

# 자외선 조사에 의한 병원균 살균효과

## Sterilization Effect of UV Radiation on Pathogen

이공인\*      김승희\*      강태경\*      이채식\*      황성준\*  
G. I. Lee      S. H. Kim      T. G. Kang      C. S. Lee      S. J. Hwang

### 1. 서론

우리나라의 수경재배 면적은 2003년말 현재 811ha로 순환식이 333ha, 비순환식이 478ha를 차지하고 있다. 비순환방식의 고형배지경 수경재배에서는 15~40%에 이르는 잉여양액을 대부분 시설 밖으로 폐기하고 있어, 폐양액을 재이용할 수 있는 양액순환방식으로의 전환은 환경보전과 비료절감이란 측면에서 반드시 필요하다. 이러한 폐양액을 재이용하기 위해서는 수경재배 특성상 일단 양액속에 병원균이 발생하면 토경재배에 비하여 뿌리와 접촉기회가 많아 병원균의 확산이 빠르고 양액탱크를 경유해서 재배조 전체에 만연되기 쉽다는 문제를 해결해야 할 필요가 있다. 따라서 폐양액의 완전살균에 의한 배지 또는 뿌리주변에서의 병원균이나 바이러스의 발병을 억제하는 일이 중요하다.

본 연구에서는 폐양액을 살균처리하여 재사용할 수 있는 기술을 개발하고자 수경재배에서 발병하기 쉬운 병원균을 대상으로 자외선의 조사량 및 조사시간에 따른 살균효과 및 배양액의 성분변화에 대해 검토를 하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 장치의 구성

자외선 조사량 및 조사시간별 살균효과를 구명하기 위하여 그림 1에 나타낸 바와 같이 자외선 조사부, 컨트롤러 등으로 구성된 내조식 유수형 자외선 시험장치를 제작하였다.

자외선 조사부에는  $\phi 158\text{mm}$ 의 석영관과 그 내부에 39W의 자외선 램프가 59mm 간격으로 5개 부착되어 있으며, 각각의 램프는 컨트롤러에 부착된 타이머에 의해 on-off제어가 되도록 구성되어 있다.

#### 나. 병원균 살균시험

##### (1) 공시병원균

수경재배에서 문제시되는 세 종류의 병원균인 풋마름병균(*Ralstonia solanacearum*), 시들음병균(*Fusarium oxysporum*), 역병균(*Phytophthora infestans*)를 선발하여 실험에 사용하였다. *R. solanacearum*은 충북대학교 세균병학실험실에서, *F. oxysporum*은 한국화학연구원에서도 각각 분양받아 실험에 사용하였다. *P. capsici*는 충북 괴산군에서 채집한 역병에 감염된 고추에서 분리하여 사용하였다.

\* 농촌진흥청 농업공학연구소 생산기계공학과

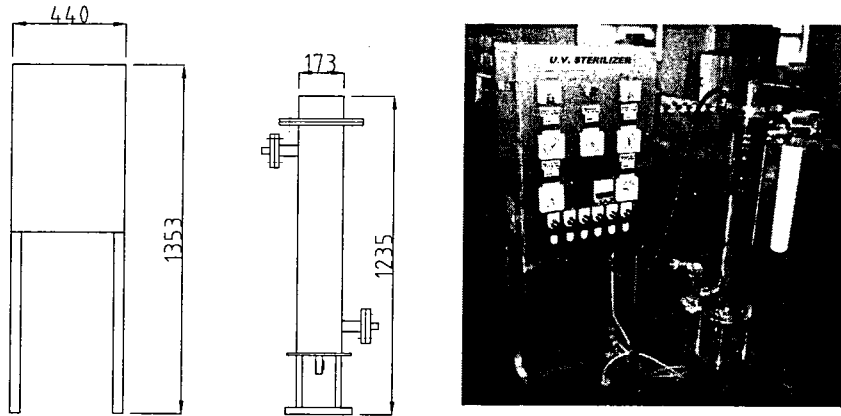


그림 1. 자외선 시험장치 구조

각각의 병원균은 *R. solanacearum*은 TSA배지에, *F. oxysporum*과 *P. capsici*는 PDA배지에 접종하여 25°C에서 배양한 후, 4°C에서 보관하며 시험에 사용하였다.

