

백색 및 청색 방풍망 차광 처리가 ‘후지’, ‘홍로’ 사과 과실의 품질에 미치는 영향

강경진¹ · 서정학¹ · 윤흥기¹ · 서정석¹ · 주정일¹ · 천종필^{2*}

¹충청남도농업기술원 원예연구과, ²충남대학교 원예학과

Effect of White and Blue Wind Net Shading on the Quality of ‘Fuji’ and ‘Hongro’ Apple Fruits

Kyeong-Jin Kang¹, Jeong-Hak Seo¹, Hong-Ki Yoon¹, Jeong-Seok Seo¹,
Jung-Il Joo¹, and Jong-Pil Chun^{2*}

¹Chungnam Agricultural Research & Extension Service, Yesan, Chungnam 32418, Korea

²Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Abstract. In Yesan-gun, Korea's main apple-producing region, the area of apple cultivation and yield are declining. In particular, the worsening quality of fruits due to unusually high temperatures amid recent climate change has also become a major challenge for apple orchards located on flatlands. The objective of this research is to investigate quality changes of apples according to different growing environments, depending on the shade of the sun, by covering the trees with different colors of wind nets. A white and blue wind nets with a hole size of 2 × 2 mm is installed on two experimental trees, 17-year-old ‘Fuji’ and ‘Hongro’, which are planted 1.5 m × 3.5 m in the north-south direction. Treatment of wind nets effectively lowered fruit surface temperature regardless of apple variety. When measuring the temperature of the fruit surface at 2 pm, the temperature of the air was 34.8°C, but the ‘Fuji’ of the untreated blocks was the highest at 40.0°C, while the blue wind net and the white wind net were significantly lower at 34.9°C and 36.6°C, respectively. In ‘Hongro’, the results showed that the surface temperature was effectively lowered by recording 38.3°C for the blue wind net and 38.5°C for the white wind net treatment when the untreated one was 44.2°C. According to the color difference in ‘Fuji’, the skin redness (a*) was the lowest with untreated control at 16.5, but the blue and white wind net treatment higher at 18.0 and 19.3, respectively. In ‘Hongro’, the white wind net treated fruit also showed a much higher skin redness than the untreated control of 28.1, showing much higher a* of 34.9. Sunburn damage in ‘Fuji’ apples amounted to 9.4% in untreated control. However, the blue and white wind net treatment revealed to 3.8% and 4.2%, respectively. In ‘Hongro’, those damage in the fruits treated with blue or white wind net, accounted for only 8.8% and 12.4%, respectively, significantly lower than 28.8% occurrence of untreated one. And, these results were understood to be the result of low UV radiation being blocked by the treatment of wind nets.

Additional key words : apple, fruit quality, radiation, temperature, wind net

서 론

충청남도 예산군은 그동안 주요 사과 생산지역으로 인식되어 왔으나 2015년 기준 재배면적은 724ha로 전국 13위에 머무는 등 그 재배면적이 매년 감소하고 있는 실정이다(Kim과 Kwon, 2019). 이는 우리나라 대부분의 사과 주산지 산악지대의 높은 산과 높은 강 근처 위치의 분지에 위치하고 있는 것에 반하여 예산 지역의 사과원은 대부분이 평지에 위치하여 여름철 고온에 의한 장애를 더 많이 받기 때문으로 이해되고

있다. 이에 더하여, 최근의 기후변화 및 지구온난화에 따른 이상기상 현상 발생으로 과실 생육기에 고온이 지속되어 사과 과실의 착색도 부족 및 지연 수확으로 인한 저장력 상실(Racko와 Schrader, 2012) 등 고품질 과실 생산이 어려워진 것이 사과 재배면적의 감소로 이어지고 있다(Lee 등, 2010).

사과원은 고온기에 한낮 온도가 35°C까지 상승하지만 과실 표면이 받는 온도는 더 높다고 보고된 바 있다(Iglesias 등, 2002). 사과원의 생육환경 중 15~35°C의 온도는 광합성을 할 수 있는 유효온도 범위로 알려져 있는데 그 이상의 온도에서는 오히려 광합성 능력이 저하되어 과실품질이 저하된다(Palmer 등, 2003; Kwon 등, 2013). 또한, 30°C 이상의 온도에서는 과실의 성숙 속도가 현저히 감소되고 과육이 연화되어

*Corresponding author: jpchun@cnu.ac.kr

Received February 07, 2020; Revised March 12, 2020;

Accepted March 13, 2020

생산량과 농가소득에도 악영향을 끼치게 된다(Kim 등, 2010).

사과 과실의 시장 경쟁력 확보를 위해서는 과피 착색도가 높은 과실이 생산되어야 하는데 이는 적색을 발현시키는 안토시아닌(anthocyanin) 색소의 축적이 요구되나 고온 조건은 안토시아닌 색소 합성 관련 유전자의 발현에 장애요인으로 알려져 있다(Lin-Wang 등, 2011). 이외에도 수분스트레스, 자외선, 가시광선 및 원적외선과 같은 환경요인에 의해 과실품질이 결정되는 것으로 알려져 있는데(Leja 등, 2003), 고온과 강광에 오랫동안 노출 되는 위험이 큰 수관 외부의 과실에 화상을 입는 과실 일소의 발생은 고품질 과실 생산에 큰 제약 요인으로 작용한다(Schrader 등, 2008; Song 등, 2009).

본 연구는 예산지역에 재식되어 있는 ‘홍로’와 ‘후지’ 사과를 대상으로 수관 상부에 백색 및 청색의 방풍망을 이용하여 차광 처리 후 색상별로 햇빛의 차광도와 생육환경 차이 등을 분석하고 이에 따른 과실품질을 조사함으로써 이상기후에 대응한 방풍망 처리의 효과를 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험은 충남 예산군 신암면에 위치한 충남농업기술원 사과시험포장에서 남북방향으로 1.5m × 3.5m의 간격으로 동일한 사과시험포장 지점 내 재식된 17년생 ‘후지/M.9’과 ‘홍로/M.9’의 사과나무를 대상으로 실시하였다. 처리별 생육환경 및 과실표면의 온도, 과실 특성조사와 일소피해 발생정도 등을 조사하였다.

1. 방풍망 처리

망은 메쉬 사이즈 2mm, 실굵기 5mm(20D) 두께의 제품을 사용하여 10a당 폭 1m, 길이 100m 넓이로 수관 상부 4.5m 높이에 설치하였다(Fig. 1). 방풍망을 설치하고 가장자리 부분



Fig. 1. Installation scene of wind net used in the experiment.

은 강풍과 폭우로 인한 망의 하중을 견딜 수 있도록 아연 도강 연선(3.6mm)과 UV클립을 사용하여 분획된 부분을 서로 연결하여 설치하였다. 완전임의배치법 3반복으로 ‘홍로’는 6월 20일에 백색과 청색의 방풍망을 처리한 후, 8월 26일에 수거하였고 ‘후지’는 6월 20일에 설치하고 9월 5일에 수거하였다.

