

오존처리에 의한 폐양액내 *Phytophthora* spp. 멸균이중섭\* · 한경숙 · 박종한 · 정승룡 · 장한익<sup>1</sup>원예연구소 원예환경과, <sup>1</sup>과수과Disinfection of *Phytophthora* spp. in Recycling Nursery Irrigation Water by Ozone TreatmentJung-sup Lee\*, Kyoung-Suk Han, Jong-Han Park, Seung-Ryong Cheong and Han-Ik Jang<sup>1</sup>

Horticultural Environment Div., National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

<sup>1</sup>Fruit Research Div., National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

(Received on October 8, 2006)

Recycled irrigation water is a primary inoculum source of *Phytophthora* spp. and is capable of spreading propagules throughout nursery cultivation. Ozonation is commonly used to disinfect the recycled irrigation water; however, ozone has not been fully researched as a disinfectant for this purpose. In this study, zoospores of four species of *Phytophthora* were exposed for 1-9 min to free available ozone at 0.1-0.3, 0.5-0.7, 0.9-1.2, 1.4-1.7 and 1.9-2.2 mg/l. Zoospores, mycelial fragments, and culture plugs of *P. nicotianae* also were exposed to ozone concentrations ranging from 0.1 to 2.2 mg/l for periods ranging from 1 to 9 min. In addition, ozonated water was assayed monthly in 2004 and 2005 at two commercial nurseries, and quarterly in the first year at two other nurseries in Suwon, for ozone and survival of pythiaceous species using a selective medium. No zoospores of any species tested survived endpoint free ozone at 1.4 mg/l while limited mycelial fragments of *P. nicotianae* survived at 1.9 mg/l, and mycelial plugs treated at the same level of ozone were able to produce few sporangia. *Phytophthora* spp. were recovered only from nursery irrigation water with levels of free ozone at 0.3 mg/l or lower. The results of this study are essential for improving current ozonation sterilization.

**Keywords :** Control, Disinfection, Ozone treatment, *Phytophthora* spp., Recycling irrigation water

토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.)를 수경으로 재배하고 남은 폐양액을 재활용하는 기술은 환경 오염을 최소화 시킬 수 있어 그 중요성이 강조되고 있다(Skimina, 1992). 그러나, 폐양액을 살균하지 않고 재활용하는 경우 토마토 뿌리에 병원균이 감염되어 피해를 유발 할 가능성이 크다고 보고되고 있다(Hong과 Rijkenberg, 2002a). 한편, 뿌리에 발생하는 역병을 방제하는데 화학 약제인 fosetyl-Al과 metalaxyl을 이용하여 방제하는 것이 효과적이지만 이는 경제적으로 비용이 수반되는 것이 문제이다(Grech 등, 1992). 또한, 약제를 사용하는 동안 발병을 억제할 수 있지만 잦은 사용은 저항성 병원균의 출현과 약제사용 중단 시 여전히 폐양액이 병원균 집합 장소로 이

용될 수 있어 발병을 확산시킬 수 있다. 한편, 생육 중 약제 처리는 과실 수확 후 약제 잔류 및 환경 스트레스는 물론 친환경 농산물을 선호하는 소비자의 반응도 높지 않다. 이러한 이유로 네덜란드 온실 작물 연구소에서는 순환식 시스템으로 양액 재사용 시 필수적으로 요구되는 양액 여과 및 소독에 대한 연구가 진행되고 있다(Wohanka, 1992). 국내에서도 진균류의 발병 억제를 위해 모래 여과 시스템에 대한 연구가 보고되었다(Park 등, 1998). 한편, 현재의 폐양액 살균 방법은 여과, 자외선 램프, 염소, 비활성 물질, 산화 전위수(Buck 등, 2002) 및 칼슘(Von 등, 1997) 등 각 살균 방법에 대한 장단점이 알려져 있다. 특히, 모래 필터를 통과시키는 살균 방식은 곰팡이, 세균 및 일부 바이러스 살균에 효과적이거나 처리 속도가 느리고 유지 관리가 어려워 사용하는데 제한이 있다(Runia 등, 1996). 비이온성 계면활성제(nonionic surfactants)도 살균력을 가지고 있어 고추, 오이 수경재배시 *Phytophthora capsici*

