Journal of Bio-Environment Control, Vol. 31, No. 4:261-269, October (2022)
DOI https://doi.org/10.12791/KSBEC.2022.31.4.261

pISSN 1229-4675
eISSN 2765-3641

미세살수와 탄산칼슘 및 카올린 엽면살포가 온주밀감의 일소 발생과 과실 품질에 미치는 영향

좌재호[1]* · 강석범[1] · 박요섭[2] · 김미선[3] · 김하늘[4] · 오복심[4]

[1]농촌진흥청 국립원예특작과학원 감귤연구소 농업연구관, [2]농촌진흥청 국립원예특작과학원 감귤연구소 농업연구사, [3]농촌진흥청 국립원예특작과학원 감귤연구소 박사후 연구원, [4]농촌진흥청 국립원예특작과학원 감귤연구소 연구원

Effects of Water Microspraying, Foliar Application of Calcium Carbonate and Kaolin Solution on Sunburn and Quality of Fruits in Satusma Mandarin

Jae-Ho Joa[1]*, Seok-Beom Kang[1], Yo-Sup Park[2], Mi-Sun Kim[3], Ha-Neul Kim[4], and Bok-Shim Oh[4]

[1]*Senior Researcher, Citrus Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Jeju 63607, Korea*
[2]*Researcher, Citrus Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Jeju 63607, Korea*
[3]*Postdoctoral Researcher, Citrus Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Jeju 63607, Korea*
[4]*Assistant Researcher, Citrus Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Jeju 63607, Korea*

Abstract. This study was carried out to predict fruit surface temperature (FST) causing sunburn symptoms and assess the correlation between solar radiation and FST in satusma mandarin (*Citrus unshiu* Marc. 'Iwasaki'). And to reduce sunburn when ambient temperature was at 31°C, sprinkler system was repeated spraying every at 5 minutes of 30 minutes intervals and 1% calcium carbonate and 4% kaolin solution applied on citrus tree three times to investigate quality and sunburn of fruits. It showed highly significant positive correlation between FST and solar radiation (R = 0.788, $p < 0.01$), The FST increased up to 16°C than ambient temperature at daytime. To estimate FST, a linear model y = 0.099 × (air temperature) + 0.018 × (solar radiation) + 20.779 (R = 0.687, $p < 0.01$) was derived. The canopy temperature of citrus trees was 5.1°C lower in sprinkler system than in control. The incidence of sunburn showed at 2.1% in sprinkler system twice lower than in control and there was different significance. Fruit quality was similar between treatments. In conclusion, sunburn can be reduced by reflecting sunlight or downing of FST through sprinkler system.

Additional key words: fruit surface temperature, 'Iwasaki', soluble solids content, sprinkler system, sunscald

서 론

국내 감귤 재배면적의 75%는 노지 온주밀감으로(JSPCMSA, 2019), 노지 온주밀감의 과실은 7－9월에 집중적으로 비대하고 수확기인 11월까지 포도당을 집적하며 11월까지 기온, 햇빛, 강우 등 기상환경의 영향을 받는다(Han과 Gwon, 1993). 그러나 이 시기의 강한 일사에 의해 고온이 일정 기간 이상 지속되면 온주밀감 과실의 증산이 촉진되면서 과피가 황화되거나 갈색 혹은 흑색 부정형 괴사 반점 증상이 발생하는 일소(sunburn) 증상이 9－10월에 심하게 발생할 수 있다(Mishra 등, 2016; Lal과 Sahu, 2017). 사과나무의 경우 일소 증상에 의해 매년 수백만 달러의 경제적 손실이 발생하며(Schrader 등, 2003), 노지 온주밀감에서는 연간 8,000톤 정도의 과실에서 일소 증상이 발생한다고 한다(JSPCMSA, 2019).

감귤의 일소 증상은 과원의 평균기온이 30°C일 때 과실 표면온도는 46.8°C가 되어 플라베도(flavedo)층의 유포와 밑에 위치한 세포가 파괴되면서 발생하거나(Chikaizumi, 2007; Ketchie와 Ballard, 1968), 혹은 심각한 수분 스트레스에 의해서도 일소 증상 발생 정도가 높아질 수 있다(Brown, 2009; Goodwin 등, 2018)고 알려져 있다. 또한, Schrader 등(2003)은 일 최고기온이 30°C 미만일 때는 사과의 과실 표면온도가

*Corresponding author: choa0313@korea.kr
Received July 1, 2022; Revised August 14, 2022; Accepted August 16, 2022

45°C를 초과하지 않았으나 35°C 이상에서는 과실 표면온도가 45°C를 초과하였으며, Yazici와 Kaynak(2009)는 평균 일사량이 610 – 900W·m^{-2}일 때 석류의 과실 표면온도는 41 – 47.5°C로 높아진다고 하였다. 최근 지구온난화에 따른 기후변화로 이상 고온의 빈발은 노지재배 온주밀감에 일소, 열과, 착색의 지연 등 생리장해 발생을 증가시킬 것으로 보인다(Quintana 등, 2020; Schrader 등, 2008; Tsai 등, 2013). 특히 수확시기가 10월 중순인 껍질이 얇은 극조생 온주밀감은 과원에 따라 일소 발생률이 30% 이상 나타나는 경우가 있으며, 맑은 날 한낮 남쪽에 착과된 과실의 표면온도는 기온보다 최대 20°C가 높다고 하였다(Koh, 2005). 현재 일소증상이 발생한 과실에 대한 치료방법은 거의 없으므로 일소 증상 발생 위험을 사전에 예측하여 경감 기술을 적용하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

