

수경재배에서 토마토포뮴마름병의 전염경로

남기웅^{1,2*} · 문병우³ · 김영호¹ · 이창희^{1,2}

¹한경대학교 원예학과, ²한경대학교 극동아시아생물자원연구소, ³엠·원예기술연구소

Infection Route of Bacterial Wilt of Tomato Caused by *Ralstonia solanacearum* in Hydroponic Culture

Ki-Woong Nam^{1,2*}, Byung-Woo Moon², Young-Ho Kim¹, and Chang-Hee Lee^{1,2}

¹Department of Horticulture, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

²Research Institute for the East Asian Bio-Resources, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

³M Horticultural Technique Institute, Korea National Agriculture College, Hwaseng 445-893, Korea

Abstract. Hydroponic culture has been developed to control soilborn diseases, to increase yield and to enhance the quality of vegetable. The pathogen could be detected from infected plant materials, hydroponic tanks, culture solution and solid media of the severely infected greenhouse. The density of pathogen population was coincided with the severity of disease incidence. For example, 1,900cfu mL⁻¹ pf pathogens were counted from tomato plants sampled in a 20% diseased greenhouse. The pathogens may be introduced in the greenhouse through the contaminated soil surrounding the house and/or through the infected young seedlings grown on the nursery soil. Also, not detected to *Ralstonia solanacearum* from tomato seeds (House Momotaro, Bbaebbae, Ggoggo, and Minicarol cultivar) selling at a market.

Key words : culture solution, perlite culture, raising seedling, seed, soil

서 론

최근 지구 온난화 등으로 인하여 작물재배지역의 변화가 예고되고 있고, 각국에서는 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 환경변화에 대한 대안의 하나로 시설에서 수경재배를 생각할 수 있는데, 유럽에서는 이미 17세기부터 채소를 상업적으로 재배하여 왔고 (Jensen 등, 1985), 일부 마이너작물도 함께 재배 하였으며 (Eparvier 등, 1991), 이러한 수경재배 농산물은 시장에서 높은 가격을 형성하였다 (Jensen 등, 1985).

수경재배는 토양재배보다 생육이 빠르고 재배작업의 편리성 등 유리한 점이 많으나, 초기에 시설투자비가 많이 필요하고, 또한 토양재배보다는 작물과 배양액과의 관계, 그리고 재배작물의 생리적 메카니즘 등 고급 재배기술이 요구되는 단점도 있다 (Ellis와 Swaney, 1938). 우리나라에서도 최근 재배면적이 급격히 증가하

여 2008년 현재 1,107ha에 이르고 있으며, 기능성 물질을 다량 함유하고 있는 파프리카와 토마토의 재배면적이 꾸준히 증가하고 있다. 특히 토마토의 생산량은 466톤으로 국민건강에 중요한 과채류로 큰 비중을 차지하고 있다 (RDA, 2008).

수경재배는 재배 과정 중에 병해충의 침입을 못하도록 폐쇄형으로 관리하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 넓은 재배 공간, 많은 환기창과 출입문 등으로 인하여 병해충의 침입 기회가 많아 일부 시설재배에서는 심각한 피해가 나타나고 있다 (Kusakari, 1998). 수경재배 시스템에서 병원균이 한번 침입하면 토양재배와 달리 생물적 완충계가 없기 때문에 재배 전 포장으로 단시간에 급격히 전파되어 큰 피해를 입힌다 (Kusakari, 1998; Shunki, 1974; Zinnen, 1988). 순환식 수경재배 시스템에서는 병원균이 한번 침입하면 수확이 불가능한 정도로 피해가 크다 (Jenkins와 Averre, 1983). 수경재배에서 병은 병원균의 유주자가 배양액을 통하여 전염하므로 만연되기 쉽고, 토양재배에서 발생하지 않는 일부 역병원균 *P. cryptogea*이 심하게 발생하는

*Corresponding author: kwnam@hknu.ac.kr
Received April 15, 2009; Revised May 12, 2009;
Accepted June 2, 2009

경우도 있다(Linde 등, 1990).

