

딸기 영양번식을 통한 *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*의 자묘 감염

남명현¹ · 강양제² · 이인하¹ · 김홍기³ · 전창후^{2*}

¹충남농업기술원 논산딸기시험장, ²서울대학교 식물생산과학부, ³충남대학교 응용생물학과

Infection of Daughter Plants by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* through Runner Propagation of Strawberry

Myeong Hyeon Nam¹, Yang Jae Kang², In Ha Lee¹, Hong Gi Kim³, and Changhoo Chun^{2*}

¹Nonsan Strawberry Experiment Station, Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Services, Nonsan 320-862, Korea

²Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

³Department of Applied Biology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract. *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* (Fof), the causal agent of crown and root rot in strawberry, is the most serious soilborne disease of nursery plants in Korea. The possibility of infection by Fof through runner propagation from infected mother plants of strawberry cv. 'Kumhyang' was assessed in stolons and daughter plants hanging from raised beds. The number of daughter plants from an infected mother plant in plastic house and photosynthetic photon flux (PPF) system, 280 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ was 2.7 and 3.8 plants after 58 days, respectively. However, healthy mother plants produced 6.5 and 8.4 daughter plants, respectively. The pathogen was detected in the uppermost portion of the stolon after 58 days, but was not detected further down the stolon. After 90 days, it was detected in all portions of the stolon between mother and 1st daughter plant and in 60% of all 1st daughter plants. The pathogen was not detected in the corresponding portions of the non-infected controls. These results show that infected mother plants can transmit Fof to their daughter plants without passing through the soil and 1st daughter was used as mother plant in PPF system for propagating healthy plants.

Additional key words: mother plant, photosynthetic photon flux (PPF) system

서 언

현재 재배되고 있는 딸기(*Fragaria* × *ananassa* Duch.)는 전체 채소생산액의 10.7%를 차지하는 중요한 작물이며(RDA, 2010) 2010년도 국내의 딸기 재배면적은 6,841ha, 생산량은 228,698톤으로 세계 13위를 차지하고 있다(KOSIS, 2011).

딸기의 각종 병해 발생은 재배양식에 따른 품종과 관련이 깊는데 한동안 문제가 되지 않았던 시들음병이 최근 국내에서 육종된 '매향'과 '금향' 품종, 일본에서 육종된 'Dochiodome'와 'Redpearl' 품종에 발생하여 육묘기 재배농가에서 많은 피해를 주고 있다(Nam et al., 2005). 또한 최근에는 저항성 품종으로 인식되어 온 'Akihime' 품종에서도 일부 시들음병

이 발생되고 있으며 국내 60% 이상을 재배하는 '설향' 품종에서도 남부지역에서 발생이 매년 증가추세이다(Nam et al., 2009a).

Fusarium oxysporum f. sp. *fragariae*에 의한 딸기 시들음병은 토양 전염성 병해로(Winks and Williams, 1965) 토양 속에 존재하는 병원균이 자연상태에서 오랜 기간 생존이 가능하다(Okayama et al., 1988). 시들음병균은 딸기 뿌리로 침입하여 뿌리를 갈변시키고 크라운(관부)의 도관부에 증식하여 도관을 패쇄시켜 영양분의 이동을 차단함으로써 신엽이 황색을 띠고 짙은 형성하며 결국 딸기 식물체의 고사를 일으키는 딸기의 고질적 병해이다(Nam et al., 2009). 딸기 시들음병 방제를 위해서는 토양 혼중(De Cal et al.,

*Corresponding author: changhoo@snu.ac.kr

※ Received 15 November 2010; Accepted 23 February 2011. 본 연구결과는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호PJ0066752010)의 연구개발비에 의해서 지원되었습니다.

2004; Shaw and Larson, 1999; Yuen et al., 1991), 태양열 소독(Komada and Fukui, 1982a, 1982b), 미생물을 이용한 생물적 방제(Nam et al., 2009b)와 쿠퍼 수화제 토양 관주처리(KCPA, 2010) 등에 의한 방제 방법들이 딸기 재배농가에 적용되고 있다. 그러나 시들음병은 한번 발생이 된 상태에서는 방제가 어렵기 때문에 병 발생을 사전에 차단하는 것이 가장 중요한 방제 수단이다. 그러므로 철저한 토양 소독 외에 일차 전염원으로써의 가능성이 있는 이병묘의 역할 및 건전묘의 중요성에 대한 자세한 연구도 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 딸기 시들음병 발생에 대한 이병묘의 역할 및 생육에 미치는 영향을 조사하고 품종별 감염된 모주로부터 러너 증식을 통해 자묘로의 전염 가능성을 밝혀 딸기 시들음병에 대한 효과적인 방제방법을 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

