

기온 상승에 따른 ‘신고’ 배나무의 만개일 변동 예측

한점화¹ · 조광식¹ · 최장전¹ · 황해성¹ · 김창국² · 김태춘^{3*}

¹국립원예특작과학원, ²국립농업과학원, ³원광대학교 원예학과

Estimation of Changes in Full Bloom Date of ‘Niitaka’ Pear Tree with Global Warming

Jeom Hwa Han¹, Kwang Sik Cho¹, Jang Jun Choi¹, Hae Sung Hwang¹,
Chang Gook Kim², and Tae-Choon Kim^{3*}

¹National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 441-440, Korea

²National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-857, Korea

³Department of Horticulture, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

Abstract. This study investigated the effect of global warming on full bloom date (FBD) of ‘Niitaka’ pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) tree by calculating the development stage index by hourly temperatures recorded at Pear Research Station, estimating the distribution of average FBD and the change of FBD according to temperature rising by integrating development rate at 67 locations in Korea Meteorological Administration site. Development stage index of ‘Niitaka’ pear tree was 0.9593 at Naju location. Differences between full bloom dates observed at Cheonan region and predictions by development stage index were 0-7 days, and matched year was 35.3%. FBDs of 67 locations were distributed from April 4 to May 28. When yearly temperature was raised 1, 2, 3, 4, and 5°C at 67 locations, predicted FBD was accelerated at most of the locations. However, FBD decelerated at south coast locations from 3°C rise and did not bloom at ‘Gosan’, ‘Seogwipo’, and ‘Jeju’ locations from 4°C rise. When monthly temperature was raised 1, 3, and 5°C at 67 locations, predicted FBD was the most accelerated at March temperature rise, and followed by April, February, January and December. Therefore, global warming will cause acceleration of the full bloom date at pear production areas in Korea.

Additional key words: development rate, endodormancy, inverse distance weighted, *Pyrus pyrifolia*

서 언

지구 온난화의 경향은 온실가스 감축 노력에도 불구하고 이미 방출된 가스의 영향으로 당분간 지속될 전망이다. 기후 변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, 2007)의 A1B 시나리오(높은 경제성장으로 이산화탄소 배출량이 비교적 많은 경우)에 의하면 우리나라 평균기온은 2020년대에 현재보다 1.34°C, 2080년대에 3.80°C 상승할 것으로 전망된다(NIMR, 2007).

지구 온난화로 작물의 발아기와 개화기가 빨라지고, 서리 피해가 증가되며, 과실에는 밀증상, 바람들이, 돌베 등 생리 장애가 증가되며(Jang 등, 2002), 병해충에서는 응애류와 노린재 증가 및 해충 발생 세대수 증가 등이 보고되고 있다(NIFTS, 2003). 한편으로는 온대과수의 생육기간이 연장되

어 과실크기가 다소 커지는 것도 예상되나 자발휴면타과에 문제가 있을 수 있어 휴면병 발생도 예상된다.

자발휴면의 타과 여부는 시설재배의 가온시기 결정, 발아 및 개화기 예측, 난지에서의 재배한계 파악 등에 활용된다(Sugiura, 1999). 겨울철 저온에 의한 자발휴면 타과 정도는 육안으로 확인할 수 없으므로 일정한 저온의 적산시간(Weinberger, 1950), 온도별 유효도를 달리한 저온단위(Chill unit) 모델(Erez와 Lavee, 1971; Tamura 등, 2001) 및 매시간의 발육량을 누적하여 발육정도를 예측하는 발육속도 모델(Sugiura와 Honjo, 1997) 등을 지표로 사용하고 있다.

Sugiura(2002)는 ‘행수’의 자발휴면타과에 0-6°C 범위의 적산시간이 750시간으로 발육속도(DVR_i)로 환산하면 1.333×10^{-3} 이며, 6-9°C 까지의 발육속도는 $2.276 \times 10^{-3} - 1.571 \times 10^{-4} \times T$ 식

*Corresponding author: kitmotc@wonkwang.ac.kr

※ Received 22 August 2010; Accepted 27 September 2010. This paper was supported by Wonkwang University in 2010.

