

## 국내 딸기 시들음병 발생실태와 품종별 저항성 분석

남명현 · 정석기 · 김남규<sup>1</sup> · 유성준<sup>2</sup> · 김흥기<sup>1\*</sup>

충남농업기술원 논산딸기시험장, <sup>1</sup>충남대학교 응용생물학과, <sup>2</sup>바이오셀드

### Resistance Analysis of Cultivars and Occurrence Survey of *Fusarium* Wilt on Strawberry

Myeong Hyeon Nam, Suck Kee Jung, Nam Gyu Kim<sup>1</sup>, Sung Joon Yoo<sup>2</sup> and Hong Gi Kim<sup>1\*</sup>

Nonsan Strawberry Experiment Station, Chungnam ARES, Nonsan 320-862, Korea

<sup>1</sup>Dept. of Appl. Biol., Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2</sup>Bioshield Co. Ltd. HTVC KAIST, Daejeon 305-701, Korea

(Received on May 6, 2005)

The occurrence of *Fusarium* wilt in strawberry fields in Korea was assessed from 2001 to 2003. *Fusarium* wilt was found from June to August in nursery beds, from September to October after planting in production beds, and from January to March during harvesting period. The symptoms were root rots, discolored vascular tissue in the crown and deformation and yellowing of central leaflets. The disease occurred in up to 30% of plants in 37 of 214 fields surveyed. *Fusarium* wilt occurred from cvs. 'Dochiodome', 'Maehyang', 'Redpearl', 'Samaberry' and 'Akihime' and more severe from cvs. 'Samaberry', 'Maehyang' and 'Dochiodome'. Infested soils had high salt concentrations, high nitrogen, phosphate concentrations and low pH. The results of pathogenicity test showed that Fo47 and Fo79 isolated from cvs. 'Dochiodome' and 'Samaberry' were strong pathogenic to all of four cultivars, and 'Dochiodome', 'Redpearl', 'Maehyang' were relatively susceptible to the all isolates.

**Keywords :** *Fusarium* wilt, Pathogenicity, Resistance analysis, Strawberry

현재 재배되고 있는 딸기(*Fragaria*×*ananassa* Duch.)의 국내의 생산액은 연간 6,923억원으로 전체 채소생산액의 9%를 차지하는 중요한 작물이다. 2004년도 국내의 딸기 재배면적은 7,600 ha, 생산량은 210,000 M/T으로 세계 8위를 차지하고 있다(FAO, 2005).

딸기의 각종 병해 발생은 재배양식에 따른 품종과 관련이 깊는데 1970~80년대 'Hokowase' 품종에서 시들음병 발생으로 큰 피해가 있었으나(김 등, 1982; 조와 문, 1984) 그 후 시들음병에 강한 'Nyoho', 'Akihime' 품종의 도입으로 한동안 문제가 되지 않았다. 그러나 최근 국내에서 육종된 '매향' 품종과 일본에서 육종된 'Dochiodome' 품종은 시들음병에 감수성으로 재배농가에서 피해가 심하게 나타나고 있음에도 이에 대한 실태조사가 이루어지지 않은 실정이다.

딸기에 발생하는 시들음병균은 *Fusarium oxysporum*

Schlechtend.: Fr. f. sp. *fragariae* Winks and Williams로 호주에서 최초로 보고되었으며(Winks과 Williams, 1965), 국내에서도 조와 문(1984)에 의해 처음 보고된 이래 VCG (Hyun 등, 1996)와 random amplified polymorphic DNA (RAPD) 분석(Hyun과 Park, 1996) 및 rDNA restriction fragment length polymorphisms(RFLPs) 분석을 통한 유전적 다양성이 보고되었다(Nagarajan 등, 2004).

*Fusarium*병의 발생은 토양환경과 밀접한 관련이 있고, 토마토와 박과의 경우 사양토에서 발생이 심하며(양 등, 2000), 사질토양이 식질 토양에 비해 *Fusarium oxysporum*의 증식이 용이하다고 한다(Stover, 1956). 또한 양 등(2000)에 의하면 pH는 관계없고 유기물, 인산, 양이온 함량이 높을 때 발생이 많다고 한다.

