

## 봄철 포도 신초 저온 피해 양상과 품종별 전엽기 내한성 비교

이동용<sup>1\*</sup>, 류수현<sup>2</sup>, 정재훈<sup>1</sup>, 한점화<sup>1</sup>, 조정건<sup>1</sup>, 이슬기<sup>1</sup>, 장시형<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 과수과, <sup>2</sup>농촌진흥청 디지털농업추진단  
(2023년 11월 08일 접수; 2023년 12월 10일 수정; 2023년 12월 16일 수락)

## Spring Shoot Damage and Cold Hardiness of Grape in Different Varieties and Phenological Stages

Dongyong Lee<sup>1\*</sup>, Suhyun Ryu<sup>2</sup>, Jae Hoon Jeong<sup>1</sup>,  
Jeom Hwa Han<sup>1</sup>, Jung-Gun Cho<sup>1</sup>, Seul-Ki Lee<sup>1</sup>, Sihyeong Jang<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Fruit Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science,  
Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea  
<sup>2</sup>Department of Digital Agriculture, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea  
(Received November 08, 2023; Revised December 10, 2023; Accepted December 16, 2023)

### ABSTRACT

Grapes are one of the most important fruit trees both domestically and globally. Recently, changes in plant phenology and frequent low temperatures due to climate change are increasing the possibility of damage to grape shoots in spring, which is a serious threat to grape production. This study was conducted to investigate the severity of shoots damage and the change of free sugar content in the plant organs by phenological stage, especially, from germination to leafing period. Furthermore, in order to compare the cold hardiness among grape varieties including 'Campbell Early', 'Kyoho' and 'Shine Muscat' widely grown in Korea, lethal temperature ( $LT_{50}$ ) and free sugar content by grape variety were analyzed. Shoot damage by low temperatures continued to increase as the phenological stage progressed gradually, from the bud burst to the fourth leafing stage. On the other hand, the free sugar content of each organ except leaves continued to decrease, showing pattern to similar to cold hardiness. This indicates a close relationship between free sugar content and cold hardiness. In terms of cold hardiness comparison among grape varieties, 'Shine Muscat' showed the highest cold resistance in the leafing stage with the lowest  $LT_{50}$  and the highest total free sugar content. Next was 'Kyoho' and 'Campbell Early'. There are clear differences in cold hardiness depending on the variety. However, it is not the same at all growth stage. It may change according to phenological stage and influenced by free sugar content at that time.

**Key words:** Grape, Cold hardiness, Leafing stage



\* Corresponding Author : Dongyong Lee  
(dongle1013@korea.kr)

## I. 서 론

포도(*Vitis spp.*)는 세계적으로 오랜 재배 내력과 함께 경제적 중요성을 지니는 중요한 과수이다(Leolini et al., 2018). 국내에서도 사과, 감귤, 복숭아 등과 함께 주요 과수로써, 15,000ha 정도의 면적에서 매년 20만 톤 이상이 생산 및 소비되고 있다. 품종 측면으로는 국내 기후에 적합하고 관리가 비교적 용이한 미국종의 교잡 품종을 위주로 재배되고 있었으나(Kim et al., 2015), 최근 ‘샤인머스켓’이라는 신품종의 도입과 재배면적의 확대에 의해 주요 품종의 구성도 변화하고 있다.

온도는 식물의 생장과 그 분포에 영향을 미친다(Leolini et al., 2018). 생육 적은 이상 또는 이하의 온도에서 식물의 생육은 저해되며, 그 정도가 심할 경우에는 피해가 발생하기도 한다. 저온은 포도와 같은 과수에 상당한 동해 또는 냉해 피해를 야기한다(Karimi, 2019). 보통의 저온 피해는 계절적으로 기온이 낮아지는 가을 또는 겨울에 발생 가능성이 높지만, 노지에서 재배되는 포도는 봄에도 서리와 함께 저온에 노출될 우려가 있다.  $-0.5^{\circ}\text{C}$  이하로 기온이 떨어지면 눈이나 신초, 잎, 화기의 조직 내에 얼음이 형성될 수 있고 이로 인해 피해가 발생한다(Fuller and Telli, 1999). 발아 이후에 냉해가 발생하면 겨울철 동해만큼의 피해와 함께 경제적 손실을 초래할 수 있다(Poling, 2008). 실제로 봄철에 저온 피해가 발생하면 착립률이 낮아지고, 수확량이 감소하여 수익성이 낮아진다(Evans et al., 2019).

