

# オゾンガスによる養液栽培のキュウリ根腐病菌の殺菌

大阪府立農林技術センター 草刈眞一

## はじめに

オゾンの利用が注目されている。オゾンが発生させるオゾナイザーは、最近、価格も下がり、高性能で小型化し、大容量のオゾンを生産できる装置も開発されるようになったのも一因である。また、オゾンは微生物やウイルスに対して高い殺菌力を有することはもとより、強力な酸化剤で、多くの化合物を酸化分解し、脱臭、脱色効果など農業分野への幅広い利用が可能であることもわかってきた。オゾンにはもう一つ短時間で分解する特徴がある。酸素原子3つからなるオゾンは、分解してもそれ自体には毒性はなく、環境に対して安全な資材とされる。空気より重く、水にも溶解してオゾン水となるほか、氷にするとオゾン氷として利用できる(島田, 1999)。

このオゾンの殺菌作用を植物病原菌に利用することもできる(草刈ら, 1995)。特に、養液栽培の培養液の殺菌に利用する試みは以前から、実用化を目指して検討がなされてきた。オゾンガスを培養液に曝気して殺菌する方法が古くから知られてきたが(荒本ら, 1978; 川辺・吉野, 1984)、実際に養液栽培の病害に使う防除した事例はない。大阪府立農林技術センターでは、養液栽培における環境保全型の病害虫防除と大腸菌等の衛生微生物の除去技術の開発を行ってきた。本編では、オゾンメーカーと協力してガス状オゾンを用いた養液栽培の病害微生物殺菌効果について検討したので報告したい。

## I 養液栽培の病害の問題点

養液栽培は、閉鎖環境系で栽培されるため、衛生管理を十分行えば病害発生はないとされる。土耕と異なり、作付けごとに培地の交換が可能で、土壌病害等連作障害の発生要因がない。しかし、培養液中に病原菌が混入すると、短時間で伝染して大きな被害となる。水耕培養液中の微生物数は、土壌と比較すると1/100以下で、土壌と異なり微生物間の拮抗作用が少ないことから病原微生物に対して緩衝力がない。

養液栽培で発生する病害として、疫病、根腐病、青枯病、萎凋病、黒点根腐病等があげられるが(草刈, 1998)、これらの病害は、養液栽培の装置の形式や培養液の供給方式(解放式か閉鎖式)で発生程度が異なる(草刈, 1998)。ロックウール等固形培地を用い、培養液が解放式(垂れ流し)で供給される場合、疫病や根腐病による急速な被害まん延はなく、萎凋病、TMV、半身萎凋病など土壌伝染性病害特有の病害が発生する(草刈, 1998)。しかし、培養液が循環している湛液式の養液栽培では、培養液で病原菌が伝搬する疫病、根腐病、青枯病の発生が多く(草刈, 1998)、培養液の殺菌手段が必要となる。溶液中の微生物をオゾンで殺菌することは容易であるが、オゾンは、殺菌作用とともに消費されるので、当然、培養液量が多くなれば多量のオゾンが必要となる。培養液量の多いハイポニカやM式等湛液式では大容量のガス生成装置が必要となり、NFTなどでは小容量で対応できる。また、解放式のロックウール等では、培養液を調整する用水を殺菌するだけで十分で、より小型の装置で殺菌できる。養液栽培装置には多くの方式があり、使われる培養液量にも差がある。オゾン殺菌を導入するには、どの方式に、どこの部分へ殺菌装置を入れるかも重要な課題である。

## II オゾンによる殺菌効果の特徴

オゾンは強力な酸化剤で、酸化作用が殺菌にも関与している。殺菌効果は強く、細菌、糸状菌のほか、ウイルスについても酸化作用によって不活化する(池田, 1976)。しかし、オゾンは不安定な化合物で、溶液中のオゾンの半減期は20分程度と短時間で、有機物や微生物が存在するとより短時間で消失する(山吉, 1998)。

オゾンによる殺菌効果は、微生物の種類によって異なり、細菌に比較して、糸状菌ではやや低いとされる。殺菌効果が瞬間的なオゾン殺菌では、殺菌剤の一般的な表現法であるCT値(濃度と時間の積で表される積)で表せず、接触濃度が殺菌効果を決めるとされる(山吉, 1998)。