2. 생육환경 및 과실 표면 온도 측정

사과원의 생육환경 측정 요인으로 최고온도, 최저온도, 강수량, 일조시간(AWS-CR1000, CAMPBELL, USA)은 7월부터 10월까지 측정하여 월평균 값으로 기록하였다. 과실표면 온도는 2019년 8월 6일 고정시킨 thermocouple sensor의 온도변화기록을 실시간 수집하기 위해 온도 보상 도선(thermocouple extension wires)을 접합하여 과원 내 설치된 데이터로거(CR3000, CAMPBELL, USA)에 연결하여 수관 외부 과실 표면온도를 60초 간격으로 측정하였다(Fig. 2A). 과실 표면 온도를 측정하기 위해서 thermocouple sensor(T-type)를 수관에서 1.5m 정도 높이에서 햇빛에 장시간 노출될 가능성이 높은 수관 외부에 위치한 사과를 중점으로 선정해 부착 및 고정하였다(Fig. 2B). 추가로, ‘후지’ 사과를 대상으로 처



A: Data logger CR-3000



B: Thermocouple sensor

Fig. 2. Data logger and thermometer sensor attachment for the experiment.

리별로 온도의 차이를 확인하고 시각적으로 확인하기 위해 14 시경 MSX imaging 분석법을 활용한 적외선 카메라 E8(FIR, Korea)로 촬영하였다.

3. SPAD 값, 광합성 정도, 자외선 차단율 측정

잎의 SPAD 값은 SPAD meter(Minolta, Japan)를 이용하여 2019년 7월 29일 오전 10시에 측정하였고, 같은 날 처리별 조도(lx), 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$)을 photo/radiometer(Delata-OHM, Italy)로 측정하였다. 광합성 관련 엽록소 형광에너지 활성 변화는 형광이미지 분석법을 이용하여 형광이미지를 촬영하였다. 형광 이미지 촬영은 처리별로 잎을 채취하여 엽병을 오아시스에 꽂은 후 암실로 즉시 이송시켜 15분의 암조건을 처리한 뒤에 handy flourcam(PSI, Czech Republic)로 촬영하였다. 엽록소 형광의 유도를 위해 촬영 시 분석조건은 30% sensitivity, 30% light intensity actinic light, 35% light intensity super pulse로 설정하였다. 자외선 값($\mu\text{w}/\text{cm}^2$)은 photo/radiometer(Delata-OHM, Italy)로 2019년 7월 29일, 8월 6일, 8월 13일 총 3회를 측정하였는데 망 내부로 하루 중 햇빛이 가장 강하게 비추는 시점에 측정하여 이를 평균값으로 나타내었다.

4. 과실 특성 조사 및 일소 발생 측정

과실 특성 조사를 위해 ‘홍로’는 2019년 9월 3일에, ‘후지’는 2019년 11월 12일에 수확하여 분석하였다. 착색지수(L*, a*, b*)는 색차계(CR-400, Konica Minolta, Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 과실의 적도면을 대상으로 측정하였고 과실의 종경(length) 및 횡경(diameter)은 vernier calipers(500-182-20, Mitutoyo Corp. Ltd., Japan)로 측정한 뒤 L/D ratio로 과형지수(%)를 나타내었다. 과중은 전자저울(GX-2000, A&D Co. Ltd., Japan)로 측정하였다. 가용성고형물 함량(°Brix)은 digital refractometer(PR-32a, ATAGO Co., Ltd., Japan)를 사용하여 측정하였고, 적정 산 함량(%)은 과즙을 채취하여 전위차적정기 titrando(814 USB Sample Processor Dosino, Metrohm, Inc., Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 경도(Kgf)는 texture analyser(ZP-3D, Lloyd Co. Ltd., USA)로 8mm probe로 과실적도면에서 과피를 벗기고 최대 압력을 측정하였다. 일소 발생은 수확 전의 수상 과실을 대상으로 Kang 등(2019)의 방법을 이용하여 ‘홍로’는 8월 6일, ‘후지’는 10월 14일에 각각 조사하였다.

통계분석은 Costat 프로그램(CoHort Software, Ver. 6.311, USA)을 이용하여 95%의 신뢰수준에서 Duncan's multiple range test(DMRT) 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 사과원 생육환경

2017년부터 2019년까지 3개년에 걸쳐 사과 생육기의 온도를 비교하였다. 생육기 최고 기온은 2018년에 33.1°C로 가장 높았고, 2019년의 8월의 경우에는 30.9°C로 평년의 30.1°C와 비슷한 수준으로 조사되었다. 8월의 최저 온도는 3개년 중 2017년, 2019년도가 각각 21.7°C, 21.8°C로 가장 낮은 수치를 보였는데 이는 평년의 21.0°C와 비교하면 다소 높은 것이었다(Fig. 3A, B). 한편, 2019년 8월 6일 오후 2시경 사과원의 온도를 측정했을 때(자료 미제시) 최대 35.7°C를 기록한 것을 보면 일시적 고온과 강광에 의한 일소 발생 및 착색장애가 발생할 가능성이 있을 것으로 사료되었다(Arakawa 등, 1985; Arakawa 등, 1986). 강우량을 비교해 보면 2019년 9월의 경우 146.5mm로 평년의 158.4mm와 유사한데, 이는 2017년과 2018년에 비해서는 현저히 높은 것이었다. 2019년 8월의 경우, 153.5mm를 보여 2018년의 211.3mm와 더불어 평년의 298.3mm에 비해서 유의하게 낮은 강우량을 보였다(Fig. 3C). 한편, 2019년 8월 최고기온이 평균 30.1°C로 2018년의 33.1°C에 비해 낮게 조사된 결과를 볼 때, 8월 고온기의 온도 상승에 미치는 강우량의 영향은 크지 않은 것으로 판단되며, 이는 고온기인 8월의 강수량이 적어 온도가 높을 가능성을 제시한 전보(Kang 등, 2019)와는 상이한 것이었다. 10월 강수량의 경우는 2018년 10월에 이상적으로 203.9mm가 측정된 것을 제외하고 평년과 유사하였다. 일조시간의 경우 7월 평년이 184.2시간인 것에 비해 2019년은 119.1시간으로 가장 짧았다. 마찬가지로 일조시간은 8월에도 평년의 206.9시간에 비해 2019년은 174.5시간으로 가장 짧았고, 2018년은 227.6시간으로 가장 길었다. 9월 일조시간의 경우에도 2018년 일조시간이 213.9시간인데 비하여, 2019년은 117.5시간으로 작년 대비 45%에 그치는 수준이었다. 과실 생육기인 7~10월 모두 2019년도가 다른 해에 비해 일조 시간이 가장 짧은 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3D).