특히나 기후 변화로 인해 이상 기상의 빈도와 심각도가 증가하고 있고(Aghakouchak et al., 2020), 이에 따라 작물이 저온 피해를 받는 시기도 예전보다 점차 확대되고 있으며 그 예측도 어려워지고 있다. 현재 진행되고 있는 지구온난화 추세는 작물의 재배 기간을 늘리고 온화한 온도를 제공하여 생장에 유리하게 작용하기도 했지만 서리와 같은 저온에 의한 위험도는 감소하지는 않았다(Poni, 2022). 서리에 의한 피해가 발생하기 위해서는 저온 현상의 발생 시기와 관련하여 식물체의 발달 단계 또한 중요하다(Meier et al., 2017). 지구온난화로 인해 일 평균 온도가  $1^{\circ}\text{C}$  상승하면 포도의 발아를 약 7~10일 정도 앞당겨 냉해의 가능성이 크게 증가하는 것으로 예측된다(Webb et al., 2012). 더욱이 한겨울의 온화한 기온으로 인해 식물체의 탈순화가 일찍 개시되면 발아가 시작되는 시점에는

저온에 취약하게 된다(Lipe 등, 1992). 실제로 이로 인해 몇몇 국가에서는 전례 없는 저온 피해가 발생하기도 하였다. 프랑스에서는 2016년과 2017년 두 해에 걸쳐 봄철 저온에 의한 대규모 피해가 발생하였고(Sgubin et al., 2018), 미국의 미시간주에서는 2010년 봄 동·상해로 포도 생산량의 60%가 감소하는 극심한 피해가 발생하였다(Schultze et al., 2014; Poni et al., 2022).

포도는 품종에 따라 과립의 외형이나 식미와 같은 상품적 특성의 차이가 있을 뿐만 아니라, 품종에 따라 내한성과 같은 생리적 특성에도 차이를 나타낸다(Reisch et al., 2012). 내한성은 현장에서의 식물체 생존과 생산성에 직결되므로(Fennell, 2004), 보통 포도 품종의 육성과 함께 피해 한계 온도 구멍을 통한 재배 적지 설정을 위한 내한성 평가가 수행된다. 유럽종 중에서 Concorde 품종은 내한성이 강한 것으로(Snyder and Melo-Abreu, 2005), ‘Sauvignon Blanc’, ‘Chardonnay’, ‘Pinot Gris’, ‘Gewürztraminer’과 같은 품종은 내한성이 약한 것으로 알려져 있다(Ferguson et al., 2013).

포도나무는 저온에 의한 스트레스를 완화하기 위해 수체 내부의 생리적 변화를 통해 내한성을 획득하고 저온에 적응한다(Dami and Zhang, 2023). 세포 내에 특정 물질의 축적과 같은 생화학적 변화는 이러한 내한성 발현에 영향을 준다. 가용성 탄수화물, 프롤린, 페놀 화합물은 내한성을 유도하는 대표적인 물질들로 포도나무의 내한성 변화와 밀접한 관계를 갖는다(Karimi, 2019). 특히 가용성 탄수화물 중 유리당은 세포 내에서 동결 방지제의 역할을 하며 그 축적을 통해 내한성을 강화한다. 예를 들어, 자당(Sucrose)은 빙핵 생성을 억제하여 얼음의 결정화를 방지하고(Dami and Zhang, 2023), 세포막의 지질 이중층과 상호 작용하여 탈수로 인한 손상을 방지한다고 알려져 있다(Anchordoguy et al., 1987).

본 연구는 최근 들어 발생이 증가하고 있는 전엽기 초기의 포도 신초 저온 피해를 중심으로 피해를 사전에 예측하고 경감하기 위한 정보를 확보하기 위해 저온 수준에 따른 포도 수체 피해 양상 및 전엽기 내한성의 변화를 살펴보고, 주요 품종 간의 내한성을 비교하였으며, 분석을 위해 조직 내 유리당 함량을 함께 측정하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 포도 신초의 저온 유기

시험은 2020년부터 2021년까지 2년간 전라북도 완주군 소재 국립원예특작과학원에서 수행하였다. 2020년에는 전엽기의 저온 피해 양상과 내한성 변화를 알아보기 위해 12L 포트에 식재한 2년생 접목묘 ‘캠벨얼리’(*Vitis spp.*)를 대상으로 시험을 실시하였다. 3월 상순에 결과지 기부에 눈이 3개 정도 포함되도록 5~10 cm 가량만 남기고 전정하였고, 그 후 주간직경과 눈의 크기가 비슷하여 수세가 균일한 나무를 선정하여 온도 제어가 가능한 소형 챔버(VS-1203P4S-3C, Vision scientific CO., Korea)에 넣어 발아기부터 전엽기까지 생물계절단계별로 저온을 처리하였다. 전엽기는 전개된 잎의 수에 따라 1매, 2매, 3매, 4매 전엽기로 세분화하여 저온에 유기하였다. 저온 처리 온도는 발아기에는 -6, -4, -2°C, 전엽기 이후부터는 -4, -2, 0°C의 온도 조건에서 2시간동안 유기하였다. 습도는 처리 중에는 60% 수준이었다.

2021년에는 품종에 따른 내한성 비교를 위해 12L 포트에 식재한 2년생 포도 ‘캠벨얼리’, ‘거봉’, ‘샤인머스켓’을 대상으로 저온에 가장 취약할 것으로 예상되는 4매 전엽기를 기준으로 저온 처리를 진행하였다. 저온은 -4~-1°C 온도 범위로 0.3°C 간격으로 챔버 내 온도를 설정하였고, 각 온도 조건에서 2시간동안 유기하였다. 실제 노지에서 저온 피해 발생이 예상되는 시간으로 일 최저기온에 도달하는 5~7시 사이의 습도에 가깝게 만들어주기 위해 챔버 내에 젖은 수건을 함께 넣어 처리 기간 중에도 습도를 70% 이상으로 높게 조절하였다. 광합성은 잎의 피해 정도에 영향을 줄 수 있는데(Sun *et al.*, 2018), 포도의 광포화점은 광합성유효파장(PAR) 기준으로 700~900 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$  정도로 알려져 있다(Cartechini and Palliotti, 1995). 이를 제어하기 위해 챔버 내에 LED 인공 광원을 설치하여 주간에는 1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$  수준의 광을 조사하였다. 처리 이후에는 포트를 포장으로 이동시켜 노지 환경에서 재배하였고 이후 피해 발생 양상을 관찰하였다.

