

국내 사과 주요 품종들의 자발휴면 타파에 필요한 저온요구도

권헌중[†] · 사공동훈^{†*} · 송양익 · 박무용 · 권순일 · 김목종

농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과시험장

Chilling Requirement for Breaking of Internal Dormancy of Main Apple Cultivars in Korea

Hun-Joong Kweon[†], Dong-Hoon Sagong^{†*}, Yang-Yik Song,
Moo-Yong Park, Soon-Il Kwon, and Mok-Jong Kim

*Apple Research Station, National Institute of Horticulture & Herbal Science,
Rural Development Administration, Gunwi 716-812, Korea*

Abstract. The study was carried out to examine the initial point of dormancy, breaking time of internal dormancy, and to find out the accumulated hours of low temperature (under 7.2°C from 0.0°C to 7.2°C) for bud-breaking. Over-all, the chilling requirement for breaking of internal dormancy in the commercial apple cultivars ('Fuji' and 'Tsugaru') and apple cultivars bred in Korea ('Hongro', 'Sunhong', 'Honggeum', 'Hongan', 'Hongso', 'Gamhong', 'Summer dream') at the Gunwi region for 4 years (from 2009 to 2012) was investigated. Also, the breaking time of internal dormancy in the field at the Gunwi region and the breaking time of dormancy if air temperature of Gunwi region rises 4°C higher than the current one were investigated using the same data. The initial point of dormancy was set at the time when the lateral bud breaking did not occurred (when heading back cutting was done in the middle of terminal shoots). The occurrence of the breaking of internal dormancy was decided if the breaking of the terminal bud of bourse shoot occurred within 15 days or not in growth chamber. About 100 bourse shoots were collected by cultivar classification in early December every year and were stored at 5.0°C, and they were placed in growth chamber at one week interval. The chilling requirement of cultivars was expressed in accumulated hours in the field and in the growth chamber under 7.2°C and 0.0-7.2°C from the initial point of dormancy to the breaking time of internal dormancy. The results showed that the initial point of dormancy in selected cultivars could occur at the end of September. The breaking time of internal dormancy could occur from the end of January to the early of February. The accumulated hours under 7.2°C for breaking of internal dormancy were 1,600-2,000 hours, while those of 0.0-7.2°C were 1,300-1,800 hours. In comparing the different apple cultivars, the chilling requirement of the early flowering cultivars seemed lower than that of the late-flowering cultivars. Based on these results, if the air temperature of Gunwi region rises about 4.0°C higher than the current one, the breaking time of internal dormancy will be delayed by 2-4 weeks.

Additional key words: accumulated chilling hour, chill unit model, full blooming, *Malus domestica* Borkh., initial point of dormancy

서 언

사과나무를 포함한 장미과 식물들은 필히 저온 휴면기를 지나야 발아가 될 수 있으므로, 저온 정도가 상대적으로 낮은 아열대 지방에서 재배할 경우 휴면타파 실패로 성장 및

착과상태가 미흡하다(Webster, 2005)고 한다. 최근 널리 논의되고 있는 지구온난화는 지난 100년간 지구의 연평균기온을 0.6°C 상승시켰으며, 100년 후의 연평균기온은 지금보다 약 1.4-4.0°C 상승시킬 것으로 예측되고 있다(Chung et al., 2007; IPCC, 2007).

*Corresponding author: sa0316@korea.kr

[†]These authors contributed equally to this work.

※ Received 7 November 2012; Revised 15 May 2013; Accepted 20 May 2013.

© 2013 Korean Society for Horticultural Science

지구온난화에 따른 여름 및 겨울철 기온 상승은 사과재배의 변화를 유도하였는데, 그 예로 영국에서는 몇 년 전에만 해도 재배가 어렵다고 생각되었던 ‘브레이번’ 품종이 최근의 기온상승에 의해 생산량이 크게 증가되었으며(Webster, 2005), 독일에서는 겨울철 기온상승에 의해 발아 및 개화 같은 육안으로 식별할 수 있는 생물계절 현상(phenological events)이 변화되었다(Blanke, 2008; Chmielewski et al., 2004)고 한다. 국내에서는 1977-2006년의 30년간 ‘후지’의 만개기가 지속적으로 빨라졌는데, 이러한 만개기의 단축은 기온상승과 밀접한 관계가 있다(Seo, 2007)고 한다.

지금까지 자발휴면이 타파되기 위해 필요한 저온요구도를 충족시키기 위한 저온의 범위는 관행적으로 7.2°C 이하이고(Kim et al., 2006; Shin and Kim, 2004), 사과나무는 7.2°C 이하의 저온에서 1,200-1,500 정도의 시간이 경과한 후(Heide and Prestrud, 2005; Kim et al., 2009b; Ryugo, 1988), 4.5°C 이상의 기온이 누적되기 시작하면 발아 및 만개하는 것(Hamer, 1980)으로 알려져 왔다. 그러나 Richardson et al.(1974)은 복숭아 가지를 7.2°C에 각각 1시간 노출시킨 단위를 1chilling unit(CU)로 정하고 휴면타파에 유효한 온도를 적산하여 저온요구량을 산출하고자 하는 chill unit 모델을 제창하였는데, 이 모델에 의하면 7.2°C 이하의 온도에서도 저온일수록 휴면타파의 효과가 점차 감소되어 0.0°C 부근의 온도에서는 그 효과가 거의 없고, 12.5°C 이상과 0.0°C 이하의 온도는 생리적으로 무효한 온도로 chill unit가 축적되지 않는다고 하였다. 이러한 chill unit 모델 방식으로 저온요구도를 조사한 보고에 의하면, 사과의 자발휴면을 타파하는데 필요한 저온은 품종에 따라 다르지만 대체로 2.5-9.1°C 범위인 것이 좋고(El-Agamy et al., 2001; Faust et al., 1995; Heide and Prestrud, 2005), 사과의 유전학적 저온요구도는 218-1,516CU 범위에 있으며, 대부분의 품종은 800-1,200CU

범위라고 하였다(Hauagge and Cummins, 1991).

저온요구도를 측정하기 위해서는 자발휴면의 개시점과 타파점을 정확히 알아야 하는데, 특히 개시점에 대해서는 단일과 저온에 의하여 가시적인 생장이 정지되는 날짜, 수확에 의해 과실이 나무에서 이탈되는 날짜, 낙엽이 시작되는 날짜 등의 방법(Chung and Yun, 2008; Kim et al., 2009a; Palmer et al., 2003; Seely, 1996)이 제시되어 있으나 아직까지 합리적인 방법이 확립되어 있지 못한 상태이다. 또한, 저온요구도는 품종에 따라 크게 다른데(Hauagge and Cummins, 1991), 아직까지 국내 육성 품종들의 저온요구도는 알려져 있지 않다.

본 시험은 우리나라에서 재배되고 있는 주요 사과품종들과 국내에서 육종한 품종들을 대상으로 발아에 필요한 저온요구도를 구명하고자 휴면 개시점을 찾아내는 방법을 제시하고 이 방법을 적용하여 품종별 휴면 개시점과 발아에 필요한 누적저온시간을 조사하였다. 또한, 조사된 품종들의 저온요구도를 이용하여 자발휴면 타파시기와 지구온난화에 따른 겨울철 기온 상승이 미래 자발휴면 타파시기에 어떠한 영향을 미칠 수 있는 지에 대해 검토하였다.