\*Corresponding author

Phone)+82-31-290-6232, Fax) +82-31-290-6259

E-mail)jslee@rda.go.kr

(Stanghellini 등, 1996a)와 *Pythium aphanidermatum* (Stanghellini 등, 1996b) 방제에 효과적이라고 보고되었으나 이들 장치에 대한 수경 재배에서의 응용은 여전히 검토 할 바가 있다. 한편, 오존 살균은 병원균에 따라 다소 차이는 있으나 살균력은 약제에 의한 발병 억제력과 동등한 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Thompson, 1985).

최근 세계적으로 오존이 가지고 있는 강력한 산화력과 살균력으로 인해 염소를 대신할 수 있는 살균 소독제로 가능성을 주목받고 있으며 상업적으로 여러 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 오존 이용성에 관한 연구는 휘발성 유기화합물 및 조류 제거를 위한 상수원 처리(Lim 등, 2002), 미생물 제거를 위한 식품 처리(Kwon 등, 1996) 등이 보고되었다. 또한, 식물의 오존에 대한 내성은 작물 또는 품종에 따라 오존에 대한 감수성에 많은 차이를 나타낸다(Gentile 등, 1971). Henderson과 Reinert(1979)은 토마토 성장초기 피해와 수량 감소는 큰 상관관계가 없음을 밝히고, Temple(1990)은 대기 중 오존 농도가 계절 평균  $0.077 \mu\text{l/l}$  이하의 경우 토마토 성장과 수량에 별다른 피해가 없음을 보고하였다. 그러나, 폐양액 내에는 무기 성분 및 일부 유기성분이 다양하게 함유되어 있어 화학성이 복잡하고 재배 지역과 작기에 따라 다르기 때문에 폐양액을 오존으로 살균하는 방법은 아직까지 일반화되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 오존처리에 의해 폐양액내 역병균에 대한 살균효과를 구명하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

**토마토 수경재배 및 발병조사.** 본 시험은 원예연구소 유리 온실내에 설치된 길이 35.0 m, 폭 8.4 m, 높이 3.5 m 인 순환식 양액재배 시설에서 실시하였다. 최아된 종자를 50공 육묘 상자에서 58일 동안 육묘 후 암면 큐브( $10 \times 10$  cm)에 정식하고 암면 슬라브 위에 올려 정기적으로 배양액을 공급하면서 재배하였다. 사용한 양액은 원예연구소에서 '95년에 조성한 다량 원소 N, P, K, Ca 및 Mg 조성이 각각 12.7, 2.0, 7.0, 5.0 및  $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 인 토마토(품종: 하우스도태랑) 전용 양액을 사용하였다. 미량 원소는 B, Mn, Zn, Cu, Mo 및 Fe를 각각 0.5, 0.5, 0.05, 0.02, 0.01 및  $3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 공급하면서 재배하였다. 또한, 생육 중인 토마토에 발생하는 토양 병원균중 역병에 대하여 발생량 및 피해를 조사하였다.

**병원균 배양 및 접종.** 수경 재배 온실에서 발병한 *Phytophthora nicotianae*, *P. infestans*, *P. cinnamomi* 그리고 *P. capsici*를 시험 균주로 각각 사용하였다. 배양은

V8 agar 배지에 올려 25~28°C에서 4일간 생장시킨 후 수경 재배 온실 내에서 생장중인 토마토 줄기에 재 접종하여 병원성을 확인한 후 이용하였다. 4균주 모두 V8 agar 배지에 5일간 생장하는 동안 nuv 자외선 등을 12 hrs/일 동안 조사하여 생장한 균사위에 유주자낭을 형성하였다. 유주자낭이 포함된 생장한 균총(직경  $1.5 \text{ cm}^2$ )를 취하여 멸균수를 이용하여  $1.2 \times 10^4 \text{ cfu ml}^{-1}$  농도로 포자 현탁액을 조성한 후 배양액 공급탱크(200 l)내에 5 ml씩 접종하고 3일 후 재접종하여 배양액내 병원균이 충분히 존재하도록 하였다.