オゾン水を用いてオゾン濃度と大腸菌(*Escherichia coli*)の殺菌効果を調べたところ、図-1の結果が得られる。大腸菌は、10秒以内に、1ppmのオゾン水で1/100に、2ppmで1/1000に、3ppmでは1/10<sup>5</sup>に減少する

Sterilization of Root Rot Fungus of Cucumber by Ozone in Hydroponics. By Shin'ichi KUSAKARI

(キーワード: Ozone, Hydroponics, *Pythium*, Root Rot of Cucumber)

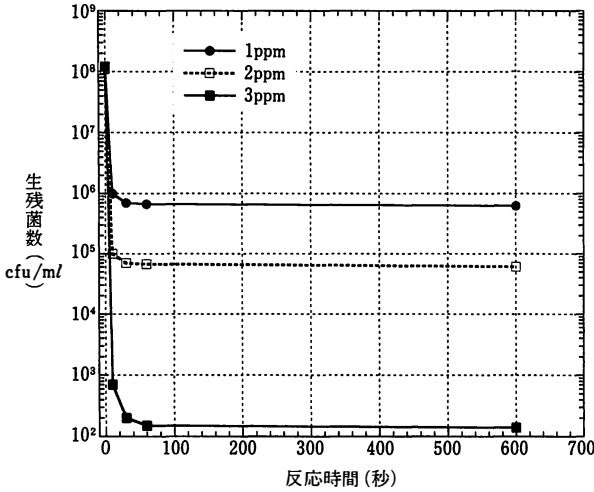


図-1 *Escherichia coli* に対するオゾン水の殺菌効果 (山吉, 1998 より)

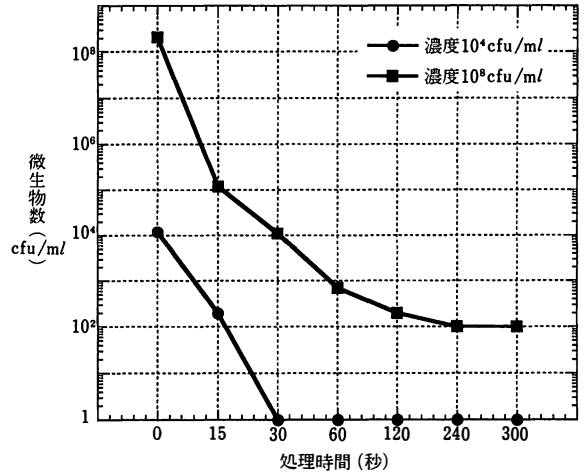


図-3 微生物の密度とオゾン水による殺菌効果  
微生物は大腸菌 (IFO 3301) を用いた。オゾン水の濃度は 3 ppm.

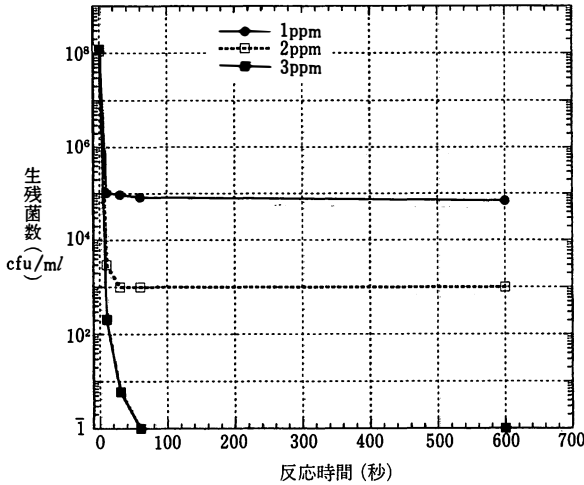


図 2 *Pseudomonas aeruginosa* に対するオゾン水の殺菌効果 (山吉, 1998 より)

のがわかる (山吉, 1998)。また, *Pseudomonas* 属菌では, より減少効果が高く, 3 ppm では  $1/10^7$  に低下し (図-2) ほとんど瞬間的に殺菌される。

