

PLANT&FOREST

# Effect of plastic film rain shelter installation in Asian pear orchards on frost and freeze damage and fruit quality

Hyeong-Seok Lee<sup>1</sup>, Yu-Rim Kim<sup>1</sup>, Young-Jik Ahn<sup>2</sup>, Ho-Seok Son<sup>3</sup>, Jong-Pil Chun<sup>1,4\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Bio-AI Convergence, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Department of Horticulture, Paichai University, Daejeon 35345, Korea

<sup>3</sup>Daejeon Horticultural Agricultural Cooperation, Daejeon 34934, Korea

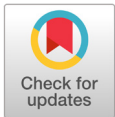
<sup>4</sup>Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

\*Corresponding author: [jpchun@cnu.ac.kr](mailto:jpchun@cnu.ac.kr)

## Abstract

This study evaluated the impact of rain shelters made of plastic film on spring frost damage and fruit quality in Asian pears ('Nittaka') over two years. In 2021, during the coldest spring days (between 0:00 am and 7:00 am), temperatures dropped to -1.20 - 0.43°C at 120 cm and -1.33 - 0.57°C at 200 cm above ground level in the control. Conversely, the rain shelter treatment maintained higher temperatures, -0.40 - 0.87°C at 120 cm and -0.43 - 0.77°C at 200 cm. Flower damage was significantly lower in the rain-sheltered group, with incidences of 1.3 and 6.9% at 120 and 200 cm, respectively, compared with 18.1 and 22.6% in the control group. Visual observations verified the prevention of frost adhesion on flower organs in the sheltered group, compared with noticeable pistil death and petal browning in the control group. In 2022, when temperatures remained above 0°C, fruitlet stalk length was 5 - 6 mm longer in the sheltered group. The cumulative impact of rain shelters was evident in the improved fruit quality over the two years. This study suggests resilient cultivation strategies in the face of climate change to reduce frost damage, increase productivity, improve fruit quality, and potentially increase incomes of the farmers.

**Keywords:** Asian pear, climate change, flowering season, frost damage, rain shelter



## OPEN ACCESS

**Citation:** Lee HS, Kim YR, Ahn YJ, Son HS, Chun JP. Effect of plastic film rain shelter installation in Asian pear orchards on frost and freeze damage and fruit quality. Korean Journal of Agricultural Science 50:497-505. <https://doi.org/10.7744/kjoas.500318>

**Received:** August 03, 2023

**Revised:** August 23, 2023

**Accepted:** August 29, 2023

**Copyright:** © 2023 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Introduction

최근 지구온난화에 따른 기온 상승으로 연중 서리 일수는 감소하는 추세지만(IPCC, 2021), 개화기 전 고온에 의한 이른 개화(Chitu and Paltineanu, 2020)와 국부적인 기후 변동성 때문에 봄철 개화기의 서리피해는 여전히 발생하고 있다(Jo et al., 2022). 농림수산물부에 따르면 2018년부터 3년간 저온으로 인한 동해 피해는 봄철 과수 꽃눈과 인삼 싹, 노지 농작물 등에 대해 총 108,608 ha에서 발생하여 2,311억원의 재해복구비가 지원되었는데(MAFRA, 2021), 이와 같은 큰 비용과 손실을 줄이기 위해서는 피해를 경감시키기 위한 대책이 필요한 실정이다.

봄철 서리피해는 저온에 따른 세포 내외의 얼음형성에 의해 발생하는데(Rodrigo, 2000), 서리가 화기에 부착하면 조직이 동결되고, 세포막이나 엽록체의 막이 경화되어 파괴되거나 세포가 말라 죽게 된다(Pearce, 2001). 또한 한번 동결된 조직이 온도가 상승하여 녹게 되면 갈변 및 흑변으로 증상이 나타나 조직이 제 기능을 상실하게 된다(Longstroth, 2021). 이에 따라, 수상에는 결실을 할 수 있는 꽃이 줄어들게 되므로 결국 심각한 과수의 생산량 감소로 이어지게 된다.

배는 영년생 과수 작물로, 이미 조성된 과수원은 서리피해 회피를 위한 이동이 불가능하다. 따라서, 물리적인 방법을 사용하여 서리피해를 최소화해야 한다. Choi 등(2011)의 연구에 따르면, 배 과원에서 공기의 대류를 활용하거나, 물이 얼음 형성 시 방출되는 잠열을 이용한 미세살수와 방상팬의 사용은 서리피해를 줄이는 효과를 보였으며, 이는 동시에 착과율을 향상시키는 결과를 보였다. 또한, 농촌진흥청에서 기존의 왕겨, 짚, 전정 가지를 이용한 연소법 대신, 새롭게 개발된 연소자재인 메탄올 젤, 목탄, 액체파라핀 등을 사용하여 과원 내의 온도를 높이는 방법을 제안하고 있다(NIHHS, 2020).