재료 및 방법

시험 장소 및 재료

본 시험은 경북 군위군 소보면 소재 사과시험장(위도: 36°16', 경도: 128°37', 해발고도: 68m)에서 M.26을 대목으로 한 ‘쓰가루와 ‘후지’ 및 국내에서 육성된 7품종(‘홍로’, ‘선홍’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘감홍’, ‘섬머드림’)의 성목을 조사대상으로 하여 2009-2012년에 걸쳐 실시하였다. 2009년부터 2012년 군위지역의 품종별 만개기는 Table 1과 같았다.

Table 1. Calendar date of full blooming of some apple cultivars at Gunwi region from 2009 to 2012.

Cultivars ²	Calendar date of full blooming in the different year			
	2009	2010	2011	2012
Fuji	April 20	May 5	May 1	April 28
Gamhong	April 21	May 3	May 2	April 28
Hongan	April 20	May 3	May 2	April 29
Honggeum	April 15	May 2	April 29	April 27
Hongro	April 13	May 2	April 28	April 27
Hongso	April 21	May 3	May 2	April 29
Summer dream	April 13	May 2	April 29	April 27
Sunhong	April 14	May 1	April 28	April 26
Tsugaru	April 19	May 5	April 29	April 28

²Cultivars were grafted on M.26 rootstock.

품종들의 휴면 개시점 탐색

낙엽과수의 휴면은 유기요인에 따라 외재휴면(paradormancy), 내재휴면(endodormancy), 환경휴면(ecodormancy) 단계로 구분되고 있다(Lang et al., 1987). 이 중 외재휴면은 눈이 식물체의 다른 부위와의 상관적 억제작용 때문에 발아하지 못하는 상태로, 신초를 적심하거나 적엽 등에 의해 재차 발아할 수 있다고 한다. 또한, 내재휴면은 늦여름부터 가을에 걸쳐 시작되는 진정한 휴면으로, 겨울 동안 환경조건을 발아에 적합하게 유지시켜 주어도 내적 요인에 의해 발아하지 못하는데, 보통 내재휴면을 자발휴면이라고 한다(Kim et al., 2006; Yu, 2004). 따라서 본 조사에서는 액아에서 신초가 발생하지 않는 절단시기를 휴면 개시점으로 정하고, 2010년에 8월 말부터 ‘쓰가루’, ‘홍로’, ‘후지’ 품종을 대상으로 실시하였다.

처리방법은 각 품종별로 5나무를 선정한 뒤, 각 나무별로 8월 말에 40cm 이상 자란 정단신초를 20개 선정하여, 2주간격으로 4시기(8월 25일, 9월 9일, 9월 27일, 10월 8일)에 각각 5개씩 중간 부위를 절단하였다. 나무별 액아 발아율은 시기별로 절단 전정한 5개의 정단신초 중 10월 말에 액아가 발아한 정단신초의 개수로, 통계처리는 한 나무의 시기별 액아 발아율을 1반복으로 한 5반복이었다.

품종들의 자발휴면 타파시기 탐색

휴면의 깊이를 조사하는 데에는 흔히 일정한 시간 간격으로 절단한 가지를 수삽하여 발아에 적합한 조건에서 발아소요일수 또는 발아율 등을 조사해서 추정하고 있는데(El-Agamy et al., 2001; Finetto, 1997; Yu, 2004), 일반적으로 절단한 가지를 온실에서 발아시킬 때 발아소요 일수가 15일 전후이면 자발휴면이 완료된 것으로 보고 있다(Eggert, 1951; Hauagge and Cummins, 1991; Kim et al., 2006).

따라서 본 시험에서는 자발휴면 타파시기를 조사하기 위해 2010년에 8품종(‘쓰가루’, ‘홍로’, ‘후지’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘선홍’, ‘감홍’, ‘섬머드립’)을 대상으로 1월 6일부터 2월 4일까지 약 1주일 간격으로 노지에서 정아 직경이 3mm 이상인 면서 길이가 15-20cm인 과대지를 품종별로 10개씩 17시경에 채취한 뒤, 품종 별로 10개씩의 가지를 1개의 수조에 삽수하여 기온이 20.0-25.0°C로 조절된 생장상(VS-3DM, Vision, Korea)에 1개씩의 수조를 당일 18시에 배치하고 2-3일 간격으로 9시에 발아 여부를 조사하였다. 품종 및 온도에 따른 평균 발아소요일수는 10개의 가지를 중 6개가 발아할 때까지 소요된 과대지별 발아소요일수를 평균하여 나타내었다. 생장상의 상대습도 및 일조시간은 각각 60%, 16시간이었고, 발아 판정은 정아가 발아하여 녹색의 잎 끝이 보였을 때

로 하였다. 수조의 물은 수돗물로 1주일 간격으로 교체하였고, 과대지 도관의 부패를 방지하기 위해 약 2-3주 간격으로 물 속에서 과대지의 밑 부분을 1cm 미만으로 조금씩 절단해 주었다. 반복은 품종별 1개의 가지를 1반복으로 한 6반복이었다.

품종별 자발휴면 타파에 필요한 저온요구도

최근 연구자료에 의하면, 자발휴면을 타파하는데 필요한 저온은 과수의 종류 및 품종에 따라 다르지만 대체로 겨울(12-2월)의 평균기온이 5.0°C 이하인 것이 좋고, 평균기온이 9.0°C에서도 효과는 있었지만 휴면타파에 오랜 시일이 소요된다고 한다(Kim et al., 2006). 또한, Richardson et al.(1974)이 chill unit 모델을 제창한 이후, 이와 비슷한 방식의 저온요구도 모델(North Carolina 모델, Utah 모델 등)이 개발되었는데, 이들 모델의 차이는 저온요구도를 충족시키는 최적 온도가 다르다는 것(North Carolina 모델: 7.2°C, Utah 모델: 6.1°C)이었다(El-Agamy et al., 2001; Shaltout and Unrath, 1983).

따라서 본 시험에서는 사과품종들의 자발휴면 타파에 필요한 저온요구도를 명확하게 구명하고자, 앞서 조사한 군위 지역 사과나무들의 휴면 개시점부터 매년 과대지를 채취한 시기까지의 7.2°C 이하 누적시간과 0.0-7.2°C 누적시간을 구한 뒤 매년 생장상에서 평균 발아소요일수가 15일 이하로 되는 시기까지 품종별 5.0°C에서의 저장시간을 더하여 품종별 저온요구도를 구해보았다.

군위지역 3개년(2009년, 2010년, 2011년)의 7.2°C 이하 누적시간과 0.0-7.2°C 누적시간은 기상청(Korea Meteorological Administration, KMA)에서 경북 군위군 소보면 사과시험장에 설치한 무인기상장치(AWS, Campbell, USA)의 시간별 자료(KMA, 2012)를 이용하였다.

생장상에서의 시험에 있어, 2009-2010년 조사는 3품종(‘쓰가루’, ‘홍로’, ‘후지’)을 대상으로 낙엽기인 2009년 12월 2일 17시경에 품종별로 과대지를 90개씩 채취하였다. 채취한 과대지들은 채취 당일 18시에 5.0°C로 조절된 저온저장고에 보관하여 1주일 간격으로 9시기[출고날짜(5.0°C 저장고에서의 경과시간): 12월 2일(0시간), 12월 9일(159시간), 12월 16일(327시간), 12월 23일(495시간), 12월 30일(663시간), 1월 6일(831시간), 1월 13일(999시간), 1월 20일(1,167시간), 1월 27일(1,335시간)]에 품종별로 10개씩 9시에 출고하였다. 출고할 때마다 품종별 10개의 가지는 각각 1개의 수조에 수삽한 뒤, 생장상에 배치하여 발아율이 60% 이상이 될 때까지 소요된 일수를 조사하여 품종별 평균 발아소요일수로 나타내었다. 생장상의 환경조건, 과대지

의 조건, 수조와 과대지의 관리방법, 조사간격은 자발휴면 타파시기 탐색 조사와 동일하였다. 2009-2010년 조사의 반복은 품종별 1개의 가지를 1반복으로 한 6반복이었다.