**폐양액 살균.** 폐양액 살균은 오존 발생장치(Aqua Saver, (주)Ozonatur, 한국)를 이용하여 살균하였다(Fig. 2). 살균 시에는 오존 순환펌프(0.6마력)를 폐액 탱크 내(22°C)에 부착하여 발생 장치로부터 공기 상태의 오존을 폐액 탱크까지 호스를 연결하여 처리하였다. 오존 발생 장치의 출구 농도가 50 mg/l인 오존을 폐양액 탱크내에 1~9분까지 용존처리 하였다. 이때 오존이 폐액 탱크내에 일정하게 처리되도록 폐액 탱크내 부착된 순환펌프 출구에 T자형 분사 장치를 이용하여 폐액이 폭기되면서 오존이 일정하게 처리되도록 유도하였다. 또한, 오존 발생 장치로부터 폐양액내 용존되는 오존의 농도 측정은 DOM-1(Eco sensors, U.S.A)을 이용하여 각각의 처리 시간 동안 3반복으로 측정하였다. 한편, 폐양액을 오존 처리 농도별로 살균 직후 살균 폐양액을 100 ml 채취하여 역병균이 생장중인 배양 접시에 20 ml씩 처리하여 균총의 발병 억제력을 조사하였다. 한편, 각각의 오존 농도별로 살균된 오존 살균 배양액을 작물이 생육중인 베드내로 공급하기 직전 살균 폐양액내 용존된 오존이 공기중으로 방출되도록 폐양액내 부착된 순환펌프를 약 1~2분 정도 공회전하여 폐양액내 용존된 오존이 0.4 mg/l 이하로 되도록 하여 공급하였다. 살균 폐양액 공급시에는 토마토 생육 단계에 따라 5~10회/일 관주하였으며, 관주 시에는 1회당 4분씩 베드내에 관주하였고 관주 후에는 표준 재배법에 준하여 관리하였다.

## 결 과

폐양액 살균은 오존 발생장치(Aqua Saver, (주)Ozonatur, 한국)를 이용하여 살균하였다(Fig. 2). 오존 발생 장치로부터 폐양액내로 처리된 오존은 처리시간이 길어질수록 다량의 오존이 용존되어 9분 처리에서 최대  $2.2 \text{ mg/l}$  용존되었다(Fig. 1). 오존 발생 장치로부터 분출된 오존을 1, 3, 5, 7, 9분으로 구분하여 폐양액내 처리한 결과 처리 시간에 따라 각각 0.1~0.3, 0.5~0.7, 0.9~1.2, 1.4~1.7 그리고

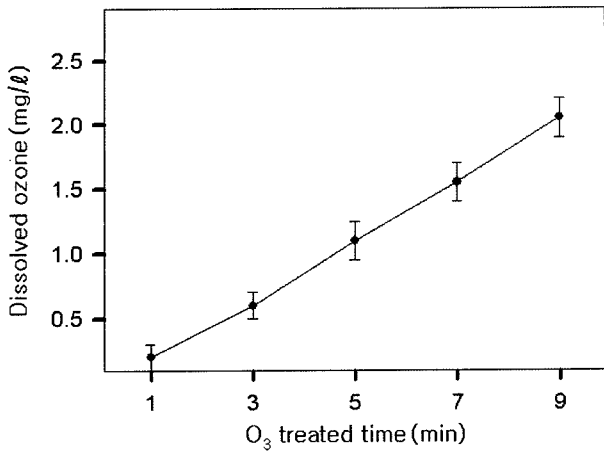


Fig. 1. Relationship of O<sub>3</sub> dissolved concentration by treated time from ozone generator in recirculating nutrient solution tank.