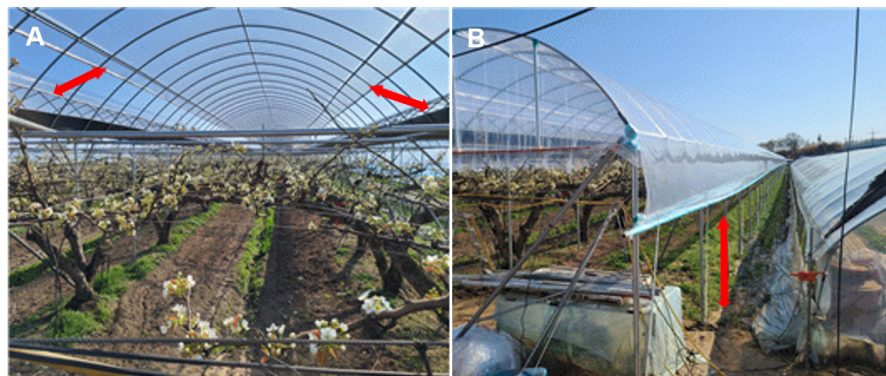
비가림시설은 주로 포도 재배에서 활용되고 있는데 나무 주변의 기온을 높이고 수피의 탄수화물 함량을 증가시켜 저온 피해를 감소시키고, 병 발생률을 줄여 고품질의 포도를 생산하는 데에 효과적인 것으로 보고되고 있다(Chavarria et al., 2007; Ahn et al., 2012; Meng et al., 2013). 따라서 비가림시설을 배 과원에 적용하면, 과원의 온도를 높여 서리가 꽃봉오리, 꽃, 유과에 직접적으로 영향을 주지 않게 보호하면서 동시에 병 발생률을 감소시킬 수 있음을 예상할 수 있다.

이에 본 실험에서는 배 과수원을 대상으로 비가림시설을 설치하고 노지를 대조구로 하여 배 꽃의 서리 및 동결 피해 방지 효과 및 수확기의 과실 품질에 미치는 영향을 비교하였다.

## Materials and Methods

### 과실재료 및 비가림시설 설치

충청남도 논산시 광석면 울리 944 번지에 위치한 시험포장에 재식되어 있는 40년생 ‘신고’ 배를 대상으로 실험하였다. 무처리구는 노지재배로 두고 처리구로 비가림시설을 설치하여 비교하였다. 비가림시설의 재료는 0.05 mm의 LDPE (low density polyethylene)를 사용하여 100 m × 15 m의 규모로 1중 설치하였다. 비가림시설의 비닐 개폐는 개화기 중 개폐시설을 설치한 지붕과 치마의 ‘c’자 영역(대기 정체를 막기 위해 한쪽 면을 개방)을 일출 후 온도가 오르기 시작하면 열고 일몰시간에 닫는 것으로 진행하였다(Fig. 1).



**Fig. 1.** Picture of open (A) and closed (B) structure of rain shelter. Arrows indicate the directions of the closing (A) and opening (B).

비가림시설 설치 유무에 따른 온습도 변화를 비교하기 위해 각 처리구에 3지구(북, 중, 남) × 2위치(상, 하[지면으로부터 각 200, 120 cm]) 별로 총 12부위에 온도 센서 데이터로거(Testo 174H, Testo SE & Co., KGaA, Germany)를 설치하였고, 각 위치에서 10분 간격으로 측정하였다. 온도 변화 및 서리피해 시 꽃의 반응을 관찰하기 위해 타임랩스 카메라(ATL200S, Afidus, Taiwan)를 배꽃의 위치에 설치하여 20초 간격으로 측정하였다. 실험년도의 만개일은 2021년은 4월 8일, 2022년은 4월 16일이었으며 공히 ‘야리’ 화분으로 인공수분을 실시하였다.

## 배꽃 서리 피해조사

화기의 서리피해 조사를 위해 4월 21일에 처리구별로 꺾기와 길이가 유사하여 세력이 균일하다고 판단되는 결과지 3개씩을 선정하여 기부로부터 말단 방향으로 착생된 10번째까지의 화총, 총 120화총을 대상으로 조사하였다. 하나의 화총에는 평균 7개의 꽃이 있었으며 화총 내에서 꽃잎이 갈변 혹은 흑변된 것과 암술과 수술이 고사한 것이 피해를 입은 것으로 간주하여 화총당 피해 비율을 조사하였다. 2022년에는 4월 22일에 화총당 꽃 피해율을 조사하고 5월 6일에 처리구별로 착과된 유과를 5개씩 수체상에서 과경, 과고 및 과폭의 길이를 조사하였다.