병원균 접종 및 러너 증식

딸기 시들음병 접종에 사용된 균주는 논산딸기시험장에서 보관중인 Fo79균주를 이용하였다. 이 균주는 2003년 ‘Samaberry’ 품종의 크라운에서 분리한 균주로 포자현탁액 조제를 위해 MM배지(Correll et al., 1987)에서 28°C, 200rpm으로 진탕 배양 7일 후 2.5×10^5 spore/mL의 포자 농도로 전염원을 만들었다. 딸기 육묘기 영양번식을 통한 시들음병 감염 유무를 조사하기 위해 ‘금향’ 품종을 대상으로 논산딸기시험장 유리온실에서 조직 배양된 모주로부터 자묘를 증식하여 800시간 이상 -2°C 저온창고에 저장 후 시험에 이용하였다. 시험자묘는 시들음병균을 접종하기 위해 뿌리를 8cm

만 남기고 멸균된 가위로 자른 후 포자현탁액에 30분간 침지, 접종하였다. 병원균 접종 후 플라워 박스(쌍우3호, 57 × 18cm)에 딸기 전용 상토(푸르미, 서울농자재)를 충진 한 후 딸기 묘를 박스 당 3주씩 정식하였고 각 처리당 9주씩 처리하였다. 정식된 묘는 논산딸기시험장의 비닐하우스와 서울대학교 채소학실험실의 광합성유효광량자속(Photosynthetic photon flux, PPF)을 $280 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 조절한 인공광 이용형 육묘 모듈(Jeong et al., 2005)에서 일시채묘 방법(RDA, 2009)으로 러너를 유인하였다.

딸기 영양번식에 의한 시들음병 감염 유무 조사

서울대학교 채소학실험실의 인공광 환경에서 일시채묘 방법에 의해 자묘를 증식하였으며 모주로부터 증식된 자묘와 러너는 Fig. 1과 같이 세분하여 표시하였다. 모주와 자묘, 러너의 각 조직은 2차 자묘의 뿌리가 형성된 58일 후와 4차 자묘까지 증식된 90일 후 채취하여 70% 알코올로 1분간 표면소독 후 멸균된 증류수로 3회 세척한 다음 멸균된 여과지에서 자연 건조시켰다. 건조된 시료는 peptone PCNB배지(Nash-Snyder, 1962)에 치상한 후 28°C 인큐베이터에서 7일간 배양한 다음 시들음병균 검출율을 조사하였다. 시들음병균 검출율은 시들음병균 감염 수/전체 조사 수 × 100이다. 또한 딸기 일시채묘를 하는 재배농가에서 ‘설향’, ‘금향’ 및 ‘Sachinoka’ 품종의 모주에 시들음병 증상이 나타난 묘를 채취하여 각 조직부위별 시들음병 검출율도 비교 조사하였다.