2010-2011년 조사는 7품종(‘쓰가루’, ‘후지’, ‘홍로’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘선흥’)을 대상으로 2010년 12월 13일 17시경에 품종별로 110개의 과대지를 채취하여 당일 18시에 5.0°C로 조절된 저온저장고에 보관하였다. 보관된 과대지들은 1주일 간격으로 11시기[12월 13일(0시간), 12월 20일(159시간), 12월 27일(327시간), 1월 3일(495시간), 1월 10일(663시간), 1월 17일(831시간), 1월 24일(999시간), 1월 31일(1,167시간), 2월 7일(1,335시간), 2월 14일(1,503시간), 2월 21일(1,671시간)]에 품종별로 10개씩 9시에 출고하였다. 출고된 품종별 10개의 과대지들은 1개의 수조에 3-4개씩 구분하여 수삽하였다. 생장상의 환경조건, 관리방법 및 조사간격은 2009-2010년 조사와 동일하였다. 2010-2011년 조사의 반복은 품종별 2-3개의 평균 발아소요일수를 1반복으로 한 3반복이었다.

2011-2012년 조사는 9품종(‘쓰가루’, ‘홍로’, ‘후지’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘선흥’, ‘감홍’, ‘섬머드립’)을 대상으로 2011년 12월 13일 17시경에 품종별로 100개의 과대지를 채취하여 당일 18시에 5.0°C로 조절된 저온저장고에 보관하였다. 보관된 과대지들은 2010-2011년 조사와 동일한 시기에 품종별로 10개씩 9시에 출고하였다. 출고된 품종별 10개의 과대지들은 1개의 오아시스에 3-4개씩 구분하여 꽃아 생장상에 배치하였다. 오아시스의 관수는 1주일 간격으로 하였다. 생장상의 환경조건, 관리방법 및 조사간격은 2009-2010년 조사와 동일하였다. 2011-2012년 조사의 반복은 품종별 2-3개의 평균 발아소요일수를 1반복으로 한 3반복이었다.

군위지역의 누적저온시간과 지구온난화에 따른 미래의 자발휴면 타파시기 추정

본 시험에서는 앞서 조사된 품종별 자발휴면 타파에 필요한 저온요구도의 정확성 및 노지에서의 품종별 휴면 타파시기

를 추정하고자 3시기(2009-2010년, 2010-2011년, 2011-2012년) 동안 기온이 7.2°C 이하로 떨어지기 시작하는 9월 말(9월 20일)부터 이듬해 만생종 ‘후지’의 발아기(2010년 4월 2일, 2011년 4월 6일, 2012년 4월 3일)인 4월 초(4월 10일)까지의 군위지역 7.2°C 이하 누적시간과 0.0-7.2°C의 누적시간을 기상청 자료를 이용하여 조사하였다.

또한, 최근 기후변화 정부간 위원회(Inter-governmental Panel on Climate Change, IPCC)의 미래 기후변화 시나리오들(Special Report on Emissions Scenarios: SRES) 중 CO₂ 농도가 약 2배(720μmol·mol⁻¹)로 높아지면, 우리나라 2100년의 평균기온은 지금보다 4.0°C 정도 상승될 것이라는 A1B 시나리오(IPCC, 2007)를 기초로 하여, 앞서 조사된 군위지역 3시기의 시간별 기온에 4.0°C를 더하여, 품종별 발아에 필요한 누적시간이 군위지역의 기온이 4.0°C 상승될 때는 언제쯤에 도달하는지에 대해 조사해보았다.

결과 및 고찰

품종들의 휴면 개시점 탐색

2010년 품종별 정단신초의 절단시기에 따른 액아 발아율을 살펴보면, ‘후지’와 ‘홍로’는 9월 9일까지 약 90%에 달할 정도로 높게 유지되다가 9월 27일 이후로는 발아하지 않았다. ‘쓰가루’는 8월 25일의 액아 발아율이 60%로 ‘후지’와 ‘홍로’보다 유의하게 낮았고, 9월 9일 이후로는 액아가 발아되지 않았다(Table 2).

낙엽과수의 휴면은 보통 가지의 신장이 완료되고 정아가 형성되는 여름철에 시작되는데, 휴면의 개시는 휴면을 유지하는 환경조건, 즉, 수분이나 영양분의 공급상태, 온도, 일장 조건 등에 따라 달라지고, 긴 가지의 경우 기부는 휴면에 들어갔더라도 선단에는 아직 생장을 지속하는 경우가 많아 정확한 휴면 개시점을 판정하기가 어렵다(Kim et al., 2006; Yu, 2004)고 한다. 본 시험에서는 품종별로 차이가 있었지만 정단신초를 절단하였을 때 액아들은 보통 9월 말 이후에

Table 2. Sprouting rate of axillary bud in some apple cultivars affected by different time of heading back cutting in 2010.

Cultivar ^z	Sprouting rate of axillary bud (%)			
	Time of heading back cutting in terminal shoot ^y			
	25 August	9 September	27 September	8 October
Fuji	100 a ^x	87 a	0 a	0 a
Hongro	93 ab	93 a	0 a	0 a
Tsugaru	60 b	0 b	0 a	0 a

^zCultivars were grafted on M.26 rootstock.

^yTerminal shoot length was over 40 cm, and cutting position was middle of terminal shoot. Leaves of terminal shoot were remained.

^xMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, *P* = 0.05.

는 발아하지 않았으므로(Table 2), 군위지역에서 재배되는 사과나무들의 눈들은 늦어도 9월 말에는 자발휴면에 들어가는 것으로 판단되었다.

품종들의 자발휴면 타파시기 탐색

2010년 과대지 채취시기에 따른 품종별 평균 발아소요일수에 있어, ‘홍금’, ‘홍로’, ‘선홍’ 품종들은 1월 20일 채취구가 15일 이하가 되었고, 이 외 품종들은 2월 4일 채취구에서 15일 이하로 되었다(Fig. 1).

일반적으로 낙엽과수는 1월 중으로 자발휴면이 완료되는 것으로 알려져 왔는데(Kim et al., 2006), 사과의 휴면타파시기는 다른 과종들보다 비교적 늦은 1월 하순에서 3월 중순경 사이라는 보고(Yu, 2004)가 있다. 그러나 같은 품종이라도 자발휴면 타파시기는 재배지역의 겨울철의 온도 및 연차에 따라 다르고, 눈의 종류나 위치 및 수령에 따른 차이가 있을 수 있다(Faust et al., 2005; Hauagge and Cummins, 1991; Yu, 2004). 본 시험에서 절단한 가지를 온실에서 발아시킬 때 발아소요일수가 15일 이내이면 자발휴면이 완료된 것으로 판단해야 된다는 주장(Eggert, 1951; Hauagge and Cummins, 1991; Kim et al., 2006)에 동의한다면, 군위지역

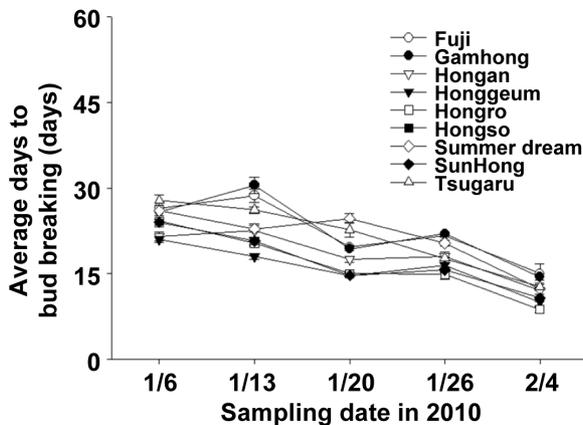


Fig. 1. Influence of the sampling date at field on average days to bud breaking at 20.0-25.0°C growth chamber in apple cultivars at 2010. Vertical bars indicate standard errors of six bourse shoot replications.