따라서 본 연구에서는 최근 딸기주산단지에서의 시들음병 발생 실태를 조사하고 토양조건에 따라 시들음병 발생에 차이가 있는지 파악하고자 무발병 토양과 발병 토양의 물리, 화학적 특성을 비교, 조사하였으며 또한 분리된 시들음병균의 딸기 품종에 대한 병원성도 분석하였다.

\*Corresponding author

Phone) +82-42-821-5768, Fax) +82-42-823-8679

E-mail) hgkim@cnu.ac.kr

## 재료 및 방법

**병 발생상황 조사.** 2001년~2003년 딸기주산단지 중 심으로 시들음병 발생상황을 분석하였다. 조사포장 214개 중에서 발병포장 수를 조사하고 발병포장별로 발병주율을 측정하였다. 또한 월별 시들음병 발생정도는 2001년~2003년까지 214개 포장에서 조사된 월별 시들음병 발생 포장 수로 분석하였다.

**발병지와 무발병지 토양의 특성 조사.** 시들음병 발생 13포장, 무발병 16포장에서 토양 150 g씩 포장 당 5개 지점에서 표토 깊이(0~5 cm)를 채취하여 이화학성 분석에 사용하였다. 토양의 이화학성 분석은 농촌진흥청 조사 분석법에 준하여 토성은 토양조사편람(농촌진흥청, 1973)에 의거 hydrometer법으로 분석하였다. 토양 화학성은 토양 화학분석법(농촌진흥청, 1988)에 따라 토양과 증류수를 1:5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 pH는 유리전극법으로, 전기전도도(EC)는 EC 메타로 측정하였다. 유기물함량은 Tyurin법을, 질소는 홍 등(2003)의 방법, 유효인산은 Lancaster법, 양이온(K, Ca, Mg)은 원자흡광광도계를 이용하여 정량하였다.

**분리균주에 대한 병원성 검정.** 병든 딸기에서 균을 분리한 다음 형태 및 배양적 특성에 근거하여 *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*로 밝혀진 24개 균주의 병원성 검정을 위해 병원균을 V-8 broth에서 5일간 진탕배양한 후  $1\sim 2 \times 10^6$  cfu/ml의 농도로 포자현탁액을 만들었다. 또한 동일한 조건에서 육묘한 '매향', 'Akihime', 'Dochiodome', 'Redpearl' 품종의 자묘를 동시에 채묘하였다. 2003년 7월 고온기에 채묘 한 자묘를 흙을 털고 뿌리 끝부분을 자른 다음 각 균주 당 품종별 4주씩 포자현

탁액에 10분간 뿌리를 침지하여 포트에 심었다. 그 후 논산딸기시험장의 비가림 하우스에서 재배하면서 15일 간격으로 이병지수를 조사하였다. 이병지수는 0은 무발병, 1은 1~2엽이 휘어지고 신엽이 황변하며, 2는 모든 잎이 휘어지고 짙은색이 발생하고, 3은 잎이 황화되고 식물체의 반 이상이 시들음 증상을 보이며, 4는 식물체 전체가 시들음 증상을 보이며, 식물체 전체가 고사한 경우를 5로 판명하였다.

## 결과 및 고찰

**시들음병 발생 실태조사.** 딸기 주산지 214개 포장 중 37개 포장에서 시들음병이 발생되었다. 주 발생시기는 품종마다 약간의 차이가 있는데 주로 6~8월과 12~3월 사이였으며 발병은 0~30% 범위였다. 품종별로는 'Dochiodome', 'Redpearl', '매향', 'Samaberry', 'Akihime' 등 조사된 모든 품종에서 발생되었으며 그 중 'Samaberry', '매향', 'Dochiodome' 품종에서 발생이 심했다(Table 1).

