한국농림기상학회지, 제16권 제1호(2014) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 16, No. 1, (2014), pp. 59~71
DOI: 10.5532/KJAFM.2014.16.1.59
ⓒ Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.

저온 및 저온경과시간이 사과나무 왜성대목 및 주요품종의 내동성에 미치는 영향

권헌중[1] · 사공동훈[1]* · 송양익[1] · 박무용[1] · 윤태명[2]
[1]농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과시험장, [2]경북대학교 원예과학과
(2014년 2월 25일 접수; 2014년 3월 25일 수정; 2014년 3월 27일 수락)

Influence of Low Temperature and Chilling Time on Freezing Hardness of Apple Dwarf-rootstocks and Main Cultivars in Korea

Hun-Joong Kweon[1], Dong-Hoon Sagong[1]*, Yang-Yik Song[1], Moo-Yong Park[1] and Tae-Myung Yoon[2]
[1]Apple Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, R.D.A., Gunwi 716-812, Korea
[2]Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
(Received February 25, 2014; Revised March 25, 2014; Accepted March 27, 2014)

ABSTRACT

This study was conducted to find out the freezing hardness of apple tree as influenced by dwarf-rootstocks, cultivars, and low temperature treatments. The dwarf-rootstocks used were M.9 and M.26, and three cultivars used were early-maturing 'Tsugaru', mid-maturing 'Hongro', and late-maturing 'Fuji'. Chilling temperatures were applied from 0°C to -40°C. Checking points of apple tree for freezing hardness were rootstock, trunk, feather, floral bud and foliar bud. Investigations were evaluated by the measure of water loss, electrolyte leaching, and sprouting. The results did not show the differences in water loss, electrolyte leaching, and sprouting by dwarf-rootstocks. Water loss of 'Fuji' was lower than that of 'Tsugaru' and 'Hongro', but sprouting ratio of 'Fuji' was higher than that of 'Tsugaru' and 'Hongro'. Water loss and electrolyte leaching increased as treated by lower temperature, while sprouting ratio decreased. In -35°C treatment, sprouting of rootstock and trunk part were higher than that of feather, while sprouting of floral bud was lower than that of foliar bud. Sprouting of bourse shoot at the accumulated low temperature in terms of -10°C per day was 100% in the 28 days, and sharply decreased about 50% in the 35 days. In conclusion, there were no differences in freezing hardness between M.9 and M.26, but freezing hardness of late-maturing cultivar was tended to stronger than that of early-maturing and mid-maturing cultivars. Freezing hardness of floral bud was extremely weak -30°C.

***Key words*: Apple dwarf rootstocks, Electrolyte leaching, Freezing hardness, *Malus domestica* Borkh**

I. 서 론

겨울철의 저온은 과수의 자발휴면을 타파하기 위한 저온요구도를 충족시키는 기능을 하기도 하지만 동해를 유발하는 원인이 되기도 한다(Chung *et al*., 2008; Moon *et al*., 2012; Seo *et al*., 2010). 특히, 북미 사과 산업에서 겨울철 동해 및 봄철 늦서리에 의한 경제적 손실은 병해충, 잡초, 유해 동식물에 의한 손실

* Corresponding Author : Dong-Hoon Sagong
(sa0316@hanmail.net)

및 건조, 습해 등의 환경스트레스에 의한 손실보다 크다(Flore and Howell, 1987; Palmer *et al*., 2003)고 한다.

과수의 내동성은 과종, 품종, 생장주기, 기온의 하강속도, 저온경과시간, 나무의 부위(꽃눈, 원줄기, 접목부, 대목, 뿌리) 및 영양상태 등에 따라 다른데(Kim *et al*., 2006; Seo and Noh, 2010; Westwood and Bjornstad, 1981), 나무가 건전한 발육을 할 경우에는 내동성이 강하지만, 과다결실이 되거나 혹은 병해충에 의해 조기낙엽이 되어 수체 내에 축적된 영양분이 적어지면 내동성은 약해진다(Barden and Neilsen, 2003; Kang and Oh, 2004; Schupp *et al*., 2001; Tromp, 2005)고 한다.

일반적으로 과수의 눈과 뿌리의 내동성은 신초 및 원줄기보다 약하고, 꽃눈은 잎눈보다 내동성이 약한 것으로 알려져 있다(Kim *et al*., 2006; Tromp, 2005). 사과나무의 경우 재배한계온도는 -30°C부터 -40°C 사이(Kang and Oh, 2004; Seo and Noh, 2010)로, 국내에서 가장 많이 재배되고 있는 '후지'는 -35.9°C 정도라고 한다(Palmer *et al*., 2003). 그러나 Potapov(1999)는 자연 상태에서 경화된 사과나무의 대목은 -18°C에서 겨우 살아남는데 반해 측지는 -38°C까지 생존할 수 있다고 하였으며, Westwood and Bjornstad(1981)는 접수품종(원줄기)의 내동성은 대목의 내동성에 따라 달랐다고 하였고, Embree and McRae(1991) 및 Kang and Oh(2004)는 대목의 내동성이 접수품종의 내동성에 영향을 줄 수도 있지만 반대로 접수품종이 대목의 내동성에 영향을 줄 수도 있다고 하였다.

과수의 내동성은 재배품종들의 자발휴면의 깊이와 기간과 밀접한 관계가 있는데, 보통 휴면 중기에는 내동성이 대단히 강하고 휴면 초기인 늦가을과 휴면 후기인 이른 봄에는 약해진다(Kim *et al*., 2006; 2007; 2009b; Wample and Bary, 1992). 특히, 사과나무는 꽃이 늦게 피는 품종일수록 자발휴면을 타파시키는데 필요한 저온요구도가 많이 요구되므로(Kweon *et al*., 2013), 저온요구도가 높은 품종일수록 자발휴면이 깊게 들어가 내동성이 강하다고 생각할 수 있는데, Han and Yoon(2004) 및 Seo and Noh(2010)는 숙기가 빠른 품종일수록 동해에 의한 원줄기의 피해 정도가 컸다고 하였다. 이처럼 사과나무의 내동성은 품종에 따라 달라지지만(Embree and McRae, 1991; Palmer *et al*., 2003; Westwood and Bjornstad, 1981), 현재까지 국내 육성 사과품종들의 내동성은 잘 알려져 있지 않다.

사과나무 대목의 내동성에 있어, Palmer *et al*. (2003)은 M.7 대목의 동사한계온도는 평균적으로 -7.5°C 정도, M.9은 -9.6°C 정도, P.2는 -14.2°C 정도라고 하였다. 그러나 Holubowicz *et al*.(1982)은 M.7, M.26, M.27, MM.106 대목의 뿌리(root germs)는 -15°C 정도, 대목의 가지(twigs)는 -30°C부터 -40°C 사이에서 고사한다고 하였고, Barden and Neilsen(2003)은 노출된 뿌리가 지상부와 같이 점차적으로 저온에 적응되면 뿌리의 내동성은 측지(branch)만큼 강해질 수 있다고 하였다. 이처럼 연구자에 따라 결과의 차이가 보이는 것은 대목의 내동성은 재배지역의 기후조건, 접수품종의 종류, 동해 발생시기, 토양조건에 따라 달라질 수 있기 때문인데(Flore and Howell, 1987; Kang and Oh, 2004; Tromp, 2005; Westwood and Bjornstad, 1981), 국내에서 많이 사용되고 있는 M.9 대목은 동해에 민감하고, M.26 대목은 강한 편이라고 알려져 있다(Moran *et al*., 2011; Palmer *et al*., 2003; Westwood and Bjornstad, 1981).