### (2) 접종원 준비

세 종류의 병원균을 수경재배 배양액에 접종하기 위하여 각각 서로 다른 배지에서 접종원을 준비하였다. *R. solanacearum*은 nutrient broth(beef extract, 3g; peptone, 5g; glucose, 2.5g; distilled water, 1ℓ)에 접종하여 30°C에서 150rpm으로 36시간 배양한 후 접종원을 수확하였다. *F. oxysporum*은 25°C에서 5일간 배양한 균총의 선단에서 직경 5mm의 균사조각을 떼어내어 PD broth에 접종하고 25°C에서 150rpm으로 1주일간 진탕배양하였다. 배양한 액체배지는 4겹의 cheese cloth로 여과하여 균사 조각을 제거하고 분생포자의 현탁액을 준비하였다. *P. capsici*는 25°C의 PDA에서 3일간 배양한 후, 균총의 선단에서 직경 5mm의 균사조각을 떼어내어 oatmeal agar배지(oatmeal, 60.0g; agar, 12.5g; distilled water, 1ℓ)에 접종하였다. 병원균은 25°C의 암상태에서 1주일간 배양한 후, 공중균사를 제거하고, 25°C의 광상태에서 3일간 배양하였다. 멸균증류수를 배지에 부어 배지 상에 형성된 *P. capsici*의 유주포자낭을 수확하고, 현탁액에서 농도를 조절하여 시험에 사용하였다.

### (3) 시험방법

자외선 살균효과를 구명하기 위하여 자외선 조사량은 5수준(1.12, 2.24, 3.36, 4.48, 5.60mW/cm<sup>2</sup>), 자외선 조사시간은 3수준(통과, 3분, 5분)으로 하였으며, *R. solanacearum*, *F. oxysporum*, *P. capsici*를 각각 100ℓ 배양액에 접종하여 시험에 사용하였다.

병원균 살균효과는 자외선 시험장치를 통과한 배양액을 100ml 채취하여 아래의 식과 같이 통과전의 배양액에서 생존 병원균 수를 조사하여 통과 후에 조사한 생존 병원균수와 비교함으로써 구하였다.

$$\text{병원균 살균효과} = 1 - \frac{\text{장치 통과 후의 생존 병원균수}}{\text{장치 통과 전의 생존 병원균수}}$$

각 장치 통과 전후의 생존 병원균수는 세 종류의 병원균을 각각의 선택배지를 사용하여 검출함으로써 조사하였다. *R. solanacearum*, *F. oxysporum*, *P. capsici*의 선택배지는 각각

M-SMSA배지, Nash와 Snyder배지와 Jee배지를 사용하였다. 수거한 100ml 배양액은 각각 적절한 농도로 희석하고, 준비한 선택배지에 50 $\mu$ l씩 도말하였다. 세균인 *R. solanacearum*은 30 $^{\circ}$ C에서, *F. oxysporum*과 *P. capsici*는 25 $^{\circ}$ C에서 각각 2일, 5일, 5일간씩 배양하고, 나타난 colony를 계수하여 배양액 중의 생존 병원균수를 조사하였다.

#### 다. 배양액의 무기이온 성분변화 시험

자외선 조사에 따른 처리전과 처리후의 양액의 무기이온변화를 조사하기 위해 원자흡광광도계(SIMAZU AA-6800)와 이온크로마토그래피(SYKAM)를 사용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 자외선 조사에 의한 살균성능

표 1에 나타낸 바와 같이 자외선 살균장치를 통과한 후 각 병원균의 살균율은 병원균에 따라 상당한 차이를 보였다. *R. solanacearum*은 자외선에 매우 민감하여 램프 1개(조사량 1.12mW/cm<sup>2</sup>), 통과 처리에서도 살균율이 96.6%로 높게 나타났다. *P. capsici*의 경우 동일한 자외선 조사를 하더라도 시간이 증가하면 병원균의 생존율은 급격히 저하됨을 알 수 있다.