オゾンは分子自体が分解することで殺菌作用を示すことから, 微生物の密度が高いと, 殺菌するのにより多くのオゾン濃度が必要となる。図-3 は, 3 ppm のオゾン水で殺菌効果を調べたものであるが,  $10^4$  cfu/ml では瞬間的に検出できなくなるが,  $10^8$  cfu/ml では, 大腸菌が検出される。微生物の密度の高い場合には, より高濃度のオゾンが必要となるが, 実際, 養液栽培では  $10^4 \sim 10^5$  cfu/ml 程度の微生物数で, 病原菌は  $10^3$  cfu/ml 以下と考えられる。

### III 植物病原菌に対する殺菌効果

山本らは (1990), 塩類溶液中に *Corynebacterium michiganense*, *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas solanacearum*, *Fusarium oxysporum* の菌体を  $10^4$  個/ml 添加し, オゾンガスを曝気したところ, 3種類の細菌で60分, 糸状菌の *Fusarium* で120分の処理で密度が減少している。本論文からは, オゾン濃度がわからないが, 時間が経過すれば植物病原菌を殺菌できることを示しており, *E. carotovora* や *C. michiganens* のような細菌に比べて糸状菌である *Fusarium* 属菌では, 倍近い処理時間が必要とされる。

オゾンを溶解したオゾン水中での殺菌効果を調査したところ, *Pythium aphanidermatum* の遊走子は, 5 ppm の濃度で10秒以内に殺菌された。また, *Botrytis cinerea*, *Pyricularia oryzae* 等の糸状菌について, オゾン水中での殺菌効果を調査したところ, 分生子では30秒以内に殺菌される (草刈, 1998)。細菌や遊走子は比較的短時間で殺菌されたが, 分生子はやや時間を要し, 菌核はほとんど殺菌されなかった (草刈, 1998)。以上のことから, オゾンによる殺菌は, 植物病原菌に対しても有効であると考えられる。濃度の高いオゾン水は, 無声放電によって作られた高濃度のオゾンガスを水に溶解したり, 特殊な電解槽によって電気分解することによって作られ, 高い殺菌効果を有することが確認されているが (草刈, 1999; 寺添ら, 1995), オゾン水を利用して養液栽培の病害防除をするには, 栽培装置を変更する必要がある。しかし, 湛液式の養液栽培装置では, タンク中へ

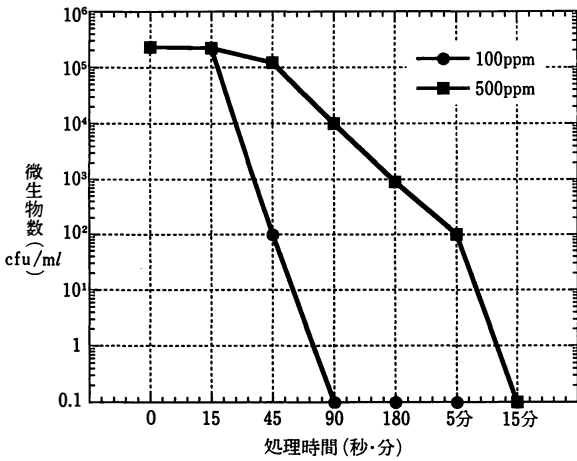


図-4 オゾンガスの濃度と *Fusarium oxysporum* 小型分生子の殺菌効果

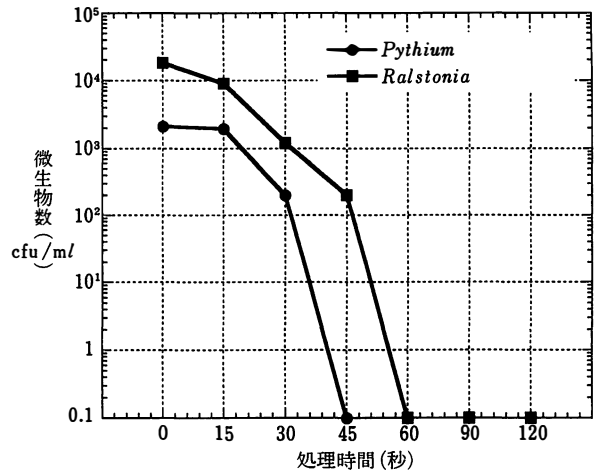


図-5 *Pythium aphanidermatum* および *Ralstonia solanacearum* (*Pseudomonas solanacearum*) に対するオゾンガスの殺菌効果

