

재순환 양액재배시 저속 모래여과기 시스템을 이용한 진균류 제어

박권우^{1*} · 이금표¹ · 김민준¹ · 이성재² · 서명훈²

¹고려대학교 원예과학과 · ²경기도 농촌진흥원

Control of Several Fungi in the Recirculating Hydroponic System by Modified Slow Sand Filtration

Park, K. W.¹ · Lee, G. P.¹ · Kim, M. S.¹ · Lee, S. J.² · Seo, M. W.²

¹Dept. of Hort. Sci., Korea University, Seoul 136-701, Korea

²Kyonggi Provincial RDA, Hwasung 445-970, Korea

*corresponding author

ABSTRACT Slow sand filtration was modified and applied for the determination of eliminating efficacy of various fungi and for recommending an easy approach to growers. After 1,500 liter filtration, *Fusarium oxysporum* was eliminated by several substrates such as activated charcoal (92.5% elimination), silica (90.8%), vermiculite (90.5%), sand (82.3%), perlite (50.4%), and hydroball (21.2%). Silica was able to eliminate several fungi by maximal ratio, which was corresponded to *Fusarium oxysporum* 120 cfu/mL, *Collectotrichum lagenarium* 98 cfu/mL, *Phytophthora capsici* 82 cfu/mL, *Botrytis cinerea* 62 cfu/mL, *Pythium spp.* 42 cfu/mL, and *Sclerotinia ssp.* 52 cfu/mL. In this case, the change of EC was minor and pH was maintained to about 7. In deep flow culture of 'Ddooksum Cheokhookmyeon' lettuce and 'Seokwang' tomato, silica-, activated charcoal-, and vermiculite-based filtration system successfully eliminated *Fusarium oxysporum* and *Phytophthora capsici* from the nutrient solution. As a result, these plants were not diseased by ten weeks after inoculation. With this system, growers can easily control the root-zone fungi in the recirculating hydroponic system.

Additional key words: activated charcoal, *Fusarium oxysporum*, lettuce, *Phytophthora capsici*, silica, tomato, vermiculite

서 언

최근 우리나라에서는 반자동 하우스 및 자동화 유리온실 등의 시설화가 급속히 늘어나고 있는데, 이들 대부분은 양액재배 시설을 갖추고 있다. 자동화 유리온실의 양액재배 시설은 양액의 재활용을 위한 여과시스템의 설치가 바람직하다. 그러나, 현실적으로 소독시스템을 제대로 활용하는 농가는 드문 실정이며, 그 이유는 양액의 재활용에 대한 의구심 및 재활용시 경제적 이윤의 불확실성 때문이라 여겨진다.

유럽의 경우, 양액재배시 배양액과 다른 화학제가 지표면으로 유출되어 지하수가 오염되는 것을 막기 위하여 2002년까지 모든 양액재배 시스템을 재순환(recycling system)으로 채택하도록 명시하고 있다 (Runia, 1994). 이에 따라 최근 네덜란드 온실작물 연구소 (PTG)에서는 순환방식 시스템의 양액 재사용시 필수적으로 요구되는 양액여과 및 소독에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. (Wohanka, 1992). 대표적인 방법으로 열처리(heating), 오존처리(ozonization), 저속모래여과(slow sand filtration)를 들 수 있는데, 기존의 열처리와 오존처

리 방법은 대체로 실용적인 측면에서 그 효능에 비하여 설치비 및 운용비가 비싸다는 문제점을 안고 있다. 반면에, 저속 모래여과 시스템의 경우는 적은 비용에 쉬운 설치로 효율적인 여과가 가능하다는 장점을 갖고 있다고 할 수 있다 (Visscher, 1990).

저속 모래여과기는 현재 세계적으로 가장 많이 이용되고 있고, 국내에서도 학자들에 의하여 소개되었지만, 국내의 경우 양액을 통한 병 발생의 문제가 되는 병원체들을 어느 정도 제거할 수 있는지, 또는 여과시스템을 어떻게 활용하여야 병발생을 유의성 있게 낮출 수 있는가에 대한 공신력 있는 조사 및 결과가 미비한 실정이다.

