

눈 조직의 저온열방출방법을 통한 포도 품종의 내한성 분석

김수진^{1*}, 유덕준², 전성훈³, 허윤영¹, 임동준¹, 이동훈¹, 박서준⁴, 이희재⁵

¹국립원예특작과학원 과수과, 연구원, ⁴연구관, ²서울대학교 농업생명과학연구원, 교수, ³연구원, ⁵서울대학교 원예학과, 교수

Cold Hardiness Evaluation of Grapevine Buds by Low Temperature Exotherms among Several Grape Cultivars

Su Jin Kim^{1*}, Duk Jun Yu², Sung Hoon Jun³, Dong Jun Im¹, Youn Young Hur¹,
Dong Hoon Lee¹, Seo Jun Park⁴ and Hee Jae Lee⁵

¹Researcher and ⁴Senior Researcher, Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

²Professor and ³Researcher, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

⁵Professor, Department of Agriculture, Forestry, and Bioresources, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

Abstract - As a result of low temperature exotherm (LTE) measurement targeting the buds of 13 grape cultivars that are recently cultivated or introduced in Korea, 'Shooting Star', 'Muscat Bailey A', 'IFG-6', 'Vanessa Seedless', 'Summer Crispy', 'Shine Muscat', 'Jelly Pop', 'Campbell Early', 'Ruby Seedless', 'My Heart', 'Kyoho', 'Thompson Seedless', and 'Violet King' in order of being resistant to low temperatures. The LTE value was the lowest at -18.9°C in 'Shooting Star' and the highest at -12.5°C in 'Violet King'. Through these results, it can be used as basic data to determine whether or not cultivation by region is possible efficiently by comparing data based on 'Campbell Early' and 'Kyoho', which are presented as standard varieties for domestic cultivation.

Key words - Cold hardiness, Cultivar, Grape, Low temperature exotherm

서 언

2022년 포도 품종별 재배면적을 살펴보면 'Campbell Early' 31.7%, 대립계 17.3%, 'Shine Muscat' 41.4%, MBA 6.5%, 'Dela-ware' 0.4%, 기타 2.7%로 'Shine Muscat' 품종이 급격히 증가하고 오랜 기간 주요 재배 품종이었던 'Campbell Early'가 급격히 감소하였으며, 기타 품종 비율도 증가하였다(KREI, 2023). 2004년 칠레와 자유무역협정이 체결되어 씨없는 생식용 포도 품종의 수입이 증가하고 소비 양상이 달라지면서(Jung *et al.*, 2020) 최근에 일본과 미국 등지에서 육성된 씨없는 포도 신품종이 국내에 도입되고 있으며, 국내에서도 씨없는 포도나 다양한 형태를 가진 품종 등이 육성되어 재배면적이 늘어나고 있는 실

정이다(Kim *et al.*, 2023).

작물에서 새로 육성된 신품종의 안정적인 재배를 위해서 가장 먼저 고려해야 할 사항은 내한성이라 할 수 있다. 내한성 설정을 위해서 사용하는 내한성 측정 방법으로는 온도별 전해질 누출율(electrolyte leakage, EL)을 측정하여 LT_{50} 값을 계산하는 방법(Lee *et al.*, 2012, 2013; Pagter and Arora, 2013), 저온 처리별 식물 조직의 갈변 검경법(Yu and Lee, 2020), 저온 처리별 발아율 측정 및 저온방출열을 측정하는 법(Jun *et al.*, 2021; Quamme, 1991) 등이 있다.