2001년에서 2003년까지 시들음병은 주로 육묘기인 6~8월, 본포 정식기인 9~10월, 수확기인 1~3월에 발생하였다(Table 2). 딸기 시들음병은 고온성 병해로 여름철에 발생이 심하였고, 정식직후 발생은 정식 시 뿌리활착을 촉진하기 위해 농가에서 일반적으로 뿌리를 잘라서 심게 되는데 이것이 뿌리에 상처를 야기하고 시들음병 발생의 주요한 요인이 된 것으로 생각한다. 또한, 수확 중후기인 1~3월에도 발생이 된 것은 주로 뿌리가 갈변되는 증상이 많은데 이것은 수확 중후기에 염류집적 및 양분의 불균형으로 작물의 뿌리가 장애를 받기 쉬워 병이 발생한 것으로 추정된다(嶋田, 1969).

**Table 1.** Incidence of Fusarium wilt of strawberry under major cultivation areas in Korea during 2001~2003

Cultivar	No. of field surveyed (A)	No. of field diseased (B)	Occurrence rate (B/A)	Range of incidence (%)	Disease out break peak
Dochiodome	32	15	46.9	10-15	July
Redpearl	111	9	9.1	5-10	Dec.-Mar., Aug.
Akihime	48	7	14.6	0-5	August-October
Maehyang	14	5	35.7	11-30	March
Samaberry	1	1	100	30	June

**Table 2.** Frequency of Fusarium wilt occurrence on strawberry in Korea from 2001 to 2003

Year	No. of field surveyed	No. of infested field per one month											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
2001	93	1	0	0	0	0	4	0	4	3	6	1	0
2002	54	1	1	0	0	0	4	0	1	0	0	0	1
2003	67	3	0	3	0	0	2	2	0	-	-	-	-
Total	214	5	1	3	0	0	10	2	5	3	6	1	1

**발병지와 무발병지 토양의 특성 조사.** 딸기 시들음병 발생포장과 무발병포장의 토양 특성을 비교 조사한 결과

**Table 3.** Relationships between soil contents and occurrence of *Fusarium* wilt on cultivating strawberry harvest and nursery fields

Cultural stage	Field condition	Content %		
		Clay	Sand	Silt
Harvest	Infested field	14	23	62
	Non-infested field	18	12	69
Nursery	Infested field	9	25	66
	Non-infested field	19	19	62

딸기재배포장은 90% 이상이 미사질 양토였으며 시들음병 발생포장의 모래함량이 무발병 토양보다 높았다(Table 3). 토마토와 박과의 *Fusarium*병은 사양토에서 발생이 심하며(양 등, 2000), 사질토양이 식질 토양에 비해 *Fusarium oxysporum*의 증식이 용이하고(Stover, 1956), 사질토양은 지온 상승이 쉽고, 토양수분의 변화가 급격하여 작물의 뿌리 손상이 쉽다고 한 결과(竹內, 1982)로 미루어 볼 때 모래 함량이 시들음병 발생과도 관련이 있을 것으로 생각된다.

이화학성 조사 결과 전기전도도는 이병포장이 수확기

**Table 4.** Comparison of chemical properties in the soils of the surveyed strawberry fields

Cultural stage	Field condition	pH (1:5)	OM (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Exchangeable (me/100 g)			NO <sub>3</sub> -N (ppm)	EC (ds/m)
					K	Ca	Mg		
Harvest	Infested field	5.9	2.8	524	0.79	7.07	2.39	171.7	1.1
	Non-infested field	6.3	2.5	385	0.76	5.94	1.39	119.1	0.4
Nursery	Infested field	6.3	2.8	594	0.71	4.29	0.97	70.5	0.5
	Non-infested field	6.4	3.6	409	0.84	7.23	2.02	36.2	0.4

**Table 5.** Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* isolates from wilted strawberry plants to four major strawberry cultivars