따라서, 본 실험은 농가에서 저렴하고 효과적으로 이용할 수 있는 양액 여과시스템의 구체화를 위하여 기존의 모래여과기에 손쉽게 구할 수 있는 여러 가지 매질을 사용하여 균의 여과효율을 검정하고자 하였다.

재료 및 방법

여과시스템 제작 및 시험용 균주

수직의 원통형으로 된, 모래여과기 파일릿을 제작(Ø25×H100 cm)하여 내부 충전물을 하층으로부터 굵은 자갈(Ø10-15 mm)을 10 cm (4.9 liter), 가는 자갈(Ø3-6 mm) 10 cm, 굵은

모래(Ø1-2 mm) 10 cm, 가는 모래(Ø0.1-0.25 mm) 20 cm의 높이로 순서대로 채우고, 상층부의 위치에 강모래, 하이드로볼, 펄라이트, 버미큘라이트, 석영모래, 활성탄을 각각 30cm로 채운 6가지 파일릿을 적용 시험하였다. 선발된 최종 매질중 효율적인 여과능력을 보인 매질을 동일 여과기 내에 충전하여 최종 여과능력을 검정하고, 이를 작물재배 시스템에 도입, 검정하였다. 공시균주는 국내 작물의 근권부 병의 주요 원인균인 *Fusarium oxysporum*, *Collectotrichum lagenarium*, *Phytophthora capsici*, *Botrytis cinerea*, *Pythium spp.*, *Sclerotinia spp.* 등 진균류 6종을 원예연구소 원예환경과에서 분양받아 공시하였다. 균주는 potato dextrose agar(PDA) 배지에서 사전 배양하여 포자 및 유주자를 형성시켰으며, 시스템 적용농도는 평균 1.0×10⁶cfu/mL로 하고, 유속은 0.5m³/hr과 1.0m³/hr로 점종액을 여과하였다. 펌프(1/24HP)로 점종양액의 연속적인 순환이 가능하도록 제작하였다.

여과효율 조사

여과시스템의 여과효율 검정은 6가지 진균류를 각각의 시스템에 총 1,500 liter 여과후, 최종 20 liter에서 채취한 진균류의 활성 및 양으로 결정하였다. 검정 방법은 V8 선택배지에서 배양하는 방법과 2 µm의 membrane filter에 여과시킨 후, 각각의 membrane을 멸균수에서 8시간 진탕시켜 얻어진 용액을 희석하여 V8 배지에서 배양하는 방법을 이용하여 36시간 후 발생하는 콜로니의 수(cfu, colony form unit)를 통하여 확인하였다(Stanghellini 등, 1996).

양액재배 시스템

대상 작물은 '뚝섬 적숙면' 상추와 '서광' 토마토를 공시하였고, 재배방식은 담액순환경을 적용하였다. 상추는 본엽 4-5매 전개후 베드에 정식하였으며, 2주동안 재배후 *Fusarium oxysporum*을 상기의 방법대로 점종하였다. 토마토는 1화방 출현직후 정식하였고, 2주동안 재배후 동일한 방법으로 *Phytophthora capsici*를 점종하였다. 상기의 6가지 매질별 실험에서 선발된 석영모래, 활성탄과 버미큘라이트를 적용한 여과시스템을 이용하여, 1주 간격으로 균점종액을 여과한 양액으로 교체하여 재배하였다. 시스템 적용 균주농도는 *Fusarium oxysporum*은 0.85×10⁶ cfu/mL이었고, *Phytophthora capsici*의 경우는 1.3×10⁶ cfu/mL이었다. 여과시 통과유속은 2.0 m³/hr로 유지하였고, 총 10주간 검정하였다. 대조구의 경우는 여과하지 않고 직접 양액에 점종하거나, 혹은 식물체의 줄기 및 뿌리에 점종하여 병원성 확인 및 희석종말점 확인을 수행하였다. 재배용 양액은 두 작물 공히 야마자키 전용양액 (Park과 Kim, 1998)을 약간 변형하여 이용하였으며, pH는 6.0, EC는 상추의 경우 1.12, 토마토는 1.89로 유지하여 주었다.