현재 M.9은 세계적으로 가장 많이 이용되고 있는 왜성대목으로(Robinson *et al*., 2003), 1950년대 이전까지만 해도 내동성이 문제가 되어 새로운 대목(M.26, M.27 등)을 육성하기 위한 교배친으로 이용되어 오면서 M.9은 M.26보다 저온에 약한 것으로 알려져 왔다(Webster and Wertheim, 2003; Westwood and Bjornstad, 1981). 그러나 Mirabdolbaghi *et al*. (2010)은 대목의 내동성은 토성의 영향을 받는데, 특정 토성에서의 M.9 내동성은 M.26보다 더 강하다고 하였고, Robinson *et al*.(2006)은 생육이 왕성한 대목에 접한 사과나무의 경우 생육이 늦게까지 지연되어 12월에 동해가 심하게 발생한 적이 있었으며, M.9 대목에 접한 3년생 사과나무의 동해발생 후 생존율이 M.26 및 MM.106 대목에 접한 나무들보다 더 높았다고 하였다. 이상의 보고(Mirabdolbaghi *et al*., 2010; Robinson *et al*., 2006; Webster and Wertheim, 2003; Westwood and Bjornstad, 1981)를 종합해보면, 유전적으로 M.9의 내동성이 M.26보다 낮아 M.9에 접목한 사과나무의 내동성이 M.26에 접목한 사과나무보다 약할 수 있지만 재배관리가 적절히 수행된다면 M.9 대목에 접한 사과나무의 내동성은 M.26에 접목한 사과나무와 비슷하게 높아질 수도 있다고 생각한다.

앞선 보고(Barden and Neilsen, 2003; Kim *et al*., 2006; Palmer *et al*., 2003; Tromp, 2005)를 종합해 보면 사과나무의 최대 내동성은 -40ºC에 가까울 정도로 높아 우리나라에서 저온 때문에 사과나무 재배가 불가능한 곳은 없다고 할 수 있다(Kang and Oh, 2004). 오히려 최근에 우려가 된 점은 지구온난화에 의해 겨울철 기온이 과거보다 높아지고 겨울이 짧아지고 있다(Kwon *et al*., 2008)는 것으로, 이러한 현상이 심화된다면 사과나무의 자발휴면을 타파하기 위한 저온요구도가 충족되지 못할 수 있으며(Yun, 1998; Yun *et al*., 2001), 기후변화에 따른 서리발생 시기 변동 및 착색 등의 과실품질 저하의 문제로 현재의 사과 주산지가 경기 북부로 북상할 것이라는 견해도 있다(Kim *et al*., 2009a). 이에 따라 실제 최근 경기 북부지역에서는 M.9 대목을 이용한 밀식 사과원이 많이 늘어나고 있는 추세이다. 그러나 근년의 '따뜻한 겨울' 추세와는 달리 2009년 이후로 기록적인 한파와 폭설이 중부지역에 자주 발생하였는데(Choi and Park, 2010; Seo *et al*., 2010), 강원도 철원의 경우 2010년에 -30.1ºC까지 떨어졌고, 횡성군의 경우 -20ºC 이하의 지속시간이 20시간 동안 지속되면서 지접부가 동해를 받은 사과나무들이 발생하였다(Park *et al*., 2010).

과수의 동해는 부위별로 목질부 동해, 분지부 동해, 지접부 동해, 원줄기 겨울철의 일소, 가지의 고사, 눈의 동해 등으로 나누어지는데(Kim *et al*., 2006), 국내 M.9 대목을 이용한 밀식 사과원에서 발생되는 동해는 주로 지접부 혹은 원줄기의 수피가 파열되거나 목부에서 떨어지는 증상이 대다수이다(Han and Yoon, 2004; Park *et al*., 2010). 이는 이른 봄에 날이 따뜻해지면서 M.9 대목의 수액이동이 기존에 사용되던 M.26 대목보다 활발해져 낮 동안 수액이 지접부 혹은 원줄기까지 올라가 있다가 저녁의 급격한 기온 저하에 의해 수액이 얼면서 발생하는 증상으로(Han and Yoon, 2004; Kang and Oh, 2004; Kim *et al*., 2006; Yim and Youn, 2010; Youn *et al*., 2008), 주간을 흰색 페인트로 칠하거나 혹은 짚, 스티로폼 같은 보호제로 싸주어서 주간 부위의 일교차를 낮추면 동해 발생을 충분히 경감시킬 수 있다(Rieger, 1989).

그러므로 본 시험은 M.9 대목의 내동성과 관련하여 국내에서 많이 재배되고 있는 조생종인 '쓰가루', 중생종인 '홍로' 및 만생종인 '후지'를 M.9과 M.26 대목에 각각 접목시킨 후 이들 나무를 대상으로 부위별(대목, 주간, 측지, 과대지)로 내동성을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 시험재료 및 기상환경

본 시험은 최근 3년(2009-2012년) 동안 겨울철(12월-2월) 평균 최저기온이 -9.2ºC인 경북 군위군 소보면 소재 사과시험장(위도: 36° 16', 경도: 128° 37', 해발고도: 68m)에서 2년(2012년, 2013년) 동안 조사하였다.

2012년에는 대목(M.9, M.26), 품종('쓰가루', '홍로', '후지') 및 부위(대목, 원줄기, 측지)별 내동성을 조사하기 위하여, 2011년에 경북 문경시 소재 묘목상에 앞서 언급한 6종류의 묘목을 주문 생산하였다. 시험에 사용된 묘목들은 저온이 발생하기 전인 2011년 11월초에 굴취하였는데, 굴취 당시 묘목들의 수고는 180cm 이상이면서 접목부 상단 주간직경이 10mm 이상, 30cm 이상 측지가 10개 이상인 것으로 2012년 3월 28일까지 저온저장고(기온: 0-2ºC, 상대습도 80% 이상)에 저장한 것을 대상으로 하였다.

2013년에는 대목별 저온 경과시간에 따른 과대지의 동해발생 여부 및 꽃눈과 잎눈의 내동성 조사는 사과시험장에서 재배되어 온 성목기 '후지'/M.9와 '후지'/M.26 사과나무를 대상으로 하였다.

지역별 기상자료는 기상청(Korea Meteorological Administration, KMA)의 자료를 이용하였다.

2.2. 대목, 품종 및 저온 정도에 따른 사과나무 부위별 내동성

대목, 품종 및 저온 정도에 따른 사과나무 부위별 내동성을 조사하고자, 2012년 3월 28일에 저온저장고에 있던 묘목들을 출고한 후, 대목, 접목부 상단의 원줄기, 측지부위가 각각 15cm 정도 되게 절단하였는데, 측지는 정아를 포함하도록 절단하였고, 대목은 지접부 상단으로 뿌리가 부착되지 않은 부위를 사용하였다.

목표 저온은 6처리(0ºC, -10ºC, -20ºC, -25ºC, -30ºC, -35ºC)로 구분하였고, 저온 처리는 -35ºC까지 온도를 점차적 떨어뜨릴 수 있는 생장상(Gallenkcamp HCCO65, Sanyo, USA)을 이용하여, 0ºC에서 8시간 동안 온도를 점차적으로 목표 저온까지 떨어지게 한 뒤, 목표 저온에서 10시간 경과시켰다. 이후 다시 8시간 동안

목표 저온에서 0°C로 온도를 점차적으로 높여주는 방법으로 해동시켰다. 대조구는 0°C 조건에서 26시간 경과시켰다.