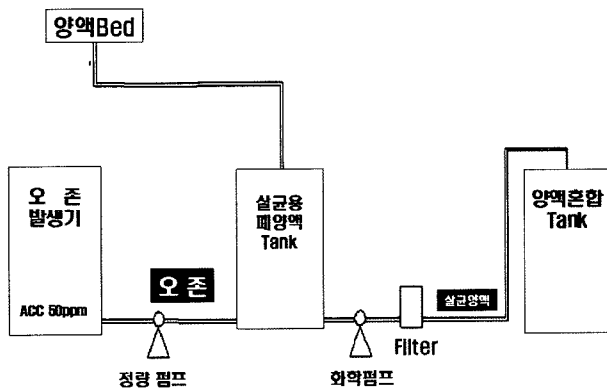


Fig. 2. Recirculating hydroponic system for studying the efficacy of ozone in controlling root rot of tomato caused by *Phytophthora capsici*.

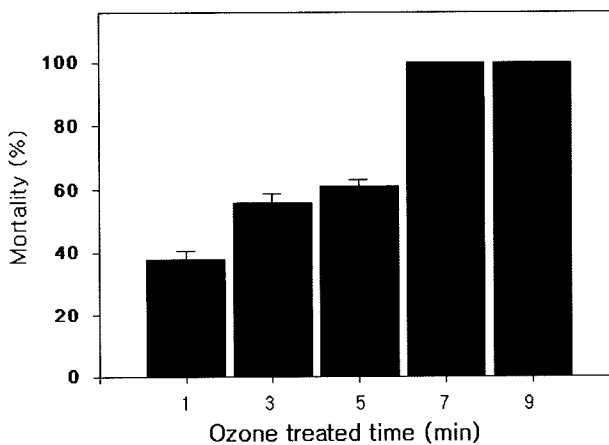


Fig. 3. Disinfective effect of ozone on the zoospores of *Phytophthora capsici* in recycled irrigation water according to treated time. Each column represents the average of three repeated tests with three samples per test. A standard error bar tops each column.

1.9~2.2 mg/l이었다. 또한, *P. capsici*의 유주자 현탁액을 폐양액내 접종한 후 오존처리에 따른 살균력은 처리농도를 50 mg/l로 하여 1분~5분까지 처리한 결과 38~62%의 살균율을 나타내어 처리 농도가 높아질수록 살균력이 다소 증가 되었으나 충분한 살균에는 미치지 못하였다(Fig. 3).

그러나, 오존 농도 7분 이상에서는 처리 시간에 관계없이 모두 사멸되어 높은 살균력을 나타내었다. 또 다른 2종의 *Phytophthora* 속에서도 오존의 처리시간이 길어질수록 높은 살균율을 나타내었다(Fig. 4). 한편, 오존 5분 이하의 처리에서는 처리 시간이 길어져도 역병균의 살균은 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다(Fig. 3, 5). 반면, 무처리에서는 균주에 따라 콜로니수가 배양 접시당 30~70개가

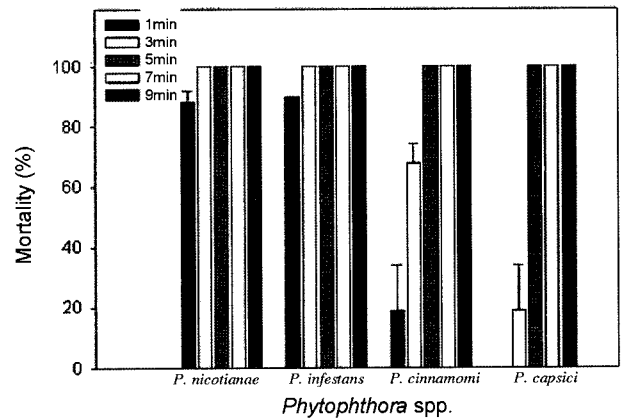


Fig. 4. Disinfective effect of ozone on the zoospores of *Phytophthora nicotianae*, *P. infestans*, *P. cinnamomi* and *P. capsici* in recycled irrigation water according to treated. Each column represents the mean mortality from six replicated dishes. A standard error bar tops each column.