수경재배에서 지하부 병해인 *Ralstonia* sp., *Phytophthora* sp., *Pythium* sp. 등은 작물 생산에 있어 큰 저해 요인으로 작용하고 있다(Stanghellini와 Rasmussen, 1994). 특히 토마토에서는 *Ralstonia solanacearum*에 의한 풋마름병이 큰 피해를 준다. *R. solanacearum*은 그람음성의 호기성세균으로 전 세계적으로 50과 450여 종 이상의 식물에서 경제적 피해가 큰 병해이다(Deny와 Hayward, 2001; Yabuuchi 등, 1995). 우리나라에서는 토마토, 가지, 감자, 고추 등에 발생하여 피해를 주는 병해이다(Lim 등, 2008).

*R. solanacearum*균은 생리 유전적으로 매우 다양하여 5개의 race와 5개의 biovar, 그리고 2개의 RFLP cluster로 구분된다(Cook 등, 1989; Hayward, 1991; He 등, 1983). 우리나라에서 토마토폏마름병을 일으키는 *R. solanacearum*균은 race1과 biovar 4와 biovar 3으로 구분되었고(Park 등, 2007), 지역에 따라 다르게 나타나므로 충북지역에서 병원균은 모두 race 1이고, biovar 3과 4로 구분되었다(Yun 등, 2004). *R. solanacearum*균은 주로 재배 중에 발생한 식물의 뿌리부 상처를 통하여 침입하여 도관부를 따라 작물 전체로 감염되고, 이에 양수분의 이동통로를 차단시켜 말라 죽게 한다(Vasse 등, 1995).

수경재배에서 병해를 방제하기 위해 다양한 방법들이 동원되나 배양액에 농약을 투입할 수 없기 때문에 효과적인 방제가 어렵다(Kusakari, 1998). 농약을 사용하지 않는 생물학적인 방제 방법의 일환으로 저항성 품종과 길항균을 이용하는 방법이 있으며, 재배생리적 방법으로는 배양액과 환경을 조절하는 방법이 있고(Stanghellini와 Rasmussen, 1994; Seo 등, 2008), 이외에 배지소독, 윤작, 항생물질 등이 이용되고 있다(Ciampi-Panno 등, 1989). 최근에는 배양액을 조절하는 방법이 이용되고 있는데 배양액의 pH를 5.0~5.5 정도로 조절하여 관리하면 방제의 가능성 있고(Lee 등, 2005), 고열에 의한 배지 소독, 자외선, 오존 등을 이용한 소독방법 등이 이용되고 있다(Kusakari, 1998). 이렇게 다양한 방법들이 동원되고 있지만 현장에서의 피해는 크므로 보다 더 효과적인 방제방법을 확립하기 위해서는 토마토 풋마름병을 일으키는 병원균이 어디에서 존재하다가 어떠한 경로를 통하여 침입하는지를 밝히는 것이 관건이다.

본 시험에서는 토마토 수경재배에서 토마토 풋마름병원균의 분포와 침입 및 전파경로를 구명하여 방제의 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험은 충남 공주시 소재 펠라이트배지를 이용한 토마토 수경재배 포장과 한경대학교 시험포장에서 수행하였다. 토마토 품종은 'House Momotaro'을 이용하였다. 토마토의 재배 방식은 수경재배 시스템에서 실시하였다(Fig. 1). 토마토 수경재배 포장에 *Ralstonia solanacearum*균의 밀도를 조사하기 위하여 토마토 풋마름병 발생이 없는 포장, 1~20% 정도 발생한 포장, 그리고 20% 이상 발생한 포장에서 배양액 탱크의 배양액, 펠라이트 배지 내 배양액, 그리고 배수액 내 풋마름병원균인 *R. solanacearum*의 농도를 측정하였다. *R. solanacearum*균의 측정은 선택배지(Hera와 Ono, 1984)에 전량평판법으로 도말하여 30°C 배양기에 48시간 배양하고 전형적인 *R. solanacearum*균의 Colony를 측정하여 평균으로 산출하였다. *R. solanacearum*의 특징적인 Colony는 중앙에는 분홍색을 띠고 가장자리는 흰색을 띠며 사람의 콧물 같이 약간 흘러내리는 모양을 하고 있는 것이 특징이다(Hera, 1984). 선택 배지는 증류수 1L에 Peptone 10g, Sucrose 10g, Agar 17g을 넣고 Autoclave(121°C, 15min)하여 60°C 정도로 식힌 후 Chrystal violet 0.001g, Cyclohexamide 0.05g(EtOH), Polymycin B 0.05g, Chloromycetin 0.01g, Triphenyltetrazolium chloride 0.025g을 첨가한 후 최종적으로 pH를 6.8~7.0로 조정하여 이용하였다.

