

# 딸기 수경재배에서 베드 피복유무에 따른 시들음병과 점박이응애 발생 양상

## Occurrence of Fusarium wilt and Twospotted Spider Mite under Plastic Mulched and Non-Plastic Mulched Bed in Hydroponic Culture of Strawberry

### \*Co-corresponding authors

M. H. Nam  
Tel: +82-41-635-6348  
Fax: +82-41-635-7931  
E-mail: namtel7@korea.kr  
S.-K. Oh  
Tel: +82-42-821-5762  
Fax: +82-42-823-8679  
E-mail: sangkeun@cnu.ac.kr  
ORCID  
<https://orcid.org/0000-0002-6538-9200>

남명현<sup>1\*</sup> · 김현숙<sup>1</sup> · 김태일<sup>1</sup> · 오상근<sup>2\*</sup>

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

Myeong Hyeon Nam<sup>1\*</sup>, Hyun Sok Kim<sup>1</sup>, Tae Il Kim<sup>1</sup>, and Sang-Keun Oh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Nonsan Strawberry Experiment Station, Fruit Vegetable Research Institute, Chungnam ARES, Nonsan 32914, Korea

<sup>2</sup>Department of Applied Biology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Received September 21, 2018  
Revised October 23, 2018  
Accepted October 23, 2018

Hydroponic strawberry culture system is increasing annually. Most of strawberry farmers use mulched bed in hydroponic culture and strawberry plants were transplanted in early September. After transplanting, Fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* and twospotted spider mite (TSSM), *Tetranychus urticae*, can increase their occurrence under high temperature condition. Therefore, we conducted for comparison occurrence of Fusarium wilt and TSSM on mulched with green polyethylene film and non-mulched bed. Occurrence of Fusarium wilt on mulched bed was started from early October and more increase than non-mulched bed. Damage rate of TSSM on mulched bed was shown higher than non-mulched bed. Temperature of substrate in mulched bed increased than non-mulched bed, but relative humidity near plants was decreased. As a result, use of non-mulched bed should be effective for reducing of Fusarium wilt and TSSM on strawberry plants.

**Keywords:** Disease index, *Fragaria x ananassa*, Non-mulched bed

## 서 론

국내 딸기 수경재배 면적은 2011년 244 ha에서 2017년 1,576 ha로 급속한 증가추세에 있다(KREI, 2018). 딸기 수경재배는 토경재배보다 단위면적당 수량은 증가하지만(Albaho 등, 2008;

Paraskevopoulou-Paroussi 등, 1995), 생리장해, 새로운 병해충 발생 등 새로운 재배상 문제점 등이 발생되고 있다(Jun 등, 2006; Lee 등, 2017; Nam 등, 2016). 특히 시들음병과 작은뿌리파리 발생이 딸기 수경재배에서 뚜렷이 증가하는 경향을 보인다(Nam 등, 2017). 딸기 수경재배는 고설 방식으로 토경재배보다 상토 내 온도는 여름철 육묘기에는 높고, 겨울철에는 낮은 특성이 있다(Albaho 등, 2008). 따라서 겨울철 베드 내 온도를 높이기 위해 딸기묘는 정식 전 녹색이나 흑백 PE (polyethylene) 필름으로 베드를 멀칭 후 정식한다. 베드를 멀칭한 딸기

### Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191  
[www.online-rpd.org](http://www.online-rpd.org)

수경재배는 겨울철 온도관리가 용이하지만 딸기묘 정식 후인 9-10월에는 베드 내 온도가 높아 시들음병 발생에 불리한 조건이 될 수 있다.

국내 딸기에 발생하는 시들음병은 *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*에 의해 발생되며(Kim 등, 1982), 시들음병균은 온도에 따라 병 발달에 미치는 영향이 크다(Fang 등, 2011). Sugar beet에 발생하는 시들음병균 *F. oxysporum* f. sp. *radices-betae*는 *in vitro* 상에서 균사 생육과 greenhouse에서의 발병율은 30°C에서 높은 결과를 보였다(Harveson과 Rush, 1998). 반면 *F. oxysporum* f. sp. *radices-cucumerinum*과 *F. hostae*는 17°C와 18°C에서 높은 발병을 보여 병원균에 따라 발병 적온의 차이를 보인다(Vakalounakis, 1996; Wang과 Jeffers, 2002).

딸기에 발생하는 점박이응애(*Tetranychus urticae*)는 미국, 한국, 일본, 유럽 등 딸기재배지역에서 문제가 되는 해충이다(Nyoike과 Liburd, 2013). 점박이응애의 산란은 온도와 습도의 영향을 받는다(Carey와 Bradley, 1982; Ferro와 Chapman, 1979). 점박이응애의 생식과 발달은 30°C에서 상대습도가 85-95%보다 25-30%에서 높은 경향을 보였으며(Nickel, 1960) 높은 습도는 오이 재배하우스에서 점박이응애를 억제할 수 있다고 하였다(Duso 등, 2004).