과수의 내동성 연구에 가장 많이 사용되는 방법은 육안 판별법(발아율 및 TTC 검정, 갈변율 등), 전기전도도(전해질 누출률) 및 열 분석법 등이 있다(Cho *et al*., 1987; Kang and Oh, 2004; Stergios and Howell, 1973). 이 중 전해질 누출률은 육안판별법과 높은 역의 상관관계를 가지고 있는데, 동해란 물질이동 통제 기능을 가진 세포막에 손상이 생긴다는 것을 의미하고, 그 손상 정도가 클수록 전해질 누출이 많아진다(Kang and Oh, 2004; Kim *et al*., 2007; Shin *et al*., 2002). 또한, 작물의 동해는 저온으로 인한 식물체 내에 얼음결정이 생기는 피해와 가지가 말라버리는 현상이 있는데(Kim *et al*., 2006), 전자는 세포의 결빙이 세포수분을 탈수시키는 과정을 통하여 나타나며(Guy, 1990), 후자와 관련해서는 월동 중 동해를 받은 가지가 점점 건조되어 수분함량이 낮아지는 것이다(Kim *et al*., 2012). 즉, 동해 전후로 수분손실률이 높은 품종일수록 내동성이 약하다고 할 수 있다.

따라서 본 시험에서는 내동성을 판단하고자 부위별로 수분손실률, 전해질 누출율 및 발아율을 조사하였다. 수분손실률은 저온처리 전 반복별 생체중에 대한 저온처리 후의 생체중 비율로 나타내었고, 전해질 누출률은 저온처리 후 각 부위별 기부 부분을 잘게 잘라 반복별로 4g 정도 정량한 후 Kim *et al*.(2007)의 방법으로 조사하였다. 발아율은 저온 처리한 부위들을 오아시스에 수삽하여 20-25°C로 조절된 유리온실에 배치 30일 뒤에 조사하였는데, 측지 부위의 경우 눈의 종류(정아, 액아)를 구분하지 않고 발아한 개체수를 조사하여 나타내었다.

처리온도 및 품종별 반복은 3반복으로, 대목의 경우 3개를 1반복으로 하였고, 원줄기는 5개를 1반복, 측지는 10개를 1반복으로 하였다.

2.3. 저온경과시간에 따른 대목별 과대지의 내동성

대목별 저온경과시간에 따른 동해발생 여부를 조사하기 위하여 2013년 1월 15일에 M.9과 M.26에 접목된 성목기 '후지'를 대상으로 정아 직경이 3mm 이상이면서 길이가 15-20cm인 과대지를 각각 75개씩 채취하였다.

채취한 과대지는 다음날에 -10°C로 조절된 냉장고(Refrigerator CA-C17ABZ, LG, Korea)에 보관한 뒤 저온경과시간을 1월 23일부터 2월 20일까지 1주일 간격으로 5시기(7일, 14일, 21일, 28일, 35일)로 나누어 처리하였다. 처리별 시료 15개의 과대지들은 1개의 수조에 5개씩 구분하여 수삽한 뒤, 25°C로 조절된 생장상(VS-3DM, Vision, Korea)에 수조를 배치하였다.

발아율 조사는 생장상 배치일로부터 각각 30일 후에 정아가 발아한 과대지수를 조사하여 나타내었다. 수조와 과대지의 관리방법은 Kweon *et al*.(2013)과 동일하게 하였고, 반복은 과대지 5개의 평균 발아율을 1반복으로 한 3반복으로 하였다.

2.4. 꽃눈과 잎눈의 내동성

꽃눈과 잎눈의 내동성을 조사하기 위하여 2013년 1월 28일에 성목기 '후지'/M.9 사과나무를 대상으로 정아 직경이 3mm 이상이면서 길이가 15-20cm인 과대지를 90개 채취한 후 저온처리온도를 -20°C, -30°C, -40°C의 3처리로 하였다.

처리방법은 -20°C와 -30°C 처리의 경우 부위별 내동성 조사와 동일하게 하였다. -40°C 처리는 생장상에 과대지를 넣어 6시간 동안 0°C에서 -30°C까지 점차적으로 냉각시킨 뒤, 냉각된 과대지를 스트로폼 박스에 담아 -40°C로 조절된 초저온냉장고(Freezer MDFU30865, Sanyo, USA)에 넣어 2시간 경과시켰다. 이후 과대지를 스티로폼에서 다시 꺼내어 -40°C에서 10시간 경과시켰다. -40°C에서 10시간 경과시킨 과대지는 다시 -35°C로 조절된 생장상에 넣어 8시간 동안 0°C로 온도를 점차적으로 높여주는 방법으로 해동시켰다.

해동된 과대지는 10개씩 1개의 수조에 수삽한 뒤, 기온이 25°C로 조절된 생장상(VS-3DM, Vision, Korea)에 수조를 배치하여 생장상 배치 30일 후에 발아율을 조사하였다. 발아율은 전체 과대지 수에 대한 발아한 과대지 수로 발아형태(정아가 발아한 과대지, 액아만 발아한 과대지)별로 구분하여 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 기상환경

2012년 12월부터 2013년 4월까지 군위군 소보면의 평균 최저기온은 -5.8°C 정도였다. 겨울철(12-2월) 동안의 평균 최저기온은 -9.5°C로, 2013년 시험의 시료 채취 전인 2012년 12월과 2013년 1월의 평균 최저

기온은 각각 -10.0°C, -11.8°C였고, 2013년 2월 10일까지 일 최저기온은 -10°C 이하로 내려갔다. 봄철 동안(3-4월)의 평균 최저기온은 -0.3°C 정도로, 3월에도 일 최저기온이 -8.1°C까지 내려간 날이 있었고, 4월에는 개화기 무렵인 4월 22일에 일 최저기온이 -1.0°C까지 내려갔었다. 조사기간 중 일 최저기온이 가장 낮았던 날은 2013년 1월 4일로 -23.1°C까지 내려갔었다(Fig. 1).

한편, 기상청 자료를 이용해 군위지역의 2013년 1월 3일 16시부터 1월 4일 16시까지의 시간별 기온을 강원도 사과지역(영월, 홍천, 제천, 횡성)과 비교해 본 결과(Fig. 2), 군위는 -22.2°C까지 내려갔던 반면에 횡성과 제천은 각각 -23.5°C, -25.5°C까지 내려갔었다. 또한, 군위의 경우 -10°C에서 -20°C까지 내려가는데 소요된 시간 및 기온이 -20°C 이하이었던 시간이 각각 6시간이었던 반면에 다른 지역들은 각각 4-8시간, 6-10시간 정도 되었다. 특히 횡성과 제천의 저온 하강속도는 군위보다 2시간 정도 짧고, -20°C 이하 저온지속은 군위보다 3-4시간 정도 길었다(Fig. 2).