과수에서 일소 피해를 줄이기 위하여 개발된 재배기술로는 관수시설을 이용한 수관 상부 미세살수(Evans, 2004; Lal과 Sahu, 2017; Schrader 등, 2008), 햇빛을 차단하는 차광망 이용(Goodwin 등, 2018; Lal과 Sahu, 2017; Tsai 등, 2013), 고온기에 카올린(Chabbal 등, 2014; El-Tanany 등, 2019; Lal과 Sahu, 2017)과 탄산칼슘 용액(Lal과 Sahu, 2017; Rodriguez 등, 2019; Tsai 등, 2013)을 엽면살포하여 햇빛을 반사시켜 과실 표면온도를 낮추거나 UV-B 흡수를 억제시키는 자외선 차단제 살포(Schrader 등, 2008; Schrader, 2011) 등이 있다. 감귤은 일소 피해를 방지하기 위해 과실을 종이 봉지나 흰색 천으로 피복하거나 탄산칼슘과 파라핀유를 엽면살포하고 있다(Koh, 2005; Hyun, 2014). 그러나 봉지나 흰색 천 피복은 과실 표면온도를 낮춰 일소 경감 효과가 높지만, 생산비가 많이 소요되고 과원의 기상환경과 입지조건에 따라 일소 발생 정도가 달라 활용도가 낮은 실정이다(Koh, 2005; Hyun, 2014). 이에 반해 병해충 방제용 스프링클러 시설을 이용한 미세살수는 일소 피해를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 서리 피해 감소 및 가뭄 시 감귤나무에 수분공급 등 다목적 활용이 가능하다(Gindaba와 Wand, 2005; Song 등, 2010). 이에 본 연구에서는 '암기조생' 감귤 과실의 일소증상 발생을 경감시키고자 일사량과 과실 표면온도 간의 상관관계를 구명하고, 일소 증상의 발생 위험이 높은 시기에 미세살수, 탄산칼슘 및 카올린 엽면살포 처리를 하여 일소 경감 효과를 비교하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료 및 장소

해발 190m에 위치한 제주도 서귀포시 남원읍 소재 국립원예특작과학원 감귤연구소에서 노지재배 극조생 온주밀감 '암기조생'(*Citrus unshiu* Marc. 'Iwasaki')을 이용하여 2020 – 2021년에 수행하였다. '암기조생'은 20년생으로 주간 거리 2.0m, 열간 거리 3.0m로 재식되었으며, 개심자연형 수형으로 시험수의 착과량은 엽과비 20:1 수준으로 동일하게 조절하였다. 시험포장의 토양은 용적밀도가 0.8g·cm^{-3}, 공극률이 71.6%로 배수성이 양호한 농암갈색 화산회토로 시험수는 수령별 권장 시비량을 시비하였다(NAS, 2017). 시험 기간 동안 토양수분은 자연 강우에 의존하여 관리되었고, 병해충은 노지 감귤 병해충 방제력(JARES, 2019)에 준하여 관리하였다.

2. 시험포장의 기온, 일사량과 강우량

시험포장의 기온과 일사량은 미기상 측정센서(TSTHI-01, Idle Inc., Seoul, Korea)를 이용하여 지면에서 시험수의 2.0m 높이에 센서를 설치하여 2020년 8월 10일부터 9월 10일까지, 2021년은 8월 5일부터 9월 10일까지 1시간 간격으로 기온과 일사량, 강우량은 강수량계(Nobalynx 0.5mm, Seoulpm Inc., Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였다. 시험 기간 동안 발생한 태풍 정보는 기상청 자료를 참고하였다(KMA, 2020).

3. 과실 표면온도와 미세살수 시 수관 내 온도

과실 표면온도는 2020년 8월 15일부터 25일까지 수관의 남쪽 방향 과실 중 가운데 부분에 착과된 과실 2개를 선정 후 적외선온도센서(GT9611, Gilwoo Trading Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 과실의 과정부에서 10cm 떨어진 위치에서 9시부터 17시까지 1시간 간격으로 과실 표면온도를 측정하였다. 미세살수구와 무처리구의 시험수 수관 내 온도와 대기온도를 측정하기 위하여 미기상 측정센서(TSTHI-01, Idle Inc.)를 지표면으로부터 1.0m 높이에 설치하여 온도 변화를 11시부터 16시까지 측정하였다. 미세살수 처리구는 10a당 30분 간격으로 각각 3, 5, 7분 동안 스프링클러를 이용하여 수상살수 처리를 반복하였으며, 대조구로 미세살수를 처리하지 않은 무처리구를 두었다. 스프링클러는 살포 반경이 6 – 7m인 CAT 920 노즐(Agridor Ltd., Kochav Yair, Israel)을 사용하였으며, 시험수를 가운데 두고 주간 거리 4m, 열간 거리 3m로 직경 20mm의 살수 배관을 지면에서 2.5m 높이로 설치하였다. 미세살수는 감귤나무의 주간부 0.5m에서 수관 상부 2.5m까지 압력에 의하여 360도로 회전하면서 살수가 되도록 하였다. 살수량과 기온 강하 효과를 분석하여 일소 방지를 위한 미세살수 시간과 간격을 선택하였다.

4. 미세살수 및 일소 경감제 엽면살포

2020년 8월 26일부터 9월 30일까지 기온이 31°C일 때, 11

시부터 16시까지 스프링클러 수상 미세살수를 30분 간격으로 5분씩 반복하였다. 일소 경감제로 1% 탄산칼슘과 4% 카올린 용액을 10일 간격으로 8월 26일부터 9월 17일까지 시험수 전체에 3회 엽면살포하였다. 일소 경감제 엽면살포구는 미세살수구와 완충지대를 두어 분리하였으며 시험수 1주를 1반복으로 완전 임의배치하여 5반복으로 수행하였다. 2021년은 2020년과 동일하게 8월 18일부터 9월 30일까지 미세살수를 하였으며, 8월 18일부터 9월 6일까지 1% 탄산칼슘과 4% 카올린 용액을 10일 간격으로 3회 엽면살포하였다. 시험 기간 동안 기온 31℃ 이상 일수는 2020년은 4일, 2021년은 5일이었다.

5. 일소과 및 과실 품질 분석

일소과는 2020년은 10월 10일, 2021년은 10월 14일에 처리별로 시험수 1주당 동서남북 방향에서 각 100과씩 총 400과를 5주에서 조사 후 백분율로 나타냈다. 과실 품질은 2020년은 10월 15일, 2021년은 10월 18일에 처리별로 시험수 1주당 10과씩 5반복으로 수확하여 분석하였다. 가용성 고형물 함량은 디지털 굴절가용성 고형물 함량계(digital refractometer, PR-101, Atago, Japan), 산 함량은 0.1N NaOH 중화 적정법으로 분석하였다(Kim 등, 2004).