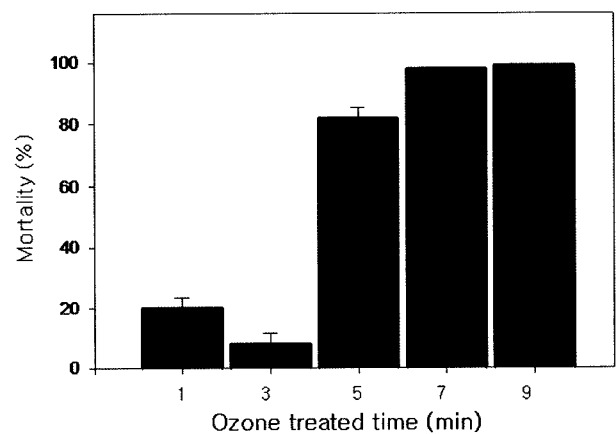
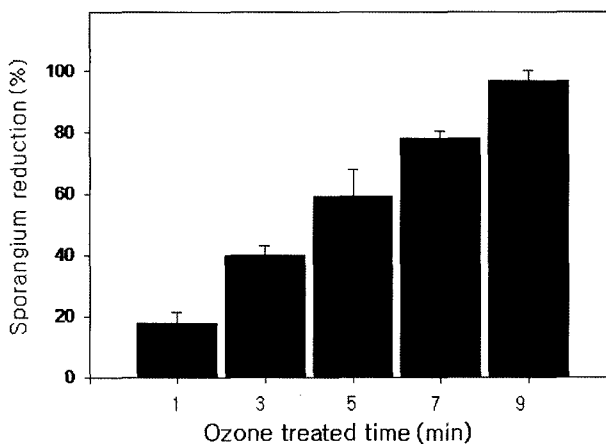


Fig. 5. Disinfective effect of ozone on the mycelia of *Phytophthora capsici* in recycled irrigation water according to treated time. Treated mycelial fragments were cultured on V8 agar. Each column represents the average of two repeated tests with three samples per test. A standard error bar tops each column.

관찰되었다. 폐양액 내 각각의 오존을 1~9분까지 용존처리 직후 살균 폐양액 100 ml를 채취하여 *P. capsici* 균이 성장중인 V8 agar 배양 접시내 20 ml 처리하여 25°C 배양실내에서 균사의 성장 정도를 조사한 결과 오존 처리 시간이 길어질수록 균사의 살균력은 6.4~100%까지 증가하였다(Fig. 5). 한편, 배양 접시당 무처리의 평균 콜로니 수는 평균 148개를 나타낸 반면 오존 처리시간 7~9분에서는 처리 시간에 관계없이 98% 이상 매우 높은 살균력을 나타내었다. 또한, 폐양액내 오존 3분 처리에서 1분 처리보다 균사의 살균력이 감소하여 일정하지 않았다(Fig. 5). 한편, 오존 1분 처리에서는 콜로니 형성이 극히 적었으나 형성된 1개의 콜로니로부터 성장된 균사는 지속적인 성장을 나타내었다. 또한, 3분 처리에서는 오존의 접촉 시간을 증가시키는 것은 균사의 살균력이 증가하였다(Fig. 5). 그러나, V8 agar 배지상에 형성된 유주자낭은 무처리에서는 평균 145개/dish로 다량 형성되었다. 한편, 각각의 오존으로 살균 처리된 V8 agar 배지상에 균사로부터 형성된 역병균의 유주자낭은 오존 처리 시간을 1~9분으로 증가시킴으로서 4.1%까지 낮았다(Fig. 6). 그러나, 유주자낭 형성은 오존 처리시간이 길수록 억제되는 경향이었으나 정확하게 일치하지는 않았다.

한편, 토마토 정식후 80일까지 생육중 역병 발병율을 조사한 결과 오존 처리 시간이 높을수록 역병은 발병하지 않았다. 그러나, 처리시간이 낮은 1~3분 처리에서는 5.6~22.2%까지 발병율을 나타내었다. 또한, 오존 5분 처리에서 생육초기와 중기에는 발병되지 않았으나 생육 8주가 지난 수확기에 접어들면서 5.6%의 발병율을 나타내었고 그 이후 더 이상 발병 진전은 없었다(Table 1). 한



**Fig. 6.** Disinfective effect of ozone on the sporangium of *Phytophthora capsici*. in recycled irrigation water according to treated time and concentration. Each column represents the average of two repeated tests with 15 mycelial plugs per test. A standard error bar tops each column.