품종들은 2월 4일 이전에 자발휴면이 타파되는 것으로 판단할 수 있다(Fig. 1).

품종별 자발휴면 타파에 필요한 저온요구도

앞서 군위지역에서 재배되는 사과나무의 휴면 개시점은 9월 말로 판단되었으므로(Table 2), 4년(2009-2012년) 동안 군위지역의 7.2°C 이하 누적시간과 0.0-7.2°C 누적시간을 매년 9월 20일부터 조사하였다. 매년 9월 20일부터 과대지를 채취한 날(2009년 12월 2일, 2010년 12월 13일, 2011년 12월 13일)의 18시까지 평균기온은 2009년이 10.4°C, 2010년은 8.2°C, 2011년은 9.7°C이었다. 7.2°C 이하의 누적시간은 2009년이 643시간, 2010년은 885시간, 2011년은 737시간이었고, 0.0-7.2°C 누적시간은 2009년이 464시간, 2010년은 513시간, 2011년은 550시간이었다(Table 3).

본 시험의 2009-2010년 조사에 있어, 2009년 12월 2일에 3개 품종을 채취하여 5.0°C 저온저장고에서 저장시간을 달리한 후, 20.0-25.0°C의 성장상에서 발아소요일수를 조사한 결과(Fig. 2A), 0시간 저장구는 140-160일, 999시간 저장구(5.0°C 저장고에서 출고한 날짜: 1월 13일)는 21-23일, 1,335시간 저장구(1월 27일)는 10-15일 정도였다. 즉, 군위지역에서 2009년 12월 2일에 채취한 3품종 모두 5.0°C에서의 저장시간이 1,335시간이면 성장상에서 15일 이내에 발아하였다.

2009-2010년 조사와 동일방법으로, 2010년 12월 13일에 7개 품종을 채취하여 발아소요일수를 조사한 2010-2011년에는 0시간 저장구가 38-68일, 999시간 저장구(1월 24일)는 13-16일, 1,167시간 저장구(1월 31일)는 10-15일, 1,503시간 저장구(2월 14일)는 10-14일 정도이었다(Fig. 2B). 품종별로 평균 발아소요일수가 처음으로 15일 이하로 내려간 5.0°C에서의 저장시간을 살펴보면, ‘홍안’, ‘홍금’, ‘선홍’은 831시간(1월 17일), ‘후지’와 ‘홍로’는 999시간(1월 24일), ‘홍소’와 ‘쓰가루’는 1,167시간(1월 31일)이었다. 즉, 군위지역에서 2010년 12월 13일에 채취한 7품종 모두 5.0°C에서의 저장시간이 1,167시간이면 성장상에서 15일 이내에 발아하였다.

Table 3. Average air temperature, accumulated hours under 7.2°C, and accumulated hours from 0.0°C to 7.2°C at Gunwi region between 20 September and time before bourse shoots in 5.0°C storage room for a three-year period (2009, 2010, 2011).

Year ^z	Average air temperature (°C)	Accumulated hours under 7.2°C (hour)	Accumulated hours from 0.0°C to 7.2°C (hour)
2009	10.4	643	464
2010	8.2	885	513
2011	9.7	737	550

^zIn 2009, bourse shoots were put in 5.0°C storage room at 18:00 on 2 December, and that of 2010 and 2011 were at 18:00 on 13 December. Data of air temperature was from KMA (2012).

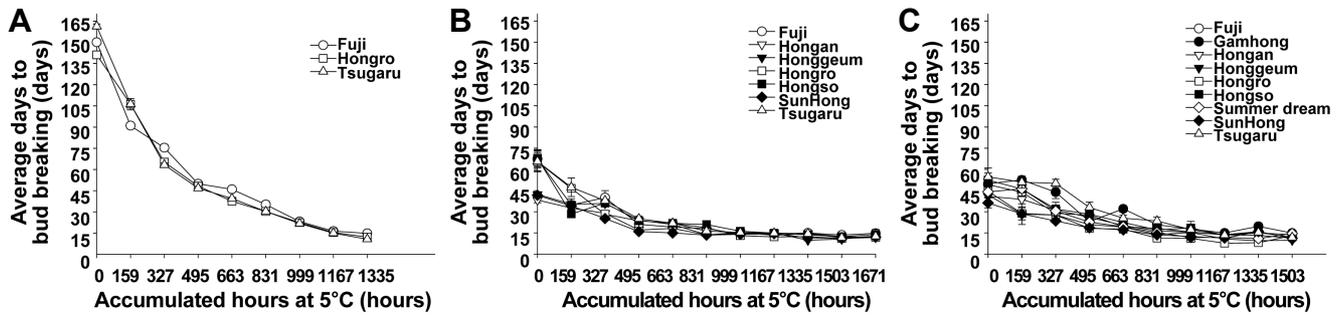


Fig. 2. Influence of the different accumulated hour at 5.0°C storage room on average days to bud breaking at 20.0-25.0°C growth chamber in apple cultivars at 2009-2010 season (A), 2010-2011 season (B), and 2011-2012 season (C). The sampling time of bourse shoot in 2009-2010 season (A), 2010-2011 season (B), and 2011-2012 season (C) were 2 December in 2009, 13 December in 2010, and 13 December in 2011, respectively. The vertical bars in 2009-2010 season (A) indicate standard errors of six bourse shoot replications. The vertical bars in 2010-2011 season (B) and 2011-2012 season (C) indicate standard errors of three replications (one replication was 2-3 bourse shoot).

2011년 12월 13일에 9개 품종을 채취한 2011-2012년 조사에서는 0시간 저장구가 40-57일, 999시간 저장구(1월 24일)는 11-19일, 1,503시간 저장구(2월 14일)는 10-15일 정도였다(Fig. 2C). 품종별로 평균 발아소요일수가 처음으로 15일 이하로 내려간 5.0°C에서의 저장시간을 살펴보면, ‘홍금’, ‘홍로’, ‘선홍’ 품종들은 831시간(1월 17일), ‘섬머드림’은 999시간(1월 24일), ‘후지’, ‘감홍’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘쓰가루’는 1,167시간(1월 31일)이었다. 즉, 균위지역에서 2011년 12월 13일에 채취한 9품종 모두 5.0°C에서의 저장시간이 1,167시간이(1월 31일) 되면 성장상에서 15일 이내에 발아하였는데(Fig. 2C), 이는 2010-2011년 조사 결과(Fig. 2B)와 동일하였다(Fig. 2C).

2009년 12월 2일에 채취한 품종들이 성장상에서 15일 이내에 발아하기 위한 5.0°C의 누적시간은 3품종 모두 1,335시간으로(Fig. 2A), 여기에 2009년 10월 1일부터 12월 2일 채취하기 전까지의 7.2°C 이하 누적시간(643시간)을 더하면(Table 3), 7.2°C 이하의 총 누적시간은 1,978시간이 되었고(Table 4), 0.0-7.2°C 누적시간(464시간)을 더하면(Table 3), 0.0-7.2°C의 누적시간은 총 1,799시간이 되었다(Table 4).