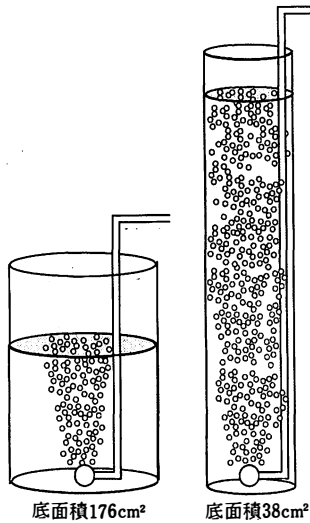
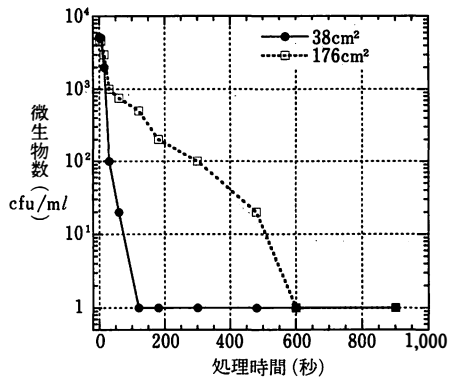


図-6 底面積の異なる容器において、オゾンガスを同一通気量で曝気した時の気泡の広がり及殺菌効果



オゾンガスを通気して殺菌することも可能である。この場合、オゾン水を作るときのような 10,000 ppm 以上の高濃度のオゾンガスは必要でなく、200~1,000 ppm 程度のオゾンガスで殺菌が可能と考えられる。

水溶液中に懸濁した植物病原菌についてオゾンガスを通気したときの殺菌効果を検討したところ、殺菌に必要な時間は、濃度が高いほど短くなる。図-4 は、100 ppm と 500 ppm のオゾンガスについて殺菌効果を比較したもので、*Fusarium oxysporum* の小型分生子は、100 ppm では 15 分以上の時間が必要であったが、500 ppm の濃度では殺菌に 90 秒で殺菌された。

オゾンガスによる殺菌は、*Fusarium oxysporum* の

他、*Ralstonia* (*Pseudomonas*) *solanacearum* の菌体、*Pythium aphanidermatum* の遊走子についても有効で、45 秒程度の時間で殺菌された (図-5)。

#### IV オゾンガスによる養液栽培の病害防除効果

オゾンガスを培養液中に通気して殺菌する場合、気泡が溶液中に均一に拡散することが重要である。同一容量の溶液を底面積の異なる容器に入れて殺菌効果を比較すると、底面積の小さい容器で殺菌効果が高くなる (図-6)。これは、オゾンガスの気泡が槽全体に行き渡るからと考えられる。そこで、円筒形の処理槽にオゾナイザーを設置した、図-7 のような殺菌装置を試作し (株式会

社竹中電気：愛知県碧南市), 殺菌効果を検討した。

培養液は、オゾン処理槽に入りオゾンガスで殺菌された後に栽培槽へ流れ込むようにした(図-8)。オゾン処理槽は約70 lで、毎分35 lのポンプで培養液を循環した。処理槽では約2分間、オゾンガスで処理される。オゾンガスの濃度は500 ppmで毎分8 lで曝気した。図-9に示すように、円筒形の処理槽内では、オゾンガスが均一に分散して上昇しているのがわかる。

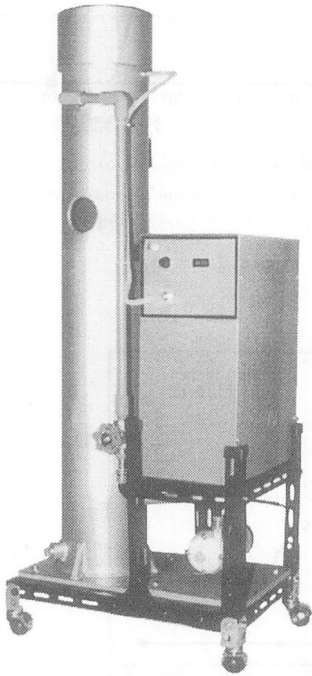


図-7 円筒形の処理槽にオゾンガスを曝気して殺菌する装置 (MT-5:株式会社竹中電気製)  
培養液を円筒形の処理槽へ導入し、オゾンナイザーにより生成したオゾンガスを曝気して殺菌する。