**Table 1.** Percent mortality of tomato plants after pathogen inoculation into recirculating hydroponic tank with *Phytophthora capsici*

Ozone treatments (min) <sup>z</sup>	Weeks after inoculation <sup>y</sup>				
	2	4	6	8	10
1	0.0	5.6	5.6	16.7	22.2
3	0.0	0.0	5.6	5.6	16.7
5	0.0	0.0	0.0	5.6	5.6
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

<sup>z</sup>Mean percent mortality.

<sup>y</sup>Tomato plants were 55 and 58 days old at time of inoculation.

편, 오존 7~9분 처리는 수확이 종료할 때까지 역병 발병율은 나타나지 않아 가장 좋은 발병 억제 결과를 나타내었다.

## 고 찰

현재의 순환식 양액재배 시스템에서 토마토 재배용으로 재활용하는 폐양액내 역병균 존재는 균학적 및 경제적인 측면에서 살균의 필요성이 더욱 중요하게 인식되고 있기 때문에 본 연구에서는 역병균(4종)에 대한 오존의 살균 효율을 검토하였다. 본 연구에 이용한 역병균은 주로 폐양액 또는 관수로 사용하고 있는 농업 용수에 존재하면서 다양한 작물에 피해를 나타내는 매우 파괴적인 병원균으로 알려져 왔다(Hong 등, 2002a). 폐양액 내 *Phytophthora* spp.의 유동성 유주자의 살균이 매우 중요하다고 보고(Stanghellini 등, 1996b)되었는데 이는 *Phytophthora* spp.의 유주자가 전염되어 발병이 확산되기 때문이다. 또한, *P. capsici*(Stanghellini 등, 1996a), *Pythium aphanidermatum*(Stanghellini 등, 1996b) 등 유동성 유주자는 폐양액 내에서 유일한 전염원으로 작용하여 자연 감염을 유발한다고 보고되었다. 따라서, *Phytophthora* spp. 살균을 위해 폐양액내 오존을 처리하여 존재하는 역병균에 대한 살균 효율을 평가하는 것이 필수적이다. 역병균이 자유스럽게 존재하고 있는 폐양액내 오존 7~9분 처리하여 역병균을 살균한 결과 매우 높은 살균을 나타내었다. 그러나, 오존 처리 5분(농도 1.2 mg/l) 또는 그 이하 저농도 처리에서는 역병균이 분리되는 것을 확인할 수 있었기 때문에 충분한 살균이 이루어지지 않았다. 고농도로 처리된 폐양액으로부터 *Phytophthora* spp.가 검출되지 않는 것은 병원균의 현저한 밀도 억제에 의한 결과라 할 수 있지만 완전 살균에 의한 병원균 밀도 감소에 의한 결과라고는 할 수 없다. 현재 순환식 양액재배지에서 주로 사용하고 있는 필터 방식에 의한 병원균의 밀도 억제는 그 효율이 높지