딸기 시들음병 건전묘와 감염묘의 생육 특성

시들음병균 접종 구와 무처리 구의 자묘와 러너 발생 수는 논산딸기시험장의 비닐하우스와 서울대 인공광 이용형

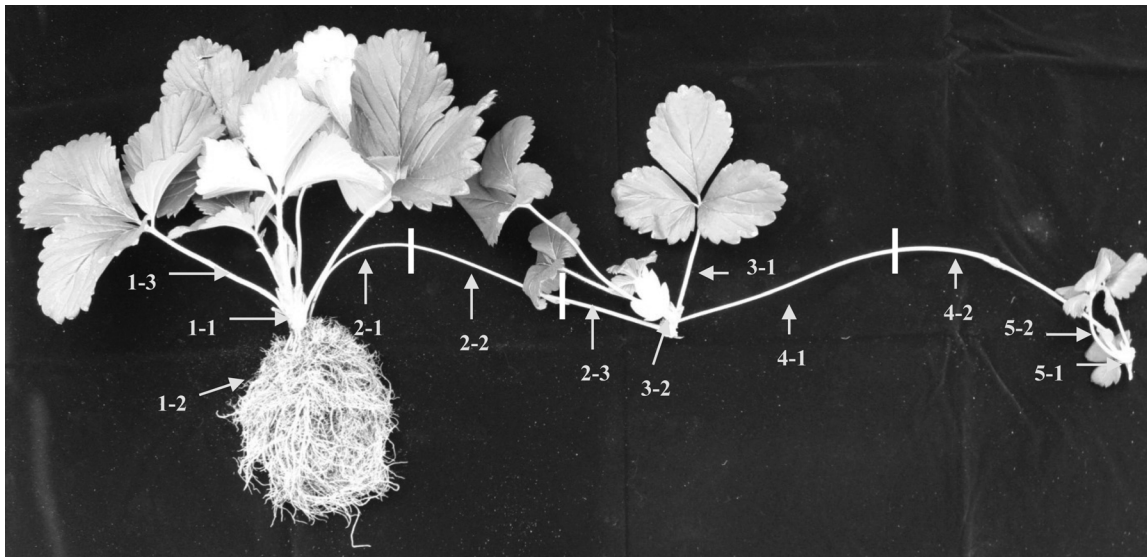


Fig. 1. Schematic diagram showing different plant parts of strawberry for detecting *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*.

육묘 모듈에서 모주 정식 58일 후에 조사하였다. 얻어진 결과는 SAS(SAS institute, Inc., 1989, Cary, NC) program을 이용하여 처리간 t-test로 분석하였다.

결과 및 고찰

시들음병 감염묘와 건전묘의 자묘 발생 비교

비닐하우스에서 시들음병 감염묘는 정식 55일 후부터 모주의 신엽에서 짝잎 증상을 나타내며 75일후에는 1차 자묘에서도 짝잎 증상을 보이기 시작하였고 자묘의 발생 수도 적은 반면 건전묘는 모주와 자묘에서 병 증상이 나타나지 않았으며 자묘도 많이 생산되었다(자료 미제시). 이는 딸기 시들음병균이 뿌리를 통해 침입하여 크라운의 도관에 증식하며 심한 경우 도관을 폐쇄시켜 짝잎 증상과 시들음을 유발하는 특징을 보이는 것과 일치하였으며(Nam et al., 2009a), 시들음병균에 감염된 모주는 자묘 생산에도 밀접한 관련이 있음을 확인하였다.

시들음병 감염묘와 건전묘의 자묘 생산량은 비닐하우스와 인공광 이용형 육묘 모듈 환경에서 시들음병균 접종 58일 후 조사한 결과, 감염묘의 러너 발생수는 각각 2.7개와 3.8개였으나 건전묘에서는 6.5개와 8.4개로 감염묘와 건전

묘 사이에는 뚜렷한 유의성이 있었으며 감염묘에서 러너 생산량이 1/2정도 저하되었다. 감염묘의 1차와 2차 자묘 생산 수도 러너 발생 수와 같은 감소효과를 보였으며 처리간 유의성이 인정되었다. 또한 러너와 자묘 발생율은 비닐하우스 재배보다 인공광 이용형 육묘 모듈환경에서 1.2배정도 빠르다는 것을 확인할 수 있었다(Table 1).

영양번식을 통한 시들음병 감염

모주에서 자묘까지 영양번식을 통한 시들음병의 전염 가능성을 확인하기 위해 인공광 환경에서 ‘금향’ 품종의 각 식물체 부위별 시들음병균 검출율을 조사하였다(Table 2, Fig. 1). 시들음병 감염묘에서는 정식 58일 후 모주의 뿌리, 크라운, 엽병 모두에서 100% 시들음병균이 검출되었고 1차 러너의 상단부위(2-1)에서도 시들음병균이 100% 검출되었으나 그 이하 부위에서는 검출되지 않았다. 정식 90일 후에는 1차 러너의 상, 중, 하단 부위(2-1, 2-2, 2-3) 모두에서 시들음병균이 100% 검출되었고 1차 자묘에서도 60%의 검출율을 보였으며 2차 러너와 자묘에서는 검출되지 않았다. 반면 건전묘에서는 시들음병균이 정식 58일과 90일 후에도 모든 조직에서 전혀 검출되지 않았다. 비닐하우스에서 일시채묘로 육묘하는 딸기 재배농가에서 시들음병 증상이 보이는

Table 1. The comparison of growth rate between plants inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* and non-inoculated strawberry plants (cv. ‘Kumhyang’).