※ 본 연구는 농촌진흥청 대형공동과제(1997)의 일부임.

Table 1. Removal efficiency of various fungi with 6 kinds of substrates against *Fusarium oxysporum* and *Phytophthora capsici*.

Substrates	Concentration in the tank (cfu/mL)	Detected max. concentration (cfu/mL)	Removal efficiency
<i>Fusarium oxysporum</i>			
Sand	0.85 × 10 ⁶	140	82.3
Perlite		287	50.4
Vermiculite		118	90.5
Hydroball		420	21.2
Activated charcoal		88	92.5
Silica		120	90.8
<i>Phytophthora capsici</i>			
Sand	1.3 × 10 ⁵	100	80.1
Perlite		250	75.4
Vemiculite		118	81.0
Hydroball		345	69.0
Activated charcoal		52	95.5
Silica		82	90.7

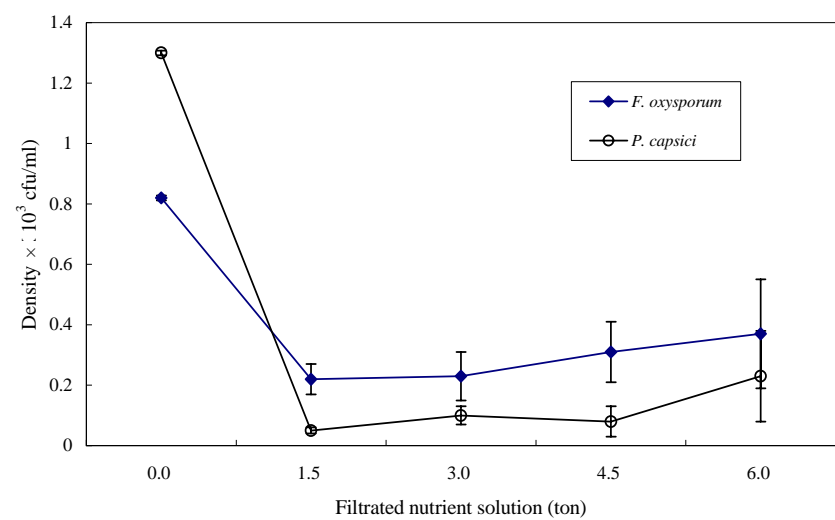


Fig. 1. Filtration efficacy of silica-, activated charcoal-, and vermiculite-based slow sand filtration system against *Fusarium oxysporum* and *Phytophthora capsici* in the inoculated nutrient solution. Vertical bar represents standard deviations (n=5).

결과 및 고찰

양액 1,500 liter 여과후, 매질별 균 제거 효율은 *Fusarium oxysporum*을 기준으로 볼 때, 활성탄 92.5%, 석영모래 90.8%, 버미큘라이트 90.5%, 강모래 82.3%, 펄라이트 50.4%, 하이드로볼 21.2% 순으로 나타났고, 균주별 시험의 경우, 석영모래를 기준으로 여과액에서 검정되는 최대 농도는 *Fusarium oxysporum* 120 cfu/mL, *Collectotrichum lagenarium* 98 cfu/mL, *Phytophthora capsici* 82 cfu/mL, *Botrytis cinerea* 62 cfu/mL, *Pythium* spp. 42 cfu/mL, *Sclerotinia* spp. 52 cfu/mL로 나타났다(Table 1).

본 결과는 양액재배시 양액을 통하여 발병 가능한 여러 종류의 진균류가 활성탄, 석영모래, 버미큘라이트로 효과적으로 제거될 수 있음을 보여주고 있다. 그러나, 각각의 매질은 통과유속에 차이를 보였다. 강모래의 경우, 세척이 용

이하지 않았고, 이에 따라 다량의 점질물이 잔류하게 되어 통과유속에 영향을 주었으며, 활성탄의 경우 여과효율은 높으나, 다량으로 적용하기에는 검토가 이루어져야 할 것으로 나타났다. 석영모래는 입자의 형태가 일반 퇴적된 강모래와 달리, 표면이 다양한 결각의 형태를 이루어 여과효율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 버미큘라이트의 경우에는 소립의 다공성 입자가 균의 여과효율을 높였으며, 통과유속 또한 강모래보다 높게 나타났다. 여과후, pH 및 EC의 변화는 석영모래를 기준으로 볼 때, pH는 약 7로 유지되었고, EC는 큰 차이가 없었다.