않다고 보고되고 있다(Hong 등, 2002b). 이는 폐양액 필터 과정에서 유주자의 완전한 제거가 이루어지지 않기 때문이다. 또한, 폐양액내 오존 5분(농도 1.2 mg/l) 이하의 낮은 농도 처리는 유주자가 직접적으로 분리되지 않더라도 완전한 살균이 이루어지지 않을 가능성이 있기 때문이다. 본 연구에서는 폐양액 내 오존 7분(농도 1.4 mg/l) 이상에서는 모든 역병균의 유주자는 살균 되었다(Fig. 3, 5). 한편, 일부 균사 조직이 오존 7분(농도 1.4 mg/l) 이하 처리에서 분리되었으나 이는 무처리와 비교 시 분리율은 극히 낮았다. 일부 분리된 콜로니는 *P. nicotianae*의 균사가 유주자 보다 오존에 덜 민감하기 때문이라 추측된다. 이러한 비슷한 연구 결과가 *P. cinnamomi*에서도 보고 되었다(Smith, 1976). 오존 처리에 따른 폐양액 내 유주자낭 형성은 처리 시간에 따라 변화되었다. 폐양액 내 오존 1분(0.1~0.3 mg/l) 처리에서는 처리 후 4시간이 경과한 다음 유주자낭 형성이 확인되었으나 처리농도 및 처리시간이 길어질수록 현저히 감소되었다. 또한, 배양 접시 내에서 성장중인 역병균의 표면에 오존을 시간별로 처리한 결과 대부분의 균사가 살균되었다. 그러나, 배지 속에 성장 중인 균사는 완전히 살균되지 않았다. 이러한 균사는 오존의 처리 효과가 감소되었을 때 신속하게 성장하여 유주자낭을 형성할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 결과는 이병 잔재물이 폐양액 내에 존재할 경우 역병균에 대한 오존의 직접적인 접촉을 방해하여 역병균에 대한 오존의 살균 효율이 낮아질 가능성이 있다. 따라서, 오존 살균은 필터 방식과 병행하여 사용될 때 보다 더 효율적이라 판단된다. 한편, 폐양액 내 전체적인 오존 처리 농도는 정확하지 않을 수도 있기 때문에 폐양액 내 오존처리에 의한 살균은 실제 포장 적용에서 보다 더 구체적으로 관찰되어야 한다. 이는 오존 처리시간 1분 또는 2분에서는 폐양액내 존재하는 여러가지 불순물과 결합되거나 오존 분사 펌프로부터 오존 분출 차이 등으로 *Phytophthora* spp.에 살균 효과가 적거나 낮아질 수 있기 때문이다. 이러한 연구 결과를 2005년 토마토 여름 재배에 오존 7분(1.4~1.7 mg/l) 처리한 후 0.4 mg/l 이하의 농도로 한 후 토마토 작물에 공급한 결과 약해를 포함한 이상 증상은 나타나지 않았다. 한편, 오존 살균에 대한 광범위한 살균 효율을 측정하기 위하여 폐양액 내에 존재하는 또 다른 수생 병원균 즉, *Pythium*, *Erwinia* 등에 대한 오존의 살균 효율에 대하여 추가적인 검토가 필요하다. 한편, 폐양액 내 9분 이상 고농도의 오존처리(농도 1.9~2.2 mg/l)에 의한 배양액내 무기성분의 변화는 나타나지 않았다(data 미 제시). 결과적으로 폐양액 내 5분 이상 오존 처리에 의한 *Phytophthora* spp. 살균은 매우 높았으며, 7분(농도 1.4~

1.7 mg/l) 이상 오존 처리 농도를 높이는 것은 보다 높은 살균 효율을 나타내어 발병 억제는 물론 생육기 약제 사용을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

## 요 약

수경재배지 폐양액 내 *Phytophthora* spp.는 일차적인 전염원이며 배양액 재사용 시 전염이 더욱 확산될 수 있다. 오존은 농업용수 및 지하수 살균을 위해 산업적으로 이용하여 왔으나 수경 재배지에서 폐양액 살균 후 재활용 목적으로 충분한 연구는 수행되지 못하였다. 본 연구에서는 폐양액 내 존재하는 4종의 *Phytophthora* spp.에 대하여 살균 목적으로 오존 처리 시간을 1~9분까지 구분하여 처리하였다. 폐양액 내 오존 7분 이상(농도 1.4 mg/l) 처리에서는 처리 시간에 관계없이 시험균주 4종 모두에서 매우 높은 살균력을 나타낸 반면 5분(농도 1.2 mg/l) 이하의 저농도 처리는 충분한 살균력을 나타내지 못하였다. 한편, 7분 이상 고농도(1.4~1.7 mg/l)로 살균 처리된 폐양액을 *P. nicotianae*가 성장 중인 배양접시에 처리한 결과 일부 배지 속 깊게 성장 중인 균사체까지 살균력이 미치지 못하였다. 따라서, 본 연구 결과 완전한 폐양액 살균을 위해서는 오존 살균과 더불어 균사체 덩어리 또는 이병 잔재물을 제거할 수 있는 필터 방식과의 병행이 바람직하다.