식물이 동해를 입게 되면 동결점에서 눈 결정이 형성됨으로써 세포의 탈수와 세포막의 분리 등이 일어난다(Arora, 2018; Jun *et al.*, 2021; Moran *et al.*, 2011). 초기의 얼음 결정은 세포 외간극에 만들어지고(Jun *et al.*, 2021; Pearce, 2001; Wisniewski *et al.*, 2014) 얼음 결정이 세포내액의 수분을 끌어당기

*교신저자: E-mail himssem@korea.kr
Tel. +82-63-238-6750

게 됨으로써 세포의 탈수가 일어나게 된다. 이러한 과정이 더 심화되면 얼음 결정이 세포내 공간에서도 만들어지고 이러한 이유로 세포막이 붕괴되면서 세포가 죽게 된다. 따라서 세포내 결빙이 될 때 발산되는 잠열을 측정하여 세포내 결빙을 추정할 수 있다(Arora, 2018; Jun *et al.*, 2021; Pearce, 2001). 그러나 다양한 작물에서 저온열방출을 통한 내한성을 측정할 때 감지가 어려워 일부 작물에서 적용하고 있는 실정이다(Jun *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2019; Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2014). 특히 눈을 대상으로 한 내한성 연구에서 LTE 분석은 상대적으로 많은 양의 시료가 아닌 제한된 시료를 대상으로 수행할 수 있어 효율적이라 알려져 있다(Neuner *et al.*, 2019; Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2016).

포도의 내한성 관련 연구는 착과량 조절, 환상박피나 휴면기까지의 형태에 따른 내한성의 변화 등으로 주로 재배 기술에 따른 내한성 증진 기술 방법 개발로 주로 이루어져왔으며(Choi *et al.*, 2014; Kwon *et al.*, 2011; Song *et al.*, 2000), 내한성 검정 방법에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 최근에 포도의 눈을 대상으로 한 내한성 연구에서 내한성이 약한 품종의 눈에서의 LTE는 내한성이 강한 품종 눈에서의 LTE보다 더 높게 값이 나타나

눈을 이용한 LTE 분석이 포도나무 내한성을 평가하는 데 유용하다는 보고가 있다(Jun *et al.*, 2021).

따라서 본 연구에서는 최근 국내에 도입되어 재배되고 있는 품종들의 내한성을 저온열방출을 통해 조사하여 저온열방출법을 통한 내한성 측정 방법의 도입을 검정하고 재배한계지역 설정의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

시험 재료

농촌진흥청 원예특작과학원 완주 과수 포장에 재배되고 있는 도입 품종 ‘IFG-6’, ‘My Heart’, ‘Ruby Seedless’, ‘Thompson Seedless’, ‘Vanessa Seedless’, ‘Violet King’, 최근 국내 육성 포도 품종인 ‘Jelly Pop’, ‘Shooting Star’, ‘Summer Crispy’와 국내에서 가장 재배가 많이 되고 있는 품종인 ‘Campbell Early’, ‘Kyoho’, ‘Muscat Bailey A’, ‘Shine Muscat’ 품종을 대상으로 하였다(Table 1, Fig. 1). 모든 품종은 간이비가림시설에서 재식 간격 2.7 × 2.7 m로 개량일자형 수형으로 조성하였으며, 단초전정을 실시하여 관리하였다.

Table 1. The name, pedigree, species, color of berry skin, origin of the table grape cultivars assessed in the experiment.

Cultivar	Pedigree	Species	Color of berry skin	Origin
<i>Introduced cultivars</i>				
‘IFG-6’	‘Beita Mouni’ × ‘C22-121’	<i>Vitis vinifera</i>	Noir	USA
‘My Heart’	‘Shine Muscat’ × ‘Wink’	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Rouge	Japan
‘Ruby Seedless’	‘L 12-80’ × ‘S 45-48’	<i>Vitis vinifera</i>	Rouge	USA
‘Thompson Seedless’	Unkown	<i>Vitis vinifera</i>	Blanc	Central Asia
‘Vanessa Seedless’	‘Seneca’ × ‘N. Y. 45910’	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Rouge	Canada
‘Violet King’	‘Wink’ × ‘Shine Muscat’	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Noir	Japan
<i>New bred cultivars by NIHHS</i>				
‘Jelly Pop’	‘Beni Balad’ × ‘Jinok’	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Noir	Korea
‘Shooting Star’	‘Tano Red’ × ‘Ruby Seedless’	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Rouge	Korea
‘Summer Crispy’	‘Beni Balad’ × ‘Hongaram’	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Blanc	Korea
<i>Most cultivated cultivars in Korea</i>				
‘Campbell Early’	‘Moore Early’ × (‘Belvidere’ × ‘Muscat Hamburg’)	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Noir	USA
‘Kyoho’	‘Centennial’ × ‘Ishirara wase’	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Noir	Japan
‘Muscat Bailey A’	‘Bailey’ × ‘Muscat Hamburg’	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Noir	Japan
‘Shine Muscat’	‘Shine Muscat’ × ‘Wink’	<i>Vitis</i> interspecific crossing	Blanc	Japan