으로 계산한 값, 9-12°C까지는 $3.448 \times 10^{-3} - 2.874 \times 10^{-4} \times T$ 식으로 계산한 값으로 발육지수($\sum DVR_1$)가 1이 되는 시점에 자발휴면이 타파된다고 하였고 자발휴면과 타발휴면이 겹치는 시기를 이행기라 하였으며 발육지수($\sum DVR_1$)가 2.2일 때 이행기가 종료된다고 하였다. 또한 이행기 종료 이후로부터 만개기 추정온 20°C를 기준으로 20°C 이하에서는 발육속도(DVR_2)가 $\exp\{35.27-12094(t+273)^{-1}\}$, 20°C 이상에서는 $\exp\{5.82-3474(t+273)^{-1}\}$ 식으로 계산하여 발육지수($\sum DVR_2$)가 0.9 되는 시점이 만개기라 하였다(Sugiura, 1999).

Sugiura(1999)는 실제로 기온 자료는 하루의 최고 및 최저 온도이므로 최저기온(m), 최고기온(h), 전날의 최고기온(h_y) 및 다음날의 최저기온(m_t)으로 시간별 기온을 추정하는 계산식을 제시하였는데, 각 시간(c)별 온도를 자정(0시)에서 3시까지 $(h_y - m) \times \sin\{(4-c) \times 3.14/30\}^2 + m$, 4시에서 13시까지는 $(h - m) \times \sin\{(c-4) \times 3.14/18\}^2 + m$, 14시에서 23시까지는 $(h - m_t) \times \sin\{(28-c) \times 3.14/30\}^2 + m_t$ 식으로 추정하여 발육속도 모델에 적용할 수 있다고 하였다.

겨울철의 온난화는 낙엽과수의 자발휴면 타파와 타발휴면 기간에 영향을 미쳐 발아기와 개화기의 변화가 예상된다. 겨울철 기온이 상승하면 자발휴면 타파시기가 늦어지는 반면에 자발휴면 타파 후의 발육이 빨라지므로 만개기가 늦어지거나 빨라질 수 있다. 그러나 자발휴면이 타파되지 않는 지역에서는 발아조차도 불가능하게 된다(Han 등, 2008).

따라서 본 연구에서는 우리나라 주 품종인 ‘신고’ 배나무를 대상으로 지구 온난화에 따른 재배대책 수립을 위한 기초자료로 활용코자, 발육지수를 산정하고, 전국 67개 기상 관측지역을 대상으로 평균기온을 1°C에서 5°C까지 가상으로 상승시킨 후 각 경우의 발육속도 모델을 적용하여 만개일 변화를 추정하였다.

재료 및 방법

‘신고’ 배나무(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Niitaka)의 만개기 추정을 위한 자발휴면 타파 이후의 발육지수를 산정하기 위해 1997년부터 2007년까지 전남 나주에 위치한 국립원예특작과학원 배시험장에서 측정한 시간별 기온과 만개일 자료를 이용하였다. 자발휴면 타파 시기는 Sugiura(1999)의 1단계 발육속도 모델을 변형한 Han 등(2008)의 방법에 따라 ‘신고’의 수확 직후인 10월 1일로부터 발육속도를 적산하여 발육지수가 1이 되는 시점으로 정하였다. 자발휴면 타파 이후 꽃눈의 발육지수는 Sugiura(1999)의 2단계 발육속도 모델에 0°C보다 낮은 경우 발육속도를 0으로 변형하여 만개기까지 적산하였다.

배시험장의 시간별 기온과 만개일 자료로 정한 발육지수의 적합성을 검토하기 위해 1993년부터 2009년까지 천안시

농업기술센터의 ‘신고’ 배나무의 만개일 실측자료를 활용하였다. 기상청(<http://www.kma.go.kr>) 관측자료 중 천안기상대의 일별 최고 및 최저기온을 이용하여 Sugiura(1999)의 방법으로 시간별 기온으로 계산한 후 1단계 발육속도와 2단계 발육속도를 적산하였다.