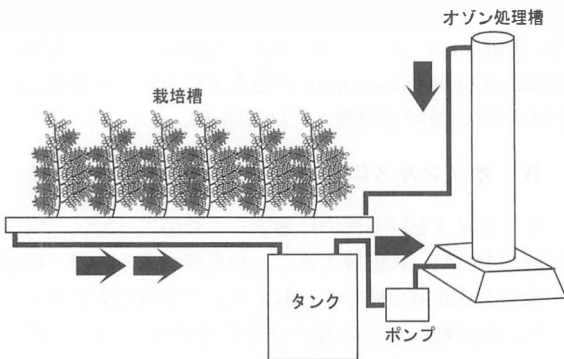


図-8 オゾン処理槽と栽培槽との接続と培養液の流れ  
オゾン処理槽は株式会社竹中電気製のMZ-5を使用。病原菌はタンク(培養液タンク)に接種した。

栽培装置は、協和製のハイポニカを用い、培養液量は400 l、培養液は、園試処方の均衡培養液で、濃度は1単位、pHは6.2とし、1日3回各15分循環した。防除効果試験は、キュウリ根腐病菌 (*Pythium aphanider-*

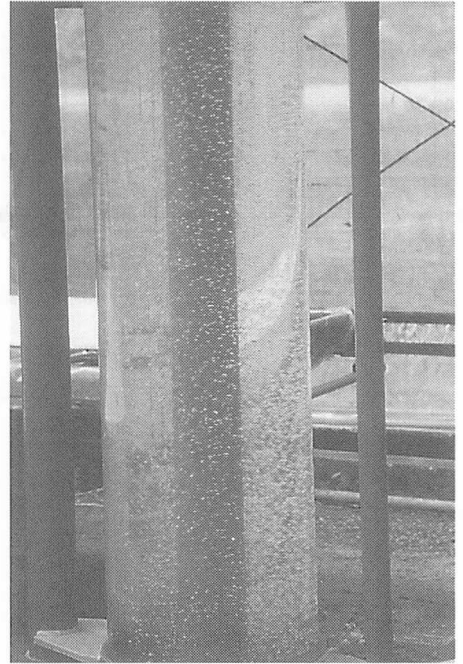


図-9 オゾン処理槽に拡散する気泡  
直径30 cmの円筒型の槽内に均一に分散する。

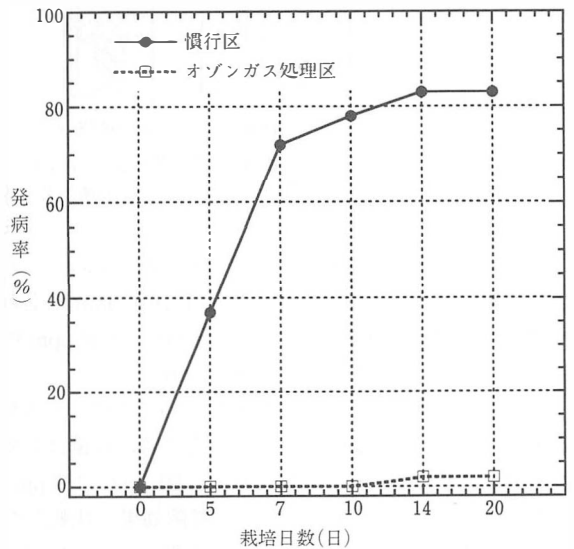


図-10 オゾンガス処理によるキュウリ根腐病の防除  
病原菌は *P. aphanidermatum* を用いた。病原菌の遊走子を採用し、培養液タンクに接種、オゾンガス処理後栽培槽へ供給した。