6. 통계분석

Microsoft Excel 2016 프로그램(Microsoft Co., Seattle, WA, USA)을 이용하여 과실 표면온도와 대기온도, 일사량 간의 Pearson 상관관계 분석을 하였고 그래프를 작성하였다. 또한 측정된 과실 표면온도와 동일 시간에 측정된 기온과 일사량을 이용하여 과실 표면온도를 추정하는 다중회귀분석을 하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.2, SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석을 하였으며, 일소 발생과 과실 품질은 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 이용하여 95% 수준에서 처리 간의 유의성을 검증하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

1. 시험포장의 기온, 일사량과 강우량

2020년 8월 10일부터 9월 10일까지 30일간 10시부터 16시까지의 시간별 평균기온과 일사량의 변화를 조사한 결과는 Fig. 1에 나타냈다. 일 평균기온이 8월 14일부터 22일까지는 30℃ 이상을 나타냈으나 8월 23일부터 9월 10일까지는 8월 24, 30일 2일에 불과하였다. 일사량은 강우가 없었던 8월 14일부터 21일까지 576 – 834W·m^{-2}로 평균 일사량은 768W·m^{-2}로 높았으나, 8월 22일부터 9월 10일까지는 16 – 631W·m^{-2}로 평균 일사량은 477W·m^{-2}였다. 이는 8월 26일, 9월 3일, 9월 7일 3차례 태풍 내습으로 총 527.5mm의 강우가 내렸기 때문이며, 강우기간 중 구름에 의하여 햇빛이 차단되어 일사량이 낮은 것으로 보인다(Ahn 등, 2016; KMA, 2020).

시험포장의 일별 평균기온과 일사량이 가장 높았던 8월 15일의 시간별 기온과 일사량 변화를 살펴보면(Fig. 2) 하루 24시간 동안 기온과 일사량은 일출이 되면서 서서히 증가하였고, 한낮인 13시에 기온은 32.5℃, 일사량은 945.2W·m^{-2}로 가장 높았으며 일몰이 되면서 낮아졌다. 일사량이 높으면 과실의 표면온도가 높아지는데(Yazici와 Kaynak, 2009), 11시부터 15시까지 4시간 동안 일사량은 800W·m^{-2} 이상 지속되었다.

2021년 8월 5일부터 9월 10일까지 평균기온은 22.3 – 27.4℃, 일사량은 63.7 – 983.0W·m^{-2} 범위에 분포하였으며 35일간 평균기온은 24.7℃, 평균 일사량은 496.0W·m^{-2}로 일사량의 편차가 컸다(Fig. 3). 이 기간 동안 1.0mm 이상 강우 일수는

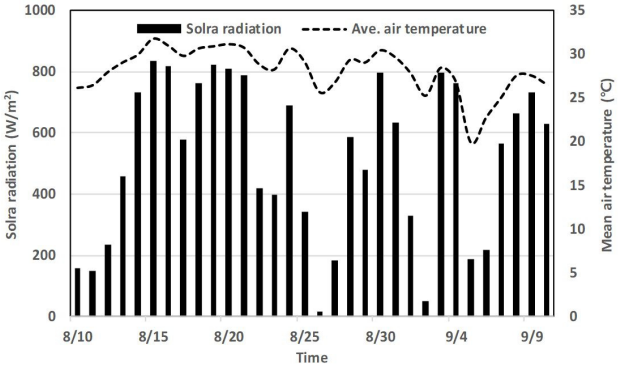

Fig. 1. Changes in mean air temperature and solar radiation at 10:00 – 16:00 from 10 August to 10 September in 2020.

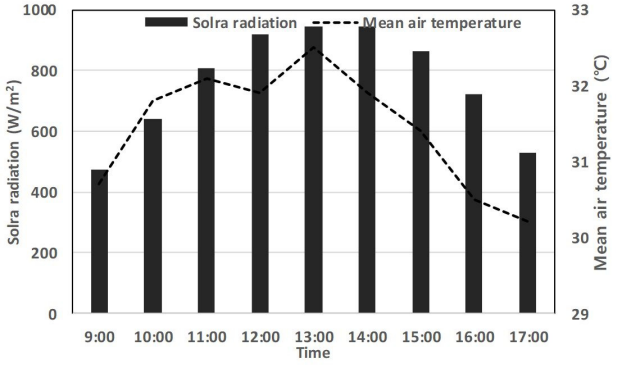

Fig. 2. Changes in mean air temperature and solar radiation on 15 August in 2020.

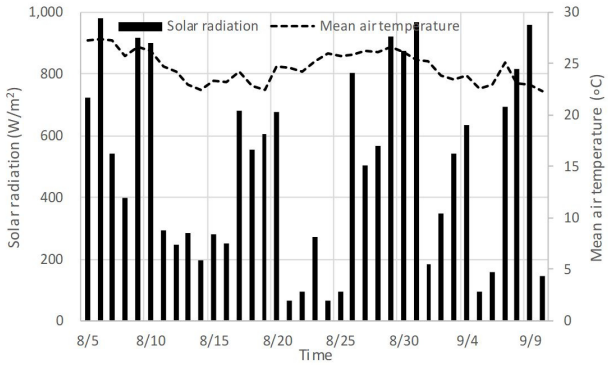

Fig. 3. Changes in mean air temperature and solar radiation from 5 August to 10 September in 2021.

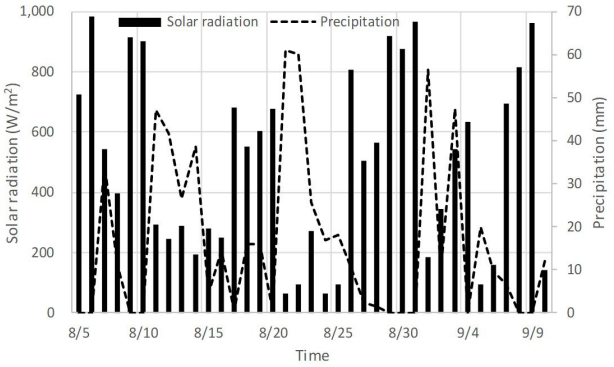

Fig. 4. Changes in solar radiation and precipitation from 5 August to 10 September in 2021.

28일이었으며 잦은 비로 일 최고기온이 30℃를 초과하면서 일사량이 700W·m^{-2} 이상 연속 일수는 8월 29, 30, 31일, 9월 8, 9일이었다(Fig. 4).

2. 과실 표면온도 추정 회귀모형

과실의 표면온도는 8월 15일부터 21일까지 한낮(13:00－14:00)에 45℃를 초과하였으나 11시부터 16시까지는 43℃, 8월 17일은 41℃로 조사되었다. 8월 22, 23, 25일은 한낮(13:00－14:00)에 각각 40℃, 31℃, 38℃, 11시－16시 사이는 각각 38℃, 35℃, 35℃로 측정되었다. 이 시기에 일사량은 8월 15, 16, 19, 20, 21일은 800W·m^{-2} 초과하였으며, 17일 570W·m^{-2}, 18일 780W·m^{-2}, 24일 720W·m^{-2}, 22일 400W·m^{-2}, 23일과 25일은 350W·m^{-2}로 조사되었으며 일사량이 낮을 때 과실 표면온도는 낮았다. 과실 표면온도는 조사 지점의 구름, 강우, 방풍수 등에 의한 햇빛 차단, 측정 부위의 햇빛의 강도, 바람에 의한 과실 주변의 공기 흐름 등 노지재배 환경의 영향을 받은 것으로 보인다.