Condition	Treatment	Number of plant ^y		
		1st daughter plant	2nd daughter plant	Stolon
Plastic house	Infected plants	1.2	0.5	2.7
	Non-inoculated plants	2.7	1.7	6.5
	<i>P</i> value ^x	0.005	0.017	0.009
PPF ^z	Infected plants	1.8	0.8	3.8
	Non-inoculated plants	3.2	1.8	8.4
	<i>P</i> value ^x	0.029	0.046	0.018

^zPhotosynthetic photon flux (PPF) condition (280 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

^yMeasurements were made 58 days after inoculation.

^xThe comparisons of infected and non-inoculated plants were made by p-values using t-tests.

Table 2. Infection rate of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* in stolons and daughter plants of strawberry from inoculated mother plants (cv. ‘Kumhyang’) under PPF conditions.

Treatment	Days after transplant	Infection (%)					
		The 1st stolon			1st daughter plant (3-1, 3-2)	2nd stolon (4-1, 4-2)	2nd daughter plant (5-1, 5-2)
		2-1	2-2	2-3			
Infected plants	58 days	100	0	0	0	0	0
	90 days	100	100	100	60	0	0
Non-inoculated plants	58 days	0	0	0	0	0	0
	90 days	0	0	0	0	0	0

Table 3. Infection rate of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* in stolons and daughter plants from inoculated mother plants in the plastic houses of strawberry farmers.

Cultivar	Days after transplanting	Infection (%)					
		1st stolon			1st daughter plant (3-1, 3-2)	2nd stolon (4-1, 4-2)	2nd daughter plant (5-1, 5-2)
		2-1	2-2	2-3			
Seolhyang	55 days	66.7	100	0	0	0	0
Kumhyang	75 days	75.0	25.0	25.0	75.0	0	0
Sachinoka	75 days	100	100	100	100	100	0

‘설향’, ‘금향’ 및 ‘Sachinoka’의 모주에서 유래된 러너와 자묘에서도 시들음병균이 모두 검출되었다(Table 3).

이의 결과를 토대로 딸기 시들음병균은 토양전염 이외에도 모주가 시들음병균에 감염되었을 경우, 영양번식을 통해 자묘와 러너에도 시들음병이 감염될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 딸기 시들음병의 효과적인 방제를 위해서는 태양열 소독(Komada and Fukui, 1982a, 1982b), 토양 혼중 처리(De Cal et al., 2004; Shaw and Larson, 1999; Yuen et al., 1991)와 같은 토양소독 외에도 시들음병에 이병되지 않은 건전한 모주를 사용하는 방법이 중요한 방제방법이 될 수 있다. 시들음병균의 도관부를 통한 이동속도는 러너 증식속도보다는 느려 전체 러너와 자묘에 감염을 일으키는 못하여 러너를 통한 딸기 시들음병의 전염을 방지하기 위해 제2복엽이 전개하는 시기의 자묘를 분리하여 채묘하는 것이 효과적이라고도 하였다(Mori, 1999). 따라서 비닐하우스보다 자묘 증식이 빠른 인공광 환경에서 자묘를 빨리 생산하여 육묘용 모주로 이용하는 방법도 시들음병의 자묘 감염을 회피할 수 있는 방법이 될 것이다.

초 록

딸기의 크라운과 뿌리를 갈변시키는 *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*에 의한 시들음병은 국내 육묘포장에서 발생하는 중요한 토양병해이다. 육묘기 영양번식을 통한 시들음병 전염 유무를 조사하기 위해 ‘금향’ 품종을 대상으로 시들음병에 감염된 모주로부터 일시채묘 방식으로 자묘를 증식하여 시험에 이용하였다. 시들음병 감염묘와 건전묘간의 자묘생산량 비교에서는 접종 58일 후 감염묘의 러너 발생수는 비닐하우스와 인공광 이용형 육묘 모듈에서 각각 2.7개와 3.8개였으나 건전묘에서는 6.5개와 8.4개로 감염묘에 비해 자묘 생산이 2배 이상 되었다. 시들음병에 감염된 모주에서 영양번식을 통한 자묘의 감염율은 정식 58일 후 1차 러너의 상단부위(2-1)에서 100% 검출되었으나 그 이하 부위에서는 검출이 되지 않았다. 정식 90일 후에는 시들음병균이 1차 러너의 상, 중, 하단 부위(2-1, 2-2, 2-3) 모두에서 100% 검

출되었으며, 1차 자묘에서도 60%의 검출율을 보였다. 반면 건전 묘에서는 정식 58일과 90일 후에도 시들음병균은 전혀 검출되지 않았다. 위의 결과를 토대로 딸기 시들음병은 토양 전염 외에 감염된 모주로부터 영양번식을 통한 자묘로의 전염 가능성을 확인하였으며 시들음병의 건전묘 생산방법으로 인공광 환경에서 생산된 1차 자묘를 육묘용 모주로 이용하는 것도 좋을 것으로 판단된다.