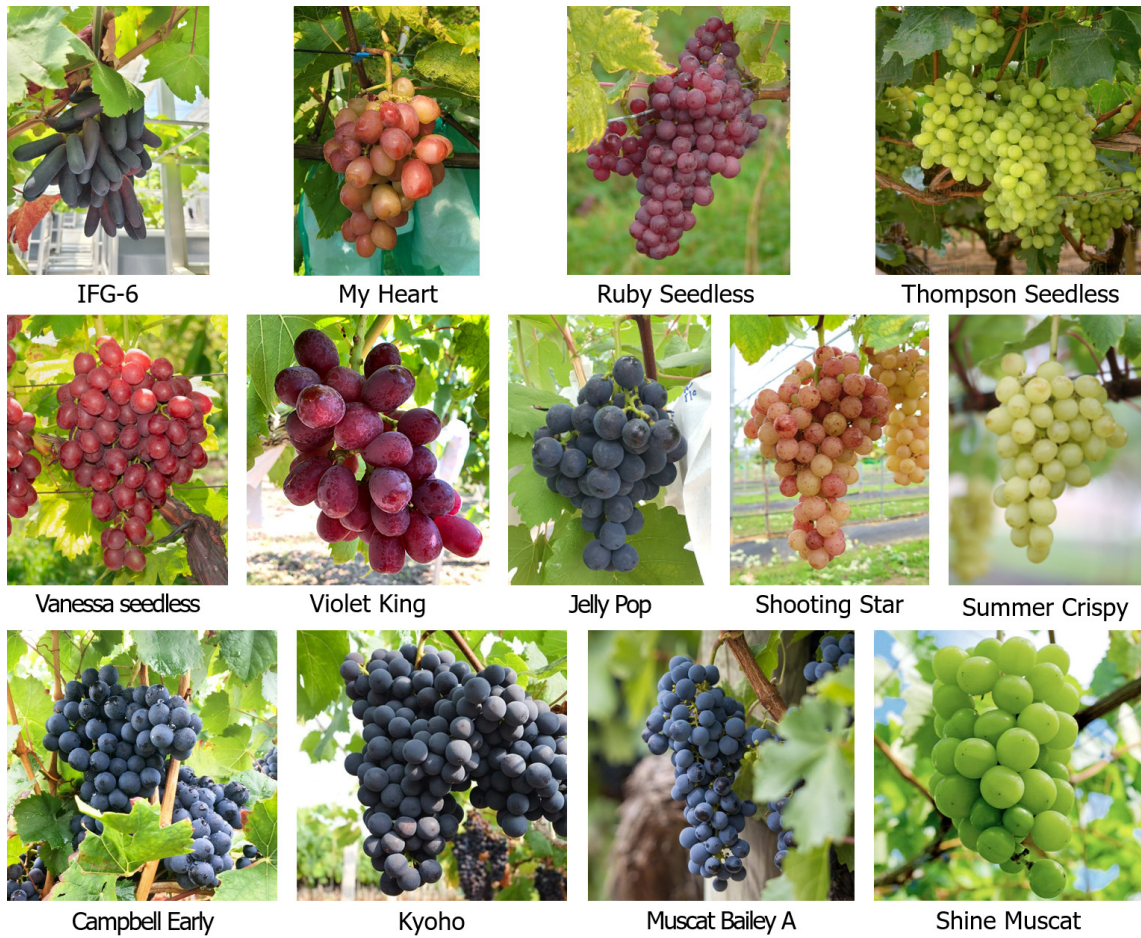


Fig. 1. Grape cultivars in the experiment.

