

태양열 소독시 유기물과 석회질소 병행 처리에 의한 딸기 시들음병균 방제

남명현* · 김현숙 · 김흥기¹충남농업기술원 논산딸기시험장, ¹충남대학교 응용생물학과Control of Fusarium Wilt of the Strawberry Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* of Solarization with Compost and Calcium Cyanamide ApplicationMyeong Hyeon Nam*, Hyeon Suk Kim and Hong Gi Kim¹

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

¹Department of Applied Biology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received on November 10, 2010; Accepted on February 23, 2011)

Field experiments were conducted to evaluate the effectiveness of soil solarization at the Nonsan Strawberry Experiment Station, Korea in 2006 and 2008. In *in vitro* tests, exposure times to achieve an LD₁₀₀ of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* were 6.6 days and 5.1 days at 45°C and 50°C, respectively. A 100% lethal temperature was 46.7±0.1°C for the same fungus. For field trials, solarization was conducted during the summer season using polyethylene mulch in a plastic house. The organic matter+calcium cyanamide+solarization treatment increased pH, organic matter, and calcium content compared to those before treatment in soil analysis, but no effect had an urea+solarization treatment. The temperatures at 10 cm depth were different in each treatment and the highest temperature was recorded from July 30 to August 10. The average temperature in organic matter+calcium cyanamide+solarization treatment at 10 cm depth was 3~4°C higher than that in all the other treatments. All solarization treatments reduced the soil population of *F. oxysporum* f. sp. *fragariae* at 100% in 2008 relative to the non-treated control. All solarization treatments reduced Fusarium wilt incidence to 0% in 2006 and 2008. The effect of organic matter+calcium cyanamide+solarization against *F. oxysporum* f. sp. *fragariae* indicates that there may be future alternatives to traditional solarization for disease control as well as reducing the time needed.

Keywords : Control, Fusarium wilt, Solarization, Strawberry

딸기의 각종 병해 발생은 재배양식에 따른 품종과 관련이 깊은데 1970~80년대 ‘Hokowase’ 품종에서 시들음병 발생으로 큰 피해가 있었으나(Cho와 Moon, 1984) 그 후 시들음병에 강한 ‘Nyoho’와 ‘Akihime’ 품종의 도입으로 한동안 문제가 되지 않았다. 그러나 최근 국내에서 육종된 ‘매향’과 ‘금향’ 품종, 일본에서 육종된 ‘Dochiotome’와 ‘Redpearl’ 품종은 시들음병에 감수성으로 육묘기 재배농가에서 많은 피해가 발생하고 있다(Nam 등, 2005). 또한 최근에는 저항성 품종으로 인식되어 온 ‘Akihime’ 품종에서도 연작을 하는 일부 재배포장에서 발생이 되고 있으며 국내 60% 이상을 차지하는 ‘설향’에서도 남부지

역에서 시들음병 발생이 매년 증가추세에 있다(Nam 등, 2009a).

Fusarium oxysporum f. sp. *fragariae*에 의한 딸기 시들음병(Winks와 Williams, 1965)은 토양 전염성 병해로 병원균이 토양에서 오랜 기간 생존할 수 있다. 따라서 시들음병 방제를 위한 토양 소독방법으로 methyl bromide 등을 이용한 토양 훈증(De Cal 등, 2004; Shaw와 Larson, 1999; Yuen 등, 1991), 미생물을 이용한 생물적 방제(Nam 등, 2009b), validamycin의 관주처리(Ishikawa 등, 2005) 등이 적용되고 있다. 그러나 methyl bromide를 이용한 토양 훈증은 오존층 파괴라는 환경문제에 접하여 이를 대체할 수 있는 방법 등의 연구가 진행되고 있으며, 미생물과 약제 관주처리에 의한 방제는 주로 병이 발생하기 전에 예방적으로 처리하여야 하며 토양에 병원균 밀도가 높은 상

*Corresponding author

Phone) +82-41-733-3161, Fax) +82-41-733-3163

Email) namtel7@korea.kr

태에서는 만족할 만한 방제효과를 나타내지 못한다.