연작에 따른 토마토 풋마름병의 발생 정도를 검토하고자 1년, 2년, 3년, 4년 연속으로 수경 재배한 포장을 대상으로 전수 조사하여 발병률로 환산하였다. 그리고 전염경로를 조사하기 위해 수경재배시스템 중 베드에 1주를 인위적으로 접종하고 발병지점으로부터 전파 경로를 경시적으로 조사하였다. 또한 토마토 풋마름병이 25% 정도 발병된 포장과 35% 정도 발병된 포장을 대상으로 하우스 안팎의 토양, 하우스의 통로 토양, 하우스 내의 지하수, 수경재배시스템내의 배양액, 발병된 토마토와 건전토마토의 뿌리, 육묘장의 토양 등을 채취하여 *R. solanacearum*균의 밀도를 측정하였다. 또한 많이 재배되고 있는 시판품종(House Momotaro,

Bbaebbae, Ggoggo, Minicarol)의 종자를 구입하여 100립식 상법에 따라 *R. solanacearum*균의 검출여부를 조사하였다(Hera와 Ono, 1984).

토마토 수경재배는 펠라이트를 배지로 하여 원시배양액(토마토 전용배양액)을 기준으로 하여 표준재배법에 따라 관리하였다.

결과 및 고찰

토마토 폏마름병의 발생 정도별 재배농가의 재배 시스템 내의 병원균 밀도를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 병 발생이 없거나 증상이 시작되는 초기로 폏마름병 발생이 1% 미만의 포장에서는 병원균이 검출되지 않았다. 그러나 1% 이상~20% 미만 폏마름병이 발생한 포장에서는 배양액 탱크에서 4cfu/mL의 병원균이 검출되었고, 베드에서는 56cfu/mL, 폐 배양액에서는 2.1×10^2 cfu의 높은 농도로 검출되었다. 그러나 20% 이상 되는 포장에서는 폐액에서 1.9×10^4 cfu의 고농도로 검출되었다. 이러한 결과는 포장에서 폏마름병이 일단 발생되면 *R. solanacearum*균이 존재하고, 배양액을 따라 전 포장으로 전파하여 밀도가 증가하는 것으로 생각된다.

수경재배 연작 연수에 따라 *R. solanacearum*에 의한 토마토 폏마름병의 발생량을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 연작연수가 많을수록 병 발생율이 다소 높은 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 배지 내 염류집적과 재배환경이 청결하지 못하여 병원균이 서식하기에 좋은 조건이기 때문으로 생각된다.

펠라이트 수경재배시스템에서 토마토 폏마름병의 발생 전파 과정을 정리하면 Fig. 1과 같다. 최초 발생시

Table 2. Severity of bacterial wilt of tomato plants grown under hydroponic cropping systems according to the continuous cultivation duration.