5주의 나무에서 2022년에 생장한 신초를 2023년 1월 말에 신초의 3~8번째 마디 정도인 50 cm 정도를 채취하여 실험을 수행하였다. 채취된 신초는 젖은 종이로 감싸 비닐백에 넣어 건조되지 않도록 하였으며, 실험 전까지 4℃ 냉장고에 보관하였다.

최저기온

중북부(철원, 서울), 중부(청주), 남부(전주, 광주)를 기준으로 기상자료개방포털(Korea Meteorological Administration, 2023)을 이용하여 2022~2023년 최저기온 데이터를 수집하였다.

Low temperature exotherm (LTE) 분석

Arora *et al.* (1992)과 Jun (2021)의 방법에 따라 온도 차이를 이용한 low temperature exotherm 분석을 수행하였다. 알루미늄 호일에 열전도가 잘 될 수 있도록 thermal grease를 바르고 그 위에 크기가 비슷한 눈을 잘라 겹치지 않게 배치하였다. 이 부위에 copper-constantan thermocouple 선을 연결하여 호일



Fig. 2. Exotherm analysis (Left, samples; Right, refrigerated circulating water bath with programmable temperature controller).

을 접어 밀봉한 후 튜브에 넣었다. 저온 하강 속도와 온도 설정이 가능한 저온 순환 수조(RW-2040G, Jeio Tech, Seoul Korea)에 copper-constantan thermocouple 선이 연결된 튜브를 넣고

시간당 -2°C 정도 하강하도록 -40°C까지 낮추어 눈을 넣지 않은 대조구와 실험구의 온도를 데이터 로거(CR-1000 M, Campvll Scientific, Inc., Logan, UT, USA)를 이용하여 실시간으로 측정하였다(Fig. 2). 측정된 데이터의 두 처리구간의 온도 차이를 비교하여 열이 방출된 온도를 도출하였다.

결과 및 고찰

13개 포도 품종의 LTE를 측정한 결과 LTE가 품종별로 비슷한 위치에서 측정되어(Fig. 3) 품종 간 비교가 가능하였다. LTE를 측정한 결과 ‘Shooting Star’, ‘IFG-6’, ‘Muscat Bailey A’, ‘Vanessa Seedless’, ‘Summer Crispy’, ‘Shine Muscat’, ‘Jelly Pop’, ‘Campbell Early’, ‘Ruby Seedless’, ‘My Heart’, ‘Kyoho’, ‘Thompson Seedless’, ‘Violet King’ 순으로 저온에 강한 것으로 나타났다(Table 2).

일반적으로 미국종 포도인 *Vitis riparia*와 *V. labrusca* 및 아시종인 *V. amurensis*도 높은 내한성을 나타내지만 유럽종인 *V. vinifera*는 -20°C 이하에서는 동해 피해로 인해 고사하는 것으로 보고된 바 있으나(Alleweldt *et al.*, 1990; Pierquet and Stushnoff, 1978) 대부분의 최근 육성 품종은 교잡종으로 이루어져 있어 단순히 종의 특성만으로 내한성을 추정하기는 어렵다. 국내에서 품종별 포도 재배 지역 설정은 가장 많이 재배되고 있는 ‘Campbell Early’와 ‘Kyoho’를 기준으로 재배지역에서의 고사 여부로 판단하는 것이 일반적으로 활용하고 있는 방법이다. 그러나 정확한 수치 제시가 어려워 품종별 내한성 구분이 어려운 실정이다. LTE 측정으로 기준 품종인 ‘Campbell Early’와 ‘Kyoho’를 기준으로 수치를 제공하면 쉽게 재배 가능 여부를 판단할 수 있다.