### 2.2. 저온 피해 조사

저온 피해 평가는 챔버를 통한 식물체 전체의 저온 처리 후 일주일 뒤에 실시하였다. Sun *et al.*(2017)의 방법에 따라, 피해 증상을 육안으로 검사하였다. 변색

(discoloration)과 위조(wilting)는 저온 피해에 대한 잎의 전형적인 증상이므로(Sakai and Larcher, 2012), 잎 부분이라도 변색 또는 위조 증상을 나타내는 잎은 피해를 받은 것으로 간주하였다. 전체 중 피해가 발생한 부분의 비율로 각 개체의 피해 정도를 조사하였다.

### 2.3. 생물계절단계 판정

포도의 생물계절단계는 신초 생장이 시작되는 발아기부터 신초 생육 초기로 피해에 취약한 4매 전엽기까지 총 5개의 연속적인 생물계절단계를 선정하여 조사하였다. 각 생물계절단계는 Lorenz *et al.*(1994)이 규정한 구분 및 정의에 따라 육안 관찰을 통해 판정하였다. 발아기는 눈이 터져 나와 녹색의 신초 정단이 명백히 보이는 시기를, 1매 전엽기는 신초로부터 잎이 첫 번째 잎이 퍼지는 시기를, 2매 전엽기는 두 번째 잎이 퍼지는 시기를, 3매 전엽기는 3번째 잎이 퍼지는 시기를, 4매 전엽기는 4번째 잎이 퍼지는 시기를 기준으로 판정하였다.

### 2.4. 내한성 평가

과수의 내한성이 정도는 흔히 치사 온도(LT; Lethal Temperature)를 활용하여 산정하는데(Gonzalez Antivilo *et al.*, 2020), 전체 중 10%, 50%, 90%를 고사시키는 평균 온도를  $LT_{10}$ ,  $LT_{50}$ ,  $LT_{90}$ 으로 표현한다(Proebsting, 1978). 따라서 각각의 처리 온도에 따른 피해율을 각각 조사하고 산점도를 작성하였으며, 이 산점도를 토대로 시그모이드 함수식을 구해 각각  $LT_{10}$ ,  $LT_{50}$ ,  $LT_{90}$ 을 산출하였다. 이 중  $LT_{50}$ 은 내한성의 비교 척도로 가장 널리 활용되는데(Dami *et al.*, 2011), 이를 기준으로 생물계절단계 및 품종에 따른 내한성을 비교하였다.

### 2.5. 유리당 함량 분석

2020년에는 전엽기를 세분화하여 1매 전엽기, 2매 전엽기, 3매 전엽기, 4매 전엽기에 도달하였을 때, 신초를 절취하고 선단부, 줄기, 잎, 화수 총 네 부분으로 구분하여 각각의 분석 시료를 채취하였다. 잎은 첫 번째로 전엽된 잎을, 화수 또한 첫 번째로 착생된 화수를 기준으로 하였다. 2021년에는 5월 중순경에 ‘캠벨얼리’, ‘거봉’, ‘샤인머스켓’의 신초 전체를 채취하여 분석하였다. 채취한 시료는 건조기를 통해 건조하였고, 각각의 시료 0.5g에 3차 증류수 25mL를 첨가하여 10

0°C에서 30분간 추출하였으며, 1분간 균질화하였다. 그 후 4°C에서  $10,000 \times g$  로 20분간 원심분리하여 획득한 상등액을 C18 cartridges(Sep-Pak, Waters, Milford, MA, USA)로 여과하여 분석에 사용하였다. 유리당의 정량 분석에는 Kerepesi *et al.*(1996)의 방법을 일부 수정하여 적용하였고, Ultra-performance liquid chromatography system(UPLC)(Waters, Milford, MA, USA)을 이용하였다. 유리당 분리를 위해 Acquity UPLC BEH amide column(2.1×100mm, 1.7µm, Waters, Milford, MA, USA)을 이용하여 70°C 조건에서 14분간 분석하였다. 이동상은 0.1% triethylamine이 포함된 acetonitrile:water (85:15 v/v)로 유속은  $0.13 \mu\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 로 유지하였다. 검출기는 Evaporative light scattering detector(ELSD)(H-Class, Waters, Milford, MA, USA)를 이용하였다. ELSD의 이동상으로는 40psi의 질소 가스를 사용하였고, Drift tube의 온도는 40°C, Detector gain 값은 200으로 설정하였다. 최종 당의 함량은 과당, 포도당, 자당 세 가지 유리당을 목표로 각각의 Standard solution(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 이용하였고, Empower software(Waters, Milford, MA, USA)를 통해 검량선을 작성하여 정량하였다.