2. 과실표면 온도 및 대기 온도

2019년 8월 6일 측정된 과실 표면 온도는 ‘후지’ 사과의 경우, 무처리구는 오전 11시부터 오후 1시까지 유의하게 높게 상승하여 40.0°C에 이르렀던 반면, 방풍망 처리구는 표면온도를 유의하게 낮추었는데, 특히 청색 방풍망의 경우 34.9°C로 5°C 이상 온도저감 효과를 볼 수 있었다(Fig. 4A). 그리고, 오후 2시에 측정된 결과를 보면 무처리구의 경우는 38.4°C로 측정되어 외부대기온도 35.7°C보다 2.7°C가 더 높게 기록되는 등 착색 불량 및 일소가 발생할 가능성이 높은 온도를 나타냈다

백색 및 청색 방풍망 차광 처리가 ‘후지’, ‘홍로’ 사과 과실의 품질에 미치는 영향

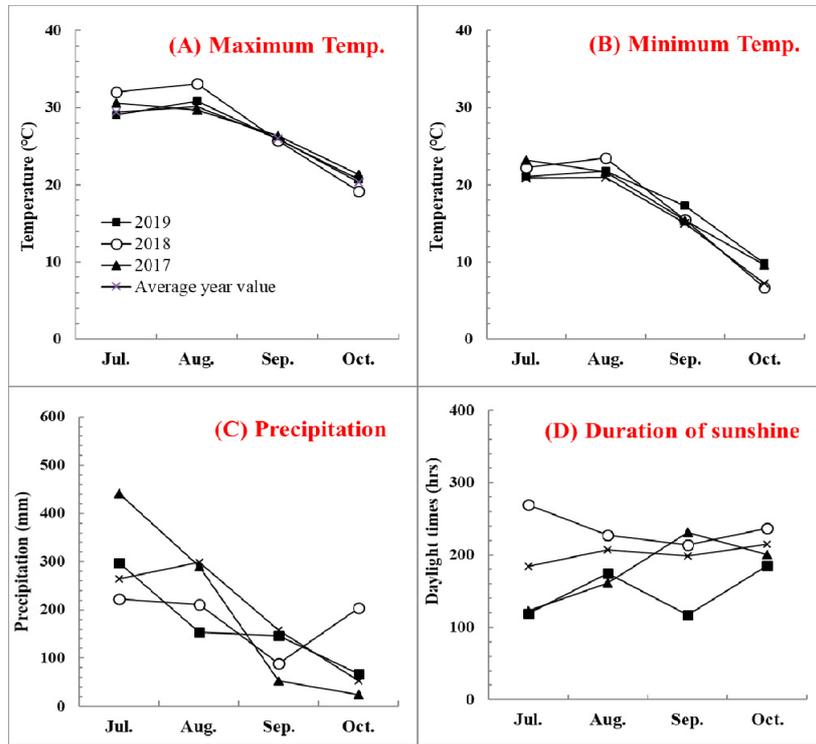


Fig. 3. Comparison of maximum (A) and minimum temperature (B), precipitation (C), and duration of sunshine (D) during three consecutive years (2017, 2018, 2019) of growing season compared to average year values.

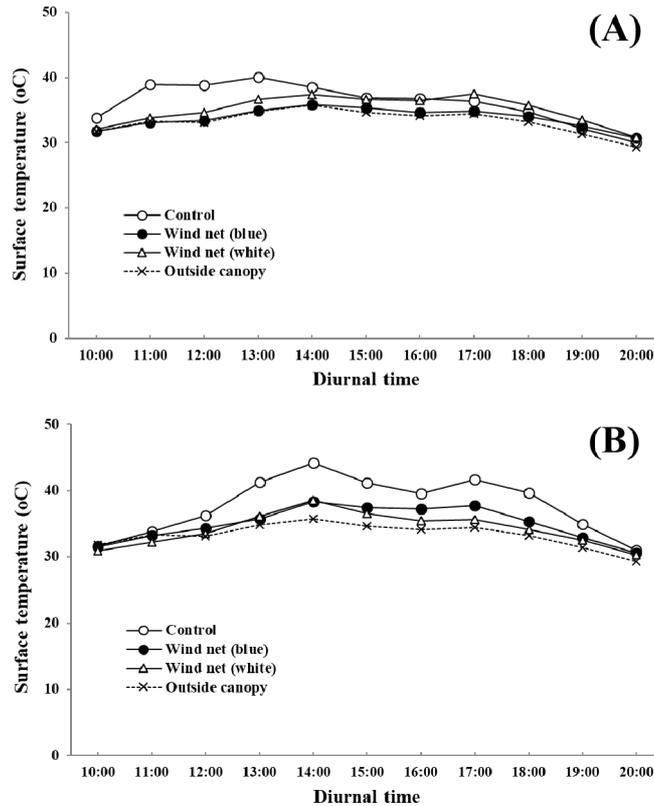


Fig. 4. Effect of wind nets on the changes of fruit surface temperature in ‘Fuji’ (A) and ‘Hongro’ (B) apples. Data were collected on 6 Aug., 2019.

(Iglesias 등, 2002). 청색 방풍망 처리구는 35.8°C를, 백색 방풍망 처리구는 37.35°C 기록되어 무처리구의 38.4°C에 비해 낮아 상대적으로 고온피해를 낮출 수 있는 온도하강 효과를 보여주었다(Fig. 4A). ‘홍로’ 사과의 경우에는 무처리구에서 오전 11시부터 오후 2시까지 높은 표면온도를 보인 ‘후지’와는 달리 과실표면 온도상승 시점이 다소 상이하였는데, 오후 12시부터 상승하기 시작하여 오후 7시까지 높은 과실표면온도를 유지하는 결과를 보였다. 즉, 오후 2시에 무처리구의 경우 44.2°C까지 상승하였고, 청색 방풍망 처리구는 38.3°C, 백색 방풍망 처리구는 38.6°C를 기록하여 ‘후지’와 마찬가지로 온도 경감효과를 보였다. ‘홍로’ 사과의 경우, ‘후지’ 사과와는 달리 백색 방풍망의 과실 표면온도 저감효과가 청색에 비하여 우수하여 오후 늦은 시간까지 유지되는 결과를 보였고 ‘후지’의 과실표면 온도보다 절대값이 높은 온도를 기록했는데, 이는 온도 측정시점에서 녹색의 과피를 지닌 ‘후지’와는 다르게 증생 중인 ‘홍로’가 이미 적색으로 착색이 빠르게 진행되어 광량을 더 많이 흡수해 온도가 높아진 것으로 판단되었다(Fig. 4B). 따라서, 품종별 및 과실표면의 착색도에 따른 방풍망 색의 영향을 구명하기 위한 추가적인 실험이 요구되는 것으로 생각되었다. ‘후지’에 대한 방풍망 처리별 표면온도 차이를 확인하기 위해 동일 오후 2시경 열화상 이미지를 촬영한 결과, 무처리구가 42.5°C, 청색 방풍망 처리구가 32.8°C, 백색 방풍망 처리구가 36.1°C로 기록되었다. 열화상 이미지 컬러는 프레임 속 오른쪽 온도컬러차트 범위에 따라 자동적용이 되므로 프레임 속

왼쪽 상단에 기록된 온도가 실제 과실표면온도이다. 열화상 카메라를 이용한 온도 측정방법에서도 무처리 대비 백색 방풍망의 온도저감 효과는 6.4°C 인데 비해 청색 방풍망의 온도 저감효과는 9.7°C 로 청색 방풍망의 온도 저감효과가 백색 방풍망보다 더 크게 나타난다는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 5).