## 참고문헌

- Buck, J. W., van Iersel, M., Oetting, R. and Hung, Y. D. 2002. In vitro fungicidal activity of acidic electrolyzed oxidizing water. *Plant Dis.* 86: 278-281.
- Gentile, A. G., Feder, W. A., Young, R. E. and Santer, Z. 1971. Susceptibility of *Lycopersicon* spp. to ozone injury. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96: 94-96.
- Grech, N. M. and Rijkenberg, F. H. 1992. Injection of electrolytically generated chlorine into citrus microirrigation systems for the control of certain waterborne root pathogens. *Plant Dis.* 76: 457-461.
- Henderson, W. R. and Reinert, R. A. 1979. Yield response of four fresh market tomato cultivars after acute ozone exposure in seedling stage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 754-759.
- Hong, C. X., Kong, P. and Richardson, P. A. 2002a. Epidemiological significance of *Phytophthora* species present in recycled irrigation water to ornamental production (Abstr.) *Phytopathology* 92: S143.
- Hong, C. X., Richardson, P. A. and Kong, P. 2002b. Comparison of membrane filters as a tool for isolating *Pythiaceae* species in irrigation water. *Phytopathology* 92: 610-616.

- Kwon, O. J., Park, S. Y., Kim, K. H., Lee, H. J. and Byun, M. W. 1996. Sterilization effects of r-ray and ozone on micro-organism contaminated in *Angelica keiskei* powder. *J. Fd. Safety*. 11: 221-225.
- Lim, Y. S., Lee, H. J., Lee, D. J., Heo, J. S., Sohn, B. K. and Cho, J. S. 2002. Effect of ozone treatment for Nakdong river raw water-II. *J. Environ. Sci.* 11: 1267-1274.
- Park, K. W., Lee, G. P., Kim, M. S., Lee, S. J. and Seo, M. W. 1998. Control of several fungi in the recirculating hydroponic system by modified slow sand filtration. *Kor. J. Hort. Sci & Tech.* 16: 347-349.
- Runia, W. T., Michielsen, J. M. G. P., van Kuik, A, J. and van Os, E. A. 1996. Elimination of root-infecting pathogens on recirculation water by slow sand filtration. *ISOSC Proc.* 395-407.
- Skimina, C. A. 1992. Recycling water, nutrients. and waste in the nursery industry. *HortScience* 27: 968-971.
- Smith, P. M. 1976. Control of *Phytophthora cinnamomi* in water by chlorination. p. 112. In: *Glasshouse Crops Res. Inst. Annu. Rep.* Little-Hampton, England.
- Stanghellini, M. E., Kim, D. H., Rasmussen, S. L. and Rorabaugh, P. A. 1996a. Control of root rot of peppers caused by *Phytophthora capsici* with a nonionic surfactant. *Plant Dis.* 80: 1113-1116.
- Stanghellini, M. E., Rasmussen, S. L., Kim, D. H. and Rorabaugh, P. A. 1996b. Efficacy of nonionic surfactants in the control of zoospore spread of *Pythium aphanidermatum* in a recirculating hydroponic system. *Plant Dis.* 80: 422-428.
- Temple, P. J. 1990. Growth and yield responses of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars to ozone. *Env. Expt. Bot.* 30: 969-974.
- Thompson, D. L. 1985. Control of bacterial stalk rot of corn by chlorination of water in sprinkler irrigation. *Crop Sci.* 5: 369-370.
- Von broembsen, S. L. and Deacon, J. W. 1997. Calcium interference with zoospore biology and infectivity of *Phytophthora parasitica* in nutrient irrigation solutions. *Phytopathology* 87: 522-527.
- Wohanka, W. 1992. Slow filtration and UV radiation: Low-cost techniques for disinfection of recirculating nutrient solution or surface water. *Proc. 8th Int. Congr. Soilless Culture* 497-511.