## 2.6. 통계 분석

통계 분석은 통계 분석 전용 패키지인 SAS Enterprise Guide 7.1(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 활용하여 최소 유의차 검정(Least significant difference test)으로 처리 간의 유의성( $p < 0.05$ )을 검정하였다.

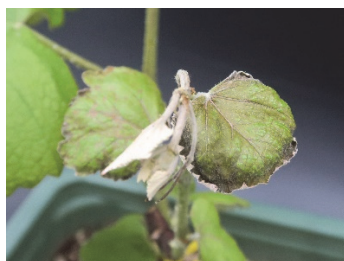
## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 생물계절단계별 저온 피해 양상

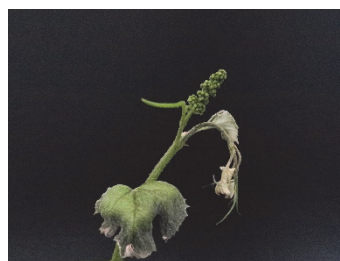
저온에 의한 생육 초기 신초의 피해 양상을 살펴보면, 선단부부터 피해 증상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 선단부 끝에 위치한 잎의 가장자리부터 안쪽으로 말리며 점차 변색되고, 심할 경우 신초 전체가 아래로 꺾이며 고사하였다(Fig. 1). 발아기에는 각각의 기관이 구분이 될 정도로 완전히 발달하지 않은 상태이기 때문에 다른 기관으로 발달 중인 눈이 전체적으로 피해를 받았다. 1매 전엽기까지는 가장 외곽에 위치한 잎부터, 잎 내에서는 가장자리부터 피해가 발생하였다. 2매 전엽기부터는 선단부, 화수 등의 조직이 뚜렷이 구분되며, 저온에 노출되는 경우에는 잎보다는 선단부가 먼저 피해를 받으면서 생장이 정지되었고, 피해 부위는 결빙과 해동을 반복하면서 조직이 갈변하거나 말라붙었다. 화수가 개별적으로 분리되는 3매 전엽기부터는 화수의 급격한 성장이 두드러졌는데, 선단부 다음으로 화수에서 저온에 의한 피해 발생이 확인되었다. 같은 높이에 위치한 화수와 잎 조직 중에서는 화수에서 먼저 피해가 발생하였는데, 부위별로 비교해보면 선단부, 화수, 잎, 줄기 순으로 피해가 발생하였고 해당 순서대로 저온에 더 취약한 것으로 생각되었다.

### 3.2. 생물계절단계별 저온 피해 발생 및 내한성 평가

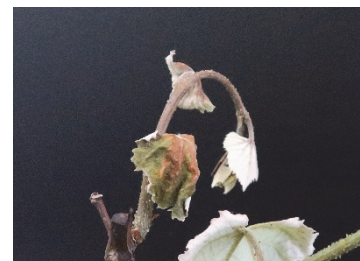
포도 ‘캠벨얼리’에서 발아기부터 4매 전엽기까지의 모든 생물계절단계에서 온도가 낮아질수록 신초의 피해발생율이 증가하였다(Table 1). 발아기의 눈은 -2°C에서는 전혀 피해가 발생하지 않았고 -4°C에서는 약간



(a) It begins to dry out with browning from the edge of the leaf, and then veins.



(b) Withering proceeds from the youngest leaf located at the tip of shoot.



(c) Finally, all parts of the shoot is dead with browning.

**Fig. 1.** Symptoms of shoot damage at leafing stage in ‘Campbell Early’ grapevine caused by low temperature.

**Table 1.** Shoot damage occurrence by temperature under phenological stage in ‘campbell early’ grapevine

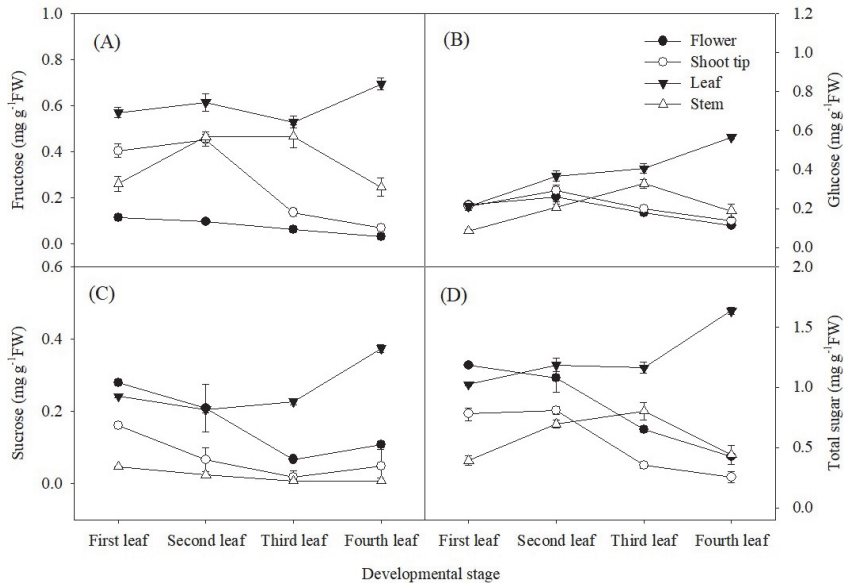
| Phenological stage | Shoot damage occurrence(%) |       |      |     |
|--------------------|----------------------------|-------|------|-----|
|                    | -6°C                       | -4°C  | -2°C | 0°C |
| Bud burst          | 65.2                       | 13.6  | 0.0  | 0.0 |
| 1st leafing        | 100.0                      | 63.6  | 18.2 | 0.0 |
| 2nd leafing        | 100.0                      | 100.0 | 20.0 | 0.0 |
| 3rd leafing        | 100.0                      | 100.0 | 33.3 | 0.0 |
| 4th leafing        | 100.0                      | 100.0 | 25.0 | 0.0 |