Isolate	Origin		Disease index <sup>a</sup>				Average
	Cultivar	Location	Dochiodome	Redpearl	Maehyang	Akihime	
Fo1	Nyoho	Nonsan	1.5	1.0	0.0	0.0	0.62
Fo3	Nyoho	Nonsan	0.0	0.0	0.0	1.2	0.30
Fo4	Nyoho	Buyeo	4.2	2.0	4.0	1.7	2.97
Fo6	Hokowase	Gongju	3.2	3.7	3.0	1.5	2.85
Fo11	Hokowase	Hongsung	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
FF801	Hokowase	Naju	4.2	1.2	0.2	0.5	1.52
FF802	Hokowase	Naju	0.0	0.2	0.0	0.0	0.05
FF406	Hokowase	Naju	1.0	0.2	0.0	0.0	0.30
FF408	Hokowase	Nonsan	1.0	0.2	0.0	0.0	0.62
FF409	Hokowase	Nonsan	1.0	1.0	0.5	0.0	0.62
Fo13	Hokowase	Hongsung	1.2	1.0	1.7	0.0	0.97
Fo23	Reiko	Nonsan	2.5	0.0	0.0	0.0	0.62
Fo30	Nyoho	Nonsan	2.0	1.0	0.5	0.0	0.87
Fo40	Redpearl	Iksan	1.0	0.5	0.0	0.0	0.37
Fo41	Redpearl	Iksan	0.7	0.0	0.0	0.0	0.17
Fo42	Akihime	Nonsan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Fo45	Akihime	Daejeon	0.0	0.0	0.0	1.0	0.25
Fo47	Dochiodome	Nonsan	4.7	3.5	5.0	4.0	4.30
Fo48	Dochiodome	Nonsan	1.0	1.7	1.2	1.0	1.22
Fo50	Johong	Busan	5.0	2.5	3.2	1.0	2.92
Fo54	Dochiodome	Gongju	4.5	3.2	2.5	1.0	2.80
Fo56	Akihime	Yeongi	4.5	3.2	3.2	3.7	3.65
Fo79	Samaberry	Nonsan	5.0	3.5	3.5	4.2	4.05
Fo82	Dochiodome	Nonsan	2.0	0.2	0.0	0.0	0.55
Average			2.09	1.24	1.19	0.87	-

<sup>a</sup>Disease index: 0 = no symptom, 1 = 1-2 leaf rolled and yellowed leaf, 2 = all leaf rolled and deformed leaf, 3 = chlorosis and wilting, 4 = wilting, 5 = death. Investigation on 25 days after inoculation.

와 육묘기에 무발생 포장보다 높았으며 특히 수확기에서 높게 나타났다(Table 4). 전기전도도가 수확기에서 높은 것은 수확기 과잉시비에 의해 토양의 염류농도가 높아져 작물 뿌리에 장애가 발생하기 때문인 것 같다(松口, 1986). 또한 시들음병 발생포장의 질소와 인산농도도 높게 나타났으며 pH는 낮은 경향을 보였다.

유기물, 양이온 함량은 병이 발생한 수확포장에서 무발생포장보다 높은 경향을 보였으나 육묘포장에서는 반대의 경향을 나타냈다(Table 4). 양(2000) 등에 의하면 pH는 관계없고 유기물, 인산, 양이온 함량이 높을 때 발생이 많다고 하였는데 수확포장에서는 같은 결과를 나타냈으나 육묘포장에서의 발생은 다른 *Fusarium*병과 다르게 양분이 부족한 경우에 발생이 증가하였다.

이와 같이 딸기 시들음병 발생에 관련이 있는 토양 내 주된 요인으로 pH와 EC, 질소와 인산농도가 밀접한 요인인 것으로 판단되며 추후 각 요인별로 시들음병 발병과의 관련유무에 대해 좀 더 자세한 연구가 되어야 할 것이다.

**분리균주에 대한 병원성 검증.** 분리된 시들음병균 24 균주에 대한 병원성 검증에서는 Fo47, Fo79, Fo56균주가 저항성 품종인 'Akihime'에도 비교적 강한 병원성을 나타냈다(Table 5). 분리균주를 품종별로 병원성을 비교했을 때 각각 *Dochiodome*가 2.09, Redpearl은 1.24, 매향에서 1.19, Akihime는 0.87의 이병지수를 나타내었다. 특히 최근 국내에서 육종된 '매향' 품종도 이병지수가 높아 농가 포장에서 재배 시 주의해야 할 것으로 생각된다. 또한 五十風과 沖村(1995)가 저항성 품종으로 보고한 Akihime 품종에서도 병원성이 확인되어 추후 재배농가에서 이 품종에 대한 시들음병 발생 가능성도 예견된다.