2010년 12월 13일에 채취한 품종들이 성장상에서 15일 이내에 발아하기 위한 7.2°C의 총 누적시간을 2009-2010년 조사와 동일방법으로 계산해본 결과(Table 4), ‘홍안’, ‘홍금’, ‘선홍’은 1,716시간이었고, ‘후지’와 ‘홍로’는 1,884시간, ‘홍소’와 ‘쓰가루’는 2,052시간이었다. 품종별 0.0-7.2°C 총 누적시간은 ‘홍안’, ‘홍금’, ‘선홍’이 1,344시간, ‘후지’와 ‘홍로’는 1,512시간, ‘홍소’와 ‘쓰가루’는 1,680시간이었다(Table 4). 2011년 12월 13일에 채취한 품종들이 성장상에서 15일 이내로 발아하기 위한 품종별 7.2°C 이하의 총 누적시간은 ‘홍금’, ‘홍로’, ‘선홍’이 1,568시간, ‘섬머드림’은 1,736시간, ‘후지’, ‘감홍’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘쓰가루’는 1,904

시간이었다. 품종별 0.0-7.2°C 총 누적시간은 ‘홍금’, ‘홍로’, ‘선홍’이 1,381시간, ‘섬머드림’은 1,549시간, ‘후지’, ‘감홍’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘쓰가루’는 1,717시간이었다(Table 4).

사과나무의 저온요구도를 충족시키는데 필요한 겨울철 7.2°C 이하의 누적시간에 대해, Kim et al.(2006)은 1,200-1,500시간으로 일수로 환산하면 50-62일 정도가 된다고 하였고, Hartmann et al.(1988)은 800-1,700시간, Faust(1989)는 200-2,000시간이라고 하였다. 또한, 7월부터 이듬해 4월까지 약 90개 사과품종의 가치를 채취하여 chill unit 모델방식으로 저온요구도를 조사한 Hauagge and Cummins(1991)는 사과의 유전학적 저온요구도는 218-1,516CU 범위이며, 대부분의 품종은 800-1,200CU 범위라고 하였고, Anderson and Seeley(1992)는 약 1,234CU, Barden and Neilsen(2003)은 4.0-7.0°C 범위에서 1,000-1,200CU이라고 하였다. 본 시험에서 조사품종들의 자발휴면이 타파되기 위해 필요한 7.2°C 이하 총 누적시간은 평균적으로 1,642-1,978시간 범위였고, 0.0-7.2°C 총 누적시간은 1,363-1,732시간 범위에 있었다(Table 4). 본 시험의 품종별 저온요구도가 앞선 보고들(Anderson and Seeley, 1992; Barden and Neilsen, 2003; Faust, 1989; Hartmann et al., 1988; Hauagge and Cummins 1991; Kim et al., 2006)과 다소 달랐던 것은 휴면 개시점과 저온요구도가 충족되는 온도 및 성장상의 온도가 달랐기 때문인 것으로 생각되었다.

4년 동안 균위지역의 품종별 만개기는 해에 따라 달랐으나, ‘홍금’, ‘선홍’, ‘홍로’, ‘섬머드림’이 조사품종 중에 만개기가 빠른 편이었고, ‘후지’, ‘감홍’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘쓰가루’가 늦은 편이었다(Table 1). 품종 간 만개기를 저온요구도와 비교해보면(Tables 1 and 4), 만개기가 빠른 ‘홍금’과 ‘선홍’의 저온요구도가 가장 적은 편이었고, 상대적으로 만개기가 늦은 ‘후지’, ‘홍소’, ‘쓰가루’는 많은 편이었다. 이는 개화가

Table 4. Accumulated hours in the field and the growth chamber under 7.2°C and from 0.0°C to 7.2°C to break bud dormancy in apple cultivars in three seasons.

Cultivars	2009-2010 season ^z	2010-2011 season ^z	2011-2012 season ^z	Mean ± SD
Accumulated hours under 7.2°C (hours) ^y				
Fuji	1,978	1,884	1,904	1,922 ± 50
Gamhong	-	-	1,904	-
Hongan	-	1,716	1,904	1,810 ± 133
Honggeum	-	1,716	1,568	1,642 ± 105
Hongro	1,978	1,884	1,568	1,810 ± 215
Hongso	-	2,052	1,904	1,978 ± 105
Summer dream	-	-	1,736	-
Sunhong	-	1,716	1,568	1,642 ± 105
Tsugaru	1,978	2,052	1,904	1,978 ± 74
Accumulated hours from 0.0°C to 7.2°C (hours) ^x				
Fuji	1,799	1,512	1,717	1,676 ± 148
Gamhong	-	-	1,717	-
Hongan	-	1,344	1,717	1,531 ± 264
Honggeum	-	1,344	1,381	1,363 ± 26
Hongro	1,799	1,512	1,381	1,564 ± 214
Hongso	-	1,680	1,717	1,699 ± 26
Summer dream	-	-	1,549	-
Sunhong	-	1,344	1,381	1,363 ± 26
Tsugaru	1,799	1,680	1,717	1,732 ± 61

^zMeans chilling requirement for bud break was in 15 days at 20.0-25.0°C growth chamber.

^yValue was accumulated hour at 5.0°C storage room of Fig. 2 plus accumulated hours under 7.2°C in the field between 20 September and the time before bourse shoots were put in 5.0°C storage room of Table 3.

^xValue was accumulated hour at 5.0°C storage room of Fig. 2 plus accumulated hours from 0.0°C to 7.2°C between 20 September and time before bourse shoots were put in 5.0°C storage room of Table 3.

늦은 사과 품종의 저온요구도는 개화가 빠른 품종보다 높았다는 보고(Gianfagna and Mehlenbacher, 1985; Mehlenbacher and Voordeckers, 1991; Swartz and Powell, 1981)와 동일하였다.

군위지역의 누적저온시간과 지구온난화에 따른 미래의 자발휴면 타파시기 추정

3시기(2009-2010년, 2010-2011년, 2011-2012년)동안 9월 20일부터 이듬해 4월 10일 사이에 군위지역의 7.2°C 이하 평균 누적시간이 ‘홍금’과 ‘선홍’의 자발휴면 타파에 요구되는 7.2°C 이하 평균 누적시간인 1,642시간(Table 4)을 넘었던 시기는 1월 중에서 1월 말(2009-2010년 1월 15일, 2010-2011년 1월 15일, 2011-2012년 1월 21일) 사이였고, ‘홍안’과 ‘홍로’의 1,810시간(Table 4)을 넘었던 시기는 1월 말(2009-2010년 1월 22일, 2010-2011년 1월 22일, 2011-2012년 1월 28일)이었다. ‘후지’, ‘홍소’, ‘쓰가루’의 1,922-1,978 시간(Table 4)을 넘었던 시기는 1월 말에서 2월 초(2009-2010

년 1월 29일, 2010-2011년 1월 29일, 2011-2012년 2월 4일) 사이였다(Fig. 3A).

그러나 같은 기간 군위지역 0.0-7.2°C의 평균 누적시간이 ‘홍금’과 ‘선홍’의 자발휴면 타파에 요구되는 0.0-7.2°C의 평균 누적시간인 1,363시간(Table 4)을 넘었던 시기는 2009-2010년과 2011-2012년만 3월 중에서 3월 말(2009-2010년 3월 17일, 2011-2012년 3월 22일) 사이였고, 2010-2011년은 4월 10일까지 넘지 못하였다. ‘홍안’과 ‘홍로’의 1,531-1,564 시간(Table 4)을 넘었던 시기는 2009-2010년만 4월 초(4월 4일)였고, 2010-2011년과 2011-2012년은 4월 10일까지 넘지 못하였다. ‘후지’, ‘홍소’, ‘쓰가루’의 1,676-1,732시간(Table 4)은 3시기 모두 4월 10일까지 넘지 못하였다(Fig. 3B). 1월 초에서 1월 말 사이에 0.0-7.2°C의 누적시간이 유지되는 경향을 나타낸 것(Fig. 3B)은 3년(2010년, 2011년, 2012년) 동안 군위지역의 1월 평균기온이 -4.7°C(2010년 1월 -4.6°C, 2011년 1월 -6.4°C, 2012년 1월 -3.3°C)이었기 때문이었다(KMA, 2012).