의 피해가 발생하였다. Fuller and Telli(1999)는 포도 나무의 눈이 발아하는 초기에 -3°C까지의 저온에는 거의 완전히 저항하며 서리로 인해 손상될 가능성이 없다고 보고하였다.

반면에, 전엽이 본격적으로 시작된 이후에는 -2°C에서도 피해 발생이 확인되었다. 어린 조직은 수화 수준이 높고 과냉각 능력이 낮기 때문에 저온에 훨씬 더 취약해진다(Snyder and Melo-abreu, 2005). 크게 발아기와 전엽기를 비교했을 때, 발아기에 상대적으로 내한성이 크고, 전엽기에서는 전엽하는 엽수가 많아질수록 내한성이 점차 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 전엽기 이후의 생물계절단계에서는 처리된 -4°C ~0°C의 온도 범위에서 피해율이 큰 폭으로 변화하였

다. 이와 비슷한 범위의 자연적인 저온 조건에서도 이와 흡사한 전엽기 피해 발생 경향이 보고되었다(Evans *et al.*, 2019). 1매 전엽기에서는 -6°C, 2매 전엽기, 3매 전엽기, 4매 전엽기에서는 -4°C 이하의 온도에서는 모든 신초에서 피해가 발생하였다. 발아기의 경우에는 높은 내한성으로 모든 신초가 피해를 받으려면 실험에서 유기한 -6°C 보다 더 낮은 온도가 필요한 것으로 생각되었다.

각 생물계절단계에 따른 피해율을 바탕으로 전체 신초 중 50%가 피해를 받는 한계 온도(LT<sub>50</sub>)를 분석한 결과, 발아기의 LT<sub>50</sub>은 -4.3°C, 1매 전엽기의 LT<sub>50</sub>은 -3.5°C, 2매 전엽기의 LT<sub>50</sub>은 -2.2°C, 3~4매 전엽기의 LT<sub>50</sub>은 -2.1°C로 추정되었다. 생물계절단계가 진전될



**Fig. 2.** Change in sugar content of shoot according to leaf development in ‘Campbell early’ grapevine. Total sugar(D) is the total amount including the amounts of fructose(A), glucose(B) and sucrose(C).

수록 내한성은 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 포도는 기온이 상승하는 봄이 오면 포도는 계절적 영향으로 탈순화를 거치고 이 과정에서 내한성은 지속적으로 감소한다(Zabada *et al.*, 2007; Ershadi *et al.*, 2016).

### 3.3. 생물계절단계에 따른 전엽기 유리당의 변화

1매 전엽기부터 4매 전엽기까지 ‘캠벨얼리’의 신초 조직 내에서 3종의 유리당(과당, 포도당, 자당)의 함량을 분석하였다. 각각의 유리당은 전엽이 진행됨에 따라 각각 변화하였다(Fig. 2). 신초의 각 조직별로 살펴보면, 화수에서는 3종의 유리당 모두가 점차 감소하는 경향이었는데 특히 2매 전엽기 이후의 자당의 감소가 현저하였다. 신초 선단부에서는 자당은 3매 전엽기까지 점차 감소하였다. Hamman *et al.*(1996)은 포도에서 4월의 탈순화(dehardening) 기간 동안 조직의 자당 함량은 기온이 상승함에 따라 감소한다고 하였는데, 이와 동일한 경향을 나타내었다. 반대로 포도당은 3매 전엽기까지는 점차 증가하는 양상을 나타내었다. 이는 이당류인 자당이 단당류인 포도당으로 분해됨에 따라 증가한 것으로 생각되었다. 포도의 가지에서 자당과, 포도당을 포함한 6탄당은 서로 연관되어 있으며 증감에 있어 서로 반대의 경향을 보인다(Jiang *et al.*, 2014). 다만 4매 전엽기에서는 두 유리당 모두 감소하였다. 잎에서는 모든 유리당이 감소하지 않고 꾸준히 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 전엽이 진전됨에 따라 잎의 성숙도 진행되고 이에 따라 광합성 효율이

증가하면서 그 산물의 축적이 증가된 것으로 생각되었다. 특히 4매 전엽기에서의 증가가 두드러졌는데 종합적으로 살펴보면 4매 전엽기부터는 신초에서 잎으로의 유리당의 전류가 활발한 것으로 생각되었다. 유리당 함량과 내한성을 연관 지어 살펴보면, 3매 전엽기부터는 신초 및 화수가 급격히 성장하는데, 그 성장량에 비해 유리당 전류량은 상대적으로 적어 수채 조직 내 유리당 함량이 감소하였고, 그 영향으로 화수나 선단부의 내한성도 감소하였으며, 이에 따라 피해도 상대적으로 더 높은 온도에서 발생하고, 더 심하게 발생하는 것으로 판단되었다.