토양 병 방제를 위해 친환경적이며 병해충 종합방제의 일환으로 작물의 수량도 증가시켜 주는 태양열 소독방법이 예전부터 많이 연구가 되었으며(Chellemi 등, 1997; Pinkerton 등, 2002; Stapleton, 2000; Tamietti와 Valentino, 2006), 태양열 소독시 40°C 전후의 온도로 8~14일 처리시 시들음병균이 검출되지 않는다고 보고하였다(Komada와 Fukui, 1982a). 태양열 소독 효과증진을 위해 노지 포장에서 비닐 멀칭과 석회질소(Calcium cyanamide, CaCN₂)를 병행처리 한 것은 멀칭 단독처리한 것과 차이가 없다고 하였으나(Komada와 Fukui, 1982b) 오이를 재배하는 비닐하우스 내의 *F. solani* f. sp. *cucurbitae* 및 선인장의 basal stem rot을 일으키는 *F. oxysporum* 방제에 효과적이라 하였다(Bourbos 등, 1997; Choi 등, 2007). 또한 Lodha (1995)는 척박한 토양의 태양열 소독 시 요소(Urea, (NH₂)₂CO)를 처리하면 무처리에 비해 *F. oxysporum* f. sp. *cumini*와 *Macrophomina phaseolina* 방제에 효과적이라 한 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 점차 피해가 심해지고 있는 딸기 시들음병에 대한 보다 효과적인 방제방법을 개발하고자 *in vitro*상에서 시들음병균의 치사온도와 처리시간을 조사하고, 시설하우스에서의 태양열 소독효과 증진시키기 위해 유기물 외 석회질소와 요소 병행 처리에 의한 시들음병 방제 효과를 검토하였다.

재료 및 방법

딸기 시들음병균의 온도에 대한 민감도 조사. 공시한 *F. oxysporum* f. sp. *fragariae*는 충남 논산의 딸기 재배포장으로부터 채집된 전형적인 시들음병 병반(뿌리와 관부)으로부터 분리한 후 딸기에 병원성이 확인된 7개 균주를 실험에 이용하였다(Nam 등, 2005). 이들 균주의 치사온도와 치사율을 조사하기 위해 potato dextrose agar(PDA; Difco, USA) 배지에 치상 후 28, 35, 40, 45, 50°C의 인큐베이터에서 1, 3, 5, 7일 동안 배양 후 꺼내어 28°C 압 조건에서 2일간 배양하여 균사생장율을 조사하였다. 균사생장 억제율(%)은 (1-온도별 배지에서의 균총 직경/28°C배지에서의 균총 직경)×100의 공식에 의해 계산하였다(Park 등, 2002). 실험은 처리 당 4반복으로 실시하였으며 시들음병균에 대한 온도의 억제활성은 Microsoft Excel의 EXP함수를 이용하여 LT₉₀과 LT₁₀₀을 기초로 분석하였다.

태양열 소독. 여름철 딸기 재배포장 비닐하우스의 태양열 소독효과 증진을 위해 2006년과 2008년 2년에 걸쳐

시험을 수행하였다. 태양열 소독은 비닐하우스 내에 유기물 처리구[밭사랑비료(돈분뇨 50%, 톱밥 50%), 제일비료; 3톤/10a], 유기물[밭사랑비료(돈분뇨 50%, 톱밥 50%), 제일비료; 3톤/10a]+석회질소[입상석회질소, 20(질소)-55(석회)-55(시아나미드), 조비㈜; 60 kg/300평] 처리구, 요소[질소 46% 이상, 삼성정밀화학㈜; 2 kg/300평] 처리구, 태양열단독 처리구의 4처리로 처리구와 처리구 사이는 3.0 m²의 buffer구를 두었으며 대조구로 태양열 무처리구를 설정하였다. 처리구당 면적은 40 m²의 단구제로 실시하였다. 태양열 소독은 2006년은 7월 20일부터 8월 23일, 2008년은 7월 25일부터 8월 23일까지 실시하였다. 태양열 소독을 하기 전 이병토를 만들기 위해 딸기 시들음병균 Fo79 균주를 MM 배지(Correll 등, 1987)에서 28°C, 180 rpm으로 7일간 진탕 배양하여 포자현탁액(1×10⁵ 포자/ml)을 만들었다. 포자현탁액은 소형분무기로 토양에 분무접종(20 // 40 m²)한 후 토양을 경운하였다. 경운 후 토양에 분수호스를 깔고 축축하게 관수한 다음 비닐을 덮고 하우스를 밀폐하여 태양열 소독을 실시하였다. 처리구간 지중 온도 측정은 각 처리구의 지중 10 cm 깊이에 지온센서를 연결한 후 비닐하우스 외부에 설치된 데이터로거(WatchDog model 2000, Spectrum Tech. Inc., USA)로 데이터를 수집하였으며 바로 옆에 있는 비닐하우스 내부의 온도와 노지 재배포장의 온도도 동일한 방법으로 수집하였다.