‘신고’ 배나무의 평년 만개일을 예측하기 위해 기상청에서 제공되는 67지역을 대상으로 1971년부터 2000년까지 30년간의 일별 최고 및 최저기온 기상자료를 이용하여 시간별 기온을 추정하였다. 1단계 및 2단계 발육속도를 적산하여 배시험장 자료로 정한 발육지수에 도달한 때를 만개일로 정하였다.

겨울철 기온 상승에 따른 만개일 변동을 추정하기 위해 기상자료를 이용하여 계산한 시간별 기온에 각각 1°C부터 5°C까지 1°C 간격으로 상승시켰다. 또한 12월부터 4월까지 특정 월의 기온 상승에 따른 만개일 추정은 해당되는 월의 기온을 1, 3 및 5°C 상승시켰다.

67지역에서 추정된 만개일 데이터를 ArcMap 9.0프로그램의 포인트 파일로 저장한 다음 전국을 대상으로 250m 해상도로 거리역산가중법(inverse distance weighted, IDW)에 의해 공간내삽을 실시하여 분포도를 작성하였다.

결과 및 고찰

발육지수 산정 및 적합성 검증

배시험장에서 1997년부터 2007년까지 측정한 시간별 기온

Table 1. Development stage index of flower bud from estimated endodormancy completion date to full bloom date (FBD) by integrating the development rate of hourly temperature recorded for eleven years at Pear Research Station in ‘Niitaka’ pear (*Pyrus pyrifolia*) tree.

Year	Full bloom date (month.day)	Development stage index ²
1997	4.12	0.9185
1998	4.09	1.0645
1999	4.16	1.0668
2000	4.18	0.9592
2001	4.15	0.9144
2002	4.05	0.9667
2003	4.13	0.9817
2004	4.10	0.9159
2005	4.17	0.8948
2006	4.15	0.9105
2007	4.11	0.9965
Average	4.13	0.9593 ± 0.0626 ^y

²Development stage index of flower bud was calculated by integrating the development rate model (Sugiura, 1999, 2002; Sugiura and Honjo, 1997) modified by the endodormancy completion temperature (Han et al., 2008).

^yMean ± standard deviation.

과 만개일 자료를 이용하여 자발휴면 타파 이후부터 만개일까지의 발육속도를 누적한 발육지수는 Table 1과 같다. 실측 만개일의 발육지수는 0.8948에서 1.0668 범위였으며 평균 발육

지수는 0.9593이었다. 표준편차는 0.0626으로 4월 평균 1일 발육량이 약 0.010부터 0.015수준임(자료 미제시)을 감안할 때 연차간 약 3일에서 6일정도 차이가 발생됨을 알 수 있다.

나주지역에서 관측된 기온과 만개일 자료를 이용하여 도출된 만개일 발육지수(0.9593)의 적합성을 검토하기 위해 1993년부터 2009년까지 천안지역의 예측 만개일과 실측 만개일의 차이를 조사하였다(Fig. 1). 예측 만개일과 실측 만개일의 차이는 0-7일 범위였으며 예측 만개일이 늦은 해가 빠른 해보다 더 많았다. 이 중 4일 이상 차이가 난 해는 17년 중 4회로 23.5%였으며, 일치한 해는 6회로 35.3%였다. 실제 동일한 과수원에서도 위치, 수세 등에 따라 만개일이 1-2일 정도 차이가 있음을 고려할 때 나주지역에서 산정한 발육지수로 천안지역에서도 만개일 예측이 적합하여 우리나라 전지역에 적용할 수 있을 것으로 생각되었다.