### 3.4. 신초 내한성의 품종 간 비교

국내에서 많이 재배하고 있는 ‘캠벨얼리’, ‘거봉’, ‘샤인머스켓’을 대상으로 인위적으로 각각의 온도에 2시간동안 유기하고 실제 피해 정도를 조사하여  $LT_{50}$ 을 추정하였다. 그 결과, 4매 전엽기 기준으로 ‘캠벨얼리’의  $LT_{50}$ 은  $-2.5^{\circ}\text{C}$ , ‘거봉’의  $LT_{50}$ 은  $-2.6^{\circ}\text{C}$ , ‘샤인머스켓’의  $LT_{50}$ 은  $-3.3^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다(Table 2). 세 품종 중에서는 ‘샤인머스켓’에서 가장 낮은  $LT_{50}$ 을 나타내어 세 품종 중에서 내한성이 가장 높은 것으로 판단되었고, 그 다음은 ‘거봉’, ‘캠벨얼리’ 순이었다. 한편, Kim *et al.*(2017)은 Electrolyte leakage assay를 통한 품종 간 휴면기 내한성 비교에서 ‘캠벨얼리’의 내한성이 가장 높고, 그 다음은 ‘샤인머스켓’, ‘거봉’ 순이라고 보고하였다. 따라서 내한성은 품종마다 다를 수 있으나, 이러한 품종 간의 차이는 전 생육 기간에서 절대적으

**Table 2.** Comparison of cold hardiness at leafing stage among three grape variety

| Variety        | $LT_{10}(^{\circ}\text{C})$ | $LT_{50}(^{\circ}\text{C})$ | $LT_{90}(^{\circ}\text{C})$ |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Campbell Early | -2.3                        | -2.5                        | -2.7                        |
| Kyoho          | -2.4                        | -2.6                        | -2.8                        |
| Shine Muscat   | -3.2                        | -3.3                        | -3.5                        |

**Table 3.** Sugar content of shoot at leafing stage among three grape variety

| Variety        | Sugar content(mg/g D.W.) |         |         |         |
|----------------|--------------------------|---------|---------|---------|
|                | Fructose                 | Glucose | Sucrose | Total   |
| Campbell Early | 3.45 b <sup>z</sup>      | 4.00 b  | 2.97 a  | 10.41 b |
| Kyoho          | 5.33 ab                  | 12.27 a | 0.56 c  | 18.17 a |
| Shine Muscat   | 6.54 a                   | 13.40 a | 1.54 b  | 21.49 a |

<sup>z</sup> Mean separation within each column by least significant difference test,  $P=0.05$ .

로 동일하지는 않으며, 생물계절단계에 따라서도 변화하는 것으로 생각되었다. Ershadi *et al.*(2016)은 포도 ‘Yaquti’ 품종은 초가을에 상대적으로 내한성이 높은 편이나 생육 후기에는 내한성이 급격히 감소하여 저온 피해에 취약한 품종이라고 보고한 바 있다. 이러한 시기별 품종의 내한성의 차이는 품종에 따른 조직 내 유리당 축적량에 영향을 받는 것으로 생각되었다.

품종에 따른 신초 내 유리당 함량을 각각을 살펴보면, 과당은 ‘샤인머스켓’에서 가장 많았고 ‘캠벨얼리’에서 가장 낮았는데, ‘샤인머스켓’의 신초 조직에는 ‘캠벨얼리’ 2배 가량의 과당이 존재했다(Table 3). 포도당도 마찬가지로 ‘샤인머스켓’에서 가장 많았고 ‘캠벨얼리’에서 가장 적었다, 자당은 세 가지 유리당 중에 그 비중이 세 품종 모두에서 가장 낮았는데, ‘캠벨얼리’, ‘샤인머스켓’, ‘거봉’ 순이었다. 과당과 포도당, 자당의 함량을 모두 합산한 총 유리당 함량은 ‘샤인머스켓’에서 가장 많았는데, ‘캠벨얼리’의 2배 이상이었다. 이러한 높은 유리당 함량은 전엽기의 ‘샤인머스켓’의 내한성을 높이는 데 기여했을 것으로 생각되었다. 신초 내 수분 함량은 ‘거봉’과 ‘샤인머스켓’과 비교하여 ‘캠벨얼리’에서 유의하게 낮았다.