토양의 화학성 및 시들음병균 밀도 조사. 태양열 소독 처리 전과 후의 토양 이화학성 조사를 위해 처리구별 3 지점에서 표면을 모종삽으로 걷어내고 5 cm 깊이까지의 토양을 채취하였다. 채취한 토양의 화학성은 토양이화학 분석기준(농촌진흥청)에 따라 유기물, pH, K, Ca, Mg을 조사하였다. pH는 토양과 증류수를 1:5로 희석하여 pH meter로 측정하였고, 토양유기물은 Tyurin법, 치환성양이온은 1N-NH₄OAc(pH7.0) 법으로 유도결합 플라즈마 분광 분석기(Inductively Coupled Plasma)를 이용하여 측정하였다. 처리 전과 후 토양내의 시들음병균 밀도는 토양 이화학 분석을 위해 채취한 토양 1g에 대한 균총수를 선택배지인 peptone PCNB 배지(Nash와 Snyder, 1962)를 이용하여 조사하였다.

딸기 시들음병 방제효과. 태양열 소독이 끝난 후 2006년 '금향'과 2008년 '설향' 품종의 조직배양묘로 증식한 자묘를 처리구에 정식하여 시들음병 이병주율을 조사하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 면적은 처리 당 40 m²로 하였다. 처리간 비교는 CoStat 통계 프로그램(CoHort software, Berkeley, CA)을 이용해 non-parametric 방법을 이용하여 Kruskal-Wallis test 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

딸기 시들음병균의 온도에 대한 민감도 조사. 딸기에 서 분리한 *F. oxysporum* f. sp. *fragariae* 7개 균주의 치사 시간을 조사한 결과 45°C에서 50% 치사는 1일, 100% 치사는 6.6일이 소요되었으며 50°C에서의 50% 치사는 0.1일, 100% 치사는 5.1일이 소요되는 것으로 조사되었다

Table 1. Lethal days for *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* isolates by temperature treated

Temperature	LD ₅₀ ^a (days)	LD ₁₀₀ ^a (days)
50°C	0.1 days	5.1 days
45°C	1.0 days	6.6 days

^aDays to lead 50 and 100 percent lethality.

Table 2. Lethal temperatures for *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* isolates

Isolate	LT ₉₀ ^a	LT ₁₀₀ ^a
FO77	40.0	46.5
FO79	40.3	46.5
FO81	42.3	46.6
FO83	38.9	46.6
FO071201	37.9	46.8
FO080704	40.7	47.0
FO091202	41.4	46.5
Average	40.2±0.6	46.7±0.1

^aTemperature for 90 and 100% mortality.

Table 3. Chemical properties of soil before and after solarization alone and combination

Treatment	Year	Timing	pH (1:5) ^a	OM (%)	Ex. Cations (cmol+/kg)		
					K	Ca	Mg
Solarization+organic matter (OM)	2006	Before	6.9	21	0.14	5.6	1.7
		After	7.2	30	0.24	6.7	2.2
	2008	Before	4.8	16	0.81	5.8	3.9
		After	5.5	19	0.68	3.8	2.9
Solarization+OM+calcium cyanamide	2006	Before	6.7	18	0.16	5.7	1.9
		After	7.8	24	0.23	9.4	0.8
	2008	Before	5.0	11	0.61	4.5	2.3
		After	5.6	16	0.62	4.5	2.6
Solarization+urea	2006	Before	7.1	23	0.19	6.0	2.0
		After	7.2	9	0.10	5.9	1.4
	2008	Before	5.0	13	0.70	4.5	2.9
		After	5.1	15	0.70	4.5	3.4
Solarization	2006	-	6.4	13	0.11	5.8	1.7
	2008	-	5.8	22	0.81	5.6	3.1

^aSoil dilution.