3. 수관의 조도 및 광량

‘후지’ 나무에서 수관 상부와 하부의 조도와 광량을 조사한 결과는 다음과 같다. 조도에 있어 방풍망 처리구의 경우 ‘후지’ 수관 상부(170cm)에서 백색 및 청색방풍망 처리구 모두 무처리 대비 75%의 수준으로 유의하게 낮았고, 광량은 무처리 대비 백색 방풍망은 유의한 차이를 나타내지 않았으나, 청색 방풍망 처리구는 무처리 대비 82%의 수준으로 유의하게 광량을 낮춘 결과를 보였다(Table 1). ‘홍로’ 나무의 수관 상부 170cm 위치에서의 수관 내 조도를 측정한 결과, 무처리구는 291,000 lx 인데 비해 청색 방풍망처리구는 58,900 lx로 무처리구 대비 59% 수준이었고, 백색 방풍망 처리구는 72,000 lx로 무처리구 대비 63% 수준으로 조사되었다. 광량은 무처리구에 비해 청색 방풍망 처리구가 절반수준으로 조사되었던 반면, 백색 방풍망 처리구는 무처리구와 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2). 두 품종의 사과를 같은 날에 측정하였음에도 불구하고 ‘후지’와 ‘홍로’의 광량과 조도가 차이를 나타낸 원인은 ‘홍로’의 경우 ‘후지’보다 가지가 많은 유전적 특성 때문에 수관 하부로 갈수록 조도, 광량이 상대적으로 낮은 것으로 판단

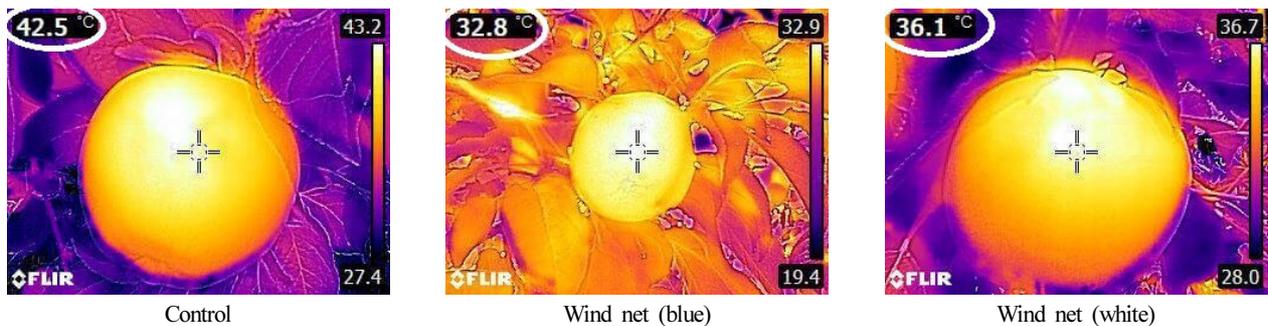


Fig. 5. Surface temperature measured in ‘Fuji’ apples using thermal imaging camera.

Table 1. Light intensity and quantity of light surveyed in ‘Fuji’ apple tree crown.

	Light intensity (lx)			Quantity of light ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$)		
	Top canopy ^z	Under canopy	Alley	Top canopy	Under canopy	Alley
Control	68.15 ³ a ^y	56.59 ³ a	80.02 ³ a	1552.1 a	411.6 a	1868.1 a
Wind net (blue)	51.15 ³ b	39.59 ³ a	51.13 ³ b	1274.9 b	230.8 b	899.4 b
Wind net (white)	51.03 ³ b	45.71 ³ a	47.61 ³ b	1499.5 a	381.2 a	1687.6 a

^zThe measurement were carried out at 170cm (top canopy) and 85cm (under canopy) on the ground surface, respectively.

^yMean separation within columns with Duncan’s multiple range test, 5% level.

Table 2. Light intensity and quantity of light surveyed in ‘Hongro’ apple tree crown.

	Light intensity (lx)			Quantity of light ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$)		
	Top canopy ²	Under canopy	Alley	Top canopy	Under canopy	Alley
Control	66.27 ³ a ^y	39.91 ³ a	79.03 ³ a	1531.0 a	327.4 ab	1787.6 a
Wind net (blue)	38.91 ³ b	39.05 ³ a	52.31 ³ b	812.9 b	289.9 b	1011.4 b
Wind net (white)	41.61 ³ b	39.05 ³ a	55.68 ³ b	1430.0 a	350.9 a	1479.8 ab

²The measurement were carried out at 170cm (top canopy) and 85cm (under canopy) on the ground surface, respectively.

³Mean separation within columns with Duncan’s multiple range test, 5% level.

되었다(Glenn과 Puterka, 2004). 이러한 방풍망 처리에 의한 ‘후지’의 82%와 ‘홍로’의 59% 수준의 차광 정도는 다수의 과실류에서 45% 차광에 의해 광량을 감소한 경우에도 광합성에 영향을 미치지 않았다는 Utsunomiya와 Higuchi(1996)의 보고를 감안하면 본 연구에서의 방풍망에 의한 광량저하는 사과 잎의 광합성량을 좌우할 만큼의 심각한 차광 수준은 아닌 것으로 판단되었다.