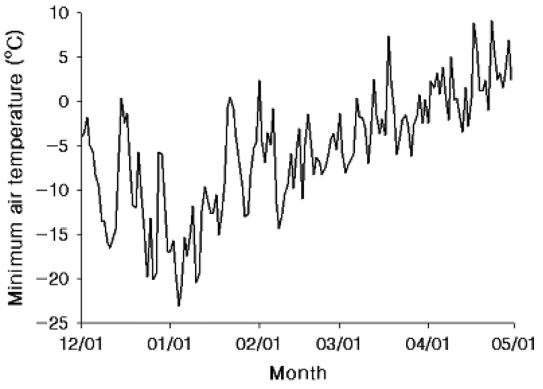

Fig. 1. Change of minimum air temperature at Gunwi region from December, 2012 to April, 2013.

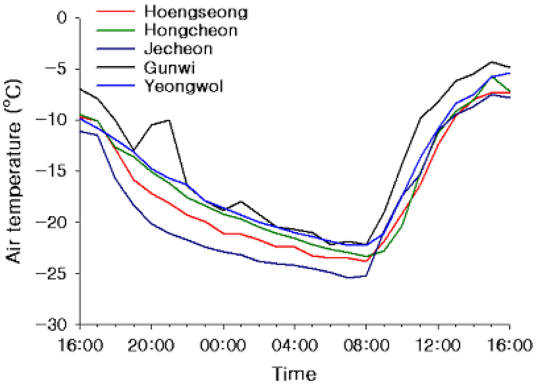

Fig. 2. Diurnal changes of air temperature on five regions from 3 January to 4 January, 2013.

즉, 본 시험에서 2012년과 2013년 동결 및 해빙시간을 8시간, 저온 처리 경과시간을 10시간으로 설정한 것은 5개 조사지역들의 시간이 각각 최대 8시간, 10시간 정도였기 때문이었다(Fig. 2). 또한, 2013년 저온경과시간에 따른 내동성 조사에서 처리온도를 -10°C로 설정한 것은 군위지역의 12월과 1월의 평균 최저기온이 -10.9°C이었기 때문이었다. 2013년 꽃눈과 잎눈의 내동성 비교 조사에서 저온처리를 -20°C부터 시작한 것은 2013년 시험재료가 필드에서 -20°C 이하의 저온을 겪었기 때문이었다(Fig. 1).

3.2. 대목, 품종 및 저온 정도에 따른 사과나무 부위별 내동성

3.2.1. 대목부위의 내동성

품종별 대목부위의 평균 수분손실률은 '쓰가루'가 0.53%, '홍로'가 0.48%, '후지'가 0.33%로 숙기가 빠른 품종일수록 수분손실률이 높았다. 대목 별로는 M.26의 평균 수분손실률이 0.53%로 M.9의 0.36%보다 높았으며, 처리온도 별로는 -30°C 처리와 -20°C 처리가 각각 0.62%, 0.65%로 다른 처리구들보다 높았다. 대목부위의 평균 전해질 누출률은 품종 및 대목의 종류에 의한 차이가 없었으나, 처리온도 별로는 처리온도가 낮을수록 대목부위의 평균 전해질 누출률이 높아졌는데, -30°C 처리와 -35°C 처리의 평균 전해질 누출율은 각각 34.7%, 44.6%로, 0°C부터 -25°C까지 처리들의 18.8-23.4% 대비 2배 정도 높았다. 대목부위의 평균 발아율은 품종 및 대목의 종류에 관계없이 90%를 넘었다. 그러나 처리온도 별로는 -30°C 처리까지 89-97% 정도를 유지하다가 -35°C 처리에서 76%로 낮아졌다. 요인별 상호작용은 조사항목(수분손실률, 전기전도도, 발아율)에 따라 경향이 일정하지 않았다(Table 1).

즉, 본 시험에서 대목부위의 내동성은 접수품종의 숙기가 빠를수록 약해졌고, 처리온도가 -30°C 이하로 내려갔을 때 약해졌다(Table 1). 이는 '쓰가루' 및 '갈라'와 같은 조, 중생종이 만생종인 '후지'보다 내동성이 약하다는 보고(Palmer *et al.*, 2003; Seo and Noh, 2010), 대목부위 가지의 LT_{50}(50% killing temperature)은 -30°C에서 -40°C 사이였다는 보고(Holubowicz *et*

Table 1. Water loss, electrolyte leaching, and sprouting of rootstock part of apple cultivars grafted on M.9 and M.26 as influenced by low temperature treatments

Cultivar	Rootstock	Water loss (%)								Electrolyte leaching (%)								Sprouting (%)							
		Temperature (°C)						Avg.		Temperature (°C)						Avg.		Temperature (°C)						Avg.	
		-35	-30	-25	-20	-10	0	A	B	-35	-30	-25	-20	-10	0	A	B	-35	-30	-25	-20	-10	0	A	B
Fuji	M.9	0.42	0.43	0.13	0.00	0.00	0.05	0.33	0.36	41.1	35.6	21.9	28.8	16.9	18.3	26.7	28.0	100	89	100	83	83	83	90	93
	M.26	0.13	0.90	0.51	0.77	0.24	0.36			47.8	30.2	20.3	16.6	19.4	23.3			44	100	100	100	100	100		
Hongro	M.9	0.11	0.38	0.61	0.82	0.00	0.17	0.48		56.3	39.1	20.8	29.1	18.0	18.4	28.1		67	78	100	100	100	83	92	
	M.26	0.30	1.01	0.77	0.93	0.50	0.13			42.1	30.2	21.1	20.1	17.3	24.4			78	100	100	100	100	100		
Tsugaru	M.9	0.64	0.50	0.50	0.79	0.56	0.35	0.53	0.53	42.0	36.1	20.7	23.9	18.9	17.9	26.7	26.3	100	100	100	100	100	100	92	90
	M.26	0.39	0.47	0.43	0.61	0.23	0.87			38.2	36.7	22.0	21.8	22.1	20.2			67	67	67	100	100	100		
Avg. of C		0.33	0.62	0.49	0.65	0.26	0.32			44.6	34.7	21.1	23.4	18.8	20.4			76	89	94	97	97	94		
ANOVAz																									
Cultivar (A)					*								NS								NS				
Rootstock (B)					**								NS								NS				
Temperature (C)					***								***								**				
A × B					*								NS								**				
B × C					NS								*								*				
A × C					NS								NS								NS				
A × B × C					NS								NS								NS				

z NS, *, **, ***indicated non-significant or significant at P = 0.05, 0.01, 0.001.

al., 1982) 및 접수품종이 대목의 내동성에 영향을 미칠 수 있다는 보고(Embree and McRae, 1991; Kang and Oh, 2004)와 비슷하였다.

그러나 대목 종류에 따른 대목부위의 내동성은 M.9이 M.26보다 강하거나 비슷한 경향이 있었는데(Table 1), 이는 M.9의 내동성이 M.26보다 높았다는 보고(Mirabdolbaghi *et al*., 2010; Robinson *et al*., 2006)와는 동일하였지만 M.26의 내동성이 M.9보다 강하다는 보고(Palmer *et al*., 2003; Webster and Wertheim, 2003)와는 반대였다. 본 시험에서 M.9의 내동성이 M.26과 차이가 없었던 것(Table 1)은 본 시험은 뿌리를 제외한 대목 부위를 대상으로 내동성을 조사하였기 때문으로 추정되었는데, Holubowicz *et al*.(1982)은 M.9보다 내동성이 약하다고 알려진 M.7대목(Palmer *et al*., 2003)의 가지(twigs) 부분 LT_{50}은 -28°C로 내동성이 강하다고 알려진 M.26대목과 동일하다고 하였다.