2022~2023년 최저온도를 지역별로 살펴본 결과(Fig. 4), 본 실험이 수행된 전주 지역의 겨울철 월별 최저온도는 -14.8°C로 나타났으며, 북부 지역인 철원 지역은 -22.0°C로 전주 지역과 비교하면 겨울철 최저온도는 약 8°C 정도 차이를 보였다(Fig. 3). 남부 지역인 광주군은 -13.4°C로 전주지역보다 한겨울인 1월의 온도는 1.5°C 정도 높은 것으로 나타났다. 북부지역으로 갈수록 겨울철 최저온도 기온의 차이가 크게 나타나는 것으로 조사되었다.

그러나 국내 포도 재배는 간이비가림시설이나 비가림하우스에서 재배되고 있어 기상온도와 실제 재배되고 있는 포도나무 근처의 미기상은 차이를 보이는데 여름철 온도는 노지보다 간이비가림시설에서 4~7°C 정도가 높은 것으로 알려져 있으나 겨울철 온도는 크게 차이를 보이지 않는다고 보고된 바 있어(Lee

et al., 2015; Park *et al.*, 2006) LTE 수치를 이용한 내한성 검정이 포도 재배 시 실제 온도 피해 범위와 유사한 범위에 있을 것이라 추정되었다.

국내에서 전국적으로 재배되고 있는 ‘Campbell Early’의 경우 본 실험에서 8번째로 내한성이 강한 것으로 나타났으며, ‘Kyoho’의 경우 내한성이 약해 경기 북부지역에서는 노지 재배

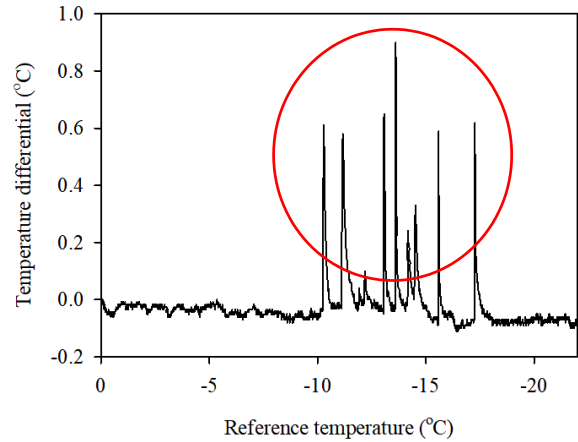


Fig. 3. Example of low temperature exotherms (LTEs) detected in the buds of grapevines during cooling to -40°C at a rate of -2°C/h.

Table 2. Low-temperature exotherms (LTEs) detected in the bud of assessed in the experiment.

Cultivar	LTE (°C)
<i>Introduced cultivars</i>	
‘IFG-6’	-18.6 ± 0.53 ²
‘My Heart’	-14.5 ± 0.33
‘Ruby Seedless’	-14.9 ± 0.41
‘Thompson Seedless’	-13.0 ± 0.38
‘Vanessa Seedless’	-17.0 ± 0.62
‘Violet King’	-12.5 ± 0.41
<i>New bred cultivars by NIHHS</i>	
‘Jelly Pop’	-15.8 ± 0.51
‘Shooting Star’	-18.9 ± 0.75
‘Summer Crispy’	-16.5 ± 0.43
<i>Most cultivated cultivars in Korea</i>	
‘Campbell Early’	-15.4 ± 0.43
‘Kyoho’	-14.1 ± 0.20
‘Muscat Bailey A’	-18.4 ± 0.31
‘Shine Muscat’	-16.3 ± 0.42

²Values are mean ± standard errors (n=10).