추가 주요어 : 모주, 광합성유효광량자속 시스템

인용문헌

- Cho, C.T. and B.J. Moon. 1984. Studies on the wilt of strawberry caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* in Korea. Kor. J. Plant Prot. 23:74-81.
- Correll, J.C., C.J.R. Klittich, and J.F. Leslie. 1987. Nitrate nonutilizing mutants of *Fusarium oxysporum* and their use in vegetative compatibility tests. Phytopathology 77:1640-1646.
- De Cal, A., A., Martinez-Treceno, J.M. Lopez-Aranda, and P. Melgarejo. 2004. Chemical alternatives to methyl bromide in Spanish strawberry nurseries. Plant Dis. 88:210-214.
- Jeong, M.S., S.K. Kim, and C.H. Chun. 2005. Effect of photosynthetic photon flux during transplant production on runner plant production rate of “Maehyang” strawberry. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23:24.
- Korea Crop Protection Association (KCPA). 2010. 2010 Agrochemicals use guide book. KCPA, Seoul p. 1199.
- Komada, T. and T. Fukui. 1982a. Solar heating in closed plastic house for control of soilborne diseases V. Application for control of *Fusarium* wilt of strawberry. Ann. Phytopathol. Soc. Japan 48:570-577.
- Komada, T. and T. Fukui. 1982b. Heating with plastic-film mulching in the out-door field for control of *Fusarium* wilt of strawberry. Ann. Phytopathol. Soc. Japan 48:699-701.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2011. 2010 the production of vegetable. <http://kosis.kr>.
- Mori, M. 1999. Prevention of runner transmission of strawberry *Fusarium* wilt fungus by cutting daughter plants as propagule at their second leaf stage. Farming Hort. 53(8):137-140.
- Nam, M.H., S.K. Jung, N.G. Kim, S.J. Yoo, and H.G. Kim. 2005. Resistance analysis of cultivars and occurrence survey of *Fusarium* wilt on strawberry. Res. Plant Dis. 11:35-38.

- Nam, M.H., Y.G. Nam, T.I. Kim, H.S. Kim, W.S. Jang, W.K. Lee, I.H. Lee, H.K. Kang, Y.J. Park, J.M. Choi, and K.S. Whang. 2009a. Compendium of strawberry diseases and pests. Chungnam strawberry association. p. 204.
- Nam, M.H., M.D. Park, H.G. Kim, and S.J. Yoo. 2009b. Biological Control of strawberry Fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* using *Bacillus velezensis* BS87 and RK1 formulation. J. Microbiol. Biotechnol. 19(5):520-524.
- Nash, S.N. and W.C. Snyder. 1962. Quantitative estimations by plate counts of propagules of the bean rot *Fusarium* in field soil. Phytopathology 73:458-462.
- Okayama, K., K. Horimoto, H. Kobatake, T. Kodama, and Y. Kitagawa. 1988. Studies on the control of Fusarium wilt of strawberry by preceding crops. I. Effect of preceding crops on Fusarium wilt of strawberry and presence of microorganisms in the soil. Bull. Nara. Agri. Expt. Sta. 19:67-78.
- Rural Development Administration (RDA). 2009. Strawberry. A standard manual of farming-40. RDA, Suwon. p. 225.
- Rural Development Administration (RDA). 2010. 2010 New technology of agriculture and food (IV). RDA, Suwon p. 1357.
- Shaw, D.V. and K.D. Larson. 1999. A meta-analysis of strawberry yield response to preplant soil fumigation with combinations of methyl bromide-chloropicrin and four alternative systems. HortSci. 34:839-845.
- Winks, B.L. and Y.N. Williams. 1965. A wilt of strawberry caused by a new form of *Fusarium oxysporum*. Queensland J. Agric. Animal Sci. 22:475-479.
- Yuen, G.Y., M.N. Schroth, A.R. Weinhold, and J.G. Hancock. 1991. Effects of soil fumigation with methyl bromide and chloropicrin on root health and yield of strawberry. Plant Dis. 75:416-420.