유럽의 경우 시스템의 양액 통과유속은 대체로 4.3 m³/hr를 기준으로 하고 있으며, 모래여과를 기본으로 하고 있는데, 이는 본 실험에 적용된 시스템이 직경 30 cm, 높이 1.0 m로 되어 있고, 충전매질의 양과 종류에 차이가 있기 때문이다. 모래를 이용한 여과기는 기존에 외국에서 실험되어 왔던 여러 가지 살균, 소독시스

템 (자외선, 과산화수소, 요오드처리 등) 중에서 가장 국내 재배환경에 맞고, 농가 자체제작이 가능하며, 제작시 소요비용이 가장 적게 든다는 장점을 갖고 있다. 외국에서 상용중인 모래 여과시스템은 여러 가지 형태로 분류되며, 국가마다 선호되는 형태가 조금씩 다른 실정이다. 그 이유는 우선, 국가마다 중점을 두는 작물의 종류와 품종이 달라 이에 따라 제거하여야 하는 병원균의 종류에서 차이가 나고, 각국의 온실환경과 재배환경이 상이하여 빈발하는 병원균도 같지 않기 때문이다. 또한, 각 대학 및 원예관련 연구소들이 꾸준히 기존의 모래 여과시스템을 보완, 개량하고 있으며, 균흡착용 충전물질을 다양한 방법으로 개발하고 있어 여러 가지 형태의 시스템이 제작되고 있는 상황이다. 본 실험에서 여과능과 여과속도에 있어 좋은 결과를 보여준 석영모래와 버미큘라이트를 이용한 최종 여과시스템은 동일한 크기의 컬럼에 내부 충전물을 하층으로부터 굵은 자갈(Ø10-15 mm)을 5 cm, 가는 자갈 (Ø3-6 mm) 5 cm, 강모래(Ø 1-2 mm) 10 cm, 석영모래 (Ø5 mm) 30 cm, 활성탄 10 cm, 버미큘라이트 30 cm의 높이로 순서대로 채운 방식으로 결정하였다. 이 시스템의 여과능력은 Fig. 1과 같다. 여과시스템의 실증실험을 위하여 상추와 토마토를 재순환 양액 재배 시스템으로 접종 후, 여과하는 방식으로 재배한 결과, 약 8-10주 후에는 약간의 균 농도가 증가하였으나, 각 작물의 근권부에서의 발병은 거의 없었다. 접종농도가 사실상 실제 발병 농도보다 매우 높은 농도임을 감안한다면, 가장 문제시되는 진균류에 대한 여과능력은 매우 높은 것으로 판단된다.

이러한 결과는 Vankuik (1994)가 보고한 바와 같이 매질의 크기, 결정형태 및 다공성화 특성에 따라 균의 흡착능과 여과능이 결정되어짐을 보여주고 있다. 또한, 현재 국내의 농업여건에 있어, 에너지 절약형 및 환경친화적으로 이루어진 본 시스템은 많은 농가에 적용 가능한 방법으로 사료된다.