## 품질조사 및 생리장애 평가

2021년 9월 1일과 2022년 8월 31일에 처리구별 과실을 무작위로 채취하여 충남대학교 농업생명과학대학 과수원예학 실험실로 이송하여 분석에 이용하였다. 수확된 과실은 25°C 상온에 1일 방치한 후 품질 조사를 실시하였다. 처리별 반복 수는 2021년에 18과, 2022년에 30과를 사용하였다. 과실발육 조사는 과경을 제거한 후 과실무게를 전자저울(CB-3000, AND, Korea)로 측정하였고 과고 및 과폭은 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 과실의 경도는 과실의 적도면을 기준으로 과피를 벗기고 8 mm flat-tipped probe를 사용하여 Rheometer (TMS-Pro, Food Tech. Corp., USA)로 5 mm sample move, 100 mm/min의 조건으로 최대압력을 측정하였다. 가용성 고형물 함량은 과실 적도면의 동일부분을 1 cm두께로 잘라 4겹의 cheese cloth를 이용해 착즙하여 digital refractometer (PR-32a, Atago, Japan)로 측정하였으며, 산 함량은 동일한 방법으로 착즙한 과즙 5 mL를 증류수 35 mL에 희석하여 0.1 N NaOH를 이용하여 pH 8.3까지 중화 적정한 후 사과산으로 환산하였다. 과피색 측정은 chroma meter (CR-410, Minolta, Japan)를 이용하여 각 개체의 모든 과실의 적도면을 측정하여 L\*, a\*, b\*를 구하고 Hue값을 계산하였다(Kim et al., 2022).

통계 분석은 Python (version 3.10.12, Python software foundation, USA)을 사용하여 수행되었다. 데이터 처리와 분석을 위해 pandas (version 1.5.3)와 numpy (version 1.22.4) 라이브러리를 사용하였다. 이원분산분석(Two-way ANOVA)은 statsmodels 라이브러리(version 0.13.5)의 ols와 anova\_lm 함수를 사용하여 수행하였다. 사후검정은 statsmodels의 MultiComparison과 pairwise\_tukeyhsd 함수를 사용하여 Tukey's HSD 테스트를 수행하였다. 모든 검정에서 유의 수준은 0.05로 설정하였다.

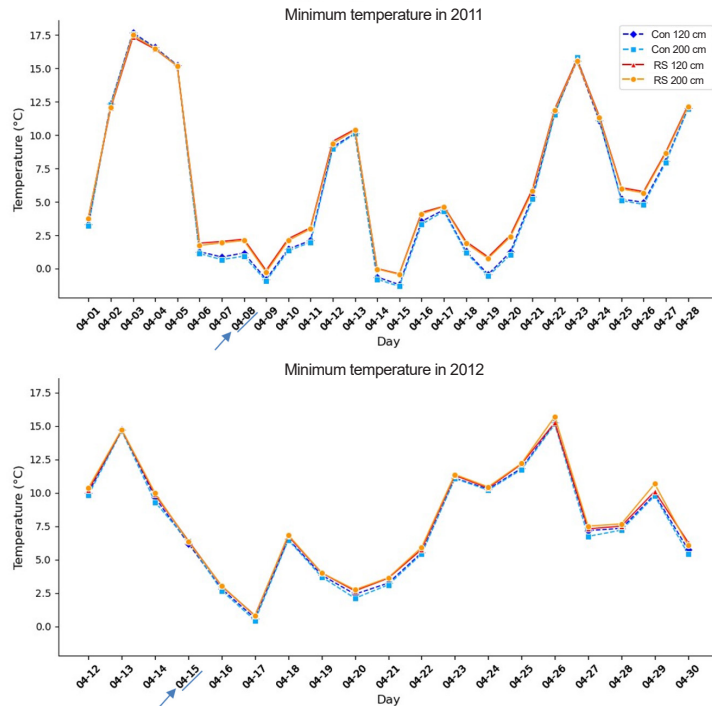
## Results and Discussion

### 비가림시설 설치에 따른 온도변화

개화기 전후에 지상 120 cm와 200 cm 높이에서 온도를 측정한 결과, 비가림시설이 설치된 처리구에서는 대조구에 비해 기온 상승 효과가 확인되었다. 이같은 결과는 2021년과 2022년 모두 해당되었는데 상대적으로 기온이 낮았던 2021년이 2022년에 비해서 온도상승효과가 크게 나타났다. 즉, 2021년 4월 1일부터 4월 28일까지의 일중최저

온도는 처리구가 대조구에 비하여 120 cm 및 200 cm에서 각각 0.54, 0.57°C 높았으며, 2022년 4월 12일에서 4월 30 일간의 일중최저온도도 두 위치에서 각각 0.21, 0.45°C 높게 조사되었다(Fig. 2).