4. 잎의 엽록소 및 광합성 효율

SPAD meter로 잎의 엽록소를 측정한 결과, ‘후지’ 품종에서는 무처리구는 58.8, 청색 방풍망 처리구는 53.9, 백색 방풍망 처리구는 51.5로 조사되었고, ‘홍로’ 품종의 경우 무처리구는 64.2, 청색 방풍망 처리구는 61.3, 백색 방풍망 처리구는 56.0으로 조사되었다(Table 3). 품종에 관계없이 무처리구에 비해 방풍망 처리구에서 다소 낮은 수치를 보였는데 이러한 결과는 네트가 광을 차단하여 잎의 엽록소함량이 감소한 것으로 보인다(Park 등, 2004). 그러나, 방풍망 설치에 따른 잎의 엽록소함량의 차이는 해에 따라 달라지며 그 차이 또한 총광합성량에 영향을 미칠 만큼 크지 않았다는 Chouinard 등 (2019)의 보고를 감안하면 본 시험에서 적용한 방풍망이 잎의 광합성을 저해할 만큼의 수준은 아닌 것으로 생각되었다. 엽록소 형광 이미지를 암적응 후 QY analysis 방법으로 각각 형광매개변수(Parameter) 형광 강도에 의해 자동으로 매칭되는 색의 변화 산출 값을 근거로 분석하였다(Fig. 6). 최대 양자수율은 식물이 광합성을 할 수 있는 능력을 의미하는데 통상적으로 식물의 잎이 빛 에너지를 이용하여 이산화탄소와 수분으로 유기물을 합성하는 과정에서 잎의 최대 양자수율은 0.83 정도이다(Johnson 등 1993; Maxwell과 Johnson, 2000). 본 연구에서 ‘후지’의 최대양자수율의 경우, 청색 방풍망 처리구가 0.82, 백색 방풍망 처리구는 0.80으로 무처리구의 0.78보다 높았으며, ‘홍로’의 최대양자수율 경우, 청색 방풍망 처리구가 0.84, 백색 방풍망 처리구가 0.84로 무처리구의 0.77에 비해 방풍망 처리구에서 높은 수치를 나타내었다(Table 3). 따라서, ‘후지’, ‘홍로’ 두 사과 품종에서는 잎의 엽록소 함량

은 방풍망 처리구가 무처리구에 비해 다소 낮지만 고온하에서의 높은 광합성 효율을 유지하여(Mupambi 등, 2018), 전체적인 광합성량에는 문제가 없다는 점을 시사하고 있다(Bae와 Lee, 1994). 또한, 생육기 자외선 파장 영역대 중 UV-B Stress가 지속되면 ‘후지’의 과실 성숙단계에서는 광합성 능력이 저하된다고 보고된 바 있다(Hengari 등, 2014). 한편, 처리구의 잎 두께를 측정한 결과(Table 3), 처리구 간에는 유의한 차이를 보이지 않았고, 처리구 별 잎 두께와 엽록소함량의 상관관계를 분석해본 결과, -0.2620 , R^2 는 0.0686 로 통계적으로 유의성이 없었다(자료 미제시).

엽록소 형광 이미지를 처리별로 각각 매개변수에 의해 촬영하였다. 잎의 오른쪽 컬러차트바 즉, 매개변수별로 형광 강도 범위 내에서 파란색은 형광 강도가 가장 낮고 붉은색의 형광 강도가 가장 높음을 나타낸다. 자동으로 형광 강도에 의한 잎의 색변화를 근거로 하여 분석한 결과 ‘후지’, ‘홍로’ 두 품종에서 모두 무처리구가 최소 형광값(F_0)이 붉은색으로 높게 조사되어 최대 양자수율(F_v/F_m) 즉, 광합성량이 다른 처리구들에 비해 낮게 측정되었다. 이는 ‘후지’, ‘홍로’ 두 품종에서 무처리구가 모두 고온으로 인한 스트레스가 지속된 상태로 이해되었다(Fig. 6).

5. 과실품질 및 일소 발생 비교

‘후지’의 과피색차를 조사한 결과, 명도(L^*)는 유의차는 없었으나 백색 방풍망 처리구가 56.5로 가장 높게 나타났으며, 청색 방풍망 처리구는 53.9로 무처리구에 비해 다소 낮았다. 적색도(a^*)는 무처리구가 16.5로 가장 낮게 나타났으며, 청색 방풍망 처리구 18.0, 백색 방풍망 처리구 19.3으로 백색 방풍망 처리구에서 가장 높은 값을 보였다(Table 4). ‘홍로’에서도 백색 방풍망 처리구가 적색도가 34.9로 무처리구 28.1에 비해 유의하게 높은 적색도 발현을 보였다. 따라서, 매년 과원에 발생하는 일소피해가 적고 수확기 착색에 문제가 발생하는 사과원은 청색 방풍망 보다는 백색 방풍망을 처리하는 것이 착색 증진에 유리할 것으로 판단되었다. 황색도(b^*)는 두 품종에서 처리간 유의차는 없었으나 ‘홍로’에서 무처리 24.1에 비해 방

Table 3. Effect of wind nets on the SPAD Value and leaf thickness in ‘Fuji’ (A) and ‘Hongro’ (B) apples.

Treatment	SPAD (Index)		Fv/Fm (ratio)		Leaf thickness (mm)	
	‘Fuji’	‘Hongro’	‘Fuji’	‘Hongro’	‘Fuji’	‘Hongro’
Control	58.8 a ^z	64.2 a	0.78 b	0.77 b	0.99 a	1.03 a
Wind net (blue)	53.9 b	61.3 b	0.82 a	0.84 a	1.01 a	0.97 a
Wind net (white)	51.5 b	56.0 c	0.80 ab	0.84 a	1.03 a	1.00 a

^zMean separation within columns with Duncan’s multiple range test, 5% level.

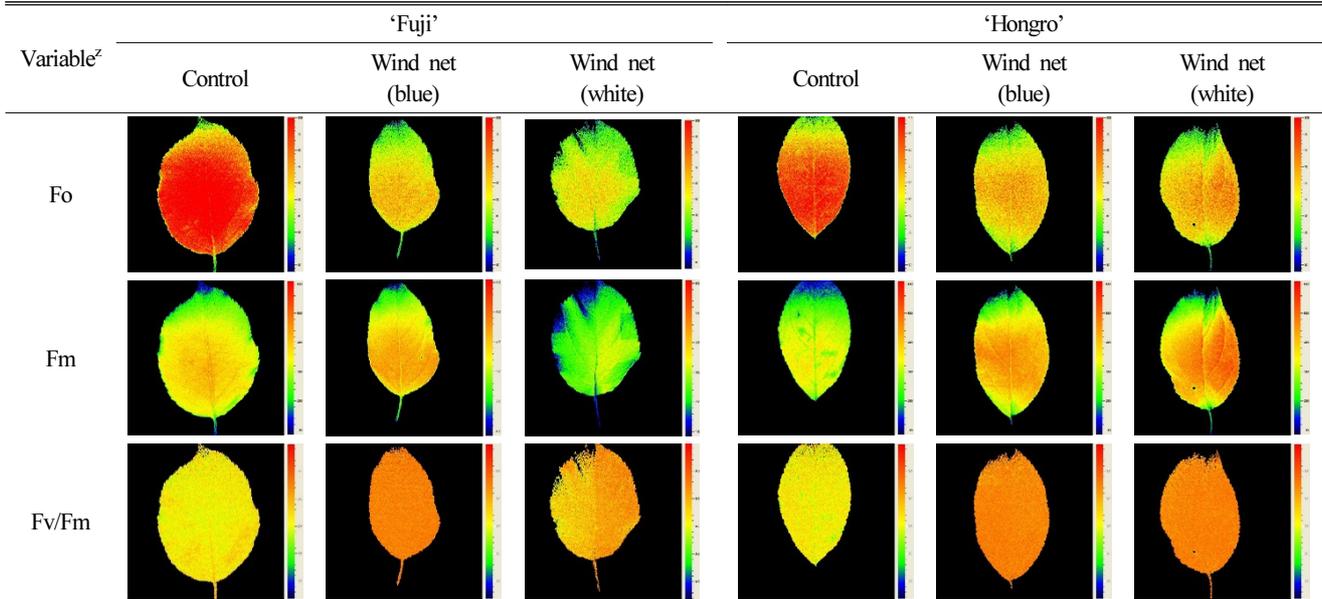


Fig. 6. Picture of chlorophyll fluorescence imaging of wind net treated leaves in ‘Fuji’ and ‘Hongro’ apples.