3.2.2. 원줄기부위의 내동성

품종별 원줄기부위의 평균 수분손실률은 '쓰가루'가 0.48%로 '홍로'와 '후지'의 0.17-0.24%보다 유의하게 높았으나, 대목의 종류 및 처리온도에 따른 차이는 없었다. 품종 및 대목의 종류에 따른 원줄기부위의 평균 전해질 누출률은 31-33% 정도로 차이가 없었다. 그러나 처리온도별 원줄기부위의 평균 전해질 누출률은 -20°C까지는 24-28% 정도 유지하다가 -25°C 이하로 내려가면서 30%를 넘기 시작하여, -35°C에서 41.9%까지 높아졌다. 품종별 원줄기부위의 평균 발아율은 '후지'가 96%로 '홍로'와 '쓰가루'의 88-89%보다 유의하게 높았으나, 대목에 따른 원줄기부위의 평균 발아율은 90-91%로 차이가 없었다. 처리온도별 원줄기부위의 평균 발아율은 -30°C까지 89-97% 정도를 유지하다가 -35°C에서 76%로 낮아졌다. 요인별 상호작용은 조사항목에 따라 경향이 일정하지 않았다(Table 2).

Westwood and Bjornstad(1981)는 원줄기부위의 내동성은 대목의 종류에 따라 달라질 수 있다고 하였는데, 본 시험에서는 대목 종류에 따른 원줄기부위의 내동성 차이는 없었다(Table 2). 또한, 대목부위와 마찬가지로 원줄기부위의 내동성은 -30°C 이하에서 약해지는 경향을 보였고, 만생종인 '후지'의 원줄기부위 내동성이 조, 중생종인 '쓰가루'와 '홍로'보다 높은 경향이 있었다(Table 2). 이는 '후지'의 재배한계온도는 -35.9°C 정도라는 보고(Palmer *et al*., 2006) 및 조생종인 '갈라'의 동해에 의한 원줄기 파열정도가 만생종인 '후지'보다 심했고, 일반 '후지'보다는 조숙계 '후지'의 동해 피해 정도가 더 심했다는 보고(Han and Yoon, 2004)와 비슷하였다.

3.2.3. 측지부위의 내동성

품종별 측지부위의 평균 수분손실률은 '후지'가 0.89%로 '쓰가루'와 '홍로'의 0.46-0.52%보다 유의하게 높았으나, 대목 종류별로는 차이가 없었다. 처리온도 별로는 -25°C 처리가 1.23%로 가장 높았다. 측지부위의 평균 전해질 누출률은 품종 간에 차이가 없었으나, 대목 별로는 M.26이 28.3%로 M.9의 31.0%보다 유의하게 낮았다. 처리온도별 측지부위의 평균 전해질 누출률은 0°C 처리와 -35°C 처리가 각각 34.6%, 33.1%로 일정한 경향이 없었다. 품종별 측지부위의 발아율은 '쓰가루'가 86%, '후지'가 84%로, '홍로'의 81%보다 높았다. 대목에 따른 측지부위의 평균 발아율은 83-84% 정도로 차이가 없었다. 처리온도별 측지부위의 평균 발아율은 -30°C 처리까지는 96% 이상 유지하다가 -35°C 처리에서 12%로 급격하게 낮아졌다. 요인별 상호작용은 조사항목에 따라 경향이 일정하지 않았다(Table 3).

본 시험에서 품종 및 대목에 따른 측지부위의 내동성은 앞서 대목 및 원줄기 부위의 내동성과 반대로 나타났다(Tables 1, 2, and 3). 이는 품종별로 가지의 생장 정지시기, 수관 내 측지의 위치에 차이가 있었기 때문으로 추정되었는데(Tromp, 2006), 일반적으로 과수는 부위에 따라 생장 정지 시기가 다르고, 같은 신초라도 생장이 왕성할 때는 늦여름에서 가을까지도 계속되며, 형성층 활성도 나무의 외부 부분은 일찍 끝나지만 주간이나 가지의 분지 부위는 늦게까지 유지된다(Kang and Oh, 2004)고 한다. 또한, Kim *et al*.(2006)은 동해를 가장 받기 쉬운 부위는 꽃눈이며, 그 다음이 잎눈과 1년생 가지로 큰 가지에서도 분지각도가 좁은 분기 부위가 피해가 많고, 신초의 생장이 늦게까지 지연될수록 내동성이 감소한다고 하였다.

한편, 본 시험에서 -35°C 처리에서의 수체 부위별 평균 발아율은 측지부위가 12%, 대목 및 원줄기 부위들이 각각 76%로 측지부위의 내동성이 가장 약했다(Tables 1, 2, and 3). 이는 복숭아와 양앵두는 정아가 반드시 잎눈이지만 사과와 배는 보통 3년생 단과지의 끝(정아)에 꽃이 맺히고, 품종에 따라서는 2년생

Table 2. Water loss, electrolyte leaching, and sprouting of trunk part of apple cultivars grafted on M.9 and M.26 as influenced by low temperature treatments

Cultivar	Rootstock	Water loss (%)								Electrolyte leaching (%)								Sprouting (%)							
		Temperature (°C)						Avg.		Temperature (°C)						Avg.		Temperature (°C)						Avg.	
		-35	-30	-25	-20	-10	0	A	B	-35	-30	-25	-20	-10	0	A	B	-35	-30	-25	-20	-10	0	A	B
Fuji	M.9	0.46	0.33	0.11	0.23	0.01	0.25	0.24	0.28	40.1	31.8	36.7	25.9	23.4	26.5	31.8	31.7	93	100	100	100	87	80	96	91
	M.26	0.07	0.22	0.00	0.42	0.16	0.67			45.4	40.3	32.6	27.7	24.5	26.2			93	100	93	100	100	100		
Hongro	M.9	0.01	0.00	0.03	0.00	0.33	0.00	0.17		45.7	30.8	36.9	31.4	25.8	33.2	32.1		40	100	93	87	93	93	89	
	M.26	0.39	0.30	0.44	0.50	0.00	0.11		0.32	42.8	33.5	31.0	22.1	23.3	29.4		31.6	67	100	100	100	93	100		90
Tsugaru	M.9	0.64	0.45	0.49	0.75	0.53	0.34	0.48		38.1	37.5	36.6	19.7	22.8	27.3	31.0		100	100	87	93	100	100	88	
	M.26	0.12	0.64	0.61	0.12	0.70	0.39			39.1	41.4	33.8	23.3	25.1	27.2			60	60	60	100	100	100		
Avg. of C		0.28	0.32	0.28	0.34	0.29	0.29			41.9	35.9	34.6	25.0	24.1	28.3			76	93	89	97	96	96		
ANOVAz																									
Cultivar (A)		**								NS								**							
Rootstock (B)		NS								NS								NS							
Temperature (C)		NS								***								***							
A × B		NS								**								***							
B × C		NS								*								**							
A × C		NS								**								***							
A × B × C		NS								NS								**							

z NS, *, **, *** indicated non-significant or significant at P = 0.05, 0.01, 0.001.