따라서 본 연구에서는 딸기 시들음병균의 온도에 대한 반응과 수경재배에서 베드 피복유무가 시들음병과 점박이응애 발생에 미치는 영향을 조사하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

**식물체와 배양액.** 딸기 수경재배 포장에서 베드 비닐 피복 유무에 따른 시들음병과 점박이응애의 발생양상 조사는 논산딸기시험장 재배포장에서 실시하였다. 시험품종은 설향으로 조직배양묘를 모주로 육묘한 자묘를 시험에 이용하였다. 딸기 시들음병균 접종은 Fo79균주를 MM배지(Correll 등, 1987)에서 28°C, 200 rpm으로 진탕배양 7일 후  $1 \times 10^6$  conidia/ml의 포자농도로 주당 50 ml씩 접종하여 이병주를 만들었다. 시험에 사용된 상토는 딸기전용상토(코코피트:피트모스:펠라이트=65:17:10, 푸르미, 서울바이오)를 이용하였다. 배양액은 육묘기에는 추비용 관주비료(N-P-K:30-10-10, 1000배, EC 0.63, 퍼티케어, (주)도프), 수확기에는 일본원시조성액으로 농가관행에 따라 EC와 pH를 조정하여 사용하였다(Chi 등, 1998).

**병원균과 온도별 균사생장을 조사.** 딸기 시들음병균의 온도별 균사생장을 조사하기 위해 Fo080701과 Fo160902균주를 시험에 이용하였다. Fo080701균주는 2008년 7월 강화군에서 레

드펄 품종의 관부에서 분리하였으며, Fo160902균주는 2016년 9월 부여군에서 설향 품종의 관부에서 분리하였다. 시험 균주의 온도별 균사 생장을 조사를 위해 시험 균주를 PDA배지(Potato dextrose agar, Difco, USA)에 접종하여 15, 20, 25, 30, 35°C의 배양기에서 일일 균사생장을 조사하였다.

**온도별 시들음병 이병을 조사.** 시험 균주의 온도별 시들음병 이병을 조사는 설향품종을 대상으로 15, 20, 25, 30, 35°C의 배양기에서 실시하였다. 각각의 온도조건에서 설향 품종을 균주 당 3주씩 위의 방법과 동일하게 접종하여 9일 후 이병지수를 조사하였다. 시들음병 이병지수는 0은 무병징, 1은 1-2엽이 휘어지고 신엽이 황화하며 하엽의 엽병이 적색을 띠며, 2는 모든 잎이 휘어지고 짙은 잎이 발생, 3은 잎이 황화되고 식물체의 반 이상이 시들 증상, 4는 식물체 전체가 시들, 5는 식물체 전체가 고사이다(Nam 등, 2005). 처리 온도별 지온은 수온온도계를 이용하여 상토 내 5 cm 깊이의 온도를 측정하였다.

**베드의 피복유무에 따른 시들음병과 점박이응애 발생 조사.** 수경재배에서 베드의 비닐 피복은 녹색 PE필름(0.03 mm)을 이용하였으며 필름을 피복하지 않은 베드와 구분하여 논산딸기시험장 수경재배 비닐하우스와 유리온실에서 시험을 실시하였다. 육묘기 시험은 딸기 자묘의 뿌리를 시들음병균으로 접종 후 처리당 9주씩 3반복으로 1차 시험은 4월 27일, 2차 시험은 5월 20일에 각각 녹색 PE필름이 피복된 플라워박스과 무피복된 플라워박스에 정식하여 시들음병 이병지수를 위의 방법으로 조사하였다.

정식기 시험은 딸기 수경재배 유리온실에서 1차와 2차 시험으로 2회 수행하였으며 각각 처리당 112주와 150주를 2015년 9월 13일과 2016년 9월 8일에 완전임의배치 4반복과 3반복으로 베드에 녹색 PE필름을 피복한 처리와 피복하지 않는 처리구에 정식하였다. 시들음병균을 접종한 이병주는 처리구당 2주씩 중간에 정식하였으며, 양액은 점적호스를 이용하여 정식 2주 후부터 관주하였다. 2차 시험에서 미피복 처리구는 2017년 1월 5일부터 3월 21일까지 딸기 포기 사이를 PE필름으로 멀칭하였다. 베드 비닐피복과 무피복처리구별 출퇴출, 평균과중, 총수량, 상품과율, 기형과율, 경도, 당도 등도 조사하였다. 처리구별 시들음병 이병주율과 점박이응애의 피해주율로 조사하였다.

시험포장의 기상환경은 식물체 주변의 온도, 습도, 지온센서(10 cm)가 부착된 WatchDog model 450 데이터로거(Spectrum Technologies, USA)을 이용하여 수집하였다. 처리간 비교는 CoStrat 통계프로그램(CoHort software, Berkeley, CA, USA)을

이용하여 t test ( $P < 0.05$ ) 분석으로 실시하였다.