(Table 1). 또한 딸기 시들음병균 7개 균주의 90% 치사를 일으키는 평균온도는 40.2±0.6°C이었고 100% 치사는 46.7±0.1°C로 조사되었다(Table 2). *Verticillium dahliae*, *Pythium ultimum*, *Thielaviopsis basicola*, *Rhizoctonia solani*에 대한 agar 배지 상에서 열처리에 의한 치사온도와 시간은 균주에 따라 다르지만 LD₉₀에 도달하는 시간이 50°C에서 23, 27, 33, 68분이었다고 보고하였는데 (Pullman 등, 1981) 본 시험에 사용된 *F. oxysporum* f. sp. *fragariae*의 경우는 50°C에서 100% 치사시간이 5.1일로 이전에 보고된 다른 균보다는 치사시간이 길게 조사되었다. 따라서 이러한 결과는 재배포장에서 딸기 시들음병 방제를 위한 태양열소독을 실시할 경우 처리시간과 온도에 대한 유용한 정보를 제공할 것이다.

태양열 소독방법별 토양의 화학적 특성 및 지온변화.

태양열 소독효과를 증진하기 위한 방법으로 태양열 소독과 함께 유기물, 석회질소, 요소를 각각 병행 처리한 결과, 유기물 처리구는 처리전보다 유기물 함량이 증가하였고, 석회질소 처리구는 pH, 유기물, 칼슘 함량이 증가하였으나 요소 처리구는 큰 변화가 없었다(Table 3).

태양열 소독 무처리구의 대기 온도는 최고 35.6°C인 반면 태양열 소독시 지온은 처리간에 차이를 나타냈으며 토양 깊이 10 cm에서 7월 30일부터 8월 10일까지 가장 높은 지온(48.4~54.8°C)을 보였는데 유기물+석회질소 처리구가 다른 처리구보다 평균온도가 3~4°C 높게 유지되었고 유기물 처리구와 요소 처리구에서도 태양열 단독 처리보다 1~3°C 높게 나타났다(Table 4). 47°C 이상의 시

Table 4. Average and high temperature at 10-cm soil depth in solarization and non-solarization plots at the Nonsan Strawberry Experiment Station in 2008

Treatment	Average Temp. (°C)	High Temp. (°C)	Hours > 47°C
Solarization+organic matter (OM)	38.6	49.7	29
Solarization+OM+calcium cyanamide	40.5	54.8	111
Solarization+urea	39.1	51.5	51
Solarization	38.3	48.4	11
Plastic house	32.4	39.2	0
Atmosphere	26.8	35.6	0

Table 5. Effects of soil solarization on the soil population of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*

Treatment	Propagules of <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>fragariae</i> ($\times 10^5$ CFU)/g soil			
	2006		2008	
	Before	After	Before	After
Solarization+organic matter (OM)	7.7	0	3.5	0
Solarization+OM+calcium cyanamide	3.7	0	4.0	0
Solarization+urea	5.3	0	4.5	0
Solarization	9.0	0	4.0	0
Control	9.3	9.0	4.0	3.5

간은 유기물+석회질소 처리구가 111시간으로 가장 길게 나타났고 다음으로 요소 처리구와 유기물 처리구 순이었다. 딸기 시들음병균에 대한 *in vitro*상에서 100% 치사온도인 46.7°C 이상의 시간은 태양열 소독 모든 처리에서 11시간 이상 측정되어 7월 하순부터 8월 하순까지 1달 정도의 태양열 소독은 Table 1의 결과를 고려할 때 시들음병균을 치사시키기 충분한 온도 및 시간이 되었다. 일본의 딸기 재배포장에서는 45°C에서 6일, 50°C에서 2일, 55°C에서 12시간이면 딸기 시들음병균이 사멸한다고 보고한 결과와도 일치하였다(Kodama와 Fukui, 1982a,b). 특히 유기물+석회질소 처리구에서 다른 처리구보다 지온이 상승한 원인은 유기물과 석회질소에 의한 온도상승이 주요 원인이라고 사료된다. 기존의 보고에 따르면 오이 시들음병 발생은 석회질소+유기물을 처리하고 태양열 소독을 6주동안 실시하면 석회질소 단독 처리보다 6.4% 감소한다고 했지만(Bourbos 등, 1997), 선인장 시들음병의 경우는 처리간 방제효과에 차이가 없다고 하였다(Choi 등, 2007).