Table 3. Water loss, electrolyte leaching, and sprouting of feather part of apple cultivars grafted on M.9 and M.26 as influenced by low temperature treatments

Cultivar	Rootstock	Water loss (%)								Electrolyte leaching (%)								Sprouting (%)							
		Temperature (°C)						Avg.		Temperature (°C)						Avg.		Temperature (°C)						Avg.	
		-35	-30	-25	-20	-10	0	A	B	-35	-30	-25	-20	-10	0	A	B	-35	-30	-25	-20	-10	0	A	B
Fuji	M.9	0.78	0.10	3.77	0.30	0.42	1.54	0.89	0.71	36.3	28.2	22.5	27.3	24.4	45.9	28.6	31.0	17	100	97	100	97	100	84	84
	M.26	0.60	0.22	0.17	1.22	1.05	0.49			21.7	31.7	23.4	24.9	23.9	33.3			10	100	97	90	100	100		
Hongro	M.9	0.23	0.00	1.80	0.00	0.05	0.99	0.46		30.9	35.3	32.0	29.1	31.4	35.3	30.6		13	93	93	93	90	100	81	
	M.26	0.29	0.31	0.12	0.34	0.54	0.86			40.5	28.5	20.9	29.9	23.7	29.7			0	97	90	100	97	100		
Tsugaru	M.9	0.12	0.33	0.46	0.82	0.88	0.11	0.52	0.54	34.4	34.2	29.4	30.3	22.9	28.4	29.7	28.3	13	97	100	100	100	100	86	83
	M.26	0.31	0.93	1.03	0.00	0.30	0.99			34.8	33.7	22.2	29.2	21.4	35.1			20	100	100	100	100	100		
Avg. of C		0.39	0.31	1.23	0.45	0.54	0.83			33.1	31.9	25.1	28.5	24.6	34.6			12	98	96	97	97	100		
ANOVAz																									
Cultivar (A)					*							NS									*				
Rootstock (B)					NS							***									NS				
Temperature (C)					**							***									***				
A × B					NS							NS									NS				
B × C					**							NS									NS				
A × C					NS							**									NS				
A × B × C					***							***									NS				

z NS, *, **, *** indicated non-significant or significant at P = 0.05, 0.01, 0.001.

단과지의 끝에서도 꽃눈이 맺힐 수 있다는 보고(Kim *et al*., 2006; Park *et al*., 2002) 및 꽃눈의 내동성은 잎눈, 신초 및 원줄기보다 낮다는 보고(Cho *et al*., 1987; Kang and Oh, 2004; Tromp, 2005)를 미루어 보아, 본 시험에서 측지부위는 내동성이 가장 약한 꽃눈, 즉 정아를 포함하였기 때문에 측지부위의 평균 발아율이 대목 및 원줄기부위보다 낮았던 것으로 추정되었다.

3.3. 저온경과시간에 따른 대목별 과대지의 내동성

2013년 대목 종류에 따른 '후지' 과대지의 평균 발아율은 M.9이 69%, M.26이 75%로 차이가 없었으나, -10°C에서의 경과일수에 따른 발아율은 28일 경과한 시험구가 100%로 가장 높았고, 35일 경과한 시험구가 54%로 가장 낮았다(Table 4). 이는 앞서 '후지'의 측지 부위별 발아율은 대목의 종류에 영향을 받지 않았다는 결과(Table 3)와 동일하였다. 그러나 저온경과일수에 따른 차이는 28일을 기준으로 발아율이 100%까지 높아지다가 35일에 50% 정도로 급격하게 떨어졌는데(Table 4), 이는 저온 지속시간이 길수록 동사율이 높아진다는 보고(Seo and Noh, 2010)와는 다소 달랐다.

일반적으로 사과나무는 7.2°C 이하의 저온에서 저온요구도가 충족되고, 보통 1월말부터 2월초 사이에 자발휴면이 타파된다(Kim *et al*., 2006; Kweon *et al*., 2013)고 알려져 있다. 본 조사에서의 과대지는 1월중(1월 15일)에 채취하였기 때문에 자발휴면이 타파되지 않은 상태로, -10°C 저장고에서 자발휴면 타파를 위한 저온요구도가 충족되고 있는 상태였다. 즉, 본 시험에서 저온경과 일수가 28일(출고일: 2월 13일)된 시험구의 발아율이 100%되었다가 35일(2월 20일)에 발아율이 54%로 떨어진 것(Table 4)은 28일경(2월 13일)에 자발휴면이 타파되었기 때문으로 추정되었는데, 이는 휴면기에는 내동성이 증가하여 동해위험이 줄지만 휴면이 해제되면 내동성이 급격하게 약해져 동해에 취약하게 된다는 보고(Kim *et al*., 2007; 2009a; Seo *et al*., 2010; Wample and Bary, 1992)와 비슷하였다.

3.4. 꽃눈과 잎눈의 내동성

2013년 처리온도별 '후지'/M.9 과대지 발아율은 -40°C 처리가 77%로 -20°C와 -30°C 처리의 93-97%보다 유의하게 낮았다. 그러나 전체 발아율 중 정아가 발아한 과대지의 발아율은 -40°C 처리가 3%, -30°C 처리가 20% -20°C 처리가 57%로, 처리온도가 낮을수록 정아가 발아한 과대지의 비율은 낮아졌고, 액아만 발아한 과대지의 비율이 높아졌다(Fig. 3). 즉, 처리온도가 낮아질수록 꽃눈은 고사하고 잎눈만 생존하는 경향이 있었는데, 이는 꽃눈의 내동성이 잎눈보다 약하다는 보고(Kim *et al*., 2006; Tromp, 2005)와 동일하였다.

본 시험에서 2013년 과대지의 발아율은 2012년 측지부위의 발아율보다 높은 경향이 있었다(Tables 3 and 4). 이는 목질부의 동해는 성목보다는 묘목이나 유목에 많이 나타나며(Kim *et al*., 2006), 휴면 정도에 따라 내동성이 다르다는 보고(Kim *et al*., 2007; 2009a; Seo *et al*., 2010; Wample and Bary, 1992)

Table 4. Sprouting of terminal bud in bourse shoot at 'Fuji' apple tree grafted on M.9 and M.26 as influenced by accumulated low temperature in terms of -10°C per day

Rootstock[z]	Accumulated days at -10°C					
	7	14	21	28	35	Avg.
M.9	67	73	60	100	47	69
M.26	60	73	80	100	60	75
Avg.	64	73	70	100	54	
ANOVA[y]						
Rootstock (A)			NS			
Accumulated days (B)			***			
A × B			NS			

[z]The sampling time of bourse shoot was 15 January in 2013. Bourse shoots that were collected by rootstock classification in the middle of January were stored at -10°C, and they were placed in growth chamber at one week interval.
[yNS, ***]indicated non-significant and significant differences at $P<0.001$, respectively.

및 온대과수는 가을부터 겨울철 사이의 저온에 의해 내동성이 강해지는 순화(acclimation)과정을 거친다는 보고(Kang and Oh, 2004)를 미루어 보아, 2012년 측지부위 실험은 묘목 즉, 극심한 저온을 격어보지 못한 유목기 사과나무를 대상으로 자발휴면이 끝난 3월말에 내동성을 조사했던 반면에 2013년 과대지 실험은 외부에서 -20°C 이하의 온도를 경험했던 성목기 사과나무(Fig. 1)를 대상으로 자발휴면 중인 1월말에 내동성을 조사하였기 때문으로 생각되었다.