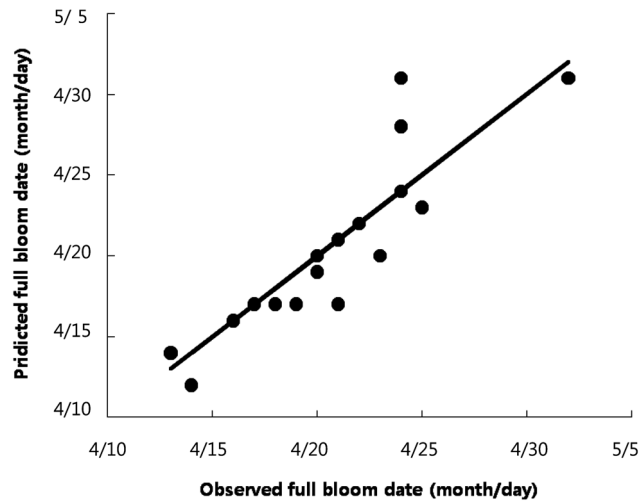


Fig. 1. Difference between full bloom dates of 'Niiitaka' pear tree predicted by modified development rate model, as the development stage index rises to 0.9593, and observed from 1993 to 2009 in Cheonan region.

평년 만개일 분포

‘신고’ 배나무의 만개일 발육지수(0.9593)를 기준으로 발육속도 모델을 이용하여 기상청에서 제공되는 67지역의 1971년부터 2000년까지의 평년 만개일을 추정한 결과는 Table

Table 2. Average full bloom date (FBD), as the development stage index rises to 0.9593, of 'Niiitaka' pear tree by flower bud development rate model calculated by converting² daily maximum and minimum temperatures into hourly temperature, at 67 locations in Korea Meteorological Administration site during from 1971 to 2000.

Location	FBD (Month.day)	Location	FBD (Month.day)	Location	FBD (Month.day)
Seogwipo	4.04	Namwon	4.20	Ulleung-do	4.28
Masan	4.08	Haenam	4.20	Gunsan	4.28
Jeju	4.09	Yeongdeok	4.21	Yangpyeong	4.28
Busan	4.10	Gumi	4.21	Cheonan	4.28
Gosan ^y	4.10	Yeongcheon	4.21	Imshil	4.28
Tongyeong	4.13	Gangneung	4.22	Bonghwa	4.28
Ulsan	4.14	Jeongeup	4.22	Sokcho	4.29
Namhae	4.14	Uljin	4.23	Wonju	4.29
Pohang	4.15	Daejeon	4.23	Suwon	4.29
Daegu	4.15	Andong	4.23	Seosan	4.29
Yeosu	4.15	Mungyeong	4.23	Hongcheon	4.29
Miryang	4.15	Gochang	4.23	Boeun	4.29
Geoje	4.15	Chongju	4.24	Boryeong	4.29
Jinju	4.16	Buyeo	4.24	Jangsu	4.29
Goheung	4.16	Uiseongs	4.24	Incheon	5.02
Hapcheon	4.16	Chupungnyeong	4.25	Jecheon	5.02
Mokpo	4.17	Seoul	4.26	Cherwon	5.03
Wando	4.17	Geumsan	4.26	Inje	5.03
Sancheong	4.17	Buan	4.26	Ganghwa	5.04
Gwangju	4.18	Cheongju	4.27	Taebaek	5.13
Suncheon	4.19	Icheon	4.27	Daegwaryong	5.28
Jangheung	4.19	Yeongju	4.27		
Jeonju	4.20	Chuncheon	4.28		

²Converting daily maximum and minimum temperatures into every hourly temperature by Sugiura (1999) formulation.

^yPart of Jeju Regional Meteorological Administration.

2와 같다. 각 지역의 만개일은 4월 4일(서귀포)부터 5월 28일(대관령)까지 분포되었다. 배나무는 중부 온대과수로 연평균기온이 11-15°C인 지역에서 재배되고 있다. 연평균기온이 14°C 이상인 지역의 평년 만개일은 4월 상순, 13-14°C 지역은 4월 중순, 12-13°C 지역은 4월 중하순, 11-12°C 지역은 4월 하순, 10-11°C 지역은 5월 상순이었다. 연평균기온이 9°C인 태백지역은 5월 중순, 7°C인 대관령은 5월 하순이었다.

Choi와 Moon(2009)은 부산지역의 배 만개일이 1980년대에는 4월 상순, 1990년대에는 3월 하순에서 4월 상순으로 관측되었다고 하였으며, 본 연구에서는 4월 10일로 추정되어 큰 차이는 없는 것으로 판단되었다.