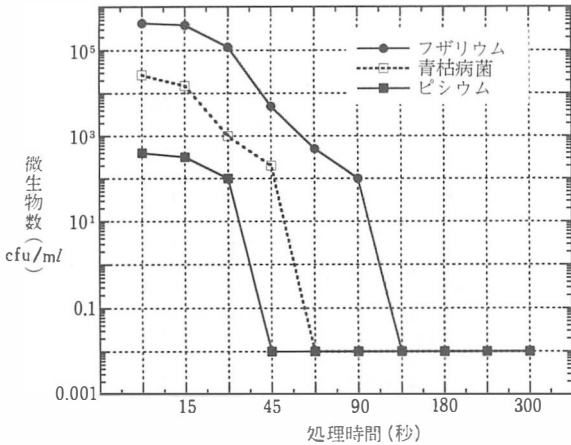


図-11 マイクロバブラー N-250<sup>®</sup>によるオゾンガス処理と植物病原菌の殺菌効果

フザリウムは *F. oxysporum* の小型分生子、青枯病菌は *R. solanacearum* (*Pseudomonas solanacearum*) の菌体、ピシウムは *P. aphanidermatum* の遊走子を用いた。培養液は園試処方均衡培養液 1 単位を用いた。

*matum*) の遊走子を培養タンク内の養液に接種し (10<sup>2</sup> cfu/ml) キュウリの子苗を定植して調査した。

慣行区では、キュウリを定植して7日後に72%の発病が認められ、2週間後には80%以上の株が感染して発病した。しかし、オゾン処理区では、ほとんど発病が認められず (図-10)、オゾンガスによる殺菌効果が実証された。試験に供したオゾナイザーは非常に小さな装置で、1,000 ppm までのオゾンガスを生成することができ、毎分 35 l 規模で循環できる養液栽培装置に対応できる (培養液量 1 t 程度まで)。本試験では、オゾンガスを処理するために円筒形の処理槽を用いたが、培養液タンクに直接オゾンガスを曝気する方法が理想的である。

水中ポンプにオゾンガスを吹き込んで微細な泡を発生する装置 (マイクロバブラー N-250 (野村電子工業株式会社: 大阪府大東市)) が開発されており、これを利用すると大型のタンク内の培養液に均一に泡を拡散できる。本装置に、小型オゾナイザーにより 125 ppm のオゾンガスを毎分 5 l 通気して微少な気泡を発生させたところ、培養液量が約 100 l で、*Fusarium oxysporum* の小型分生子は 120 秒、*P. aphanidermatum* は 45 秒で殺菌された (図-11)。マイクロバブラーによって生成するオゾンの泡は細かいため、少量のガスで多量の泡を生成できる。発生する泡の数が多く、表面積が増加することからオゾンガスとの接触面積が増加し、殺菌効率が高まると思われる。本装置では、発泡装置を直接タンク内の

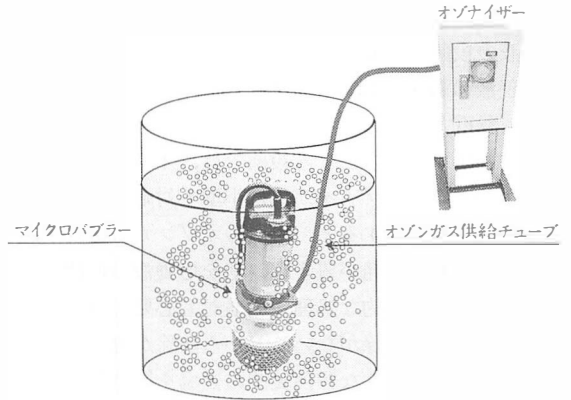


図-12 マイクロバブラー (野村電子工業製) による培養液殺菌法

タンク内の培養液中にオゾンガスの微細な気泡が放出される。ポンプなので培養液もかくはんされ殺菌効果が増加する。

培養液に入れるだけでオゾンガスを微細な気泡として処理でき (図-12)、ハイポニカや NFT 等タンクを持つ栽培装置に容易に利用できる。培養液量が多くなった場合もポンプとオゾナイザーの能力を上げれば処理できるので、大きさの異なる水耕装置にも対応が容易である。

### V オゾンガスによる培養液殺菌の問題点

オゾンガスは高い殺菌効果を示すが、強い酸化剤であることから植物にも障害が発生する。1 ppm 前後のオゾンガスが直接植物の葉にあたると、クロロシスが発生する。しかし、オゾンガスを培養液中に曝気し、ガスが養液と十分混合され反応している場合には、ガス濃度が 500 ppm であっても、植物への障害は問題ない。オゾンガスは培養液中の有機物と反応して分解し、半減期も短く、水に溶解する量はわずかである。養液栽培装置にオゾンガス処理 (500 ppm) しながら 1 ヶ月間栽培したが、キュウリに障害は認められなかった。