표 1. 자외선 조사량 및 조사시간별 살균성능

병원균	자외선 조사량 (mW/cm <sup>2</sup> )	자외선 조사시간(분)						무처리 (cfu/ml)
		통과		3		5		
		콜로니수 (cfu/ml)	살균율 (%)	콜로니수 (cfu/ml)	살균율 (%)	콜로니수 (cfu/ml)	살균율 (%)	
<i>Ralstonia solanacearum</i>	1.12	13.5 $\times 10^5$	96.61	18.1 $\times 10^5$	95.45	8.4 $\times 10^5$	97.89	398.0 $\times 10^5$
	2.24	15.0 $\times 10^5$	96.23	10.2 $\times 10^5$	97.44	7.6 $\times 10^5$	98.09	
	3.36	3.7 $\times 10^5$	99.07	3.2 $\times 10^5$	99.20	1.4 $\times 10^5$	99.65	
	4.48	1.2 $\times 10^5$	99.70	1.0 $\times 10^5$	99.75	0.5 $\times 10^5$	99.87	
	5.60	1.1 $\times 10^5$	99.72	0.1 $\times 10^5$	99.97	0.2 $\times 10^5$	99.95	
<i>Fusarium oxysporum</i>	1.12	4.2 $\times 10^3$	19.23	3.2 $\times 10^3$	38.46	3.2 $\times 10^3$	38.46	5.2 $\times 10^3$
	2.24	3.0 $\times 10^3$	42.31	2.2 $\times 10^3$	57.69	1.6 $\times 10^3$	69.23	
	3.36	2.7 $\times 10^3$	48.08	2.0 $\times 10^3$	61.54	1.1 $\times 10^3$	78.85	
	4.48	2.7 $\times 10^3$	48.08	2.3 $\times 10^3$	55.77	1.0 $\times 10^3$	80.77	
	5.60	1.7 $\times 10^3$	67.31	0.7 $\times 10^3$	86.54	0.6 $\times 10^3$	88.46	
<i>Phytophthora capsici</i>	1.12	2.3 $\times 10^2$	28.13	0.3 $\times 10^2$	90.63	0	100	3.2 $\times 10^2$
	2.24	0.6 $\times 10^2$	81.25	0	100	0	100	
	3.36	0.1 $\times 10^2$	96.88	0	100	0	100	
	4.48	0.1 $\times 10^2$	96.88	0	100	0	100	
	5.60	0.1 $\times 10^2$	96.88	0	100	0	100	

램프 1개를 사용하여 조사시간을 통과, 3분, 5분으로 처리했을 경우 통과시의 살균율은 28%로 낮게 나타났으나, 3분과 5분 조사한 처리에서는 살균율이 각각 90%, 100로 급격히 높아졌다. *F. oxysporum*은 다른 두 병원균에 비하여 자외선에 대한 반응의 민감성이 떨어

지는 것으로 나타났으나, 다른 두 병원균과 마찬가지로 자외선 조사량이 세거나 조사시간이 길어질 때 생존하는 병원균의 수는 동일하게 감소하는 경향을 보였다. 이는 불안정 균류인 진균류에 속하는 *F. oxysporum*이 세균과 하등한 곰팡이인 난균문에 속하는 *R. solanacearum*과 *P. capsici*보다 자외선에 견딜 수 있는 능력이 강하기 때문에 살균효과가 떨어지는 것으로 판단된다. 따라서 *F. oxysporum*을 자외선 조사로 살균하기 위해서는 보다 강력한 자외선이 필요하며, 자외선 램프수를 늘리거나 조사시간을 길게 함으로써 진균류에 속하는 *F. oxysporum*을 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 생각한다. 램프 1개의 경우 조사시간에 따라 세균보다는 곰팡이인 *F. oxysporum*과 *P. capsici*의 분생포자와 유주포자량이 더 저항성을 보이기 때문에 자외선은 식물병원곰팡이보다는 식물병원세균을 살균하는데 효과적임을 알 수 있다.

나. 자외선 조사에 의한 배양액의 무기이온 성분변화 시험

자외선 시험장치의 통과전과 통과후의 배양액의 다량요소 및 미량요소 변화를 표 2에 나타내었다. 다량요소에서는 자외선의 조사량 및 조사시간이 배양액 성분에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 미량요소의 철이온과 구리이온에서는 조사량이 커질수록 성분이 감소되는 경향을 보여 재사용시 보정해줄 필요가 있을 것으로 판단되었다.