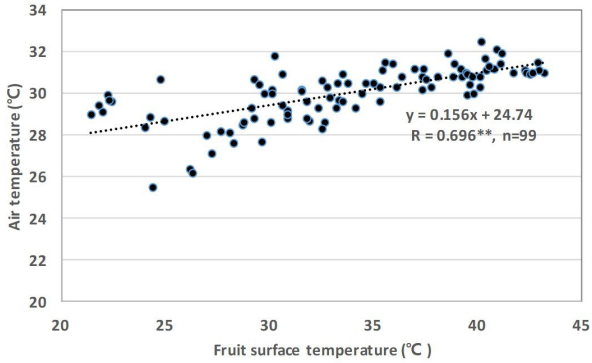

Fig. 5. Relationship between fruit surface temperature and air temperature using data collected at 09:00－17:00 from 15 to 25 August in 2020.

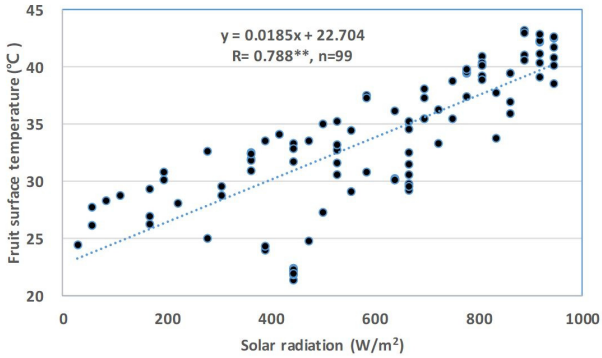

Fig. 6. Relationship between fruit surface temperature and solar radiation on using data collected at 09:00－17:00 from 15 to 25 August in 2020.

측정된 과실 표면온도와 기온은 y = 0.156x + 24.74(R = 0.696**), 과실 표면온도와 일사량은 y = 33.621x－537.62(R = 0.788**)로 유의한 정의 상관관계를 나타냈다(Fig. 5와 6). Schrader 등(2003)은 일 최고기온이 35°C 이상에서 과실 표면온도는 45°C를 초과하는데 평균 일사량(R = 0.65**)과 정의 상관, 평균 풍속(R = 0.24**)과 상대습도(R = 0.66**)는 부의 상관관계로 기온, 일사량, 풍속, 상대습도가 과실 표면온도를 결정하는 요인이라고 하였다.

조사된 기온과 일사량을 이용하여 1시간 단위로 과실 표면온도를 추정하는 y = 0.099 × (대기온도) + 0.018 × (일사량) + 20.779(R = 0.687**)의 다중선형 회귀모형을 도출하였다(Fig. 7). 과실 표면온도는 기온보다는 일사량(p < 0.001)에 의한 영향이 높았으며 통계적으로 유의성을 보였다. 한낮(13:00－14:00)에는 일사량이 800W·m^{-2} 이상으로 과실표면의 평균온도가 43℃를 초과하여 일소 발생에 영향을 주는 것으로 보인다. 감귤의 일소는 과실 표면온도가 46.8℃가 되면 유포

와 기저세포가 파괴되면서 발생하는데(Chikaizumi, 2007; Ketchie와 Ballard, 1968), 과실 표면의 유포조직은 강한 햇빛이 일정 시간 지속되거나 짧은 시간이라도 일소 증상을 유발하는 온도가 여러 차례 나타날 때 파괴되는 것으로 생각된다. Schrader 등(2003)은 사과 과실의 표면온도가 52℃ 이상, 10분간 지속 시 과피 기능이 상실되어 괴사증상이 나타나며, 햇빛에 노출된 과실의 표면온도가 46－49℃에 도달하면 과피가 갈변하고 잎이나 가지에 가려져 있던 과실이 비대하면서 또는 전정이나 바람 등에 의하여 햇빛에 노출되면 낮은 온도에서도 햇빛에 의하여 일소가 발생한다고 하였다. 이는 과실이 잎보다 많은 경우 착과된 위치에 따라 햇빛에 오랫동안 직접 노출되면서 태양복사에너지가 과실 표면에 축적되어 일소가 발생될 수 있어 일소를 방지하기 위하여 햇빛을 차단하고 온도를 낮추는 것이 필요하다는 것을 시사한다. Li 등(2014)은 기온, 일사량, 상대습도, 풍속을 이용하여 사과 과실 표면온도를 추정하는 다중 선형회귀식으로 실측값과 예측값의 오차를 2℃ 미만으로 줄인 바 있어 추후 도출된 모형의 정확성을 높이기 위하여 상대습도, 풍속 등 기후요인에 대하여 검토가 필요할 것으로 생각된다.

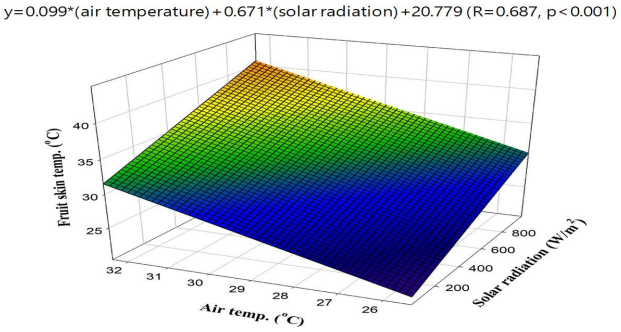

Fig. 7. Regression model using air temperature, fruit skin temperature, and solar radiation with data collected at 09:00－17:00 from 15 to 25 August in 2020.

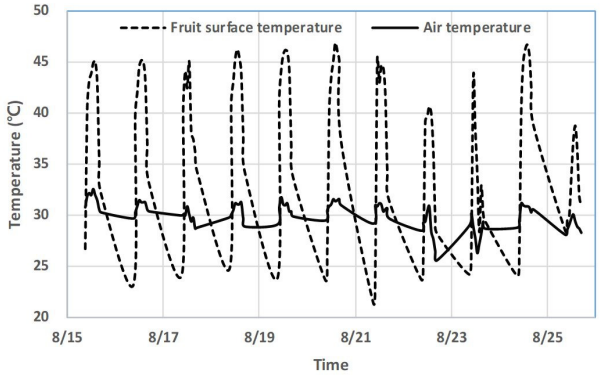

Fig. 8. Relationship between fruit surface temperature and air temperature using data collected at 09:00－17:00 from 15 to 25 August in 2020.