### 결 과

**시들음병균의 온도별 균사 성장율과 이병율.** 딸기 시들음병균 Fo080701균주의 균사 성장율은 30°C에서 가장 높은 반면, Fo160902균주는 25°C에서 가장 높았다(Fig. 1A). 딸기 시들음병균의 온도별 이병율은 온도가 높을수록 증가했으며 두 균주 모두 30°C에서 가장 높은 이병지수를 보였다(Fig. 1B). 각각의 처리온도와 지온의 온도 차이는 처리온도가 높아질수록 0.3–4.3°C까지 낮아졌으며 시들음병 이병율이 가장 높은 30°C의 지온은 28.4°C를 보였다.

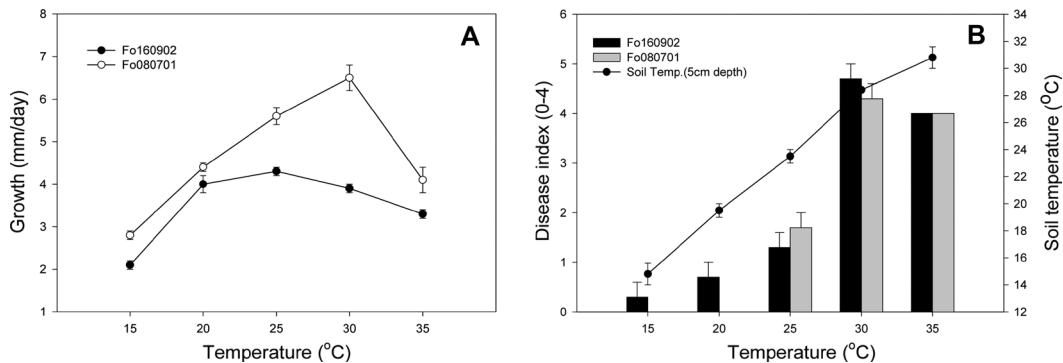
**베드의 피복유무에 따른 시들음병과 점박이응애 발생 감소 효과.** 딸기 육묘포장에서 베드의 녹색 PE필름 피복 유무에 따른 시들음병 이병지수는 조사한 결과, 1, 2차 시험 모두 녹색 PE필름 피복은 무피복처리에 비해 시들음병 이병지수가 높았다(Fig. 2). 정식포장에서도 시들음병 이병율은 1, 2차 시험 모

두 녹색 PE필름 피복처리가 무피복 처리보다 높았다(Fig. 3). 점박이응애 발생율도 녹색 PE필름 피복처리가 무피복보다 증가하는 경향을 보였다(Table 1). 정식기 1차 시험에서 녹색 PE필름 피복 유무별 기상환경은 정식 후부터 11월 중순까지 녹색 PE필름 피복처리가 무피복보다 평균온도는 0.3°C 높았고, 상대습도는 9% 낮았으며, 지온은 2.2°C 높았다(Fig. 4). 정식기 2차 시험에서도 녹색 PE필름 피복처리가 무피복보다 평균온도는 1°C 높았고, 상대습도는 21.6% 낮았으며, 지온은 1.5°C 높은 경향

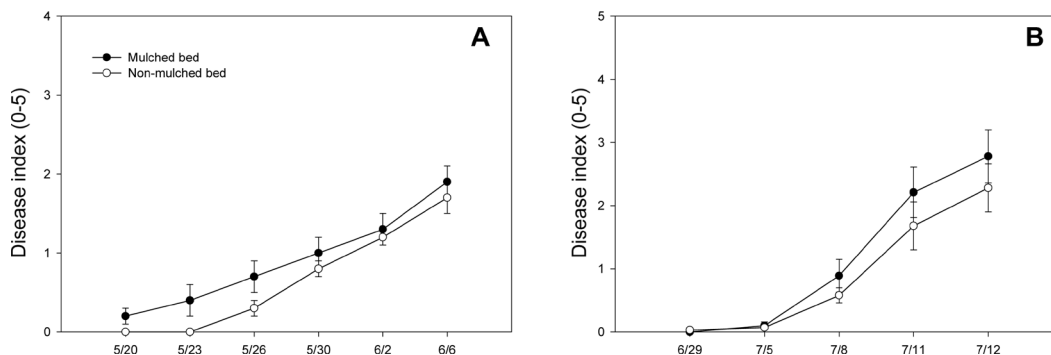
**Table 1.** Occurrence of two spotted spider mite under green polyethylene film mulched and non-mulched bed in strawberry hydroponic culture