Cropping year	No. greenhouse infection	Average severity (%)	Severity range (%)
1	< 2	11.0	10~12
2	< 4	26.5	1~50
3	< 3	21.2	3~34
4	< 5	37.3	20~65

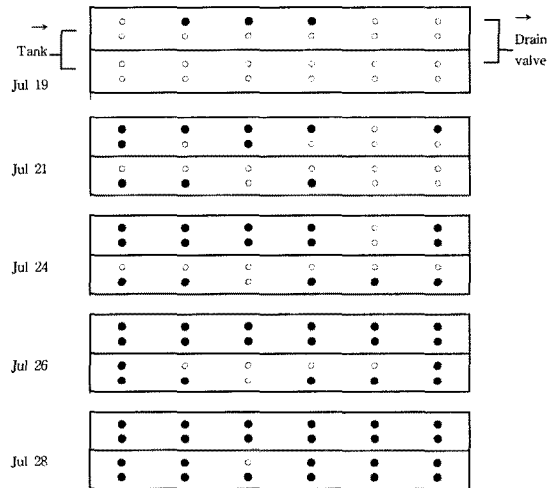


Fig. 1. Diagram of the open hydroponic system for infection route of bacterial wilt of tomato caused by *Ralstonia solanacearum*. ○: Healthy plants, ●: Diseased plants.

기는 7월 19일에 3주에서 발생하기 시작하였으며, 7월 21일에는 좌우로 전파되어 10주에서 발병이 나타났다. 감염정도가 빨라지면서 전체로 급속히 만연되어 초기 발생 9일 후인 7월 28일에는 모두 전염이 되었다. 이

Table 1. Population density of *Ralstonia solanacearum* in various medium sources of hydroponic systems with different severity of bacterial wilt on tomato plants.

Severity	No. greenhouse surveyed	Sample source	<i>R. solanacearum</i> (cfu/mL)
< 1%	< 5	Nutrient solution	0
		Solid medium	0
		Drain solution	0
1~20%	< 3	Nutrient solution	4
		Solid medium	56
		Drain solution	210
> 20%	< 3	Nutrient solution	15
		Solid medium	130
		Drain solution	19,000

와 같이 수경재배시스템에서는 병원균이 일단 침입하면 배양액을 따라 급속히 확산되는 것이 특징으로써 (Jenkins 등, 1983; Kusakari, 1998; Shunki, 1974; Zinnen, 1988) 병해 발생률에는 큰 의미가 없을 것으로 생각된다. 수경재배시스템에서 병해 발생 조건만 형성되면 병 발생이 급속히 전염되는데 이러한 원인은 토양과는 달리 배양액 재배 시스템내에는 병원균에 대한 견제하는 미생물이 적거나 없기 때문으로 생각된다 (Kusakari, 1998; Vasse, 1995). 따라서 수경재배에서 일단 병해가 발생하면 방제가 곤란하므로 (Stanghellini와 Rasmussen, 1994) 예방이 최선의 방제라고 할 수 있다. 수경재배에서 병해 방제로 배양액에 농약의 첨가가 불가능하므로 주로 생물학적 및 물리화학적 방법을 동원하고 있다 (Seo, 2008; Stanghellini와 Rasmussen, 1994).

수경재배에서 병해 방제로 가장 중요한 것은 병을 일으키는 병원균의 유입경로를 추적하여 조기에 차단하는 방법이다. 따라서 본 시험에서는 수경재배시스템에서 병원균의 전염경로를 추적하기 위해서 시설수경재배시스템에서 병원균의 유입가능성이 있는 곳에서 시료를 채취하여 상법 (Hera, 1984)에 따라 *R. solanacearum* 균의 존재 여부를 조사하였다. 그 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 풋마름병 발생이 25% 정도 발생한 포

Table 4. Detection of *Ralstonia solanacearum* from tomato seeds.

Cultivar	Percent detection*			
	I	II	III	IV
House Momotaro	-	-	-	-
Bbaebbae	-	-	-	-
Ggoggo	-	-	-	-
Minicarol	-	-	-	-

*, Not detected.