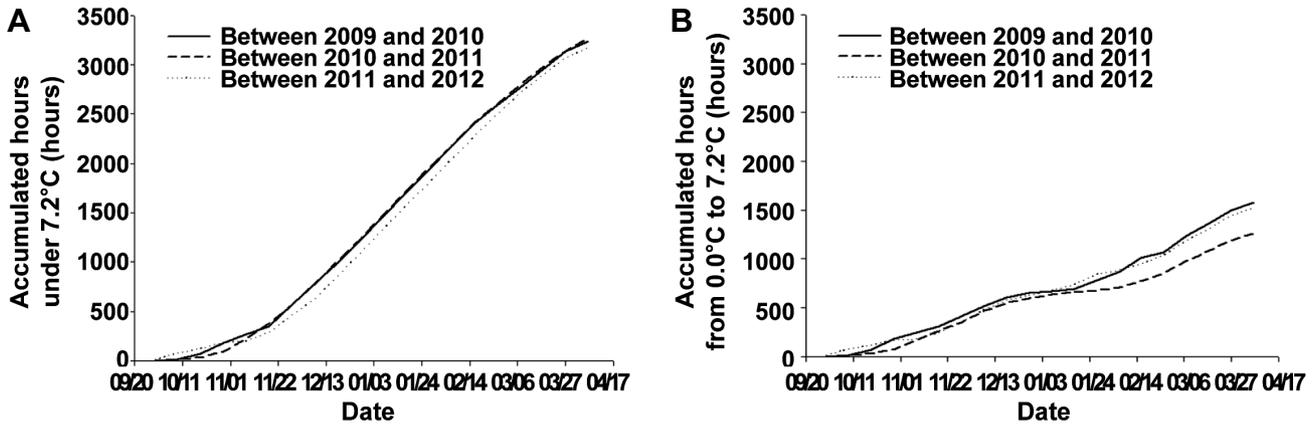


Fig. 3. Accumulated hours in the field under 7.2°C (A) and accumulated hours in the field from 0.0°C to 7.2°C (B) at Gunwi region between 20 September and 10 April in three seasons.

Kim et al.(2006)은 절단한 가지를 온실에서 발아시킬 때 발아소요일수가 14일 전후면 내재휴면이 완료된 것이라고 판단했을 때, ‘국광’은 1월 29일에 자발휴면이 타파된다고 하였다. chill unit 모델 방식으로 3년 동안 사과 재배지역의 저온요구도를 조사한 보고(Finetto, 1997)에 의하면, 조사품종들의 저온요구도는 1,000-1,400CU 정도였고, 조사지역의 10월부터 누적저온시간(CU)은 1월 말에 1,400CU를 넘었다고 하였다.

본 시험에서는 앞서 자발휴면 타파시기 탐색 조사에서 2010년 2월 4일에 채취한 7품종 모두가 20-25°C의 생장상에서 15일 이내로 발아하여 2월 4일 이전에 자발휴면이 타파된 것으로 판단되었고(Fig. 1), 7.2°C 이하 누적시간을 이용할 경우, 해에 따라 다르지만 최소한 2월 초 이전에는 조사품종 모두가 자발휴면이 타파된 것으로 추정되는 결과(Fig. 3A)가 나왔다. 그러나 0.0-7.2°C의 누적시간을 이용하면 꽃이 빨리 피는 품종(‘홍금’, ‘선홍’)을 제외한 모든 품종이 3월 말까지 0.0-7.2°C 누적시간으로 측정한 품종별 저온요구도(Table 4)를 충족하지 못한 결과(Fig. 3B)로 나타났다. 즉, 본 시험의 결과(Table 4 and Fig. 3)로 볼 때, 사과품종의 발아에 필요한 저온요구도는 0.0°C 이하의 온도에서도 충족될 수 있으며, 군위지역에서 재배되는 국내 주요 및 육성 품종들의 자발휴면 타파시기는 1월 말에서 2월 초 사이인 것으로 나타났다.

IPCC의 A1B 시나리오(IPCC, 2007)를 기초로 하여, 앞서 조사된 군위지역 3시기의 시간별 기온(Fig. 3)에 4.0°C를 더할 경우, 7.2°C 이하 평균 누적시간이 ‘홍금’과 ‘선홍’의 저온요구도인 1,642시간(Table 4)을 넘었던 시기는 1월 말에서 2월 중(2009-2010년 2월 5일, 2010-2011년 1월 28일, 2011-2012년 2월 11일) 사이였다(Fig. 4A), ‘홍안’과 ‘홍로’의 저온요구도인 1,810시간(Table 4)을 넘었던 시기는 2월

초에서 2월 말(2009-2010년 2월 14일, 2010-2011년 2월 7일, 2011-2012년 2월 27일) 사이, ‘후지’, ‘홍소’, ‘쓰가루’의 저온요구도인 1,922-1,978시간(Table 4)을 넘었던 시기는 2월 중에서 2월 말(2009-2010년 2월 19일, 2010-2011년 2월 13일, 2011-2012년 2월 28일)이었다(Fig. 4A). 즉, 군위지역의 기온이 A1B 시나리오처럼 현재보다 4.0°C 정도 오를 경우, 7.2°C 이하의 누적시간으로 추정된 현재 조사품종들의 자발휴면 타파시기는 약 2-4주 정도 늦춰질 것으로 예상되었다(Figs. 3A and 4A).

최근 지구온난화에 따른 국내 사과 재배적지 변동에 대한 예측(Kim et al., 2009b; Yun, 1998; Yun et al., 2001)을 살펴보면, 기온이 2.0-4.0°C 상승되면 사과를 재배할 수 있는 지역이 사라지거나 기존의 지역에서는 고품질의 과실을 생산할 수 없다고 하였다. 배나무에 있어서 Han et al.(2008)은 11월부터 1월의 평균기온이 1.0°C 상승하면 서귀포에서 재배되는 ‘신고’ 배나무의 자발휴면 타파시기가 9일 지연되고, 2.0°C 상승 시 10일 지연, 3.0°C 상승 시 19일 지연, 4.0°C 상승하면 저온부족현상이 발생하여 자발휴면이 타파되지 않지만, 1월부터 4월의 기온 상승은 자발휴면 타파 이후 눈의 발육속도를 높여 만개일이 빨라질 것이라고 예상하였다(Han et al., 2010).

본 연구에서는 기온이 4.0°C 정도 상승되면 자발휴면 타파가 2-4주 정도 지연될 것 이라는 예측(Figs. 3A and 4A)이 나왔지만 이러한 자발휴면 타파시기 지연이 사과나무의 발아 및 개화에 영향을 미쳐 재배가 불가능하게 될 것이라고는 생각되지 않는다. 왜냐하면 발아 및 만개에 필요한 고온요구도(Cesaraccio et al., 2004)가 기온상승에 의해 빨리 충족되어 자발휴면이 타파되자마자 발아가 15일 이내(Figs. 2 and 3)로 될 수 있기 때문이다.