^zAbbreviation, Fo: minimum fluorescence yield, Fm: maximum fluorescence yield, Fv(Fm-Fo): Variable chlorophyll fluorescence, Fv/Fm (QY): maximum quantum yield.

Colorchart value range, Fo: 3.1 ~ 100, Fm: 70 ~ 610, Fv/Fm: 0.42 ~ 0.99.

Table 4. Effect of wind nets on skin color differences in ‘Fuji’ and ‘Hongro’ apples.

Treatment	‘Fuji’			‘Hongro’		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Control	55.3 ab ^z	16.5 a	23.5 a	56.3 a	28.1 b	24.1 a
Wind net (blue)	53.9 b	18.0 a	22.0 a	52.2 ab	29.9 ab	21.3 a
Wind net (white)	56.5 a	19.3 a	23.6 a	48.0 b	34.9 a	21.3 a

^zMean separation within columns with Duncan’s multiple range test, 5% level.

풍망 처리구는 21.3으로 다소간 낮게 조사되었는데 이 같은 과피색차에 미치는 방풍망의 효과는 기존의 보고(Cho 등, 1995; Chouinard 등, 2019; Kang 등, 2019)와 유사한 결과로 방풍망 처리에 따른 황색도 발현에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 이해되었다.

‘후지’의 과실특성을 조사한 결과를 보면, 과경, 과고, 과형 지수, 과중은 큰 차이가 없었으나, 가용성 고형물 함량의 경우

무처리구는 11.4°Brix로 가장 낮았고, 방풍망 처리구가 공히 13.6°Brix로 높았다(Table 5). 이는 광이 일부 차단되었더라도(Table 2) 상대적으로 높은 광합성 효율(Table 3) 때문에 전체적인 탄수화물의 과실로의 공급에는 문제가 없었다는 것을 시사하며, 무처리구의 경우에는 고온(Fig. 3A, Fig. 4)으로 인한 탄수화물의 전류에 지장을 받았던 것에 기인하는 것으로 추정되었다. 산 함량은 통계적 유의성은 없었으나 청색 방풍

망 처리구가 0.35%로 가장 낮았고, 무처리구와 백색 방풍망 처리구가 0.4%로 가장 높았다. 과실 경도(Table 5)의 경우에는 처리 간 큰 차이를 나타내지 않아, Kang 등(2019)의 보고와 유사한 결과를 보였다. 한편, ‘홍로’의 과실특성조사 결과에서도 ‘후지’와 유사하게 과경, 과고, 과형지수, 과중은 차이를 보이지 않았으며, 가용성 고형물 함량은 처리구 간 13.2-13.4° Brix로 유의한 차이를 보이지 않는 등 방풍망 처리에 따른 과실품질의 차이를 발견할 수 없었다(Table 5).

과실의 일소피해 정도를 과실 수확기에 조사한 결과는 다음과 같다(Table 6). ‘후지’에 있어 무처리구의 일소발생률은 9.4%로 나타났으나, 청색 방풍망 처리구는 3.8%, 백색 방풍망 처리구는 4.2%로 일소장해 방지 효과를 일부 보였으나 이 같은 수준은 Kang 등(2019)이 보고한 결과에 비해서는 전체적으로 일소발생이 적은 수준이었다(Table 6). ‘홍로’의 경우, 방풍망 처리에 따른 일소 방지 효과가 ‘후지’에 비해서는 높게 나타났는데 무처리구의 일소발생률이 28.8%였고, 청색 방풍망 처리구는 8.8%, 백색 방풍망 처리구는 12.4%로 조사되어 청색이 가장 큰 방지 효과를 보였다(Table 6). 한편, ‘홍로’의 일소피해 발생이 ‘후지’에 비해서 높았던 이유는 ‘홍로’가 ‘후지’보다 비대 속도가 빠르며 품종 특성상 중생종인 ‘홍로’가 적색으로 빨리 착색되어 강한 광을 흡수함으로써 데임 현상이

많이 발생된 것으로 판단되었다.

한편, 처리구 별 자외선 수치를 측정하였을 때 무처리 구간의 자외선 값은 44.6 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ 으로 가장 높았고, 청색 방풍망 구간의 측정값은 24.9 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ 으로 무처리구의 절반 수준이었고, 백색 방풍망 구간은 무처리 대비 84%의 수준으로 낮게 조사되는(Table 6) 등 방풍망에 의한 자외선 차단 효과에서 기인하는 것으로 평가되었다(Glenn 등, 2002). 일반적으로 고온과 자외선 과장영역인 UV-B(280~315nm)는 과표면에 과도하게 도달하면 갈변되는 화상 위험 가능성이 크지만 (Felicetti와 Schrader, 2008) 색소발현 호르몬의 생합성을 조절하여 과일 색소발현을 증가시킨다고도 보고된 바 있으므로 UV-B의 광수용체인 MdUVR8 유전자가 광도에 따른 색소발현 호르몬 합성에 얼마나 관여하는지에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료되었다(Zhao 등, 2016).

이상의 결과를 종합하여 볼 때, ‘후지’ 및 ‘홍로’ 사과에 대한 방풍망 처리시 청색망을 사용하는 경우, 과실 품질 요인의 손실 없이 일소 경감 효과를 기대할 수 있었으며, ‘홍로’ 품종에서 강광 및 고온을 차단하기 위한 방풍망 설치 시점은 추석을 고려해 6월 상순 정도가, ‘후지’ 품종은 6월 하순 정도가 적정 설치시점으로 판단된다.

Table 5. Effect of wind nets on fruit characteristics and quality indices in ‘Fuji’ and ‘Hongro’ apples.