석회질소는 *F. oxysporum*에 의해 발생하는 병해를 감소시킨다고 알려져 있으며 주로 살충과 선충 방제효과가 있고 특히 토양에 잔류가 없으며 질소와 칼슘으로 분해되어 안전하다고 한다(Royal Society of Chemistry, 1984). 또한 석회질소는 수화반응에 의해 반응열을 발생시키는데 생석회 100 g으로 1 l의 물을 27.8°C 올릴 수 있다고 하며 (주식회사 조비 개인교신) 이런 반응에 의해 석회질소

Table 6. Rate of Fusarium wilt incidence caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* according to different treatment

Treatment	2006	2008
Solarization+organic matter (OM)	0 a ^z	0 a
Solarization+OM+calcium cyanamide	0 a	0 a
Solarization+urea	0 a	0 a
Solarization	0 a	0 a
Control	20.0 b	13.3 b

^zWithin a column, the same letters do not differ significantly based on the non-parametric Kruskal-Wallis's test (p=0.05).

가 지온을 상승시키는 효과를 가져온다고 볼 수 있다. 따라서 유기물+석회질소를 처리 후 태양열 소독방법은 짧은 시간내 태양열 소독을 할 수 있는 유용한 방법이 될 수 있으며 토양의 산도 보정에도 효과적이라 사료된다. 그러나 pH 상승효과를 고려할 때 처리전 토양의 pH가 높은 토양의 경우에는 사용을 피해야 하겠다.

딸기 시들음병 방제효과. 토양내 시들음병균의 밀도는 각 태양열 소독 처리구 모두에서 시들음병균이 검출되지 않았다(Table 5). 2006년과 2008년 포장시험에서도 각 태양열 소독처리 후 시들음병 이병주율 조사에서 무처리는 2006년 20%, 2008년 13.3%의 시들음병 발병율을 나타낸 반면 태양열 소독 처리구 모두에서는 시들음병 발생이 없었으며 처리간의 유의성도 나타나지 않았다(Table 6). Katan 등(1976)은 비닐멀칭에 의한 태양열 소독을 실시할 경우 *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*는 지하 5 cm, 15 cm, 25 cm

에서 각각 94~100%, 68~100, 54~63%까지 감소하며 *Verticillium* wilt도 25~95%까지 방제효과를 보인다고 보고하였다. 또한 Tamietti와 Valentino(2006)는 5 cm 깊이에서 97~99.7%의 방제효과를 나타내었는데 본 연구에서도 태양열 소독을 실시할 경우 딸기 시들음병 방제에 효과적이었으며 태양열 소독 시 유기물, 요소, 석회질소 병행 처리는 병 방제 외에 토양의 화학적 환경의 변화를 일으켜 수량이나 환경의 변화를 줄 수 있으므로 추후 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

유기물, 석회질소, 요소 병행처리가 딸기 시들음병의 친환경적 방제인 태양열소독의 효과 증진여부를 밝히고자 논산딸기시험장의 비닐하우스에서 2006년과 2008년에 분석하였다. 딸기에서 분리한 *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* 7개 균주의 100% 치사시간은 45°C에서 6.6일, 50°C에서는 5.1일이 소요되었고 100% 치사온도는 46.7±0.1°C로 나타났다. 태양열 소독에 의해 유기물 처리구는 처리전보다 토양내 유기물 함량이 증가하였고, 석회질소 처리구는 산도, 유기물, 칼슘 함량이 증가하였으나 요소 처리구는 차이가 없었다. 태양열 소독시 지온은 처리간에 차이를 나타냈으며 7월 30일부터 8월 10일까지가 가장 높았고(48.4~54.8°C) 유기물+석회질소 처리구가 다른 처리구보다 3~4°C 높게 유지되었다. 또한 토양내 시들음병균은 각 처리구 모두에서 사멸되었다. 시들음병 이병주율은 무처리는 2006년 20%, 2008년 13.3%의 발병율을 나타낸 반면 태양열 소독 처리구 모두에서는 시들음병 발생이 없었으며 처리간 유의성이 있었다. 따라서 딸기 시들음병 방제를 위한 유기물+석회질소를 병행한 태양열 소독 방법은 기존의 태양열소독방법을 보완하여 처리기간을 줄이면서도 효과적인 방법이 될 것이다.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ0066752010)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