일사량이 증가하는 한낮에는 기온과 과실 표면온도가 상승하였으며 과실 표면온도는 기온보다 최고 16℃ 더 높았다(Fig. 8). 이는 햇빛에 노출된 과실에 일사량 강도와 지속시간이 과실의 표면온도에 영향을 주었기 때문으로 추정된다. 시험포장에서 2020년 일소 증상이 8월 20일부터 나타나기 시작한 것을 고려하면 15, 16, 19, 20일은 기온이 상승하여 평균기온은 30℃, 일사량은 800W·m^{-2} 이상이 되어 과실 표면온도가 47℃에 도달한 것으로 보이며, 특히 8월 18, 19, 20일은 3일 평균 800W·m^{-2}를 초과하였다. 2021년은 8월 31일부터 일소 증상이 나타났는데 이는 평균기온이 30℃, 일사량은 8월 29, 30, 31일 3일간 평균 800W·m^{-2}를 초과하면서 강우가 없어 고온 건조한 환경이 되어 일소가 유발된 것으로 보인다. 과실의 표면온도는 한낮의 기온이 31℃ 이상, 일사량이 강하게 지속되면 최대 16℃ 이상 상승하고 47℃에 도달하여 일소가 발생하기 때문이다(Chikaizumi, 2007). 자연 강우에 의하여 토양수분관리가 되는 점을 감안하면 기온과 과실 표면온도 상승은 일사량에 더 많이 영향을 받는 것으로 생각된다(Lal과 Sahu, 2017; Yazici와 Kaynak, 2009).

3. 미세살수 시 수관 내 기온변화

감귤의 일소 발생을 줄이기 위해서는 과실 표면온도를 낮추는 것이 필요하다(Chikaizumi, 2007; Goodwin 등, 2018; Ketchie와 Ballard, 1968; Schrader 등, 2003). 감귤나무에 스프링클러 미세살수 시 수관 내부 온도는 3분은 기온보다 3.2℃, 무처리구(1.5℃)보다 1.7℃, 5분은 9.3℃, 무처리구(4.2℃)보다 5.1℃, 7분은 기온보다 9.2℃, 무처리구(4.5℃)보다 4.7℃가 낮았다(Fig. 9). 미세살수 시 10a당 관수량은 3분 살수는 2.6톤, 5분 살수는 4.3톤, 7분 살수는 6.3톤으로 미세살수 시간이 늘어날수록 증가하였다(자료 미제시). 5분 미세살수구가 살수 전 온도가 높았으나 무처리구와 대기온도보다 수관 내 온도 강하 효과가 가장 좋았다. 이는 미세살수가 10a당 30분 간격으로 3분은 0.26톤씩 10회, 5분은 0.47톤씩 9회, 7분은 0.79톤씩 8회에 나누어 5시간 진행되는 동안 높은 기온에 의하여 증발 냉각되면서 과실과 잎의 온도가 낮아졌기 때문으로 생각된다. 관수량이 증가하면서 수관 부위에서 지표면으로 떨어진 수분은 뿌리로 흡수되어 과실의 비대를 돕고 일부는 증발되면서 지온을 낮추는 데 이용되며, 기공을 통하여 흡수된 수분은 광합성에 이용되어 감귤나무 생육에 이용되는 것으로 보인다(Han과 Gwon, 1993). 하지만 수관 내부의 습도를 높여 고온에서 감염되기 쉬운 검은점무늬병이나 궤양

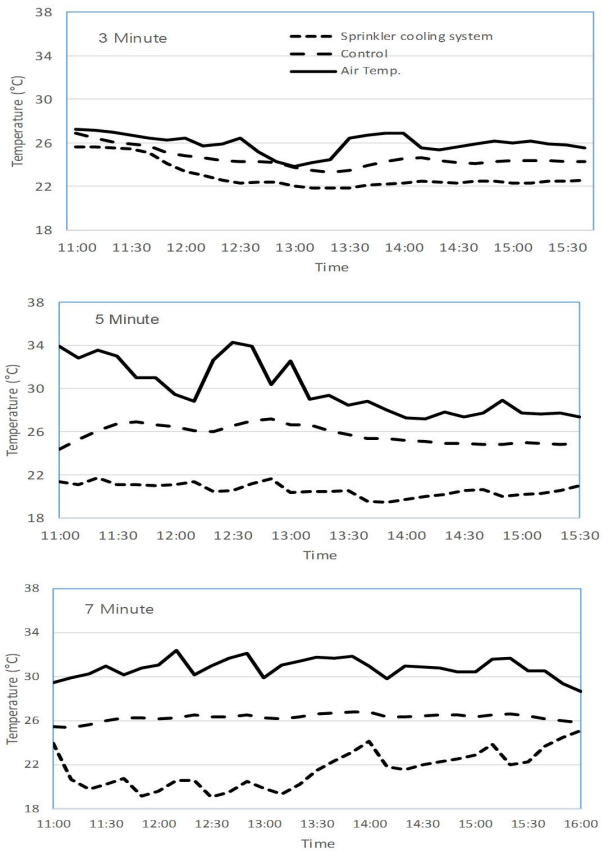

Fig. 9. Changes in air temperature of citrus canopy during spraying time at 11:00 – 16:00 using sprinkler system.

병의 발생 위험이 높아질 수 있다.