2021년에 서리피해에 영향을 주는 최저 온도를 조사한 결과, 가장 온도가 낮은 0시부터 오전 7시까지의 7시간



**Fig. 2.** Comparison of minimum temperature by treatment and position in 2021 and 2022. Arrows indicate full bloom day of each year. Con, control; RS, rain shelter.

동안 최저 온도가 0°C 이하로 떨어진 날은 4일로 조사되었다. 동기간 중 수관 내 위치별 온도를 조사한 결과, 대조구에서는 지상 120 cm 높이에서 4월 9일, 4월 14일, 4월 15일, 4월 19일에 각각 -0.80, -0.63, -1.20, -0.43°C로 측정되었고 동일간 200 cm 높이에서는 각각 -0.93, -0.80, -1.33, -0.57°C로 측정되어 지상 200 cm에서 다소 낮은 온도를 보이는 것으로 나타났다(Table 1). 반면, 비가림시설 처리구에서는 120 cm 높이에서 동일간 각각 -0.13, 0.00, -0.40, 0.87°C로 측정되었고, 200 cm 높이에서는 각각 -0.27, -0.03, -0.43, 0.77°C로 측정되어 대조구보다 평균 0.88°C 높았으며 지면높이에 따른 온도차이는 대조구에 비해서는 적은 것으로 조사되었다.

일반적으로 지표근처의 온도는 토양의 열용량, 지표면의 복사능, 지형이나 식생에 의한 복사냉각 차단과 같은

**Table 1.** Temperature (°C) by treatments on days with minimum temperatures below 0°C.

| Date       | Control             |        | Rain shelter |        |
|------------|---------------------|--------|--------------|--------|
|            | 120 cm <sup>z</sup> | 200 cm | 120 cm       | 200 cm |
| 2021-04-09 | -0.80               | -0.93  | -0.13        | -0.27  |
| 2021-04-14 | -0.63               | -0.80  | 0.00         | -0.03  |
| 2021-04-15 | -1.20               | -1.33  | -0.40        | -0.43  |
| 2021-04-19 | -0.43               | -0.57  | 0.87         | 0.77   |

<sup>z</sup> Data were collected on 120 cm and 200 cm above the ground in orchard.

여러 요인에 의해 영향을 받는데(Lindkvist and Lindqvist, 1997), 일몰 후 과원의 온도는 지표근처에서 냉각이 많아서 가장 낮고 고도가 높아질수록 높다고 보고된 바 있다(Nishiyama, 1985). 본 연구에서는 지면 위 200 cm의 온도가

120 cm에 비해 다소 낮거나 유사하였던 결과는 과원주변이 논으로 둘러싸여 있고 바람이 잘 부는 지역적 특성에 기인하였거나 측정된 200 cm가 나무의 가장 상단부로 대기중에 노출되었던 결과로 생각되었다.

한편, 2022년에는 2021년과는 다르게, 만개 이후 배 과원의 온도는 한 번도 0°C 이하로 떨어진 적이 없었다. 따라서 과원이 서리피해 한계온도 이상을 유지하였으므로, 이 연도에는 처리구별 온도 차이가 과원에 서리피해에 미치는 영향이 거의 없었을 것으로 보인다.

### 비가림시설 설치에 따른 꽃 서리피해

빙점 이하의 온도에서 서리가 발생하면 세포 수준에서 조직 내 동결로 인한 기계적 스트레스, 탈수 및 내부 용질 농도 상승과 같은 여러 잠재적인 스트레스로 인해 피해가 발생할 수 있다(Levitt, 1980). 2021년에 대조구에서는 서리의 부착과 저온 동결피해가 발생하여 꽃잎이 갈변장해가 보였거나, 암술이 고사한 반면, 비가림시설 처리구에서는 서리가 직접적으로 부착되는 것을 막아서 온전한 형태의 꽃을 육안으로 관찰할 수 있었다. 이는 Cloudberry에서 화기가 직접적으로 서리부착으로부터 공간적으로 회피된 부위에서는 대부분의 암꽃이 물리적 손상의 징후 없이 동해피해가 없었다는 Ågren (1988)의 보고와 일치하는 것이었다.

화충당 피해를 받은 꽃의 비율을 조사한 결과, 대조구에서는 높이에 따라 18.1 - 22.6%로 조사되었고, 비가림시설 처리구의 경우에는 1.3 - 6.9%로 처리구에서 유의하게 피해가 경감된 결과를 보였다. 꽃의 피해율은 120 cm 지점에 비해 200 cm 지점에서 피해정도가 더 높게 나타났는데, 이는 처리의 유무와 상관없이 두 지점 간의 최저온도가 200 cm 지점에서 120 cm 지점보다 낮았던 것이 원인으로 보인다(Table 2). 이러한 결과를 통해 비가림시설의 설치가 배의 꽃에 대한 저온 피해를 경감시키는 원인은 직접적인 서리 부착을 회피하는 것 외에도, 저온이 도래했을 때 무처리구에 비해 상대적으로 높은 온도를 유지했던 것이 하나의 보조적인 원인으로 작용한 것으로 판단되었다.