이상의 결과를 종합해 보면, 군위지역에 재배되는 국내

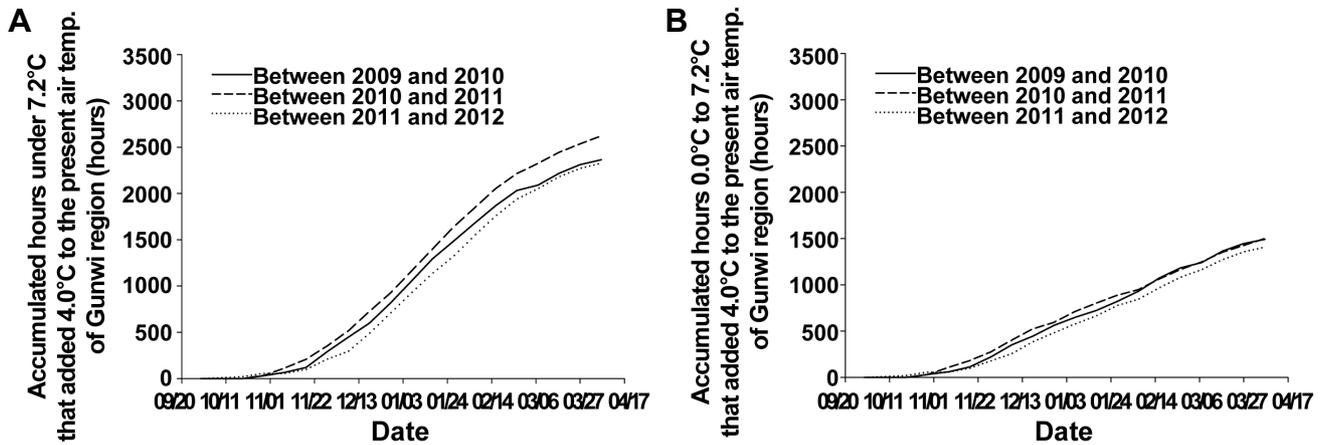


Fig. 4. Change of accumulated hours in the field under 7.2°C (A) and accumulated hours in the field from 0.0°C to 7.2°C (B) according to special report on emissions scenarios (SRES) A1B of inter-governmental panel on climate change (IPCC) at Gunwi region between 20 September and 10 April in three seasons. According to SRES A1B, atmospheric CO₂ concentrations are predicted almost double with the twenty-first century, and this doubling of the CO₂ concentration will increase the mean air temperature of Korea by 4.0°C (IPCC, 2007). So, we added 4.0°C to the present air temperature of Gunwi region.

주요 및 육성 품종들은 늦어도 9월 말 이전에 자발휴면이 시작되어 1월 중에서 2월 초 사이에 자발휴면이 타파되는데(Table 2 and Fig. 1), 품종들의 자발휴면이 타파되기 위해 필요한 7.2°C 이하의 누적시간은 1,600-2,000시간이었고(Table 4), 개화가 빠른 품종일수록 저온요구도가 낮은 경향이 있었다(Tables 1 and 4). 또한, 본 시험에서 7.2°C 이하 누적시간을 이용한 품종별 저온요구도(Table 4)로 품종별 자발휴면 타파시기를 추정했을 때(Fig. 3A), 실제 군위지역에서의 품종별 휴면타파 시기(Fig. 2)를 비교적 정확하게 추정할 수 있었지만, 0.0-7.2°C 누적시간을 이용하는 chill unit 모델 방식의 품종별 저온요구도(Table 4)로 품종별 자발휴면 타파시기를 추정했을 때(Fig. 3B)는 실제와 상당한 차이(Fig. 2)를 나타내었다. 본 시험에서 0.0-7.2°C 누적시간을 이용한 품종별 자발휴면 타파시기 추정이 실제와 상당히 달랐던 것(Fig. 3B)은 chill-unit 모델에서 전체 휴면기간 동안의 온도별 chilling 유효도는 일정하다고 간주하고 있으나 실제로, 휴면타파에 대한 저온의 효과는 휴면 단계에 따라 다를 수 있고(Kobayashi et al., 1982), 휴면 완료시기를 흔히 저온요구도의 충족에 기준하고 있지만 chill unit 모델은 휴면 중의 눈에서의 생리적인 변화(호르몬, 영양상태 등)가 전혀 고려되지 않기 때문(Hannien, 1995)으로 생각되었다. 따라서 chill unit 모델 방식을 이용한 저온요구도 구명은 휴면 중인 눈에서의 생리적인 변화가 연구되거나 혹은 저온요구도가 충족될 수 있는 영하의 한계온도가 연구된 이후에 적용해야 할 것으로 생각되었는데, 이미 국내에서는 chill unit 모델 방식으로 사과나무의 저온요구도를 계산하여 지구온난화에 따른 국내 사과나무의 재배가능성을 예측한 보고들이 있다. 이 보고들(Yun, 1998; Yun et al., 2001)에 의

하면, 사과나무가 자발휴면을 타파하기 위해서는 0.6-4.4°C의 온도가 1,400시간이 필요한데, 이러한 조건을 만족할 수 있는 곳은 연평균기온이 13.0°C 이하로서, 연평균기온이 14.3°C 이상이 되면 사과나무는 자발휴면이 타파되지 않아 사과를 재배할 수 없다고 예측하였다. 그러나 실제로 기상청에서 측정된 최근 30년(1981년부터 2010년까지) 동안 대구의 연평균기온은 14.1°C이었고, 2007년 연평균기온이 약 15.1°C까지 올라갔던 대구지역(KMA, 2012)의 도심지에 소재한 경북대학교 부속 사과원에서는 매년 사과가 생산되고 있다. 따라서 우리나라의 기상조건에서는 chill unit 모델 방식을 이용한 사과나무의 저온요구도 측정보다는 7.2°C 이하의 누적시간을 이용하는 것이 적합하다고 생각되었다.

초 록

본 시험은 품종별 휴면 개시점 탐색, 자발휴면 타파시기 및 발아에 필요한 저온(7.2°C 이하, 0.0-7.2°C) 누적시간을 구명하여 국내 주요 사과품종(‘후지’, ‘쓰가루’)들과 국내에서 육성한 품종(‘홍로’, ‘선홍’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘감홍’, ‘섬머드립’)들의 자발휴면 타파에 필요한 저온요구도를 파악하고자 군위지역에서 4년(2009-2012년) 동안 조사하였다. 또한, 이들 자료를 이용하여 군위에서의 자발휴면 타파시기와 현재보다 기온이 4.0°C 상승되었을 때의 자발휴면 타파시기를 추정하였다. 휴면 개시점은 정단신초를 절단전정을 하였을 때 액아가 발아하지 않는 시기로 정하였다. 자발휴면 타파여부는 성장상에서 과대지의 정아가 15일 이내로 발아되었는가에 따라 결정하였다. 과대지는 매년 12월 초에 품종별로 약 100개씩 채취하여 5.0°C에 두고 1주일 간격으

로 출고하여 성장상에 10개씩 배치하였다. 품종들의 저온요구도는 휴면 개시점부터 과대지들이 15일 내로 발아될 때까지의 노지 및 성장상에서 7.2°C 이하 및 0.0-7.2°C에서의 누적시간으로 표현하였다. 결과를 살펴보면, 조사품종의 휴면 개시점은 9월 말로 추정되었다. 조사품종의 자발휴면 타파시기는 1월 말부터 2월 초 사이로 추정되었다. 각 품종별 자발휴면 타파에 필요한 7.2°C 이하의 누적시간은 1,600-2,000시간, 0.0-7.2°C 누적시간은 1,300-1,800시간이었다. 품종별 저온요구도 비교에 있어서는 개화가 빠른 품종의 저온요구도가 개화가 느린 품종보다 적은 경향이 있었다. 이상의 결과를 토대로 하여, 군위지역의 기온이 지금보다 4.0°C 정도 상승된다고 가정하면, 자발휴면 타파시기는 2-4주 정도 지연될 것으로 예측되었다.

