるが、その後の生育に影響もないことから、根腐病の発生を防止する資材として利用できる。ロックウール栽培等液肥供給型においても弱酸性電解水を10%量混合することで培養液の殺菌が可能となり、排出液についても同量の電解水を混合して再利用する方式で、培養液の循環利用が可能であり、発病初期等、低菌密度時には5%程度の添加量で発病を抑制できると考えられる。

## 結 論

pH5.6有効塩素濃度40ppmの弱酸性電解水を水耕栽培の培養液に混合した場合、5~10%量混合することでトマト根腐病菌の遊走子を殺菌することができた。トマトに対する根部障害の発生は、混合量が10%で認められるが、5%の添加量では影響はなく、次亜塩素酸の培養液添加は可能であると判断された。養液栽培において、水耕培養液量に対して5%の弱酸性電解水を混合することで、培養液中の *Pythium aphanidermatum*の遊走子を殺菌することが可能で、これによって、養液栽培で発生する根腐病の防除が可能である。弱酸性電解水の供給は、作物の養分吸収による培養液の減量に対して、常時混合することが可能で、液肥調製時に作物の生育に影響のない5%以内の量を混合することで *Pythium* 属菌による根腐病を防除することができる。

## 文 献

- 1) Stanghellini, M. E. and Rasmussen, S. L. (1994) Hydroponics-A solution for zoospori-  
copathogens. *Plant Dis.*, **78**, 1129-1138.
- 2) 草刈眞一(1998)養液栽培の病害と除菌・殺菌技  
術 (1). 農及園, **73**, 1209-1212.
- 3) 大森敏弘, 岡 工, 狗田 徹, 石郷岡 博,  
荒田洋治 (2000) イネ籾枯細菌病感染もみに対  
する酸性電解水の効果. 防菌防黴, **28**, 485-  
491.
- 4) Date, S., Hataya, T. and Namiki, T. (1999),  
Effects of nutrient and enviromental pre-  
treatments on the occurrence of root injury  
of Lettuce caused by Chloramine. *Acta Hort.*  
(ISHS), **481**, 553-560.
- 5) Date, S., Terabayashi, S., Matsui, K.,  
Namiki, T., and Fujime, Y. (2002) Induction  
of root browning by Chloramine in *Lactuca*  
*sativa* L. grown in Hudroponics. *J. Japan.*  
*Soc. Hort. Sci.*, **71**, 485-489.
- 6) Buxton, B. R. (1938). Chlrorinated water  
fatal to plant. *Horticulture*, **16**, 422.
- 7) Waterhouse, G. E. (1967). Key to *Pythium*  
PRINSHEIM. *Mycological Papers*, No.109.  
pp.1.
- 8) 北島徳泰 (2004). 水耕栽培されたビートで発  
生する苗立枯病の病原菌の同定と発生要因の調  
査, 大阪府立大学学士論文.