그러나 2022년에 꽃 피해를 조사한 결과, 비가림시설 처리구와 대조구 모두 피해가 조사되지 않았다. 당해년도 4월의 최저온도가 0°C 이상을 유지했기 때문에 서리피해나 동해가 발생하지 않은 것으로 판단되었다.

**Table 2.** Effect of plastic film rain shelter installation on flower damage per flower cluster in 2021.

| Treatment            | Position | Flower damage rate (%) |
|----------------------|----------|------------------------|
| Control              | 120 cm   | 18.1 ± 3.2a            |
|                      | 200 cm   | 22.6 ± 2.7a            |
| Rain shelter         | 120 cm   | 1.3 ± 1.3c             |
|                      | 200 cm   | 6.9 ± 3.8b             |
| ANOVA <sup>z</sup>   |          |                        |
| Treatment            |          | ***                    |
| Position             |          | *                      |
| Treatment × position |          | NS                     |

Mean ± standard error (n = 30).

<sup>z</sup>Two-way ANOVA with an interaction term.

a - c: Different letters within a column indicate the significant differences (p ≤ 0.05) by Tukey's multiple range test.

NS, \*, \*\*\*: Indicate non-significant, difference at p ≤ 0.05 and p ≤ 0.001, respectively.

### 유과 발달 양상

유과 발달 양상을 비교한 결과, 과경, 과고, 과폭 모두 비가림시설 처리구가 대조구에 비해 다소 크게 조사되었다 (Table 3). 특히, 과경의 길이가 대조구의 120 cm와 200 cm 지점에서 각각 34.9, 33.5 mm, 비가림시설 처리구는 각각 39.7, 39.4 mm로 비가림시설의 설치가 기온 상승으로 인한 과경 길이 신장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단

된다. 이는 사과에서 만개 후 48일 동안 온도가 낮을수록 과일 크기가 작아지는 반면, 온도가 높을수록 과일 크기가 컸다는 연구 결과와 유사한 경향이었다(Bergh, 1990). 이러한 과경의 발달은 양·수분의 이동을 원활하게 하여 과실의 비대에도 긍정적으로 작용할 것으로 판단된다. 유과의 과고와 과폭을 조사한 결과 처리구 간에 유의미한 차이는 나지 않지만 비가림시설 처리구에서 유과의 과고와 과폭이 다소 크게 조사되었다. 따라서 초기 높은 기온이 유과의 발달에 영향을 끼쳐 더 큰 유과를 만들 수 있다고 판단된다.

**Table 3.** Effect of plastic film rain shelter installation on fruitlet growth in 2022.

| Treatment            | Position | Fruitlet size     |             |               |
|----------------------|----------|-------------------|-------------|---------------|
|                      |          | Stalk length (mm) | Length (mm) | Diameter (mm) |
| Control              | 120 cm   | 34.9 ± 1.5b       | 16.7 ± 0.8b | 14.4 ± 0.6b   |
|                      | 200 cm   | 33.5 ± 0.9b       | 17.2 ± 0.7b | 14.7 ± 0.7b   |
| Rain shelter         | 120 cm   | 39.7 ± 1.6a       | 16.0 ± 0.5b | 14.3 ± 0.5b   |
|                      | 200 cm   | 39.4 ± 2.0a       | 18.5 ± 0.4a | 17.0 ± 0.3a   |
| ANOVA <sup>z</sup>   |          |                   |             |               |
| Treatment            |          | ***               | NS          | NS            |
| Position             |          | NS                | *           | **            |
| Treatment × position |          | NS                | NS          | *             |

Mean ± standard error (n = 15).

<sup>z</sup>Two-way ANOVA with an interaction term.

a, b: Different letters within a column indicate the significant differences ( $p \leq 0.05$ ) by Tukey's multiple range test.

NS, \*, \*\*, \*\*\*: Indicate non-significant, difference at  $p \leq 0.05$ ,  $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.001$ , respectively.

## 과실 품질 조사

비가림시설 처리구와 대조구의 과실 품질 차이를 조사한 결과, 비가림시설 처리구가 대조구에 비해 과실 발육 상태가 좋은 것으로 조사되었다. 2년간 과실의 크기를 조사한 결과, 비가림시설 처리구가 과고와 과폭이 대조구에 비해 크게 나타나 대조구에 비해 다소 대과인 것으로 조사되었다(Table 4). 이는 유과의 발달이 비가림시설에서 더 큰 양상을 보였고 이후 수확 시 과일의 크기에 영향을 끼친 것으로 판단된다. 과고와 과폭을 바탕으로 하는 과형비 (length/diameter, L/D ratio)는 0.87 - 0.90으로 조사되어 편원형의 과실형태를 보였다. 한편, 2021년에 과폭의 최대값과 최소값 사이에 편차가 대조구에서 4.3%, 비가림시설 처리구에서 2.5%로 비가림시설 처리구의 과실이 외관적 균일도가 높은 것으로 조사되었다. 따라서 비가림시설 처리구가 대조구에 비해 대과를 생산할 수 있는 것으로 판단된다.