적 요

본 실험은 국내 농가에서 가장 적용하기 간편하고 효율적인 모래여과(slow sand filtration) 방법을 기초로 하였으며, 여러 가지 여과용 매질을 적용하여 병원균 제거 효율을 검정하고자 하였다. 양액 1,500 liter 여과후, 매질별 균 제거효율은 *Fusarium oxysporum*을 기준으로 볼 때, 활성탄 92.5%, 석영모래 90.8%, 버미큘라이트 90.5%, 강모래 82.3%, 펄라이트 50.4%, 하이드로볼 21.2% 순으로 나타났고, 균주별 시험의 경우, 석영모래를 기준으로 여과액에서 검정되는 최대 농도가 *Fusarium oxysporum* 120 cfu/mL, *Collectotrichum lagenarium* 98 cfu/mL, *Phytophthora capsici* 82 cfu/mL, *Botrytis cinerea* 62 cfu/mL, *Pythium* spp. 42 cfu/mL, *Sclerotinia* spp. 52 cfu/mL로 나타났다. 여과후, pH 및 EC의 변화는 석영모래를 기준으로 볼 때, pH는 약 7로

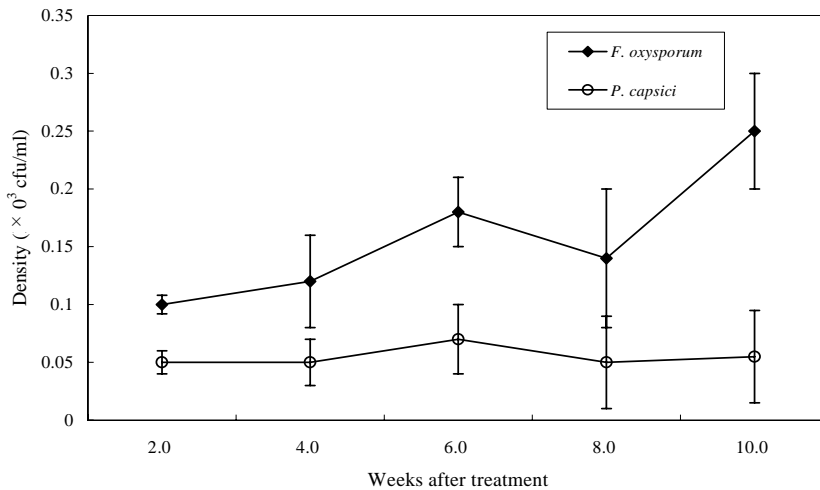


Fig. 2. Changes in the density of *Fusarium oxysporum* (inoculated to 'Seokwang' tomato) and *Phytophthora capsici* (inoculated to 'Ddooksum Cheokchookmyeon' lettuce), which was filtrated with silica-, activated charcoal-, and vermiculite-based slow sand filtration system. Vertical var represents standard deviations (n=5).

유지되었고, EC 는 큰 차이가 없었다. '뚝섬 적측면' 상추와 '서광' 토마토를 담액수경으로 재배하며, 석영모래, 활성탄, 버미큘라이트를 충전물로 한 여과시스템을 적용한 결과, 균을 인위 접종 후 10주 후까지 발병하지 않아, 본 여과시스템으로 효과적인 균제거가 가능함을 보여주었다. 실제 농가수준에서도 본 시스템을 적용할 경우, 균 제거능 및 경제성에 있어 효율적이

라 사료된다.

추가주요어: *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum*, 석영모래, 활성탄, 버미큘라이트, 상추, 토마토

인용문헌

Park, K. W. and Y. S. Kim. 1998. Hydro-

ponics in horticulture. pp. 373-374. Academy Books Press (Korean).

Runia, W. T. 1994. Disinfection of recirculation water from closed cultivation systems with ozone. Acta Hort. 361: 388-96.

Stanghellini, M. E., S. L. Rasmussen, D. H. Kim, and P. A. Rorabaugh. 1996. Efficacy of nonionic surfactants in the control of zoospore spread of *Pythium aphanidermatum* in a recirculating hydroponic system. Plant Disease 80(4): 422-428.

Vankuik, A. J. 1994. Eliminating *Phytophthora cinnamomi* in a recirculated irrigation system by slow sand filtration. Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent 59 (3a):1059-1063.

Visser, J. T. 1992. Slows and filtration: design, operation, and maintenance. J. Amer. Water Works Assoc. 82(6): 67-71.

Wohanka, W. 1992. Slow sand filtration and UV radiation: low-cost techniques for disinfection of recirculating nutrient solution or surface water. Proc. 8th Int. Congr. Soilless Culture 497-511.