Treatment	1 <sup>st</sup> trial		2 <sup>nd</sup> trial
	Nov. 20	Nov. 30	Dec. 21
Green PE film mulched bed	19.6 a <sup>2</sup>	26.8 a	7.5 a
Non-mulched bed	9.8 b	11.6 b	2.1 ab

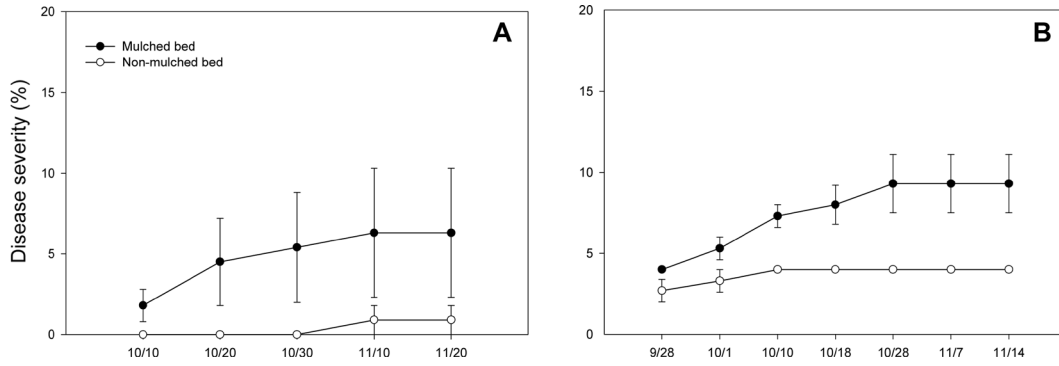
<sup>2</sup>Means within a column followed by the same letter are not significantly different by t test ( $P < 0.05$ ).



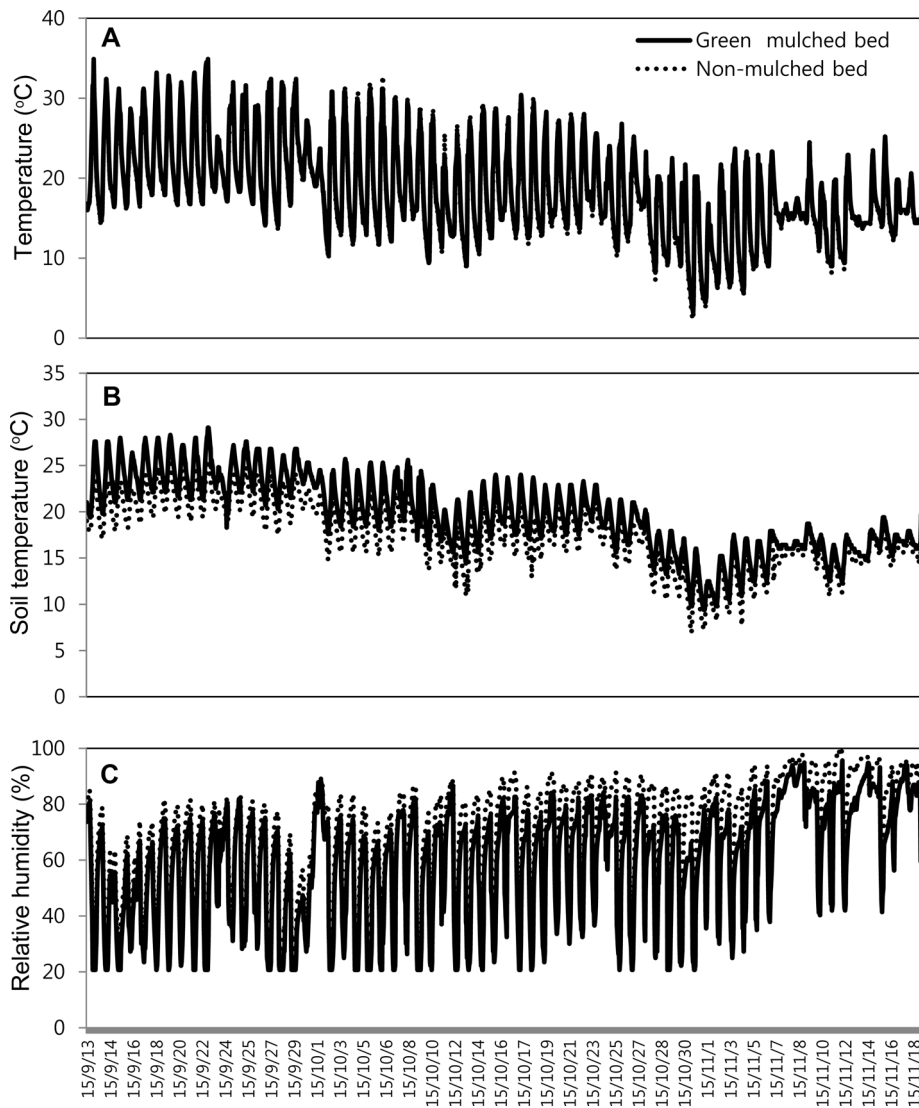
**Fig. 1.** Mycelial growth (A) on PDA, and disease index and soil temperature (B) of two isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* at incubated at one of five constant temperatures. The error bars represent the standard error of the means.