Palmer 등(2003)은 기온이 높은 한낮에 미세살수는 지표면에서 증발, 잎의 기공에서 수분흡수와 증산작용이 동시에 진행되면서 기온을 낮춘다고 하였다. 하지만 기온이 높을 때는 살수 시간을 조절하여 수관 내 기온을 낮추는 것이 필요할 것으로 보인다. 또한 고온이 장기간 지속되면 미세살수를 위한 관수량이 증가하여 많은 살수량을 확보하고 살수 간격 조절이 필요할 것으로 생각된다. 스프링클러 미세살수는 기온 강하 효과와 물 소모량을 고려하였을 때 30분 간격 5분 살수가 적절한 것으로 생각되며 여름철 고온기 일소 발생을 줄이는 데 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 일소과 발생률

극조생 온주밀감은 수세가 약하면서 착과량이 많고 과실이 자라는 시기에 햇빛에 오랫동안 노출되면 일소과 발생량이 많으며(Koh, 2005), 과실은 비대하면서 과피 두께가 감소하고 조직이 연화되어 햇빛에 강하게 노출된 부위의 과피는 수분이 증발하면서 과피와 과육이 밀착되고 검게 변하거나 약한 갈색

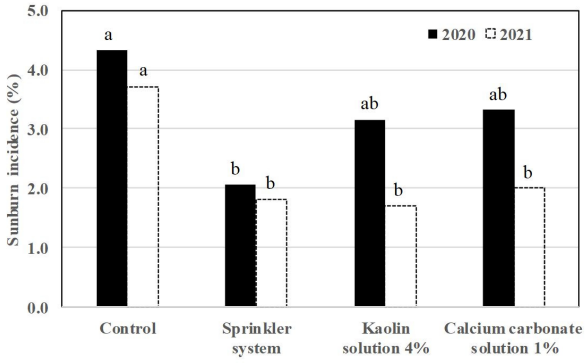

Fig. 10. Sunburn incidence of 'Iwasaki' mandarin by different cultural practices during summer season in 2020 – 2021. Different letters indicate significant difference between treatments as determined by Duncan's new multiple range test ($p < 0.05$).

반점 또는 황화 증상이 나타난다(Han과 Gwon, 1993).

수확 전 '암기조생'의 2020년 일소과 발생률은 무처리구 4.3%, 스프링클러 미세살수구 2.1%, 4% 카올린 용액 엽면살포구 3.1%, 1% 탄산칼슘 용액 엽면살포구 3.3%였다(Fig. 10). 30분 간격 5분 미세살수구는 무처리구보다 2배 이상 일소과 발생이 감소하였으며 통계적으로 유의성을 나타냈다. 2021년 일소과 발생률은 무처리구는 3.7%, 스프링클러 미세살수구는 1.8%, 4% 카올린 용액 엽면살포구는 1.7%, 1% 탄산칼슘 용액 엽면살포구는 2.0%였다. 미세살수구, 카올린과 탄산칼슘 엽면살포구는 일소과 발생이 비슷하였으나 미세살수구와 4% 카올린 용액 엽면살포구는 무처리보다 2배 정도 감소하였으며 통계적으로 유의성을 나타냈다.

무처리구의 일소과 발생률이 2020년 4.3%, 2021년 3.7%로 이는 2020년 8월 26일 부터 9월 7일까지 13일 동안 3차례 태풍 내습과 2021년 8월 5일부터 9월 10일까지 1.0mm 이상 강우 일수가 28일로 잦은 강우의 영향으로 과실 표면의 온도가 낮아지고 엽면살포된 일소 경감제가 일부 씻겨나가서 일소과 발생이 적은 것으로 보인다(KMA, 2020). Hyun(2014)은 무처리구의 일소 발생이 5% 이상일 경우 처리간에 유의한 결과를 얻을 수 있다고 하였으나 일소는 기온, 일사량 등 기상환경과 과원의 토양수분 상태, 과실 표면의 성숙 정도에 따라 발생 양상이 다르게 나타난다. 시험기간 동안 강우 등으로 무처리구의 일소 발생은 낮았으나 2020년과 2021년 시험 결과 스프링클러 미세살수는 과실의 표면온도 상승을 억제시켜 일소 발생을 줄이는 것으로 생각된다(Lal과 Sahu, 2017; Song 등, 2010). 이는 Schrader 등(2008)이 사과에서 미세살수는 과실 표면에 축적된 열에너지를 기화시켜 대기 중으로 방출시키고 과실 표면온도를 낮추며, 수관 내 기온 강하 효과가 좋고(Gindaba와 Wand, 2005; Song 등, 2010), 여름철 고온 시 관

수를 하면 과실의 내부 온도를 30－32℃로 유지시켜 일소과 발생을 줄인다(Evans, 2004)는 보고와 일치하는 경향을 보였다.

4% 카올린과 1% 탄산칼슘 엽면살포는 무처리보다 일소 발생이 약간 낮았는데 이는 과실 표면이 흰색으로 코팅되어 햇빛이 반사되어 표면온도가 낮아졌기 때문이다. Chabbal 등(2014)은 '홍진조생' 감귤에 카올린용액 2－4%를, Rodriguez 등(2019)은 자몽에 탄산칼슘을 엽면살포하면 과실 표면의 흰색이 햇빛을 반사시켜 열 스트레스와 일소 발생률을 3.3% 감소시킨다고 하였다. 엽면살포는 쉽게 적용이 가능한 방법이지만 이상고온으로 일소가 유발될 수 있어 피해가 나타나기 전에 살포가 되어야 효과가 있어 적정 살포 시기에 대한 검토가 필요할 것으로 보인다.

일소 경감제 엽면살포로 과실 표면온도를 2－3℃ 낮출 수 있다면 과실 표면온도 예측식을 적용하여 고온기 살포 시 일소 피해를 경감하는 데 이용이 가능할 것으로 생각된다. 하지만 엽면살포 후 과실 표면에 남은 흰색의 반점은 과실을 수확하는 동안 공기 중으로 비산하고 이로 인하여 선과 전 세척이 필요하여 일소 경감, 감귤나무 수세 유지, 수확 후 처리비용 등을 고려하였을 때 효과는 낮은 것으로 판단된다(JSPCMSA, 2019). Tsai 등(2013)은 'Murcott' 감귤에 탄산칼슘 엽면살포는 일소 경감 효과가 있지만 차광망보다 낮았으며, Goodwin 등(2018)은 기온이 38.6℃일 때 붉은 과육 배나무에 차광망을 씌워 햇빛을 차단하면 과실 표면온도를 10% 감소시켜 일소 발생 온도 47℃를 초과하지 않는다고 하였다. 종이 봉지나 흰색 천 피복으로 과실에 햇빛이 닿는 것을 줄이는 것이 일소 경감을 위한 가장 효율적인 방법으로 판단되나 자재 구입 비용, 노동력 소요 등을 고려하면 실제 적용은 쉽지 않다(Koh, 2005; Hyun, 2014). Song 등(2010)은 '후지' 사과에 카올린과 탄산칼슘을 4회 엽면살포하거나 7월 하순－8월 중순 사이에 기온이 31˚C 이상일 때 미세살수를, Lal과 Sahu(2017)는 토양으로 관수를 하거나 수상 살수, 차광망과 종이 봉지 씌우기, 카올린, 탄산칼슘, 기계유유제 엽면살포를 일소 발생 경감 방법으로 제시하였는데 이는 수체 내 온도를 강하시키거나 햇빛을 반사시켜 과실의 표면온도를 낮출 수 있기 때문이다. 착과량이 많으면 과실이 가지나 잎에 가려지지 않고 햇빛에 장시간 노출되어 일소가 발생할 수 있어 감귤원 재배환경에 따라 적절한 일소 경감 기술을 선택하여 적용하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