## 요 약

2001년에서 2003년까지 국내 딸기주산단지에서 딸기시들음병 발생실태 조사를 실시하였다. 딸기시들음병 발생은 주로 육묘기인 6월부터 8월, 정식기인 9월부터 10월, 수확기인 1월부터 3월까지 발생되었다. 병징은 뿌리가 갈변되며 크라운의 도관을 따라 갈변되었고 짝잎을 형성하였다. 시들음병 발생은 214개 포장 중 37개 포장에서 최대 30%까지 발생되었다. 딸기 시들음병은 *Dochiodome*, 매향, Redpearl, Samaberry, Akihime 품종 등 조사된 모든 품종에서 발생하였으나, 특히 Samaberry, 매향, *Dochiodome*에서 많이 발생하였다. 시들음병 발생토양은 무발병 토양보다 전기전도도, 질소, 인산농도가 높았고, pH는 낮게 나타났다. *Dochiodome*와 Samaberry 품종에서 분리된 Fo47, Fo79 균주는 공시된 4품종에 대해 병원성이 강했으며 특

히 *Dochiodome*, Redpearl, 매향 품종은 더 감수성이었다.

## 감사의 글

이 논문은 농림부의 농림기술개발연구과제(2003~2005)의 연구개발비에 의하여 연구된 결과의 일부임.

## 참고문헌

- 조종탁, 문병주. 1984. 딸기시들음병에 관한 연구. 한국식물보호학회지 23(2): 74-81.
- 松口龍修. 1986. 根圈微生物の機能と作物の生育. 農業技術 41: 451-457.
- FAO. 2005. FAOSTAT data 2004.
- 홍중훈, 임재현, 곽한강. 2003. 밭 토양 중 질산태질소의 현장 실시간 분석법 연구. 한국토양비료학회 가을 구두발표.
- Hyun, J. W., Kim, H. S. and Park, W. M. 1996. Vegetative compatibility, isozyme polymorphisms and pathogenicity of isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*. *Korean J. Plant Pathol.* 12: 33-40.
- Hyun, J. W. and Park, W. M. 1996. Differentiation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* isolates by random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis. *Korean J. Plant Pathol.* 12: 41-46.
- 五十風勇, 沖村誠. 1995. 野菜茶試盛岡支場研究報 9: 57-58.
- 김충희, 서효덕, 조원대, 김성봉. 1982. *Fusarium oxysporum*에 의한 딸기 시들음병의 약제방제 및 품종저항성에 관한 연구. 한국식물보호학회지 21: 61-67.
- Nagarajan, G., Nam, M. H., Song, J. Y., Yoo, S. J. and Kim, H. G. 2004. Genetic variation in *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* populations based on RAPD and rDNA RFLP analyses. *Plant Pathol. J.* 20: 264-270.
- 농촌진흥청. 1973. 토양조사편람. 제2권. 농업기술연구소 간행. 257pp.
- 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법, 토양·식물체·토양미생물. 농업기술연구소 간행. 15-239.
- 嶋田典司. 1969. 作物に対する鹽類の濃度障害に関する基礎的研究(第1報) 單一鹽類溶液におけるキュウリ根の活性の變化について. 日本土壤肥料學雜誌 40:26-31.
- Stover, R. H. 1956. Behavior of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in different soils and extract. *Phytopathol.* 46: 27-28.
- 竹内昭士郎. 1982. いわゆる赤土と黒ボク土におけるダイコン萎黄病の發病差に関する研究. 野菜試験場報告 A10: 81-116.
- Winks, B. L. and Williams, Y. N. 1965. A wilt of strawberry caused by a new form of *Fusarium oxysporum*. *Queensland J. Afric. Animal Sci.* 22: 475-479.
- 양성석, 김충희, 남기웅, 송요성. 2000. 시설과채류 *Fusarium*병의 발생생태에 관한 연구. 1. 토마토와 박과작물 *Fusarium*병 발생상황과 발생포장의 토양환경 실태. 식물병 연구 6(2): 59-64.