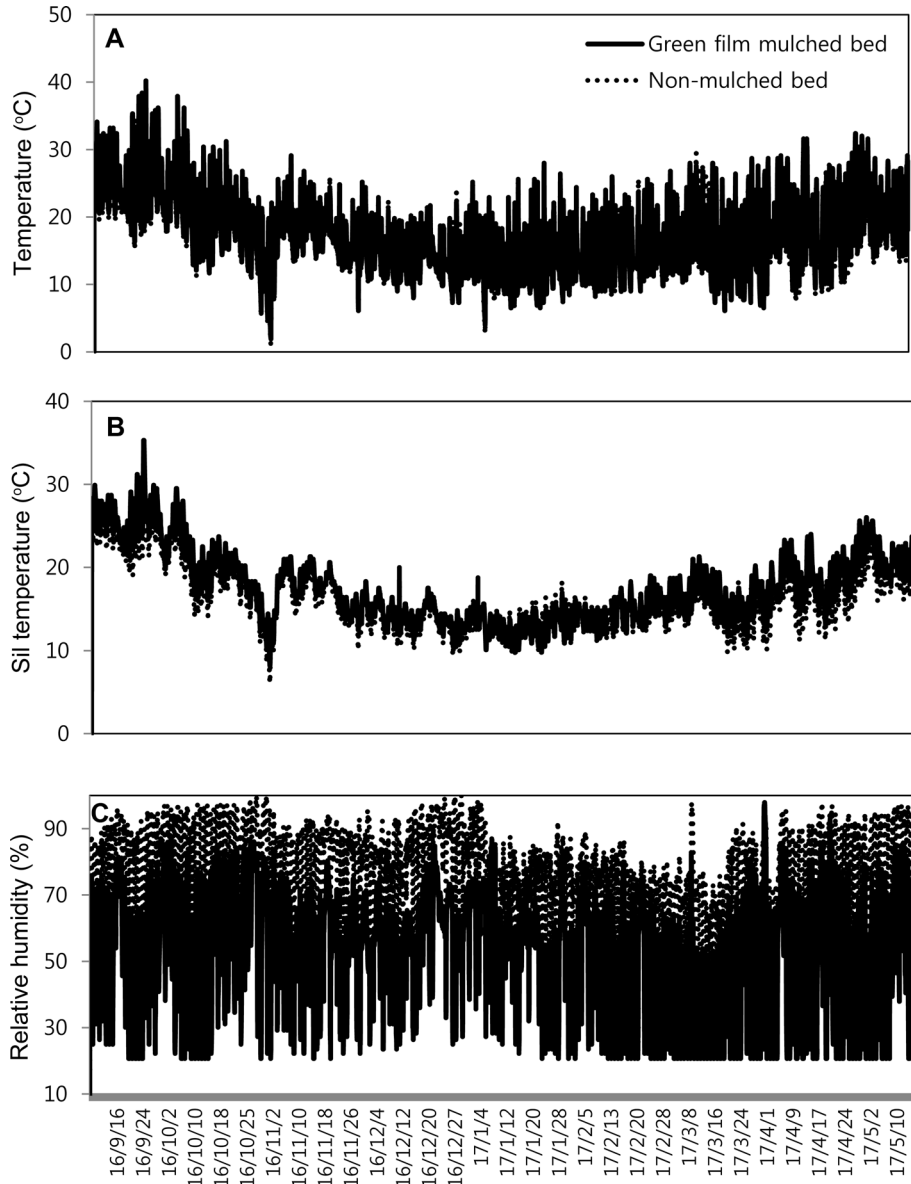
**Fig. 2.** Disease index of *Fusarium* wilt under green polyethylene film mulched and non-mulched bed in strawberry hydroponic culture during nursery season in 1<sup>st</sup> trial (A) and 2<sup>nd</sup> trial (B). The error bars represent the standard error of the means.



**Fig. 3.** Severity of Fusarium wilt under green polyethylene film mulched and non-mulched bed in strawberry hydroponic culture during harvesting season in 1<sup>st</sup> trial (A) and 2<sup>nd</sup> trial (B). The error bars represent the standard error of the means.



**Fig. 4.** Average temperature (A), average soil temperature (B), and relative humidity (C) under green polyethylene film mulched and non-mulched bed in strawberry hydroponic culture during harvesting season in 1<sup>st</sup> trial.



**Fig. 5.** Average temperature (A), average soil temperature (B), and relative humidity (C) under green polyethylene film mulched and non-mulched bed in strawberry hydroponic culture during harvesting season in 2<sup>nd</sup> trial.