**Table 4.** Effect of plastic film rain shelter installation on fruit size.

| Year | Treatment    | Fruit size <sup>z</sup> |      |        |               |       |        | L/D ratio |
|------|--------------|-------------------------|------|--------|---------------|-------|--------|-----------|
|      |              | Length (mm)             |      |        | Diameter (mm) |       |        |           |
|      |              | LL                      | SL   | DF (%) | LD            | SD    | DF (%) |           |
| 2021 | Control      | 100.8                   | 93.7 | 7.0    | 112.2         | 107.4 | 4.3    | 0.90      |
|      | Rain shelter | 101.9                   | 93.4 | 8.3    | 116.6         | 113.6 | 2.5    | 0.87      |
|      | Significance | NS                      | NS   | NS     | *             | **    | **     | NS        |
| 2022 | Control      | 94.4                    | 86.3 | 8.5    | 108.9         | 104.0 | 4.5    | 0.87      |
|      | Rain shelter | 99.5                    | 90.8 | 8.9    | 111.9         | 106.7 | 4.5    | 0.89      |
|      | Significance | ***                     | **   | NS     | *             | *     | NS     | *         |

LL, long length; SL, short length; LD, long diameter; SD, short diameter; DF, size difference factor, (LL-SL)/LL\*100.

<sup>z</sup>Fruits were harvested at 146 DAFB (days after full bloom) (September 1, 2021), and 138 DAFB (August 31, 2022).

NS, \*, \*\*, \*\*\*: Indicate non-significant or significant differences at  $p \leq 0.05$ ,  $p \leq 0.01$ ,  $p \leq 0.001$  by t-test, respectively.

과실의 품질을 분석한 결과, 과실중은 비가림시설 처리구가 2021년 751.0 g으로 대조구 689.3 g에 비해 8.2% 컸고, 2022년에는 비가림처리구가 653.4 g으로 대조구 606.7 g에 비해 7.1% 크게 조사되었다. 이와 달리 과육 경도는 비가림시설 처리구에서 2년간 27.8 N 및 27.9 N으로 대조구 32.9 N 및 32.8 N에 비해 각각 18.3%에서 17.6% 낮게 조사되었다(Table 5). 이는 비가림시설 처리구내 기온이 대조구에서 보다 높아서 이와 같은 결과가 나온 것으로 판단된다. 이전의 연구에 따르면 사과에서 따뜻한 온도에서 재배된 과실이 대과를 생산하며 과육의 경도는 낮았다는 결과와 일치한다(Warrington et al., 1999). 과실의 품질에 있어 가장 중요한 요인인 가용성 고형물 함량과 산 함량에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만 비가림시설 처리구에서 당산비가 높게 측정되었다. 이는 비가림시설 처리구의 과실이 성숙과정이 노지에 비해 촉진된 결과로 관능 평가상 더욱 감미를 높게 느끼는 것으로 판단된다.

**Table 5.** Effect of plastic film rain shelter installation on fruit quality.

| Year | Treatment    | Fruit quality parameters <sup>z</sup> |                 |                |           |                  | Color difference |      |      |      |
|------|--------------|---------------------------------------|-----------------|----------------|-----------|------------------|------------------|------|------|------|
|      |              | F.W.<br>(%)                           | Firmness<br>(N) | SSC<br>(°Brix) | TA<br>(%) | SS/TA<br>(ratio) | L*               | a*   | b*   | Hue° |
| 2021 | Control      | 689.3                                 | 32.9            | 11.5           | 0.12      | 93.9             | 66.0             | 6.6  | 40.0 | 80.7 |
|      | Rain shelter | 751.0                                 | 27.8            | 11.5           | 0.11      | 103.3            | 67.5             | 6.6  | 40.3 | 80.7 |
|      | Significance | *                                     | ***             | NS             | NS        | NS               | **               | NS   | NS   | NS   |
| 2022 | Control      | 606.7                                 | 32.8            | 11.4           | 0.11      | 104.5            | 65.7             | 12.0 | 37.3 | 72.1 |
|      | Rain shelter | 653.4                                 | 27.9            | 11.1           | 0.11      | 108.1            | 66.8             | 11.1 | 36.8 | 73.2 |
|      | Significance | *                                     | ***             | NS             | NS        | NS               | ***              | ***  | ***  | **   |

F.W., fresh weight per fruit; SSC, soluble solids content; TA, titratable acidity; SS/TA, soluble solids content/titratable acidity.