가 어려운 것으로 알려져 있는데 전주 지역의 경우 1월 최저기온이 -14.8°C 로 ‘My Heart’, ‘Thompson Seedless’, ‘Violet King’ 등이 ‘Kyoho’ 보다 더 약한 것으로 나타나 재배 시 주의해야 할 것으로 판단되었다(Table 2, Fig. 4). 대부분의 품종이 실제 재배 시 내한성과 LTE 측정에 의한 결과가 비슷한 양상으로 나타났으나(Table 2) 국내 재배 시 내한성이 약한 편으로 알려져 있는 ‘Muscat Baily A’의 경우는 실험한 품종들 가운데 3번째로 강한 품종으로 나타나 탈산화 시기에 약한 품종일 것이라 추측되었으며, 추후 시기에 따른 내한성 측정이 필요할 것으로 판단되었다.

일반적으로 저온열방출은 감지가 어려우며 감지가 되더라도 조직에 따라 광범위한 온도 범위에서 방출되므로(Neuner *et al.*, 2019) 반복적인 측정이 필수적이다. 많은 낙엽 과수에서 얼음 형성은 어느점보다 훨씬 낮은 온도에서도 억제되고(Kaya and Köse, 2017; Liu *et al.*, 2019; Pramsöhler *et al.*, 2012), 꽃눈과 줄기에서 -40°C 정도의 낮은 과냉각이 발생할 수 있다고(Ashworth *et al.*, 1988; Neuner *et al.*, 2019) 보고된 바 있다. 그러나 사과와 같은 경우에는 사과꽃눈에서 LTE가 감지되지 않았다고 보고했으며, LTE 분석을 사용하여 내한성을 추정할 수 없다고 하였다(Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2016). 일부 작물에서는 저온조절유전자의 발현 여부를 분석함으로써 내한성 품종을 육성하는데 활용하기도 한다(Choi *et al.*, 1997). 포도의 경우 저온열방출이 다른 작물에 비해 잘 되는 것으로 보고된 바 있는데(Jun *et al.*, 2021) 본 실험에서도 저온열방출 감지가 효과적으로 된 것으로 판단되었다(Fig. 3). 따라서 포도나무 눈에서와 같이 LTE가 감지될 수 있는 경우 exotherm 분석은 깊은 과냉각 조직의 내한성을 결정하는 빠르고 편리한 방법으로 사

용할 수 있다(Jun *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2019; Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2014).

포도의 안정적인 재배를 위해서는 저온 피해를 정확히 평가할 필요가 있는데 지금까지 일반적으로 많이 사용하던 눈의 EL 분석은 신속하며 재현 가능한 LT_{50} 값을 제공하지만(Jun *et al.*, 2021) 눈으로 실험을 할 경우, 많은 양의 시료가 필요하게 되어 현실적으로 실험하기에 어려움이 많았다. 따라서 본 실험과 같이 저온열방출을 활용한 분석을 통해 새로 도입되거나 육성된 품종의 눈의 내한성을 평가하는 방법을 활용하여 재배 지역을 설정할 필요가 있다고 판단되었다.

적 요

최근 국내 재배가 많거나 국내 도입이 되고 있는 13개 포도 품종의 눈을 대상으로 LTE를 측정된 결과 ‘Shooting Star’, ‘Muscat Bailey A’, ‘IFG-6’, ‘Vanessa Seedless’, ‘Summer Crisp’, ‘Shine Muscat’, ‘Jelly Pop’, ‘Campbell Early’, ‘Ruby Seedless’, ‘My Heart’, ‘Kyoho’, ‘Thompson Seedless’, ‘Violet King’ 순으로 저온에 강한 것으로 나타났다. LTE 값은 ‘Shooting Star’에서 -18.9°C 로 가장 낮게 나타났으며, ‘Violet King’에서 -12.5°C 로 가장 높게 나타났다. 이러한 결과를 통해 국내 재배 시 기준 품종으로 제시되고 있는 ‘Campbell Early’와 ‘Kyoho’를 기준으로 데이터를 상대 비교함으로써 효율적으로 지역별 재배 가능 여부를 판단할 수 있는 기초 자료로 활용할 수 있다.