장에서 하우스내의 통로와 종자를 제외한 모든 장소에서 *R. solanacearum* 균이 검출되었다. 그리고 35% 정도로 병 발생이 좀 심한 포장에서는 하우스 입구의 지하수, 하우스 내외의 토양을 제외하고 모든 장소에서 검출되었다. 이러한 결과로 볼 때 전자의 포장은 하우스 주변의 오염된 토양에서 병원균이 유입된 것으로 생각되며, 후자는 육묘 중에 유입된 것으로 추정된다. 본 시험결과에 의하면 병원균의 감염경로는 이와 같이 크게 2가지로 생각할 수 있다.

농가에서 많이 재배되고 있는 품종 (House Momotaro, Bbaebbae, Ggoggo, Minicarol)의 시판 종자를 구입하여 토마토 풋마름 병원균을 조사한 결과 (Table 4), 모든 종자에서 검출되지 않아 종자에 의한 감염은 희박한 것으로 생각된다. 토마토에서 종자에 의해 전염되는

Table 3. Detection of *Ralstonia solanacearum* in the commercial hydroponic tomato greenhouses (GH) in Korea

Greenhouse	Test sample	Collection place	Detection*
25% of diseased greenhouse	Soil	Outside GH	+
	Soil	Path between bed	-
	Culture solution	Tank	++
	Culture solution	Diseased bed	++
	Culture solution	Healthy bed	+
	Culture solution	Drain valve	+
	Ground water	Inside GH	++
	Roots	Diseased plants	++
	Roots	Healthy plants	+
	Seeds	Farmer	-
35% of diseased greenhouse	Ground water	Inside GH	-
	Culture solution	Tank	+
	Culture solution	Diseased bed	++
	Culture solution	Healthy bed	+
	Culture solution	Drain valve	++
	Bed soil	Nursery	+
	Soil	Path between bed	-
	Soil	Outside GH	-

*, None; +, Middle; ++, High.

병해로는 TMV, 반점세균병, 궤양병, 시들음병, 잎곰팡이병, 탄저병, ꏏ마름병 등이 있다(Kusakari, 1998). 그리고 역병과 ꏏ마름병은 육묘 중에 감염되어 본 포장에 감염되는 경우가 많은데 육묘 중에 감염 여부의 진단은 매우 곤란하다(Kusakari, 1998). 또한 육묘 중에 감염이 안 되었어도 육묘 상지에서 유통 중에 오염된 토양에 접촉하여 감염될 가능성도 충분히 있을 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 토마토 수경재배에서 ꏏ마름 병원균의 분포와 침입 및 전파경로를 구명하여 ꏏ마름병 방제의 기초 자료를 얻고자 수행하였다. 배양액 재배시스템에서 토마토 ꏏ마름병의 발생정도별로 배양액탱크, 배지, 폐액에서 병원균의 밀도를 검정한 결과 20% 정도 발병된 포장의 폐액에서는 19,000cfu/mL의 밀도로 검출되었으며 연속연수가 많을수록 병 발생이 심하였다. 토마토 펠라이트 수경재배시스템에서 토마토 ꏏ마름병의 발생전과 과정은 최초 발생지점으로부터 좌우로 급속히 전파되었다. 토마토 ꏏ마름병 발생포장에서 병원균의 유입경로를 추적한 결과 육묘 중에 감염되는 경우와 하우스 주변의 이병된 토양에서 감염되는 경우로 크게 두 가지 방법으로 유입되는 것으로 생각된다. 또한 시판용 토마토 종자에서는 ꏏ마름병원균이 검출되지 않았다.

주제어 : 배양액, 펠라이트 재배, 육묘, 종자, 토양

사 사

본 연구는 한경대학교 2007년도 학술연구구조성비의 지원 사업으로 수행되었음.