**Table 2.** First bud shoot and yield on green polyethylene film mulched and non-mulched bed in strawberry hydroponic culture

Treatment	First Bud shoot rate <sup>z</sup>	Average fruit weight (g) <sup>y</sup>	Yield (kg/10a)	Marketable fruit rate	Deformed fruit rate
Green PE film mulched bed	13.2	18.3 a <sup>x</sup>	4,544 a	40.5 a	54.7 a
Non-mulched bed	5.6	18.6 a	4,508 a	38.2 a	50.7 a

<sup>z</sup>Survey date : Oct 18.

<sup>y</sup>Survey date : Nov. 21–May 10.

<sup>x</sup>Means within a column followed by the same letter are not significantly different by t test ( $P < 0.05$ ).

을 보였다(Fig. 5). 특히 시들음병 발생시기인 정식 후 10월 20일 까지 녹색 PE필름 피복처리의 지온은 22.2–24°C로 무피복처리 19.6–22.1°C보다 1.8–2.5°C 높았다. 정식기 2차 시험에서 베드

무피복 처리구에 1월부터 3월 중순까지 부분 멀칭을 할 경우 베드 완전 멀칭보다 온도는 0.3°C, 지온은 0.4°C 낮아 온도에서 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 5).



**수경재배 베드 멀칭 유무별 생육 특성조사.** 베드의 녹색 PE 필름 멀칭 유무 별 생육특성 조사에서 출퇴율은 녹색 PE 필름이 무멀칭보다 빠른 경향을 보였으나 평균과중, 수량, 상품수량, 기형과율은 처리간 차이가 없었다(Table 2). 또한 녹색 PE 필름 멀칭 유무별 경도, 당도, 산도, 당산비도 처리간 차이를 볼 수 없었다(자료 미 제시).

## 고 찰

국내 딸기에 발생하는 시들음병균은 25–30°C에서 균사생육이 가장 좋았으며, 시들음병 이병율도 30°C에서 가장 높은 결과를 보였다. *F. oxysporum* f. sp. *lactucae*에 의한 시들음병은 봄, 여름, 가을에 정식할 경우 발생하지만 겨울에는 발생되지 않아 시들음병 발달은 온도의 영향을 받는다고 하였다(Scott 등, 2010). 온도가 높을 수록 시들음병의 증상은 더 심해 진다는 사례는 chickpea (Bhatti와 Kraft, 1992), 메론(Punja 등, 2001), 바나나(Peng 등, 1999), 국화(Gardiner 등, 1987), sugar beet (Webb 등, 2015), 화훼작물(Gullino 등, 2015) 등 여러 작물에서 보고되었다. 특히 시금치 시들음병 발생에 온도가 미치는 영향은 감수성 품종, 중도감수성 품종 등에 따라 달라진다고 한다(Scott 등, 2010). 딸기에 발생하는 *F. oxysporum*은 따뜻한 조건에서 병원성이 높아지며 27°C에서 가장 높은 발생율을 보인다고 한다(Fang 등, 2011). 상토를 이용한 hostas 재배에서 *Fusarium* root과 crown rot을 일으키는 *F. hostae*는 18°C에서 가장 발병율이 높고 32°C에서는 감소하며(Wang과 Jeffers, 2002), 오이 시들음병균 *F. oxysporum* f. sp. *radices-cucumerinum*은 17°C, *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* race 1은 29°C에서 발병이 높아 병원균에 따라 적온의 차이를 보였다(Vakalounakis, 1996). 또한 Sugar beet에 발생하는 *F. oxysporum* f. sp. *betae*는 온도에 따라 분리균의 생육에 차이를 보였다(Webb 등, 2015). 국화에 발생하는 *F. oxysporum* f. sp. *chrysanthemi*는 최대 발병율을 보이는 온도가 품종에 따라 다르다고 하였다(Gardiner 등, 1987). 따라서 국내 발생하는 딸기 시들음병 발생은 고온에서 높은 경향을 보임으로 딸기 수경재배 시 시들음병 발생이 높은 9–10월에 냉수 파이프 등을 이용하여 베드 내 온도를 낮추는 방안도 추후 검토할 필요가 있다고 사료된다.

딸기에 발생하는 점박이응애는 토양의 습도가 낮을수록 발생이 높은 경향을 보인다(White와 Liburd, 2005). Shibuya 등(2016)은 오이의 경우 낮은 습도조건에서 수분손실을 보호하기 위한 반응으로 오이 잎의 trichome 밀도가 증가하여 점박이응애 암컷의 산란을 가속시킨다고 하였다. 본 결과에서도 수경재

배의 베드를 녹색 PE 필름으로 멀칭하지 않은 경우 상대습도가 높았으며 멀칭한 베드보다 점박이응애 발생도 낮아지는 경향을 보여 점박이응애 발생에 습도가 중요한 요인으로 작용할 것으로 사료된다.