5. 과실 품질

과실의 가용성 고형물 함량과 산 함량은 미세살수구와 일소 경감제 엽면살포구 간에 통계적 유의성은 없었다(Table 1). 수확기 처리 간에 당도와 산 함량이 차이가 나타나지 않은 것은 태풍과 잦은 강우로 토양으로 수분이 공급되었기 때문으로 보인다(Shimazaki과 Nesumi, 2016). 여름철에 감귤나무에 3－4%의 카올린을 엽면살포(Ennab 등, 2017)하거나 'Balady' mandarin에 카올린 4%와 glycine betaine 0.59%를 엽면살포할 경우 강한 일사량에 의한 고온 스트레스를 완화시키고 과실품질을 향상시켰다(El-Tanany 등, 2019). 탄산칼슘과 카올린을 오렌지에 6월－9월까지 엽면살포하면 가용성 고형물 함량이 증가하고 산 함량이 감소한다는 보고(Gullo 등, 2020)도 있었다. 그러나 본 연구에서는 엽면살포에 따른 과실의 당도 증가와 산 함량 감소 효과는 나타나지 않았다.

카올린과 탄산칼슘 엽면살포는 과실 표면에서 수분의 증산을 촉진하여(Gullo 등, 2020), 가용성 고형물 함량을 증가시키는데 살포 시기가 2020년은 8월 하순으로 늦었고 시험 기간 동안 태풍, 강우, 일사량 등이 카올린을 살포한 시험지역의 기상환경과 품종 특성이 다르기 때문으로 추정된다(El-Tanany 등, 2019; Ennab 등, 2017). 하지만 엽면살포 농도가 높고 살포 횟수가 많아지면 잎이 흰색으로 코팅되어 잎의 광 수용능력이 떨어져 광합성률이 낮아지고(Tsai 등, 2013), 과실의 착색을 촉진하고 과실 표면의 세포벽을 강화하여 부패과 발생을 감소시키나 감귤나무의 기공개폐에 영향을 주어 수세가 약해질 수 있어(Kim 등, 2004), 추후 살포 농도, 시기, 횟수, 감귤나무의 생리반응에 대하여 검토가 필요할 것으로 생각된다.

과실이 자라는 시기에 미세살수는 과실 표면의 온도를 낮추

Table 1. Fruit quality of 'Iwasaki' mandarin as affected by different cultural practices to reduce sunburn in 2020-2021.

Treatment	SSC[z] (°Bx)		Titratable acidity (%)	
	2020	2021	2020	2021
Control	9.8 a[y]	9.0 a	1.1 a	0.9 a
Sprinkler system	9.6 a	9.0 a	1.0 a	0.8 a
Kaolin solution 4%	10.0 a	9.2 a	0.9 a	0.8 a
Calcium carbonate solution 1%	9.9 a	8.8 a	1.0 a	0.8 a

[z]SSC: soluble solids content.

[y]Different letters indicate significant difference between treatments as determined by Duncan's new multiple range test ($p < 0.05$).

면서 과실의 비대를 촉진하지만 수관 내 고사지 등에 수분을 공급하여 검은점무늬병이 발생하거나(Kwon 등, 2003) 과피 조직의 경도를 약하게 하고 과실의 산 함량 감소를 촉진하여 품질이 낮아질 수 있다(Shimazaki과 Nesumi, 2016). 수확 후 과실의 횡경, 검은점무늬병 발생, 과피 경도는 처리 간에 차이가 없었다(자료 미제시). 2020년 여름철 고온과 2021년 잦은 강우로 미세살수, 4% 카올린과 1% 탄산칼슘 엽면살포는 과실의 가용성 고형물 함량 증가와 산 함량 감소에 영향을 주지 않았다.

여름철 고온기 감귤의 일소 증상 경감은 일소 경감제 엽면살포보다 미세살수가 효과적이며 과실 품질을 고려하여 맑은 날 기온이 31℃ 이상일 때 수상으로 하는 것이 효과가 높을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 '암기조생' 감귤 과실의 표면온도와 일사량 간의 상관관계를 분석하여 일소가 유발되는 과실 표면온도를 예측하고 일소 발생을 경감시키고자 수행하였다. 이를 위해 기온이 31℃일 때 30분 간격으로 5분 미세살수와 1% 탄산칼슘, 4% 카올린 용액을 10일 간격으로 3회 엽면살포하여 일소과 발생과 과실 품질을 조사하였다. 과실 표면온도는 일사량과 R = 0.788(p < 0.01)로 유의한 정의 상관관계를 나타냈으며 한낮에는 기온보다 최고 16℃가 높았다. 과실 표면온도를 추정하는 회귀식 y = 0.099 × (대기온도) + 0.018 × (일사량) + 20.779(R = 0.687, p < 0.01)을 도출하였다. 30분 간격으로 5분 미세살수시 수관 내부 온도가 무처리보다 5.1℃ 낮았다. 일소과 발생률은 미세살수구가 2.1%로 무처리구보다 2배 이상 낮았고 통계적으로 유의성을 나타냈으나, 과실 품질은 처리 간에 비슷하였다. 햇빛을 반사하거나 미세살수를 실시하여 과실 표면온도를 낮추면 일소 발생을 줄일 수 있을 것으로 보인다.

추가 주제어 : 과실 표면온도, '암기조생', 당도, 수상살수, 햇볕 데임

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구비 지원으로 수행되었음(과제번호: PJ01414601).

Literature Cited

Ahn S.H., I.S. Zo, J.B. Jee, B.Y. Kim, D.G. Lee, and K.T. Lee 2016, The estimation of monthly average solar radiation using sunshine duration and precipitation observation data in Gangneung region. J Korean Earth Sci Soc 37:29-39. (in Korean) doi:10.5467/JKESS.2016.37.1.29

Brown G. 2009, Minimizing sunburn damage of fruit. Aust Fruitgrow 3:14-18.

Chabbal M.D., A.B. Piccoli, and G.C. Martinez 2014, Kaolin applications to control sunburn in 'Okitsu' mandarin. Cult Trop 35:50-56.