인 용 문 헌

1. Ciampi-Panno, L., C. Fernandez, P. Bustamante, N. Andrade, S. Ojeda, and A. Conteras. 1989. Biological control of bacterial wilt of potatoes caused by *Pseudomonas solanacearum*. Am. Potato. J. 66:315-332.
2. Cook, D., E. Barlow, and L. Sequeira. 1989. Genetic diversity of *Pseudomonas solanacearum*: Detection of restriction fragment length polymorphism with DNA probes that specify virulence and the hypersensitive response. Mol. Plant-Microbe Interact. 2:113-121.
3. Denny, T.P. and A.C. Hayward. 2001. Gram-negative bacteria. *Ralstonia*. In Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. p.151-174. ed. by N. W. Schaad, J. B. Jones, and W. Chun, The American Phytopathological Society Press.
4. Ellis, C. and M.W. Swaney. 1938. Soilless growth of plants. Reinhold Publishing Corp., New York. p. 155.
5. Eparvier, A., P. Lemanceau, and C. Alabouvette. 1991. Population dynamics of non-pathogenic *Fusarium* and fluorescent *Pseudomonas* strains in rockwool, a substratum for soilless culture. FEMS Microbiol. Ecol. 86: 177-184.
6. Hayward, A.C. 1991. Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. Ann. Rev. Phytopathol. 29:65-87.
7. He, L.Y., L. Sequeira, and A. Kelman. 1983. Characteristics of strains of *Pseudomonas solanacearum* from China. Plant Dis. 67:1357-1361.
8. Hara, H. and K. Ono. 1984. A new selective medium for quantitative detection of *Pseudomonas solanacearum*, the pathogen of bacterial wilt of tobacco. Plant Protection 38:76-79.
9. Jenkins, Jr. S.F. and C.W. Averre. 1983. Root diseases of vegetables in hydroponic culture systems in North Carolina greenhouses. Plant Dis. 67:968-970.
10. Jensen, M.H. and W.L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. Hortic. Rev. 7:483-558.
11. Kusakari, S. 1998. Technique of sterilization and control on vegetable diseases in hydroponic culture. Agriculture. and Horticulture. 73:991-1212. (in Japanese).
12. Lee, J.S., J.H. Choi, S.T. Seo, K.S. Han, J.H. Park, and H.I. Jang. 2005. Control of tomato wilt disease by amending pH of nutrient solution in hydroponic system. Res. Plant Dis. 14:193-197.
13. Lim, Y.S., M.J. Lee, J.D. Cheung, Y.H. Rew, and B.S. Kim. 2008. Occurrence and biovar classification of bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* in eggplant (*Solanum melongena*). Res. Plant Dis. 14:10-14.
14. Linde, A.R., M.E. Stanghellini, and M.E. Matheron. 1990. Root rot of hydroponically grown lettuce caused by *phytophthora cryptogea*. Plant Dis. 74:1037.
15. Rural development administration 2008. Crop production and cultivation areas of hydroponic culture in Korea. RDA.
16. Park, E.J., S.D. Chung, M.H. Lee, and H.Y. Um. 2007. Microtom-A model plant system to study bacterial wilt by *Ralstonia solanacearum*. Plant Pathol. J. 23:239-244.
17. Seo, S.T., J.H. Park, K.H. Kim, S.H. Lee, E.S. Oh, and S.C. Shin. 2008. Suppression of Bacterial wilt in

- tomato plant using *Pseudomonas putida* P84. Res. Plant Dis. 14:32-36.
18. Stanghellini, M.E. and S.L. Rasmussen. 1994. Hydroponics: a solution for zoosporic pathogens. Plant Dis. 78:1129-1138.
19. Shunki, N. 1974. Control and ecology of main vegetable diseases in hydroponic culture. Agriculture. and Horticulture. 49:1374-1378. (in japanese).
20. Vasse, J., P. Frey, and A. Trigalet. 1995. Microscopic studies of intercellular infection and protoxylem invasion of tomato roots by *Pseudomonas solanacearum*. J. Gen. Microbiol. 8:241-251.
21. Yun, G.S., S.Y. Park, H.J. Kang, K.Y. Lee, and J.S. Cha. 2004. 23. Contamination level of *Ralstonia solanacearum* in soil of greenhouses cultivating tomato plants in chungbuk province and characteristics of the isolates. Res. Plant Dis. 10:58-62.
22. Zlennen, T.M. 1988. Assessment of plant diseases in hydroponic culture. Plant Dis. 72:96-99.