표 2. 배양액의 다량요소 및 미량요소 변화

(단위 : ppm)

구 분		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	
자외선	조사량 1.12mW/cm <sup>2</sup>	0분	32.50	3.14	142.75	248.69	17.33	3.59	2.64	0.78	0.20
		3분	32.35	3.12	142.64	246.81	17.11	3.66	2.58	0.83	0.14
		5분	31.95	3.09	143.78	246.50	17.30	3.61	2.53	0.83	0.14
	조사량 2.24mW/cm <sup>2</sup>	0분	31.15	2.86	142.44	256.47	17.39	3.89	2.06	0.83	0.83
		3분	31.66	3.26	142.72	246.70	17.30	3.80	2.33	0.72	0.22
		5분	31.15	3.30	142.42	252.47	17.36	3.92	2.31	0.80	0.53
	조사량 3.36mW/cm <sup>2</sup>	0분	31.44	3.30	142.41	260.89	17.45	3.78	2.36	0.80	1.53
		3분	32.71	3.38	142.17	260.00	17.42	4.00	2.80	0.80	1.06
		5분	33.36	3.56	141.75	271.78	17.34	4.10	2.83	0.89	1.28
	조사량 4.48mW/cm <sup>2</sup>	0분	32.42	3.33	141.08	261.97	17.50	3.86	1.05	0.83	2.28
		3분	31.49	3.68	141.17	263.67	17.45	3.45	1.64	0.86	1.75
		5분	32.04	3.34	141.25	261.28	17.50	3.83	1.19	0.83	2.06
	조사량 5.60mW/cm <sup>2</sup>	0분	32.21	3.30	142.45	263.31	17.58	3.65	0.75	0.80	3.30
		3분	32.03	3.27	140.17	267.97	17.50	3.81	0.81	0.86	2.67
		5분	32.05	3.32	140.19	267.61	17.53	3.82	1.05	0.89	2.89
	처리전		33.21	3.64	140.53	269.39	17.80	3.95	2.83	0.89	4.78

이상의 결과를 종합해 보면 병원균 살균시험에서 공시한 *R. solanacearum*, *F. oxysporum*, *P. capsici*는 수경재배에서 발생빈도가 높은 식물병원균일 뿐만 아니라, 분류학적으로 또는 전염원의 크기에 있어서도 서로 다르다.

수경재배 도중에 배출되는 폐양액을 재활용하기 위해서는 폐양액에 대한 특성조사가 선행되어야 한다. 폐양액 내에 들어있는 병원균의 밀도를 알 수 있다면 효율적인 처리방식을 결정하는데 많은 도움이 되기 때문이다. 오염되어 있는 병원균의 종류에 따라서 각각의 재배

지역에 적합한 처리방식을 채택하여 사용하는 것이 경제적이고 효율적인 것으로 생각한다. 따라서 전국적인 수경재배지역의 파악과 그 지역에서의 식물병의 발생에 대한 모니터링이 수행되어야 하며, 배출되는 폐양액에 대한 분석이 필수적일 것이다.

#### 4. 요약 및 결론

수경재배에서 배출되는 폐양액을 살균하여 재사용할 수 있는 기술을 개발하고자 수경재배 시 발병하기 쉬운 병원균을 대상으로 자외선의 조사량 및 조사시간에 따른 살균효과 및 배양액의 성분변화에 대해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 자외선 조사는 조사량이 크고, 조사시간이 길수록 병원균 살균효과가 높은 것으로 나타났다으며, 특히 자외선 조사량  $3.36\text{mW}/\text{cm}^2$  이상에서 높은 살균율을 보였다.
- 나. 배양액의 무기이온 성분변화를 분석한 결과 다량요소에서는 자외선의 조사량 및 조사시간이 배양액 성분에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 미량요소의 철이온과 구리이온에서는 조사량이 커질수록 성분이 감소되는 경향을 보였다.

#### 5. 참고문헌

- 가. 三重縣農業技術センター, 郡馬縣農業試驗場, 千葉縣農業試驗場. 1994. ハイテク利用による養液栽培野菜根部病害の綜合制御技術の開発 .pp.120. 三重縣農業技術センター.
- 나. 李公仁. 1999. 養液循環栽培のための電氣加熱式養液殺菌裝置の開発. 日本農業施設學會大會 78-79.
- 다. 이인화 외 14명. 1999. 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 장치개발. pp136. 농림기술개발사업 연구보고서.
- 라. 李公仁 외 3명. 2005. 養液循環栽培における病原菌の物理的處理に関する研究. 農業環境工學關連7學會2005年合同大會 725.