Chikaizumi S. 2007, Studies on causal factors and preventive measures of rind disorders in citrus fruits. Memoirs Fac Agric-Ehime Univ 52:13-123.

El-Tanany M.M., A.M.A. Kheder, and H.R. Abdallah 2019, Effect of some treatments on reducing sunburn in balady mandarin fruit trees (*Citrus reticulata*, Blanco). Middle East J Agric Res 8:889-897.

Ennab H.A., S.A. El-Sayed, and M.M.S. Abo El-Enin 2017, Effect of kaolin applications on fruit sunburn, yield and fruit quality of Balady mandarin (*Citrus reticulata*, Blanco). Menoufia J Plant Prod 2:129-138. doi:10.21608/mjppf.2017.125581

Evans R.G. 2004, Energy balance of apples under evaporative cooling. Trans ASAE 47:1029-1037. doi:10.13031/2013.16576

Gindaba J., and S.J.E. Wand 2005, Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particle film, and shade net on sunburn and fruit quality in apples. HortScience 40:592-596. doi:10.21273/HORTSCI.40.3.592

Goodwin I., L. McClymont, S. Turpin, and R. Darbyshire 2018, Effectiveness of netting in decreasing fruit surface temperature and sunburn damage of red-blushed pear. N Z J Crop Hortic Sci 46:334-345. doi:10.1080/01140671.2018.1432492

Gullo G., A. Dattola, and R. Zappia 2020, Effects of two reflective materials on gas exchange, yield, and fruit quality of sweet orange tree *Citrus sinensis* (L.) Osb. Eur J Agron 118:126071. doi:10.1016/j.eja.2020.126071

Han H.Y., and O.G. Gwon 1993, Citrus horticulture new book. Seonjin Munhwasa, Seoul, Korea, pp 140-180.

Hyun J.W. 2014, Development of technology to reduce citrus sunburn. Annual report 2013. National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju, Korea, pp 40-45.

JARES 2019, Guides on disease and insect pest control for satsuma mandarin. JeJudo Agricultural Research & Extension Services, Jeju, Korea.

JSPCMSA 2019, Annual report 2019. Jeju Special Self-Governing Province Citrus Marketing & Shipping Association, Jeju, Korea.

Ketchie D.O., and A.L. Ballard 1968, Environments which

cause heat injury to 'Valencia' oranges. Proc Am Soc Hortic Sci 93:166-172.

Kim Y.H., Y.E. Moon, and S.G. Han 2004, Effects of calcium formulae foliar application on the water spot outbreak and fruit quality of satsuma mandarin in the plastic house. Hortic Sci Technol 22:50-54.

KMA 2020, Annual climatological report. Korea Meteorological Administration, Seoul, Korea.

Koh S.W. 2005, Study on causes and prevention of sunburn in satsuma mandarin. Annual report 2005. National Institute of Subtropical Agriculture, Jeju, Korea. pp 422-437.

Kwon H.M., K.W. Nam, K.S. Kim, D.H. Kim, S.C. Lee, and J.W. Hyeon 2003, Characterization of the causal fungus of citrus melanose, *Diaphorthe citri* isolated from blighted twigs of citrus in Jeju. Res Plant Dis 9:153-158. (in Korean) doi:10.5423/rpd.2003.9.3.153

Lal N., and N. Sahu 2017, Management strategies of sun burn in fruit crops: A review. Int J Curr Microbiol App Sci 6:1126-1138. doi:10.20546/ijcmas.2017.606.131

Li L., T. Peters, Q. Zhang, J. Zhang, and D. Huang 2014, Modeling apple surface temperature dynamics based on weather data. Sensors 14:20217–20234. doi:10.3390/s141120217

Mishra D.S., A. Tripathi, and P.K. Nimbolkar 2016, Review on physiological disorders of tropical and subtropical fruits: Causes and management approach. Int J Agric Environ Biotechnol 9:925-935. doi:10.5958/2230-732X.2016.00120.0

NAS 2017, Fertilizer recommendation for crops, 3rd ed. National Institute of Agricultural Science (NAS), Rural Development Administration, Wanju, Korea.

Palmer J.W., J.P. Privé, and D.S. Tustin 2003, Temperature. In DC Ferree, IJ Warrington, eds, Apples: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp 217-236.

Quintana L.M., J.M. Waite, L. Kalcsits, C.A. Torres, and P. Ramos 2020, Sun injury on apple fruit: Physiological, biochemical and molecular advances, and future challenges. Sci Hortic 260:108866. doi:10.1016/j.scienta.2019.108866

Rodriguez J., A. Anoruo, J. Jifon, and C. Simpson 2019, Physiological effects of exogenously applied reflectants and anti-transpirants on leaf temperature and fruit sunburn in citrus. Plants 8:549-564. doi:10.3390/plants8120549

Schrader L., J. Sun, J. Zhang, D. Felicetti, and J. Tian 2008, Heat and light-induced apple skin disorders: Causes and prevention. Acta Hortic 772:51–58. doi:10.17660/ActaHortic.2008.772.5

Schrader L., J. Zhang, and J. Sun 2003, Environmental stresses that cause sunburn of apple. Acta Hortic 618:397-405. doi:10.17660/ActaHortic.2003.618.47

Schrader L.E. 2011, Scientific basis of a unique formulation for reducing sunburn of fruits. HortScience 46:6-11. doi:10.21273/HORTSCI.46.1.6

Shimazaki M., and H. Nesumi 2016, A method for high-quality citrus production using drip fertigation and plastic sheet mulching. Jpn Agric Res Q 50:301-306. doi:10.6090/jarq.50.301

Song Y.Y., M.Y. Park, S.J. Yang, J.C. Nam, and D.H. Sagong 2010, Effects of microspraying of water and coating by white materials on fruit sunburn occurrence for 'Fuji'/M.9 apple tree. Korean J Agric For Meteorol 12:76-82. (in Korean) doi:10.5532/KJAFM.2010.12.2.076

Tsai M.S., T.C. Lee, and P. Chang 2013, Comparison of paper bags, calcium carbonate, and shade nets for sunscald protection in 'Murcott' tangor fruit. HortTechnology 23:659-667. doi:10.21273/HORTTECH.23.5.659

Yazici K., and L. Kaynak 2009, Effects of air temperature, relative humidity and solar radiation on fruit surface temperatures and sunburn damage in pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar). Acta Hortic 818:181-186. doi:10.17660/ActaHortic.2009.818.26