#### IV. 결 론

최근 진행되고 있는 기후변화는 과수 재배에 있어서 위협이 되고 있다. 포도는 전반적인 생육기의 온도 적응성은 넓은 편이나, 발아기 이후 생육 초기에는 저온에 취약하다. 특히나 지구온난화의 영향으로 과거에 비해 앞당겨진 발아기로 인해 저온에 노출될 가능성은 높아졌고 이에 따라 봄철 저온 피해의 위험성은 증가하고 있으나 이와 관련한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구는 봄철 저온에 의한 포도 생육 초기의 피해 양상을 구명하고, 각 생물계절단계별 신초 피해 발생 한계 온도를 추정하여 시기별로 저온 피해를 예측하고 대응할 수 있는 기초 정보를 제공하였다. 발아기부터 전엽기까지 생육이 진전될수록 내한성은 지속적으로 감소하는데, 전엽기에 -2℃ 정도의 저온이 예상된다면 피해를 예방하기 위한 재배적 조치가 필요할 것으로 판단되었다. 또한 국내에서 많이 재배되고 있는 주요 품종인 ‘캠벨얼리’, ‘거봉’, ‘샤인머스켓’의 내한성을 비교하였는데, 이 중 ‘샤인머스켓’의 전엽기 내한성이 높은 것으로 나타났다. 마지막으로 이러한 수체 조직 내 유리당 함량을 분석하여 내한성과의 관계를 구명하

였다. 발아 이후 내한성의 감소나 품종에 따른 내한성의 차이는 조직 내 총 유리당 함량의 변화와 품종 간 유리당 함량의 차이와 비슷한 경향을 나타내어, 내한성의 획득은 유리당 축적과 밀접한 관련이 있음을 확인할 수 있었다.

다만 기온 기반의 실험적인 조건으로 실제 현장에 적용을 위해서는 기온 이외의 다른 기상 요소에 대한 검토가 추가적으로 필요하다고 생각되었다. 예를 들어, 포도의 동·상해는 바람과 밀접한 관련이 있는데 (Perry, 1998), 바람은 대류를 통해 열 손실을 유발하고 식물체 표면의 수분 증발을 통해 온도를 낮춘다 (Trought *et al.*, 1999). 따라서 바람과 같은 기상 요소와 복합적인 분석이 향후에 필요하다고 생각되었다.

#### 적 요

포도는 국내뿐만 아니라 세계적으로도 중요도가 높은 과수 중 하나이다. 최근 기후변화에 따른 생물계절 단계의 변화와 이상저온 발생은 봄철 포도 신초 피해의 발생가능성을 높이고 있으며, 안정적인 포도 생산에 위협이 되고 있다. 본 연구는 저온에 의한 발아기부터 초기 전엽기까지의 생물계절단계별 신초의 피해 정도와 수체 내 당 함량의 관계를 알아보고, 우리나라 주요 품종인 ‘캠벨얼리’, ‘거봉’, ‘샤인머스켓’ 품종의 전엽기 기준 내한성 비교를 위해 수행하였다. 포도 ‘캠벨얼리’의 생물계절단계별  $LT_{50}$  추정을 통한 내한성 평가 결과, 발아기부터 4매 전엽기까지 생물계절단계가 진행될수록 내한성은 지속적으로 감소하였다. 각 기관별 당함량은 신초 정단, 화수, 줄기에서 마찬가지로 지속적인 감소가 두드러졌다. 따라서 신초의 내한성 감소는 당 함량에 기인한 것으로 생각되었다. 국내 주요 품종인 ‘캠벨얼리’, ‘거봉’, ‘샤인머스켓’의 전엽기 내한성 비교 결과, 전체 당 함량이 가장 높은 샤인머스켓이 가장 낮은  $LT_{50}$ 을 보여 가장 높은 내한성을 나타내었다. 그 다음으로는 ‘거봉’, ‘캠벨얼리’ 순이었다. 내한성은 품종마다 다르지만 이는 절대적이지 않으며 생물계절단계에 따라서도 변화하는 것으로 생각되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 ‘주요 과수의 이상저온 피해 해석 및 경감기술 개발(RS-2020-RD009027)’ 연구 과제의 지원에 의해 수행되었음.