딸기는 겨울철 재배되는데 낮은 근권 온도는 뿌리의 발육과 활력의 저하를 초래하여 양분 흡수 불량 및 생육 저하를 가져온다(Jun 등, 2008). 특히 아끼히메 품종은 뿌리 내 온도처리를 13°C 이하로 할 경우 지상부 생육은 저하되었으며 18°C 처리가 이차근 발생, 뿌리와 지상부의 생체중 등이 가장 좋은 결과를 보였다. 또한 Park 등(2010)에 의하면 딸기 수경재배에서 베드를 멀칭 할 경우 무멀칭보다 베드 최하부의 지온은 2°C 낮아진다고 하였다. 따라서 겨울철 베드 내 온도 저하를 위해 딸기 포기과 포기 사이를 PE 필름으로 멀칭 할 경우 본 결과에서처럼 정식 전부터 베드 멀칭한 처리구와 비슷하게 평균 지온은 14.2°C로 부분 멀칭도 온도 저하를 막는데 효과적이라 사료된다. 반면 베드의 부분 멀칭이 이 시기에 재배하우스내 습도가 높은 환경조건에서 발생이 높은 잣빛곰팡이병에 미치는 영향이 어떤지에 대해 추후 검토가 있어야 할 것으로 보인다.

따라서 본 결과에서와 같이 딸기묘 정식 시 무멀칭 재배 후 12월–3월까지 딸기포기 사이의 녹색 PE 필름 멀칭 처리는 정식 전 멀칭 처리와 비교해 수량이나 상품과율에서 차이가 없어 딸기 수경재배에 적용할 경우 시들음병과 점박이응애 발생을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

## 요 약

딸기 수경재배시스템은 국내에서 매년 증가추세에 있다. 대부분의 딸기농가는 수경재배에서 베드를 멀칭하여 9월 초순 딸기묘를 정식한다. *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*에 의한 시들음병과 점박이응애 *Tetranychus urticae*는 정식 후 높은 온도조건에서 발생이 증가하는 경향이 있다. 따라서 베드 녹색 polyethylene(PE) 필름 멀칭과 무멀칭처리에서 시들음병과 점박이응애 발생을 비교하기 위해 시험을 실시하였다. 녹색 PE 필름 멀칭처리에서 시들음병 발생은 10월 초순부터 시작되었고 무멀칭처리보다 더 증가하였다. 녹색 PE 필름 멀칭 처리는 점박이응애의 피해율이 무멀칭처리보다 높았다. 녹색 PE 필름 멀칭처리의 상토내 온도는 무멀칭처리보다 증가했지만 대기내 상대습도는 감소하였다. 이런 결과로 딸기 수경재배에서 베드의 무멀칭처리는 시들음병과 점박이응애 발생을 낮추는 효과가 있다고 판단된다.

## Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## Acknowledgement

This research was supported by a grant (Project No. PJ01188604) from Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Albaho, M., Thomas, B. and Christopher, A. 2008. Evaluation of hydroponic techniques on growth and productivity of greenhouse grown bell pepper and strawberry. *Int. J. Veget. Sci.* 14: 23-40.
- Bhatti, M. A. and Kraft, J. M. 1992. Effects of inoculum density and temperature on root rot and wilt of chickpea. *Plant Dis.* 76: 50-54.
- Carey, J. R. and Bradley, J. W. 1982. Development rates, vital schedules, sex ratio, and life tables for *Tetranychus urticae*, *T. turkestanii* and *T. pacificus* (Acarina: *Tetranychidae*) on cotton. *Acarologia* 23: 333-345.
- Chi, S. H., Ann, K. B., Park, S. W. and Chang, J. I. 1998. Effect of ionic strength of nutrient solution on the growth and fruit yield in hydroponically grown strawberry plants. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39: 166-169. (In Korean)
- 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.
- Duso, C., Chiarini, F., Conte, L., Bonora, V., Dalla Montà, L. and Otto, S. 2004. Fogging can control *Tetranychus urticae* on greenhouse cucumbers. *J. Pest. Sci.* 77: 105-111.
- Fang, X., Phillips, D., Li, H., Sivasithamparam, K. and Barbeti, M. J. 2011. Comparisons of virulence of pathogens associated with crown and root diseases of strawberry in Western Australia with special reference to the effect of temperature. *Sci. Hortic.* 131: 39-48.
- Ferro, D. N. and Chapman, R. B. 1979. Effects of different constant humidities and temperatures on twospotted spider mite egg hatch. *Environ. Entomol.* 8: 701-705.
- Gardiner, D. C., Horst, R. K. and Nelson, P. E. 1987. Symptom enhancement of *Fusarium* wilt of chrysanthemum by high temperatures. *Plant Dis.* 71: 1106-1109.
- Gullino, M. L., Daughtrey, M. L., Garibaldi, A. and Elmer, W. H. 2015. *Fusarium* wilts of ornamental crops and their management. *Crop Prot.* 73: 50-59.
- Harveson, R. M. and Rush, C. M. 1998. Characterization of *Fusarium* root rot isolates from sugar beet by growth and virulence at different temperatures and irrigation regimes. *Plant Dis.* 82: 1039-1042.
- Jun, H. J., Hwang, J. G., Son, M. J., Choi, M. H. and Yoon, H. S. 2006. Effect of silicon on albinism of strawberry in elevated hydroponic system. *J. Bio-Environ. Control* 15: 322-326. (In Korean)
- Jun, H. J., Hwang, J. G., Son, M. J. and Choi, D. J. 2008. Effect of root zone temperature on root and shoot growth of strawberry. *J. Bio-Environ. Control.* 17: 14-19. (In Korean)
- Kim, C. H., Seo, H. D., Cho, W. D. and Kim, S. B. 1982. Studies on varietal resistance and chemical control to the wilt of strawberry caused by *Fusarium oxysporum*. *Korean J. Plant Prot.* 21: 61-67. (In Korean)
- KREI. 2018. Strawberry. In: *Agricultural outlook*. eds. by S. W. Kim, M. S. Park, Y. S. Shin, H. J. Kim and S. J. Yoon, pp. 579-584. KREI, Naju, Korea. (In Korean)
- Lee, H. S., Cheung, J. D. and Choi, J. M. 2017. Lowered substrate pH reduced the bicarbonate injury during vegetative growth of 'Ssanta' strawberry. *Protected Hort. Plant Fac.* 26: 115-122. (In Korean)
- 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. (In Korean)
- Nam, M. H., Park, M. S., Kim, H. S., Kim, T. I., Lee, E. M., Park, J. D. et al. 2016. First report of dieback caused by *Lasiodiplodia theobromae* in strawberry plants in Korea. *Mycobiology* 44: 319-324.
- Nam, M. H., Kim, H. S., Park, M. S., Kim, T. I., Lee, E. M. and Kim, H. G. 2017. Damage and potential of fungus gnat as a *Fusarium* vector in the strawberry plants in Korea. *Acta Hortic.* 1156: 857-862.
- Nickel, J. L. 1960. Temperature and humidity relationships of *Tetranychus desertorum* banks with special reference to distribution. *Hilgardia* 30: 41-100.
- Nyoike, T. W. and Liburd, O. E. 2013. Effect of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), on marketable yields of field-grown strawberries in North-central Florida. *J. Econ. Entomol.* 106: 1757-1766.
- Paraskevopoulou-Paroussi, G., Grafiadellis, M. and Paroussi, E. 1995. Precocity, plant productivity and fruit quality of strawberry plants grown in soil and soilless culture. *Acta Hortic.* 408: 109-118.
- Park, J. W., Ha, Y. S., Kim, K. D., Park, D. H., Lee, K. M., Jun, H. J. et al. 2010. Modeling of medium temperature drops of the elevated-bench hydroponics for strawberry cultivation during low temperature season. *Protected Hort. Plant Fac.* 19: 123-129. (In Korean)
- Peng, H. X., Sivasithamparam, K. and Turner, D. W. 1999. Chlamydo-spore germination and *Fusarium* wilt of banana plantlets in suppressive and conducive soils are affected by physical and chemical factors. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1363-1374.
- Punja, Z. K., Parker, M. and Elmhirst, J. F. 2001. *Fusarium* wilt of field-grown muskmelon in British Columbia. *Can. J. Plant Pathol.* 23: 403-410.
- Scott, J. C., Gordon, T. R., Shaw, D. V. and Koike, S. T. 2010. Effect of

- temperature on severity of Fusarium wilt of lettuce caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *Plant Dis.* 94: 13-17.
- Shibuya, T., Itagaki, K., Ueyama, S., Hirai, N. and Endo, R. 2016. Atmospheric humidity influences oviposition rate of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) through morphological responses of host *Cucumis sativus* leaves. *J. Econ. Entomol.* 109: 255-258.
- Vakalounakis, D. J. 1996. Root and stem rot of cucumber caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* f. sp. nov. *Plant Dis.* 80: 313-316.
- Wang, B. and Jeffers, S. N. 2002. Effects of cultural practices and temperature on Fusarium root and crown rot of container-grown hostas. *Plant Dis.* 86: 225-231.
- Webb, K. M., Brenner, T. and Jacobsen, B. J. 2015. Temperature effects on the interactions of sugar beet with Fusarium yellows caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *betae*. *Can. J. Plant Pathol.* 37: 353-362.
- White, J. C. and Liburd, O. E. 2005. Effects of soil moisture and temperature on reproduction and development of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) in strawberries. *J. Econ. Entomol.* 98: 154-158.