Treatment	Width (mm)	Length (mm)	Shape (L/W)	Weight (g)	SS (°Brix)	TA (%)	Firmness (Kgf)
‘Fuji’							
Control	102.3 b ^z	92.3 ab	0.90	467 ab	11.4 b	0.37 a	2.8 b
Wind net (blue)	99.6 b	91.7 b	0.92	433 b	13.6 a	0.35 a	2.9 a
Wind net (white)	104.3 a	95.7 a	0.92	507 a	13.6 a	0.40 a	2.9 a
‘Hongro’							
Control	93.3 a	84.4 a	0.88	343 a	13.2 a	0.35 a	3.9 a
Wind net (blue)	90.7 ab	78.7 b	0.87	301 b	13.2 a	0.34 a	3.9 a
Wind net (white)	86.9 b	78.2 b	0.90	272 b	13.4 a	0.31 a	3.9 a

^zMean separation within columns in each cultivar with Duncan’s multiple range test, 5% level.

Table 6. Comparison of the sun burn incidence and UV value in two apple cultivars.

Treatment	Sunburn incidence (%)		UVB value ($\mu\text{w}/\text{cm}^2$)
	‘Fuji’	‘Hongro’	‘Fuji’
Control	9.4 ^z	28.8	44.6 a ^y
Wind net (blue)	3.8	8.8	24.9 c
Wind net (white)	4.2	12.4	37.5 b

^zSunburn incidence (%) = The number of damages sunburn / Total number of fruit.

^yMean separation within columns with Duncan’s multiple range test, 5% level.

결 론

예산지역에서 사과 생육 중 고온기의 과실 표면 온도를 측정 한 결과, ‘후지’에서 대기온도가 34.8°C일 때, 무처리구가 40.0°C로 가장 높았으며, 청색 방풍망 처리구는 34.9°C로 5°C 이상 온도저감 효과를 볼 수 있었다. ‘홍로’에서는 무처리구가 44.2°C일 때, 청색 방풍망 처리구는 38.3°C, 백색 방풍망 처리구는 38.5°C를 기록하여 ‘후지’와 마찬가지로 온도 경감 효과를 보였다. ‘후지’에서 수관 상부와 하부의 조도를 조사한 결과, 방풍망 처리구의 경우 ‘후지’ 수관 상부(170cm)에서 백색 및 청색방풍망 처리구 모두 무처리 대비 75%의 수준으로 유의하게 낮아졌고, 광량은 청색 방풍망 처리구에서만 무처리 대비 82%의 수준으로 유의하게 광량을 낮춘 결과를 보였다. ‘홍로’의 수관 내 조도를 측정한 결과, 수관 상부(170cm)에서 무처리구는 66.27³lx인데 비해 청색 방풍망처리구는 38.91³lx로 가장 차단 효과가 우수하였고, 광량은 청색 방풍망 처리구에서만 무처리구 대비 절반 수준으로 조사되었다. 잎의 엽록소 수준은 품종에 관계없이 무처리구에 비해 방풍망 처리구에서 다소 낮은 수치를 보였는데, 엽록소 형광 이미지 촬영 분석 결과, 최대양자수율 Fv/Fm(QY)값이 ‘후지’에서 무처리구가 0.78, 청색 방풍망 처리구가 0.82, 백색 방풍망 처리구는 0.80으로 방풍망 처리구에서 높았으며, ‘홍로’의 최대 양자수율 경우 무처리구가 0.77이었고 청색 및 백색 방풍망 처리구가 0.84로 무처리구에 비해 높은 수치를 나타내는 등 방풍망을 처리한 구간의 사과나무가 높은 광합성 효율을 나타내는 것으로 조사되었다. ‘후지’의 과피색차를 조사한 결과, 과피적색도(a*)는 무처리구가 16.5로 가장 낮게 나타났으며, 청색 방풍망 처리구 18.0, 백색 방풍망 처리구 19.3으로 백색 방풍망 처리구에서 가장 높은 값을 보였다. ‘홍로’에서도 백색 방풍망 처리구가 적색도가 34.9로 무처리구 28.1에 비해 유의하게 높은 적색도 발현을 보였다. ‘후지’ 및 ‘홍로’의 과실특성 조사 결과, 방풍망 처리에 따른 과실생장 지수의 차이는 보이지 않았으며 경도, 가용성 고형물 함량, 산함량 등 품질적 측면에서도 부정적인 결과를 보이지 않았다. 일소피해 조사결과, ‘후지’에서 청색 방풍망 처리구 3.8%, 백색 방풍망 처리구 4.2%로 무처리구 9.4%에 비하여 각각 60, 55% 경감되었고 ‘홍로’의 경우는 청색 방풍망 처리구는 8.8%, 백색 방풍망 처리구는 12.4%로 무처리구 28.8%에 비하여 일소발생이 각각 70%, 57% 정도 감소하였다. 한편, 처리구 별 자외선 수치를 측정하였을 때 무처리 구간의 자외선 값은 44.6 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ 로 가장 높았고 청색 방풍망 구간은 24.9 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$, 백색 방풍망 구간은 37.5 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ 로 방풍망에 의한 자외선 차단 효과를 확인할 수 있었다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때, 국내 재배면적이

가장 많은 ‘후지’와 ‘홍로’에 대한 방풍망 처리는 최근 기후변화에 의한 이상기상 중 하나인 생육기 고온으로 야기되는 과실품질저해 요인을 저감할 수 있는 현장적용이 가능한 기술로 판단되었다.

적 요

본 연구는 ‘후지/M.9’와 ‘홍로/M.9’가 재식된 사과원에 바람이나 우박을 막기 위해 사용되는 망(구멍 크기: 2×2mm)을 수관상부에 색상별로 백색과 청색을 나누어 설치한 후 햇빛의 차광정도 및 생육환경 차이 등에 따른 과실품질 변화를 조사 하였다. ‘후지’ 사과의 경우 대기온도 34.8°C인 오후 2~3시경의 과실표면 온도를 측정 한 결과, 무처리는 40.0°C로 가장 높았고, 청색 방풍망과 백색 방풍망 처리구는 각각 34.9°C, 36.6°C로 크게 낮았다. ‘홍로’에서는 무처리구가 44.2°C일 때, 청색 방풍망 처리구는 38.3°C, 백색 방풍망 처리구는 38.5°C를 기록하여 ‘후지’와 마찬가지로 온도 경감효과를 보였다. ‘후지’의 과피색차를 조사한 결과, 과피적색도(a*)는 무처리구가 16.5, 청색 방풍망 처리구는 18.0였으나, 백색 방풍망 처리구는 19.3으로 가장 높은 값을 보였다. ‘홍로’에서도 백색 방풍망 처리구가 적색도가 34.9로 무처리구 28.1에 비해 유의하게 높은 적색도 발현을 보였다. 일소피해 조사결과, ‘후지’에서 청색 방풍망 처리구 3.8%, 백색 방풍망 처리구 4.2%로 무처리구 9.4%에 비하여 크게 경감되었고, ‘홍로’의 경우는 청색 방풍망 처리구는 8.8%, 백색 방풍망 처리구는 12.4%로 무처리구 28.8%에 비하여 일소발생이 현저히 감소하였다. 이 같은 결과는 처리별 자외선 수치를 측정하였을 때 무처리 구간의 자외선 값에 비해 청색 방풍망 처리구에서 유의하게 낮아 방풍망 처리에 의한 자외선 차단 효과에 의한 것을 확인할 수 있었다.