オゾンの環境基準は 0.1 ppm であるが、密閉したビニールハウスで長時間オゾンガスを曝気したとき問題となる。こうした場合、活性炭によるオゾンガスの吸収装置を設置するなどして作業環境の安全性を確保する必要もある。

### おわりに

養液栽培では、培養液を介して伝搬する病害の防除対策が問題となる。キュウリ、トマトの栽培では *Pythium* や *Phytophthora* 属菌による根腐病、疫病の対策が必要で、トマトでは青枯病による被害も問題となる。また、大腸菌などの衛生上問題となる細菌による培

養液の汚染も取り上げられることがあり、用水を含めた培養液の殺菌が必要である。

培養液の殺菌には、紫外線による殺菌も可能であるが、消費電力等ランニングコストの点ではオゾン殺菌が優れる。オゾンガスによる殺菌では、オゾン水による殺菌に比較するとオゾナイザーは小型で対応できる。環境への安全性を考慮すると、少量のオゾンガスで効率的に殺菌する装置の開発が望まれ、泡を培養液に拡散させる装置の開発や効率的な処理層の検討も必要である。養液栽培では、農薬登録がないことから防除が難しい状態となっている。効率的な殺菌装置の登場を期待したい。

#### 引用文献

1) 荒本正義ら (1978): 日植病報 44: 405.

- 2) 池田 昭 (1976): 環境技術 5: 17~21.  
 3) 川辺英彦・吉野庸三 (1984): 特許公報 B2 昭59-29201.  
 4) 草刈真一ら (1995): 大阪農技セ研報 31: 10~22.  
 5) ——— (1998): 防菌防黴 26: 733~740.  
 6) ——— (1998): 農及園 73: 991~998.  
 7) ——— (1998): 同上 73: 1106~1113.  
 8) ——— (1999): 養液栽培の病害防除に対するオゾン水の利用 オゾン利用技術の実際. 横浜, サンユ一書房, pp. 289~310.  
 9) 宮田善雄ら (1981): 日植病報 55: 105~106.  
 10) 島田 豊 (1999): 殺菌-オゾン水の氷結による保存特性と殺菌への利用 オゾン利用技術の実際. 横浜, サンユ一書房, pp. 127~197.  
 11) 寺添 齊ら (1995): 水耕における廃棄物利用技術の開発 2-オゾンによる培養液殺菌に関する検討-1. 農業電力中央研究所研究報告, U 95007: 1-1.  
 12) 山吉孝雄 (1998): 食品加工技術 18: 23~27.  
 13) YAMAMOTO, H. et al. (1990): Ann. Phytopath. Soc. Jpn. 56: 250~251.

### 好評の「植物防疫講座」第三版

同書編集委員会編 全3冊 B5判

病害編	本文 395 頁	定価 3,675 円税込み (本体 3,500 円)	送料 380 円
害虫・有害動物編	本文 418 頁	定価 3,990 円税込み (本体 3,800 円)	送料 380 円
雑草・農薬・行政編	本文 528 頁	定価 4,620 円税込み (本体 4,400 円)	送料 450 円

お申し込みは直接当協会へ、前金 (現金書留・郵便振替) で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。

社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込 1-43-11

郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03)3944-1561 (代) FAX (03)3944-2103 メール: order@jppa.or.jp

### 発行図書

## 種子伝染病の生態と防除

— 健全種子生産をめざして —

大畑 貫一他編 B5判 本文 281 頁 + 索引 8 頁

定価 9,030 円税込み (本体 8,600 円) 送料 380 円

種子伝染病に関する体系的な研究やその啓蒙的な成書の必要性が強く叫ばれて来ている。本書は総論と各論から構成されており、総論では種子伝染病の重要性、生態と防除について研究の経過と現状について解説し、各論ではわが国に発生する 33 種作物の主要種子伝染病 96 種について、それぞれの専門家に解説していただいた。また、国際化がますます進む中で種子の健全性についても当然国際的な高水準が求められることとなるが、本書ではこのことについても掲載した。

お申し込みは直接当協会へ、前金 (現金書留・郵便振替) で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。

社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込 1-43-11

郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03)3944-1561 (代) FAX (03)3944-2103 メール: order@jppa.or.jp