사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농촌진흥청(과제 번호: RS-2020-RD009283)의 지원을 받아 연구되었음, 본 연구는 2023년도 농촌진흥청(국립원예특작과학원) 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

Alleweldt, G., P. Spiegel-Roy and B. Reisch. 1990. Grapes (*Vitis*). In Moore, J.N. and J.R. Ballington, Jr. (eds.), Genetic

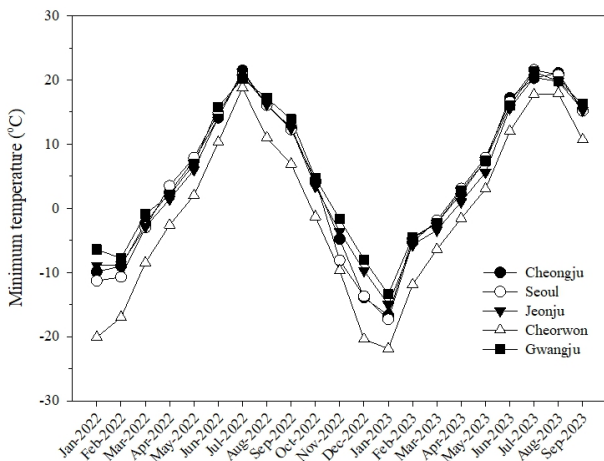


Fig. 4. Minimum temperature of Cheongju, Seoul, Jeonju, Cheorwon, and Gwangju region during 2022~2023.