사 사

본 연구는 2019년도 농촌진흥청 지원 연구비(PJ0130922019: 기후변화 대응 생물기상학 비교 분석을 통한 사과 내동해성 기작연구)에 의하여 수행된 결과이므로 이에 감사드립니다.

Literature Cited

- Arakawa, O., Y. Hori, and R. Ogata. 1985. Relative effectiveness and interaction of ultraviolet-B, red and blue light in anthocyanin synthesis of apple fruit. *Physiol. Plant.* 64:323-327.
- Arakawa, O., Y. Hori, and R. Ogata. 1986. Characteristics of

- development and relationship between anthocyanin synthesis and phenylalanine ammonia-lyase activity in ‘Starking Delicious’, ‘Fuji’ and ‘Mutsu’ apple fruits. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 54:424-430.
- Bae, R.N. and S.K. Lee. 1994. Effects of some postharvest treatment on anthocyanin synthesis and quality and ‘Fuji’ apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 35:599-609.
- Cho, D.H., J.S. Kim, J.Y. Yoon, S.Y. Choi, and B.S. Choi. 1995. Effect of rain shelter and reflecting film mulching on fruit quality and disease infection in peach. *RDA. J. Agri. Sci.* 37:456-460.
- Chouinard, G., J. Veilleux, F. Pelletier, M. Larose, V. Philion, V. Joubert, and D. Comier. 2019. Impact of exclusion netting row covers on ‘Honeycrisp’ apple trees grown under north-eastern north American conditions: Effects on photosynthesis and fruit quality. *Insects* 10:214. doi:10.3390/insects10070214.
- Felicetti, D.A. and L.E. Schrader. 2008. Photooxidative sunburn of apples: Characterization of a third type of apple sunburn. *Int. J. Fruit Sci.* 8:160-172.
- Glenn, D. M., E. Prado, A. Erez, J. McFerson, and G. J. Puterka. 2002. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection and solar injury in apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127:188-193.
- Glenn, D. M. and G. Puterka. 2004. Particle film technology: An overview of history, concepts and impact in horticulture. *Acta Hortic.* 636:509-511.
- Hengari, S., K.I. Theron, S.J. Midgley, and W.J. Steyn. 2014. The effect of high UV-B dosage on apple fruit photosystems at different fruit maturity stages. *Sci. Hortic.* 170:103-114.
- Iglesias, I., J. Salvia., L. Torguet, and C. Cabus. 2002. Orchard cooling with overtree microsprinkler irrigation to improve fruit colour and quality of ‘Topred Delicious’ apples. *Sci. Hortic.* 93:39-51.
- Johnson, G.N., A.J. Young, J.D. Scholes, and P. Horton. 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. *Plant Cell Environ.* 16:673-679. doi:10.1111/j.1365-3040.1993.tb00485.x
- Kang, K.J., J.H. Seo, H.K. Yoon, J.S. Seo, T.Y. Choi, and J.P. Chun. 2019. Effects of wind net shading and sprinkling on growing conditions and fruit quality in ‘Hongro’ and ‘Fuji’ apple fruits. *Protected Hort. Plant Fac.* 28:126-133.
- Kim S.Y, I.H. Heo, and S.H. Lee. 2010. Impacts of temperature rising on changing of cultivation area of apple in Korea. *J. Korean Assoc. Region. Geography.* 16:201-215.
- Kim, S.E. and K.D. Kwon. 2019. Exports strategies of ‘Kolopple’ brand in Korea’s apples producing cluster-Focused on Andong, Chungju, Geochang and Yesan area -. *J. Brand Design Assoc. Korea.* 17:41-52.
- Kwon, H. J., D.H. Sagong, M.Y. Park, Y.Y. Song, K.H. Chung, J.C. Nam, J.H. Han, and G.R. Do. 2013. Influence of elevated CO₂ and air temperature on photosynthesis, shoot growth, and fruit quality of ‘Fuji’/M.9 apple tree. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 15:245-263. Doi:10.5532/KJAFM.2013.15.4.245.
- Lee, J.G., Y.J. Kim, and S.H. Jeong. 2010. The climatological regional characteristics of the occurrence of extraordinary temperature events associated with crop cultivation. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 12:157-172.
- Leja, M., A. Mareczek, and J. Ben. 2003. Antioxidant properties of two apple cultivars during long-term storage. *Food Chem.* 80:303-307.
- Lin-Wang, K., D. Micheletti, J. Palmer, R. Volz, L. Lozano, R. Espley, R.P. Hellens, D. Chaqne, D.D. Rowan, M. Troqgio, I. Iglesias, and A.C. Allan. 2011. High temperature reduces apple fruit colour via modulation of the anthocyanin regulatory complex. *Plant Cell Environ.* 34:1176-1190. Doi: 10.1111/j.1365-3040.2011.02316.x
- Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *J. Exp. Bot.* 51:659-668.
- Mupambi, G., S. Musacchi, S. Serra, L. Kalcsits, D.R. Layne, and T. Schmidt. 2018. Protective netting improves leaf-level photosynthetic light use efficiency in ‘Honeycrisp’ apple under heat stress. *HortScience.* 53:1416-1422. DOI.10.21273/HORTSCI13096-18.
- Palmer, J.W., J.P. Prive, and D.S. Tustin. 2003. Temperature. Apples; botany, production and uses, D.C. Ferree and I.J. Warrington (Eds.), CABI Publishing, Cambridge, MA, USA, 217-236.
- Park, J.G., S.K. Kim, J.Y. Lee, S.H. Kim, and Y.U. Shin. 2004. Seasonal and daily patterns of xylem sap transportation in ‘Fuji’/M.9 apple trees. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22:310-314.
- Racsko, J. and L. E. Schrader, 2012. Sunburn of apple fruit: Historical background, recent advances and future perspectives. *Critic. Rev. Plant Sci.* 31:455-504.
- 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.
- Song, Y.Y., M.Y. Park, S.J. Yang, and D.H. Sagong. 2009: Influence of air temperature during midsummer on fruit sunburn occurrence in ‘Fuji’/M9 apple tree. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 11:127-134.
- Utsunomiya, N. and H. Higuchi. 1996. Effects of irradiance level on the growth and photosynthesis of cherimoya, sugar apple and soursop seedling. *Environ. Control in Biol.* 34:201-207.
- Zhao, C., Mao, K., You, C. X., Zhao, X. Y., Wang, S. H., Li, Y. Y., & Hao, Y. J. (2016). Molecular cloning and functional analysis of a UV-B photoreceptor gene, MdUVR8 (UV Resistance Locus 8), from apple. *Plant Sci.* 247:115-126.