IV. 요약 및 결론

이상의 결과를 종합해보면, M.9과 M.26 대목에 따른 사과나무의 내동성 차이는 거의 없었다(Tables 1-4). 이는 본 시험에서 근권부를 제외하고 실험을 하였기 때문(Holubowicz *et al.*, 1982; Moran *et al.*, 2011)이거나 혹은 M.9대목에 접한 사과묘목이 M.26보다 건전하게 육성되어 M.9대목에 접한 사과묘목의 수체 내 동화산물이 M.26보다 높았기 때문으로 추정되었다(Mirabdolbaghi *et al.*, 2010; Robinson *et al.*, 2006). 즉, 국내에서 M.9에 접목한 사과나무의 동해 발생 정도가 M.26보다 크다(Kang and Oh, 2004)고 보고되는 이유는 왜화도가 M.26보다 큰 M.9(Webster and Wertheim, 2003)은 보다 좋은 토양조건에서 결실 및 수체관리가 체계적이면서 적절하게 이루어져야 하는데, 실제로 제대로 수행하지 못하여 수세가 불안정하거나 수체 내 동화산물 축적이 부족한 과원이 많았기 때문(Yim and Yoon, 2010)으로 추정되었다. 따라서, 향후 대목에 따른 사과나무의 내동성을 명확하게 비교하기 위해서는 향후 대목 별로 축적된 동화산물이 조사되어야 할 것이라고 생각되었다.

또한, 본 시험에서 품종별 내동성은 만생종인 '후지'가 조, 중생종인 '쓰가루'와 '홍로'보다 강한 경향을 나타내었으며, 부위별로는 대목 및 원줄기부위의 내동성이 측지부위보다 강했고, 잎눈의 내동성이 꽃눈보다 강했다. 처리온도 별로는 대목, 원줄기 및 잎눈의 경우 -35°C부터 -40°C사이에서도 50% 이상의 발아율을 보여, 사과나무는 최저기온이 -40°C까지 내려가도 고사하지는 않을 것으로 보였다(Table 1, 2, and 4; Fig. 3). 그러나 꽃눈은 -30°C부터 발아율이 20% 이하로 내려가 해거리 및 밀식장해 발생 위험이 높아지므로(Fig. 3), 국내에서 사과나무의 재배한계온도 및

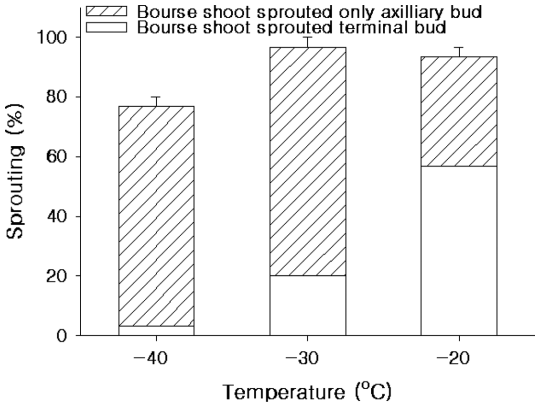

Fig. 3. Sprouting and distribution of bourse shoot of //Fuji'/M.9 apple trees as influenced by different low temperature treatments. The sampling time of bourse shoot was 28 January in 2013. Vertical bars indicate standard errors of three replications. (Number of samples per replication was ten bourse shoots).

재배지역 설정은 -30°C를 기준으로 하는 것이 적당하고, 일 최저기온이 -20°C 이하로 자주 내려가는 지역은 조, 중생종보다는 만생종을 재식하는 것이 동해를 줄일 수 있는 방법이라고 생각되었다.

한편, 사과나무의 내동성은 자발휴면 타파와 관련이 높은 것으로 나타나(Table 4), 향후 휴면 정도 혹은 생장주기(자발휴면 중, 자발휴면 타파 개시기, 자발휴면 타파 후, 발아기, 만개기)별로 -20°C 이하의 저온에서 내동성을 조사하는 등, 국내에서 동해가 가장 심하게 발생하는 시기를 조사해야 된다고 생각되었다.

적 요

본 시험은 왜성대목, 품종 및 저온에 따른 사과나무의 내동성을 조사하고자 실시하였다. 왜성대목은 M.9와 M.26이었고, 조사품종은 조생종인 '쓰가루', 중생종인 '홍로', 만생종인 '후지'였다. 저온처리는 0°C부터 -40°C 사이였다. 조사부위는 대목, 원줄기, 측지, 꽃눈 및 잎눈이었다. 조사항목은 수분손실률, 전해질 누출률 및 발아율이었다. 결과를 살펴보면, 왜성대목에 따른 수분손실률, 전해질 누출률 및 발아율의 차이는 없었다. '후지'의 수분손실률은 '쓰가루' 및 '홍로'보다 낮았으나, 발아율은 '후지'가 '쓰가루' 및 '홍로'보다 높았다. 처리온도별 수분손실률과 전해질 누출률은 처리온도가 낮을수록 증가하였으나, 발아율은 반대로 감소

하는 경향이 있었다. -35°C 처리에서 대목과 원줄기부위의 발아율은 측지부위보다 높았으며, 꽃눈의 발아율은 잎눈보다 낮았다. -10°C에서의 경과일수에 따른 과대지의 발아율은 28일에 100%되었다가 35일에 50% 정도로 급격하게 낮아졌다. 결론적으로, M.9과 M.26의 내동성 차이는 없었으나, 만생종의 내동성은 조, 중생종보다 큰 경향이 있었다. 꽃눈의 내동성은 -30°C 이하에서 급격하게 약해졌다.

REFERENCES

Barden, J. A., and G. H. Neilsen, 2003: Selecting the orchard site, site preparation and orchard planning and establishment. *Apples; Botany, Production and Uses,* D. C. Ferree and I. J. Warrington (Eds.), CABI Publishing, Cambridge, MA, 238-242.

Cho, M. D., S. B. Kim, K. Y. Kim, K. C. Shin, and J. K. Kim, 1987: Early diagnosis of injuly in cold stressed fruit trees. *The Research Report of the Rural Development Administration* (*Horticulture*) **29**(1), 104-110. (In Korean with English abstract)

Choi, Y. E. and C. Y. Park, 2010: Distribution of cold surges and their changes in the *Joongbu* Region, the Republic of Korea. *The Geographical Journal of Korea* **44**(4), 713-725. (In Korean with English abstract)

Chung, U., S. O. Kim, and J. I. Yun, 2008: Plant hardiness zone mapping based on a combined risk analysis using dormancy depth index and low temperature extremes-A case study with "Campbell Early" Grapevine. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**(4), 121-131. (In Korean with English abstract)

Embree, C. G. and K. B. McRae, 1991: An exploratory study of reciprocal apple rootstock and scion hardiness with two methods of assessment. *Hort Science* **26**(12), 1523-1525.

Flore, J. A., and G. S. Howell, 1987: Environmental and physiological factors that influence cold hardiness and frost resistance in perennial crop. *International Conference on Agrometeorology*, F. Prodi, F. Rossi, and G. Cristoferi (EDs.), Fondazione Cesena Agricultural Publ., Censena, Italy. 139-150.

Guy, C. L., 1990: Cold acclimation and freezing stress tolerance: Role of protein metabolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **41**, 187-223.

Han, S. G., and T. M. Yoon, 2004: Figure of freezing injury in apple trees on M.9 rootstock. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **22**(Supply I), 36pp. (In Korean)

Holubowicz, T., J. N. Cummins, and P. L. Forsline, 1982: Responses of *Malus* clones to programmed low-temperature stresses in late winter. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **107**(3), 492-496.