참고문헌

- Bourbos, V. A., Skoudridakis, M. T., Darakis, G. A. and Koulizakis, M. 1997. Calcium cyanamide and soil solarization for the control of *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* in greenhouse cucumber. *Crop Prot.* 16: 383-386.
- Chellemi, D. O., Olson, S. M., Mitchell, D. J., Secker, L. and McSorley, R. 1997. Adaptation of soil solarization to the integrated management of soilborne pests of tomato under humid conditions. *Phytopathology* 87: 250-258.
- Cho, C. T. and Moon, B. J. 1984. Studies on the wilt of strawberry caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* in Korea. *Korean J. Plant Prot.* 23: 74-81.
- Choi, H. W., Chung, I. M., Sin, M. H., Kim, Y. S., Sim, J. B., Kim, J. W., Kim, K. D. and Chun, S. C. 2007. The effect of spent mushroom sawdust compost mixes, calcium cyanamide and solarization on basal stem rot of the cactus *Hylocereus trigonus* caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Prot.* 26: 162-168.
- Correll, J. C., Klittich, C. J. R. and Leslie, J. F. 1987. Nitrate nonutilizing mutants of *Fusarium oxysporum* and their use in vegetative compatibility tests. *Phytopathology* 77: 1640-1646.
- De Cal, A., Martinez-Treceno, A., Lopez-Aranda, J. M. and Melgarejo, P. 2004. Chemical alternatives to methyl bromide in Spanish strawberry nurseries. *Plant Dis.* 88: 210-214.
- Ishikawa, R., Shirouzu, K., Nakashita, H., Lee, H. Y., Motoyama, T., Yamaguchi, I., Teraoka, T. and Arie, T. 2005. Foliar spray of validamycin A or validoxylamine A controls tomato *Fusarium* wilt. *Phytopathology* 95: 1209-1216.
- Katan, J., Greenberger, A., Alon, H. and Grinstein, A. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66: 683-688.
- Komada, T. and Fukui, T. 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 Fukui, T. 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.
- Lodha, S. 1995. Soil solarization, summer irrigation and amendments for the control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cumini* and *Macrophomina phaseolina* in arid soils. *Crop Prot.* 14: 215-219.
- Nam, M. H., Jung, S. K., Kim, N. G., Yoo, S. J. and Kim, H. G. 2005. Resistance analysis of cultivars and occurrence survey of *Fusarium* wilt on strawberry. *Res. Plant Dis.* 11: 35-38.
- Nam, M. H., Nam, Y. G., Kim, T. I., Kim, H. S., Jang, W. S., Lee, W. K., Lee, I. H., Kang, H. K., Park, Y. J., Choi, J. M. and Whang, K. S. 2009a. Compendium of strawberry diseases and pests. Chungnam strawberry association. 204 pp.
- Nam, M. H., Park, M. D., Kim, H. G. and Yoo, S. J. 2009b. Biological control of strawberry *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* using *Bacillus velezensis* BS87 and RK1 formulation. *J. Microbiol. and Biotech.* 19: 520-524.
- Nash, S. N. and Snyder, W. C. 1962. Quantitative estimations by plate counts of propagules of the bean rot *Fusarium* in field

- soil. *Phytopathology* 73: 458-462.
- Park, S. W., Kim, J. T., Kim, J. J. and Kim, H. T. 2002. Sensitivity of *Colletotrichum* spp. isolated from red-pepper to sterol biosynthesis inhibiting-fungicides and their field fitness. *Res. Plant Dis.* 8: 239-244.
- Pinkerton, J. N., Ivors, K. L., Reeser, P. W., Bristow, P. R. and Windom, G. E. 2002. The use of soil solarization for the management of soilborne plant pathogens in strawberry and red raspberry production. *Plant Dis.* 86: 645-651.
- Pullman, G. S., DeVay, J. E. and Garber, R. H. 1981. Soil solarization and thermal death: A logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne plant pathogens. *Phytopathology* 71: 959-964.
- Royal Society of Chemistry. 1984. The Agrochemical Handbook. Unwin Brothers, Surrey, UK.
- Shaw, D. V. and Larson, K. D. 1999. A meta-analysis of strawberry yield response to preplant soil fumigation with combinations of methyl bromide-chloropicrin and four alternative systems. *HortScience* 34: 839-845.
- Stapleton, J. J. 2000. Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Prot.* 19: 837-841.
- Tamietti, G. and Valentino, D. 2006. Soil solarization as an ecological method for the control of *Fusarium* wilt of melon in Italy. *Crop Prot.* 25: 389-397.
- Winks, B. L. and Williams, Y. N. 1965. A wilt of strawberry caused by a new form of *Fusarium oxysporum*. *Queensland J. Agric. Animal Sci.* 22: 475-479.
- Yuen, G. Y., Schroth, M. N., Weinhold, A. R. and Hancock, J. G. 1991. Effects of soil fumigation with methyl bromide and chloropicrin on root health and yield of strawberry. *Plant Dis.* 75: 416-420.