## REFERENCES

- Aghakouchak, A., F. Chiang, L. S. Huning, C. A. Love, I. Mallakpour, O. Mazdiyasi, H. Moftakhari, S. M. Papalexiou, E. Ragno, and M. Sadegh, 2020: Climate extremes and compound hazards in a warming world. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **48**, 519-548.
- Anchordoguy, T. J., A. S. Rudolph, J. F. Carpenter, and J. H. Crowe, 1987: Modes of interaction of cryoprotectants with membrane phospholipids during freezing. *Cryobiology* **24**, 324-331.
- Cartechini A., and A. Palliotti. 1995: Effect of shading on vine morphology and productivity and leaf gas exchange characteristics in grapevines in the field. *American Journal of Enology and Viticulture* **46**, 227-234.
- Dami, I. E. and Y. Zhang, 2023. Variations of freezing tolerance and sugar concentrations of grape buds in response to foliar application of abscisic acid. *Frontiers in Plant Science* **14**, 1084590.
- Dami, I. E., S. Ennahli, and Y. Zhang, 2011. Assessment of Winter Injury in Grape Cultivars and Pruning Strategies Following a Freezing Stress Event. *American Journal of Enology and Viticulture* **63**, 106-111.
- Ershadi, A., R. Karimi, and K. N. Mahdei, 2016: Freezing tolerance and its relationship with soluble carbohydrates, proline and water content in 12 grapevine cultivars. *Acta physiologiae plantarum* **38**, 1-10.
- Evans, K. J., P. K. Bricher, and S. D. Foster, 2019: Impact of frost injury incidence at nodes of Pinot Noir on fruitfulness and growth-stage lag. *Australian journal of grape and wine research* **25**(2), 201-211.
- Fennell, A., 2004: Freezing tolerance and injury in grapevines. *Journal of Crop Improvement* **10**(1-2), 201-235.
- Ferguson, J. C., M. M. Moyer, L. J. Mills, G. Hoogenboom, and M. Keller, 2014: Modeling dormant bud cold hardiness and budbreak in twenty-three *Vitis* genotypes reveals variation by region of origin. *American Journal of Enology and Viticulture* **65**, 59-71.
- Fuller, M. P. and G. Telli, 1999: An investigation of the frost hardiness of grapevine (*Vitis vinifera*) during bud break. *Annals of Applied Biology* **135**, 589-595.
- Gonzalez Antivilo, F., R. C. Paz, J. Tognetti, M. Keller, M. Cavagnaro, E. E. Barrio, and F. Roig Juñent, 2020: Winter injury to grapevine secondary phloem and cambium impairs budbreak, cambium activity, and yield formation. *Journal of Plant Growth Regulation* **39**, 1095-1106.
- Hamman, R., I. E. Dami, T. Walsh, and C. Stushnoff, 1996: Seasonal carbohydrate changes and cold hardiness of Chardonnay and Riesling grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* **47**, 31-36.
- Jiang, H. Y., W. Li, B. J. He, Y. H. Gao, and J. X. Lu, 2014: Sucrose metabolism in grape (*Vitis vinifera* L.) branches under low temperature during overwintering covered with soil. *Plant Growth Regulation* **72**, 229-238.
- Karimi, R., 2019: Spring frost tolerance increase in Sultana grapevine by early season application of calcium sulfate and zinc sulfate. *Journal of Plant Nutrition* **42**, 2666-2681.
- Kerepesi, I., M. Toth, and L. Boross, 1996: Water-soluble carbohydrates in dried plant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **44**, 3235-3239.
- Kim, S., J. Nam, S. Jung, Y. Hur, H. Kim, and J. Park, 2017: Comparison of mid-winter cold-hardiness by electrolyte leakage in shoots of 15 grape cultivars. *Acta Horticulturae*, 399-404.
- Leolini, L., M. Moriondo, G. Fila, S. Costafreda-aumedes, R. Ferrise, and M. Bindi, 2018: Late spring frost impacts on future grapevine distribution in Europe. *Field Crops Research* **222**, 197-208.
- Lipe, W. N., L. Baumhardt, C. Wendt, and D. Rayburn, 1992: Differential thermal analysis of deacclimating Chardonnay and Cabernet Sauvignon grape buds as affected by evaporative cooling. *American Journal of Enology and Viticulture* **43**, 355-361.
- Lorenz, D., K. Eichhorn, H. Bleiholder, R. Klose, U. Meier, and E. Weber, 1994: Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*). Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala. *Wein-Wissenschaft* **49**, 66-70.
- Meier, M., J. Fuhrer, and A. Holzkamper, 2018: Changing risk of spring frost damage in grapevines due to climate change? A case study in the Swiss Rhone Valley. *International Journal of Biometeorology* **62**, 991-1002.
- Perry, K. B. 1998: Basics of frost and freeze



- protection for horticultural crops. *HortTechnology* **8**, 10-15.
- Poling, E. B. 2008: Spring Cold Injury to Winegrapes and Protection Strategies and Methods. *HortScience* **43**, 11.
- Proebsting, E. and V. Brummund, 1978: Yield and Maturity of 'Concord' Grapes following Spring Frost. *HortScience* **13**, 541-543.
- Reisch, B. I., C. L. Owens, and P. S. Cousins, 2012: Grape. *Fruit breeding*, 225-262.
- Sakai, A. and W. Larcher, 2012: Frost survival of plants: responses and adaptation to freezing stress, *Springer Science & Business Media*.
- Schultze, S. R., P. Sabbatini, and J. A. Andresen, 2014: Spatial and temporal study of climatic variability on grape production in southwestern Michigan. *American Journal of Enology and Viticulture* **65**, 179-188.
- Sgubin, G., D. Swingedouw, G. Dayon,, I. Garcia de Cortazar-Atauri, N. Ollat, C. Pagé, and C. van Leeuwen, 2018: Late frost risk for grapevine in France. In EGU General Assembly Conference Abstracts, 17817.
- Snyder, R. L. and J. Melo-abreu, 2005: Frost protection: fundamentals, practice and economics. Volume 1. FAO.
- Sun, L. L., Y. P. Du, Q. Y. Duan, and H. Zhai, 2018: Root temperature regulated frost damage in leaves of the grapevine *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **24**, 181-189.
- Trought, M. C. T., G. S. Howell, and N. Cherry, 1999: Frost Damage and Management in New Zealand Vineyards. Lincoln University, New Zealand.
- Webb, L., P. Whetton, J. Bhend, R. Darbyshire, P. Briggs, and E. Barlow, 2012: Earlier wine-grape ripening driven by climatic warming and drying and management practices. *Nature Climate Change* **2**, 259-264.
- Zabadal, T. J., I. E. Dami, M. C. Goffinet, T. E. Martinson, and M. L. Chien, 2007: Winter injury to grapevines and methods of protection. Michigan State University Extension, USA.