<sup>z</sup> Fruits were harvested at 146 DAFB (days after full bloom) (September 1, 2021), and 138 DAFB (August 31, 2022).

NS, \*, \*\*, \*\*\*: Indicate non-significant or significant differences at  $p \leq 0.05$ ,  $p \leq 0.01$ ,  $p \leq 0.001$  by t-test, respectively.

과피색은 2개년에 걸쳐 명도를 나타내는 L\*값이 비가림시설 처리구에서 다소 높게 측정되었다(Table 5). 2022년에는 적색도인 a\*값은 대조구에서 다소 높았으나, 두 처리구에서 모두 과피의 엽록소가 완전히 소실된 상태였다. 또한, 황색도를 나타내는 b\*값도 대조구에서 다소 높은 측정값을 보였다. Hue angle은 60°는 yellow를 75°는 yellowish green을 의미하는데, 비가림시설 처리구보다 대조구에서 다소 낮아, 결과적으로 더 황색에 가까운 결과를 보였다. 이 같은 결과는 배에서 광량이 작을수록 L\*값은 높고, a\*값은 낮은 경향을 보였다는 기존 연구 결과와 일치하는 것이었다(Kim et al., 2014). 한편, 2021년과 비교하여 2022년에 과피색이 다소 차이가 났던 원인은 과실 성숙기인 8월에 소백서부내륙지대의 강수량이 평년대비 151.4%에 달하는 이상 기후를 보였고(RDANIAS, 2022), 이에 따라 성숙기 광량에 영향을 끼친 것으로 생각되는데, 블루베리의 비가림시설에서 광량에 대한 연구 결과 기상 조건에 관계없이 시설 내 광합성유효광량자속 밀도(photosynthetic photon flux density, PPF)가 노지에 비해 1/2 수준으로 낮았다는 결과(Kim et al., 2011)를 고려할 때, 본 실험에서 착색도가 낮았던 것은 상시 설치되어 있는 지붕과 치마부분의 필름과 골조 등의 구조물로 인해 수광량이 떨어질 수 있음을 시사하는 것이었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 비가림시설 처리구는 대조구에 비해 과실발육을 촉진하여 대과 생산에 유리하였다. 또한, 당산비를 높여 식미를 좋게 하고 수확시기를 대조구에 비해 다소간 앞당길 수 있을 것으로 판단되었다. 하지만, 성숙기에 강수량이 많은 경우 비가림시설의 구조물이 광량을 줄일 가능성 있어 과피착색에 다소 불리할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 이 같은 비가림 시설은 설치비용과 충남지역의 배 소득 자료(RDAMCIS, 2021)를 종합적으로 고려할 때 3년 내에 기투자한 비용이 회수되므로 경제성이 있는 것으로 판단된다.

## Conclusion

비가림시설 설치하는 서리가 꽃에 직접적으로 부착하는 것을 막고, 배 과원의 최저 온도 상승을 도와 서리피해 및 동결피해 방지 효과를 보였다. 서리피해 한계온도에서 발생하는 꽃 피해도 비가림시설이 외부 환경 제어로 방지하였다. 이는 과실의 품질에 영향을 미칠 것으로 보인다. 비가림시설 처리구에서 더 큰 과실을 생산하였으며, 당산비를 높여 식미를 향상시켰다. 이 결과들은 비가림시설 설치가 '신고' 배 과원에 서리피해 방지에 효과가 있는 것으로 판단되며, 배 수형별 적합한 시설구조와 시설재료 연구를 통해 농가 소득 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 보인다.

## Conflict of Interests

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

## Acknowledgments

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획 평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2022-00155857, 인공지능융합혁신 인재양성[충남대학교]).