Kang, S. M., and S. D. Oh, 2004: Freezing injury. *Fruit tree physiology in relation to temperature.* S. D. Oh (Eds.), Gilmogm Press, Seoul, Korea, 29-32, 48-53, 77-81, and 86-92. (In Korean)

Kim, J. H., J. C. Kim, K. C. Ko, K. R. Kim, and J. C. Lee, 2006: *General Pomology* (4th ed.). Kim J. H. (Ed.) Hyangmoonsha Press, Seoul, 35-38, 40-44, 147-148, and 177-178. (In Korean)

Kim, H. C., K. S. Bae, J. H. Bae, and T. C. Kim, 2007: Freezing hardiness according to dormancy level and low temperature in persimmon (*Diospyros kaki*). J*ournal of Bio-Environment Control* **16**(3), 269-273. (In Korean with English abstract)

Kim, J. H., S. O. Kim, U. Chung, J. I. Yun, K. H. Hwang, J. B. Kim, and I. K, Yoon, 2009a: Geospatial assessment of frost and freeze risk in 'Changhowon Hwangdo' peach (*prunus persica*) trees as affected by the projected winter warming in south Korea: II. Freezing risk index based on dormancy depth as proxy for physiological tolerance to freezing temperature. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(4), 213-220. (In Korean with English abstract)

Kim, S. O., U. Chung, S. H. Kim, I. M. Choi, and J. I. Yun, 2009b: The suitable region and site for 'Fuji' apple under the projected climate in South Korea. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(4), 162-173. (In Korean with English abstract)

Kim, K. D., J. G. Lee, M. S. Ryu, D. L. Yoo, Y. S. Kwon, and J. N. Lee, 2012: Evaluation of cold tolerance of blueberry (*Vaccinium corybosum* L.) and diagnosis of freezing injury using timber moisture meter. J*ournal of Bio-Environment Control* **21**(4), 354-361. (In Korean with English abstract)

Kweon, H. J., D. H. Sagong, Y. Y. Song, M. Y. Park, S. I. Kwon, and M. J. Kim, 2013: Chilling requirement for breaking of internal dormancy of main apple cultivars in Korea. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **31**(6), 666-676. (In Korean with English abstract)

Kwon, Y. A., W. T. Kwon, and K.O. Boo, 2008: Future projections on the spatial distribution of onset date and duration of natural seasons using SRES A1B data in south Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* **43**(1), 36-51. (In Korean with English abstract)

Mirabdolbaghi, M., R. Zarghami, and A. Azghandi, 2010: Cold hardiness of different apple rootstock clone. *International Journal of Agriculture & Biology* **12**(1), 153-159.

Moon, K. H., I. C. Son, H. H. Seo, K. S. Choi, and J. H. Joa, 2012: Estimation of duration of low-temperature in winter season using minimum air temperature on January. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(3), 119-123. (In Korean with English abstract)

Moran, R. E., Y. Sun, F. Geng, and D. Zhang, 2011: Cold

temperature tolerance of trunk and root tissues in One- or Two-year-old apple rootstocks. *HortScience* **46**(11), 1460-1464.

Palmer, J. W., J. P. Privé, and D. S. Tustin, 2003: Temperature. *Apples; Botany, Production and Uses,* D. C. Ferree and I. J. Warrington (Eds.), CABI Publishing, Cambridge, MA, 218-227.

Park, H. G., W. Moon, and S. K. Lee, 2002: *Horticultural science* (1st Ed.). Park, H. G. (Eds.) Kor. Natl. Open Univ. Press. Seoul, 154-155. (In Korea)

Park, Y. S., N. Y. Um, S. J. Lee, I. J. Kim, and S. Y. Lee, 2010: The freezing damage of the fruit tree in Gangwon. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **28**(Supply II), 81pp. (In Korean)

Potapov, V. A., 1999: Winter hardy dwarfing apple rootstock: apple rootstock for intensive orchard. *Proceedings of the international seminar*, *Warsaw*, Warsaw agricultural University, Poland, 85-86.

Rieger, M., 1989: Freeze protection for horticultural crops. *Horticultural Review* **11**, 45-109.

Robinson, T. L., 2003: Apple-orchard planting systems. *Apples; Botany, Production and Uses,* D. C. Ferree and I. J. Warrington (Eds.), CABI Publishing, Cambridge, MA, 384-385.

Robinson, T. L., G. Fazio, H. S. Aldwinckle, S. A. Hoying, and N. Russo, 2006: Field performance of Geneva apple rootstocks in the eastern USA. *Sodinikystë IR Daržininkystë* **25**(3), 181-191.

Schupp. J. R., L. Cheng, W. C. Stiles, E. Stover, and K. Lungerman, 2001: Mineral nutrition as a factor in cold tolerance of apple trees. *New York Fruit Quarterly* **9**, 9-12.

Seo, H. H. and K. M. Noh, 2010: Countermeasure of meteorological disaster and wild animal demage. *Luxury strategy of apple*, Y. J. Yim (Ed.). Semyung Press, Suwon, Korea, 340-345. (In Korean)

Seo, Y. H., Y. S. Park, B. O. Cho, A. S. Kang, B. C. Jeong, and Y. S. Jung, 2010: Regional distribution of peach freezing damage and chilling days in 2010 in Gangwon province. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**(4), 225-231. (In Korean with English abstract)

Shin, S. C., S. T. Cheong, S. W. Choi, D. H. Sagong, and S. Y. Sin, 2002: Cold tolerance of some persimmon cultivars growing in southern part of Korea. *Agricultural Research of Kyungpook National University* **20**, 71-76. (In Korean with English abstract)

Stergios, B. G., and G. S. Jr. Howell, 1973: Evaluation of viability tests for cold stressed plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **98**(4), 325-330.

Tromp, J., 2005: frost and plant hardiness. *Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production*. J. Tromp, J. T. Webster, and S. J. Wertheim (Eds.). Backhuys Publishers, Leiden, 74-83.

Wample, R. L. and A. Bary, 1992: Harvest date as a factor in carbohydrate storage and cold hardiness of cabernet sauvignon. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **117**(1), 32-36.

Webster, A., and S. J. Wertheim, 2003: Apple rootstocks. *Apples; Botany, Production and Uses,* D. C. Ferree and I. J. Warrington (Eds.), CABI Publishing, Cambridge, MA, 100-111.

Westwood, M. N. and H. O. Bjornstad, 1981: Winter injury to apple cultivars as affected by growth regulators, weed control method, and rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **106**(4), 430-432.

Yim, Y. S., and C. K. Youn, 2010: Dwarfing cultivation. *Luxury strategy of apple*, Y. J. Yim (Ed.). Semyung Press, Suwon, Korea, 59-63. (In Korean)

Youn, C. K., Y. J. Yim, Y. S. Huh, Y. S. Kwon, T. J. Kim, and S. K. Shin, 2008: Effects of rootstock and direction on sap flow of apple trees in Winter. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **26**(Supply I), 59pp. (In Korean)

Yun, S. H., 1998: Climate change and its impact on agricultural ecosystem, world grain demand-supply and measures for the 21st century. *Proceedings of Korean Society of Crop Science and Korean Breeding Society Symposium for 50th anniversary Gyeongsang National University*, Institute of Agriculture and Life Science, 313-335. [Prospect and measures for agricultural development in Korea peninsular toward 21st century] (In Korean)

Yun, S. H., J. N. Im, J. T. Lee, K. M. Shim, and K. H. Hwang, 2001: Climate change and coping with vulnerability of agricultural productivity. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**(4), 220-237. (In Korean with English abstract)