추가 주요어 : 저온누적시간, chill unit 모델, 만개기, *Malus domestica* Borkh., 휴면 개시점

인용문헌

- Anderson, J.L. and S.D. Seeley. 1992. Modeling strategy in pomology: Development of the Utah models. *Acta Hort.* 313:297-306.
- Barden, J.A. and G.H. Neilsen. 2003. Selecting the orchard site, p. 238-239. In: D.C Ferree and I.J. Warrington (eds.). *Apples; botany, production and uses*. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Blanke, M.M. 2008. Perspectives of fruit research and apple orchard management in Germany in a changing climate. *Acta Hort.* 772:441-446.
- Cesaraccio, C., D. Spano, R.L. Snyder, and P. Duce. 2004. Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agric. For. Meteorol.* 126:1-13.
- Chmielewski, F.M., A. Müller, and E. Bruns. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agric. For. Meteorol.* 121:69-78.
- Chung, U. and J.I. Yun. 2008. A prospect on the changes in shoot-term cold hardiness in "Campbell Early" grapevine under the future warmer winter in South Korea. *Kor. J. Agric. For. Meteorol.* 10:94-101.
- Chung, U., K.J. Lee, and B.W. Lee. 2007. Preliminary report of observed urban-rural gradient of carbon dioxide concentration across Seoul, Suwon, and Icheon in South Korea. *Kor. J. Agric. For. Meteorol.* 9:268-276.
- Eggert, F.P. 1951. A study of rest in several varieties of apple and in other fruit species grown in New York state. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 57:169-178.
- El-Agamy, S.Z., A.K.A. Mohanmed, F.M.A. Mostafa, and A.Y. Abdallah. 2001. Chilling and heat requirements for budbreak and fruiting of "Anna" and "Dorsett Golden" apple cultivars under warm climatic conditions. *Acta Hort.* 565:103-108.
- Faust, M. 1989. *Physiology of temperature zone fruit trees*. Wiley-Interscience. NY. p. 188-195.
- Faust, M.N., D. Liu, S.Y. Wang, and G.W. Stutte. 1995. Involvement of apical dominance in winter dormancy of apple buds. *Acta Hort.* 395:47-56.
- Finetto, G.A. 1997. Effect of Hydrogen cyanamide treatment after various periods of chilling on breaking endodormancy in apple buds. *Acta Hort.* 441:191-200.
- Gianfagna, T.J. and S.A. Mehlenbacher. 1985. Importance of heat requirement for bud break and time of flowering in apple. *HortScience* 20:909-911.
- Hamer, P.J.C. 1980. A model to evaluate evaporative cooling of apple buds as a frost protection technique. *J. Hort. Sci.* 55: 157-163.
- Han, J.H., S.H. Lee, J.J. Choi, S.B. Jung, and H.I. Jang. 2008. Estimation of dormancy breaking time by development rate model in 'Nittake' pear (*Pyrus pirifolia* Nakai). *Kor. J. Agric. For. Meteorol.* 10:58-64.
- Han, J.H., K.S. Cho, J.J. Choi, H.S. Hwang, C.G. Kim, and T.C. Kim. 2010. Estimation of changes in full bloom date of 'Nittaka' pear tree with global warming. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:937-941.
- Hartmann, H.T., A.M. Kofranek, V.E. Rubatzky, and W.J. Flock. 1988. *Plant science growth, development, and utilization of cultivated plants*. 2nd ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. p. 322.
- Hannien, H. 1995. Effect of climatic change on trees from cool and temperate regions: and ecophysiological approach to modelling of bud burst phenology. *Can. J. Bot.* 73:183-199.
- Hauagge, R. and J.N. Cummins. 1991. Phenotypic variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:100-106.
- Heide, O.M. and A.K. Prestrud. 2005. Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. *Tree Physiol.* 25:109-114.
- Inter-governmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Special report of the intergovernmental panel on climate change. CD-Rom.
- Lang, G.A., J.D. Early, G.C. Martin, and R.L. Darnell. 1987. Endo-, para-, and eodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22:371-377.
- Kim, J.H., J.C. Kim, K.C. Ko, K.R. Kim, and J.C. Lee. 2006. *General pomology*. Hyangmoonsha Press, Seoul. p. 38-39, 175-180.
- Kim, S.O., J.H. Kim, U. Chung, S.H. Kim, G.H. Park, and J.I. Yun. 2009a. Quantification of temperate effects on flowering date determination in Nittaka pear. *Kor. J. Agric. For. Meteorol.* 11:61-71.
- 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. *Kor. J. Agric. For. Meteorol.* 11:162-173.
- Kobayashi, K.D., L.H. Fuchigami, and M.J. English. 1982. Modeling temperature requirements for rest development in *Conus sericea*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:914-918.
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2012. Automatic weather system (AWS). <http://www.kma.go.kr>.
- Mehlenbacher, S.A. and A.M. Voordeckers. 1991. Relationship of flowering time, rate of seed germination, and time of leaf budbreak and usefulness in selecting for late-flowering apples.

- J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:565-568.
- Palmer, J.W., J.P. Privé, and D.S. Tustin. 2003. Temperature, p. 224-225. In: D.C Ferree and I.J. Warrington (eds.). Apples; botany, production and uses. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Richardson, E.A., S.D. Seeley, and D.R. Walker. 1974. A model estimating the completion of the rest for Edfhaven and Elberta peach trees. HortScience 9:331-332.
- Ryugo, K. 1988. Fruit culture, its science and art. John Wiley and Sons Ltd., New Yook. p. 344.
- Seeley, S.D. 1996. Modelling climatic regulation of bud dormancy, p. 316-376. In: G.A. Lang (ed.). Plant dormancy-physiology, biochemistry and molecular biology. CAB International, Wallingford, U.K.
- Seo, H.H. 2007. Changes of full bloom date of apple 'Fuji' and pear 'Niitake' recently from 30 years. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22(Suppl. II):72. (Abstr.)
- Shaltout, A.D. and C.R. Unrath. 1983. Rest completion prediction model for 'Starkrimson Delicious' apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108:957-961.
- Shin, U.K. and T.C. Kim. 2004. Flowering and fruit set, p. 150-156. In: S.D. Oh (ed.). Fruit tree physiology in relation to temperature. Gilmogm Press, Seoul, Korea.
- Swartz, H.J. and L.E. Powell, Jr. 1981. The effect of long chilling requirement on time of bud break in apple. Acta Hort. 120: 173-178.
- Webster, A.D. 2005. Sites and soils for temperate tree-fruit production: Their selection and amelioration, p. 12-14. In: J. Tromp, A.D. Webster, and S.J. Wertheim (eds.). Fundamentals of temperate zone tree fruit production. Backhuys publishers, Leiden, Netherlands.
- Yu, Y.S. 2004. Dormancy, p. 122-132. In: S.D. Oh (ed.). Fruit tree physiology in relation to temperature. Gilmogm Press, Seoul, Korea.
- Yun, S.H. 1998. Climate change and its impact on agricultural ecosystem, world grain demand-supply and measures for the 21st century. Proc. KSCS & KBS Symp. 50th Annu. GSNU. p. 313-335.
- 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. Kor. J. Agric. For. Meteorol. 4:220-237.