## Authors Information

Hyeong-Seok Lee, <https://orcid.org/0000-0003-1816-732X>

Yu-Rim Kim, <https://orcid.org/0000-0001-6436-5752>

Young-Jik Ahn, <https://orcid.org/0000-0002-7368-3450>

Ho-Seok Son, <https://orcid.org/0009-0003-9411-3793>

Jong-Pil Chun, <https://orcid.org/0000-0001-9140-5916>

## References

- Ågren J. 1988. Between-year variation in flowering and fruit set in frost-prone and frost-sheltered populations of dioecious *Rubus chamaemorus*. *Oecologia* 76:175-183.
- Ahn SY, Kim SH, Choi SJ, Yun HK. 2012. Characteristics of cold hardiness and growth of grapevines grown under rain shelter type cultivation system in the vineyard. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 30:626-634. [in Korean]
- Bergh O. 1990. Effect of temperature during the first 42 days following full bloom on apple fruit growth and size at harvest. *South African Journal of Plant and Soil* 7:11-18.
- Chavarria G, Santos HPD, Sônego OR, Marodin GAB, Bergamaschi H, Cardoso LS. 2007. Incidence of diseases and needs of control in overhead covered grapes. *Revista Brasileira de Fruticultura* 29:477-482.
- Chitu E, Paltineanu C. 2020. Timing of phenological stages for apple and pear trees under climate change in a temperate-continental climate. *International Journal of Biometeorology* 64:1263-1271.
- Choi HS, Jo YS, Kim WS, Jo JA, An YJ, Lee Y. 2011. Effect of sprinkler and wind machine on frost protection during flowering of pear trees. *The Journal of the Korean Society of International Agriculture* 23:280-283. [in Korean]



- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2021. Climate change 2021. The physical science basis. The working group I contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- Jo ES, Kim HM, Shin JK, Kim KR, Lee YH, Jee JB. 2022. Characteristics and trends of spatiotemporal distribution of frost occurrence in South Korea for 21 Years. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 24:83-94. [in Korean]
- Kim JK, Jo JG, Kim HL, Ryou MS, Kim JB, Hwang HS, Hwang YS. 2011. Growth and fruit characteristics of blueberry 'Northland' cultivars influenced by open field and rain shelter house cultivation. *Journal of Bio-Environment Control* 20:387-393. [in Korean]
- Kim YK, Kang SS, Choi JJ, Park KS, Won KH, Lee HC, Han TH. 2014. The effect of several paper bags on fruit skin coloration of red skin European pear 'Kalle'. *Horticultural Science and Technology* 32:10-17. [in Korean]
- Kim YR, Lee HS, Ahn YJ, Lee JW, Chun JP. 2022. Effect of essential oils and linalool on berry quality during simulated marketing of 'Shine Muscat' grapes. *Korean Journal of Agricultural Science* 49:973-981.
- Levitt J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. 1. 2nd ed. Academic Press, Inc., New York, USA.
- Lindkvist L, Lindkvist S. 1997. Spatial and temporal variability of nocturnal summer frost in elevated complex terrain. *Agricultural and Forest Meteorology* 87:139-153.
- Longstroth M. 2021. Assessing frost and freeze damage to flowers and buds of fruit trees. Michigan State University. Accessed in [https://www.canr.msu.edu/news/assessing\\_frost\\_and\\_freeze\\_damage\\_to\\_flowers\\_and\\_buds\\_of\\_fruit\\_trees](https://www.canr.msu.edu/news/assessing_frost_and_freeze_damage_to_flowers_and_buds_of_fruit_trees) on 25 July 2023.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2021. Disseminate weather events and thoroughly prevent cold damage to crops (April 12). Accessed in <https://www.mafra.go.kr/home/5109/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGaG9tZSUyRjc5MiUyRjU2MzlwNCUyRmFydGNsVmllldy5kbyUzRg%3D%3D> on 11 July 2023. [in Korean]
- Meng JF, Ning PF, Xu TF, Zhang ZW. 2013. Effect of rain-shelter cultivation of *Vitis vinifera* cv. Cabernet gernischt on the phenolic profile of berry skins and the incidence of grape diseases. *Molecules* 18:381-397.
- NIHHS (National Institute of Horticultural and Herbal Science). 2020. Developing a new combustion technology to prevent low-temperature damage in pear orchards (February 11). Accessed in [http://www.nihhs.go.kr/usr/nihhs/news\\_Press\\_view.do?dataNo=100000761442](http://www.nihhs.go.kr/usr/nihhs/news_Press_view.do?dataNo=100000761442) on 13 July 2023. [in Korean]
- Nishiyama H. 1985. Minimum temperature and radiation balance at Tateno. *Journal of Aerodynamic Observation Tateno* 45:6-10. [in Japanese]
- Pearce RS. 2001. Plant freezing and damage. *Annals of Botany* 87:417-424.
- RDAAMCIS (Rural Development Administration Agricultural Management Comprehensive Information System). 2021. Agricultural income data by region. p. 157. Accessed in <https://amis.rda.go.kr/portal/ap/mn/incomeAnalysisLst/lst#> on 22 August 2023.
- RDANIAS (Rural Development Administration National Institute of Agricultural Sciences). 2022. Weather analysis and application system by agricultural zone. Accessed in <http://weather.rda.go.kr/zone/zone/zonePeriodTen.jsp> on 11 July 2023. [in Korean]
- Rodrigo J. 2000. Spring frosts in deciduous fruit trees—morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae* 85:155-173.
- Warrington IJ, Fulton TA, Halligan EA, De Silva HN. 1999. Apple fruit growth and maturity are affected by early season temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124:468-477.