- Resources of Temperature Fruit and Nut Crops. Acta Hort. 290:291-337.
- Arora, R. 2018. Mechanism of freeze-thaw injury and recovery: a cool retrospective and warming up to new ideas. Plant Sci. 270:301-313. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.03.002>.
- Arora, R., M.E. Wisniewski and R. Scorza. 1992. Cold acclimation in genetically related (sibling) deciduous and evergreen peach (*Prunus persica* [L.] Batsch). I. Seasonal changes in cold hardiness and polypeptides of bark and xylem tissues. Plant Physiol. 99:1562-1568. <https://doi.org/10.1104/pp.99.4.1562>.
- Ashworth, E.N., P. Echlin, R.S. Pearce and T.L. Hayes. 1988. Ice formation and tissue response in apple twigs. Plant Cell Environ. 11:703-710. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1988.tb01153.x>
- Choi, K.H., J.H. Jeon, H.S. Kim, Y.H. Joung, H. Joung and D.C. Yang. 1997. Expression of low temperature regulated gene H28 in *Solanum tuberosum* L. Korean J. Plant Res. 10:300-304.
- Choi, Y.M., E.G Lee, H.M. Jung, S.M. Jung and D.G. Choi. 2014. Relation of branches type and cold hardiness at dormant stage of 'Heukgoosul' grapes. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 32(Suppl. II):125.
- Jun, S.H., D.J. Yu, Y.Y. Hur and H.J. Lee. 2021. Identifying reliable methods for evaluating cold hardiness in grapevine buds and canes. Hort. Environ. Biotechnol. 62:871-878.
- Jung, S.M., S.J. Kim and Y.Y. Hur. 2020. Phenolic compounds in domestic and imported grape cultivars in Korea. Korean J. Food Sci. Technol. 52:205-211.
- Kaya, Ö. and C. Köse. 2017. Determination of resistance to low temperatures of winter buds on lateral shoot present in Karaerik (*Vitis vinifera* L.) grape cultivar. Acta Physiol. Plant 39:209. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2513-7>.
- Kim, S.J., D.H. Lee, Y.Y. Hur, D.J. Im and S.J. Park. 2023. Growth & development and fruit characteristics of newly bred and introduced grape cultivars. Korean J. Plant Res. 36:490-495.
- Korea Meteorological Administration. 2023. <http://data.kma.go.kr>
- Korea Rural Economic Institute (KREI). 2023. Agricultural Outlook 2023 Korea. pp. 583-594.
- Kwon, Y.H., B.H.N. Lee, S.B. Shim, K.H. Shin, K.H. Chung, I.M. Choi and H.S. Park. 2011. Fruit quality and freezing damage of 'Kyoho' grapes by girdling. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29:81-86.
- Lee, J.H., D.J. Yu, S.J. Kim, D. Choi and H.J. Lee. 2012. Intraspecies differences in cold hardiness, carbohydrate content, and β -amylase gene expression of *Vaccinium corymbosum* during cold acclimation and deacclimation. Tree Physiol. 32:1533-1540. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps102>.
- Lee, J.I., D.J. Yu, J.H. Lee, S.J. Kim and H.J. Lee. 2013. Comparison of midwinter cold-hardiness and soluble sugars contents in the shoots of 21 highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) cultivars. J. Hort. Sci. Biotechnol. 88:727-734. <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11513031>.
- Lee, Y.S., S.D. Kim, S.H. Lee, S.T. Hong, J.W. Lee, E.Y. Hong and D.I. Kim. 2015. Characteristics of the newly developed rain shelter for grapevine and growth of 'Campbell Early'. Prot. Hort. Plant Fact. 24:252-257.
- Liu, J., O.M. Lindstrom and D.J. Chavez. 2019. Differential thermal analysis of 'Elberta' and 'Flavorich' peach flower buds to predict cold hardiness in Georgia. HortScience 54:676-683. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI113518-18>.
- Moran, R.E., Y. Sun, F. Geng, D. Zhang and G. Fazio. 2011. Cold temperature tolerance of trunk and root tissues in one- and two-year-old apple rootstocks. HortScience 46:1460-1464. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.11.1460>.
- Neuner, G., K. Monitzer, D. Kaplenig and J. Ingruber. 2019. Frost survival mechanism of vegetative buds in temperate trees: deep supercooling and extraorgan freezing vs ice tolerance. Front. Plant Sci. 10:537. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00537>.
- Pagter, M. and R. Arora. 2013. Winter survival and deacclimation of perennials under warming climate: physiological perspectives. Physiol. Plant. 147:75-87. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01650.x>.
- Park, K.S., Y.S. Yu, H.K. Yun, I.M. Choi and K.B. Ma. 2006. Grape (*Vitis* spp.). In Lee, J.M., G.W. Choi and J. Janick (eds.), Horticulture in Korea. Korean Society for Horticultural Science, Suwon, Korea. pp. 216-223.
- Pearce, R.S. 2001. Plant freezing and damage. Ann. Bot. 87:417-424. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1352>.
- Pierquet, P. and C. Stushnoff. 1978. Variation and breeding potential of some Northern clones of *Vitis riparia* Michx. Fruit Var. J. 32:74-84.
- Pramsohler, M., J. Hacker and O. Neuner. 2012. Freezing pattern and frost killing temperature of apple (*Malus domestica*) wood under controlled conditions and in nature. Tree Physiol. 32:819-828. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps046>.
- Quamme, H.A. 1991. Application of thermal analysis to breeding

- fruit crops for increased cold hardiness. *HortScience* 26:513-517. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.5.513>.
- Salazar-Gutiérrez, M.R., B. Chaves and G. Hoogenboom. 2016. Freezing tolerance of apple flower buds. *Sci. Hortic.* 198: 344-351. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.003>.
- Salazar-Gutiérrez, M.R., B. Chaves, J. Anothai, M. Whiting and G. Hoogenboom. 2014. Variation in cold hardiness of sweet cherry flower buds through different phenological stages. *Sci. Hortic.* 172:161-167. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.002>.
- Song, G.C., I.M. Choi and M.D. Cho. 2000. Cold hardiness in relation to vine management in ‘Campbell Early’ grapevines. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18:387-390.
- Wisniewski, M., L. Gusta and G. Neuner. 2014. Adaptive mechanisms of freeze avoidance in plants: a brief update. *Environ. Exp. Bot.* 99:133-140. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.011>
- Yu, D.J. and H.J. Lee. 2020. Evaluation of freezing injury in temperate fruit trees. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 61:787-794. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00264-4>.

(Received 26 September 2023 ; Accepted 24 October 2023)