온도상승에 따른 만개일 변화

기상청 67개 지역의 기상자료를 이용하여 계산한 시간별 기온에 각각 1°C부터 5°C까지 상승시켜 추정한 만개일 변화를 ArcGIS 프로그램으로 공간내삽한 결과는 Fig. 2와 같다. 평년기온보다 2°C 상승할 때까지는 모든 지점에서 만개일이 빨라졌다. 그러나 3°C 상승부터는 남쪽의 해안가를 중심으로 만개일이 늦어지기 시작하였으며, 4°C 상승하면 제주도 지역은 저온부족으로 휴면이 타파되지 못해(Han 등, 2008) 개화되지 않을 것으로 추정되었다. 2°C 상승될 때까지는 자발휴면 타파시기 지연 효과보다 자발휴면 타파 이후 발육속도가 빨라지는 효과가 크기 때문에 만개일이 빨라지나 3°C 상승되면 자발휴면 타파시기 지연 효과가 커서 만개일이 늦어지는 것으로 추정된다.

온도가 상승함에 따라 만개일이 가장 급격하게 변하는 지역은 겨울의 평년기온이 가장 낮은 대관령으로 1°C 상승 시마다 5-7일 빨라지는 경향을 보였다. 가장 완만하게 변하는 지점은 겨울의 평년 기온이 가장 높은 제주, 고산(제주도 서부), 서귀포 지역으로 3°C 상승까지 2-3일씩 빨라지는 경향을 보이다가 4-5°C 상승시에는 개화되지 않을 것으로 추정

되었다. 5°C 상승되었을 때 만개일이 가장 빠른 지역은 마산으로 3월 20일에 만개되었으며, 가장 늦은 지역은 대관령으로 4월 29일이었다.

우리나라에서 ‘신고’ 배나무의 자발휴면 타파시기는 11월 중순에서 1월 중순이므로(Han 등, 2008) 11월부터 1월까지의 기온 상승은 자발휴면 타파시기를 늦출 가능성이 있고, 1월부터 4월의 기온 상승은 자발휴면 타파 이후 논의 발육속도를 높여 만개일이 빨라질 것으로 예상된다.

기상청 67개 지역의 기상자료를 이용하여 계산한 시간별 기온에 12월부터 4월까지 각 월별 기온이 1°C, 3°C, 5°C 상승함에 따른 67개 지역의 평균만개일과의 차이를 조사하였다(Table 3). 각 월의 기온이 상승됨에 따라 만개일이 빨라졌으며, 3월 기온상승 시 만개일 변화가 가장 크고, 다음으로 4월, 2월, 1월, 12월 순으로 변화 폭이 컸다. Choi와 Moon(2009)은 배 만개기는 3월의 기온, 특히 일 최고기온과 가장 높은 상관관을 보인다고 하였으며, Lee와 Lee(2003)는 벚꽃 개화시기는 3월의 기온과 상관성이 가장 높다고 하여 본 연구결과와 유사한 결과를 보였다.

자발휴면 타파 직후에 해당되는 12월의 기온이 상승할 경우 만개일이 빨라지는 그룹, 빨라지다가 늦어지는 그룹, 늦어지는 그룹 등 3가지로 분류되었다(자료 미제시). 대부분 지역이 만개일이 빨라졌고, 만개일이 빨라지다가 늦어지는 지역은 광주, 해남, 고흥, 울릉도, 남해, 울진 등 6지역, 만개일이 늦어지는 지역은 마산, 부산, 통영, 목포, 여수, 완도, 제주, 고산(제주도 서부), 서귀포, 포항, 울산, 거제 등 12지역이었다.

우리나라의 기온이 평년보다 1-5°C 상승함에 따라 ‘신고’ 배나무의 만개일은 빨라지는 것으로 추정되었으나 연평균기온이 14°C보다 높은 남쪽의 해안가를 중심으로 제주도까지 3°C 상승부터는 만개일이 늦어지기 시작하였다. 제주지역에서는 4°C 상승하면 자발휴면 타파에 필요한 저온이 부

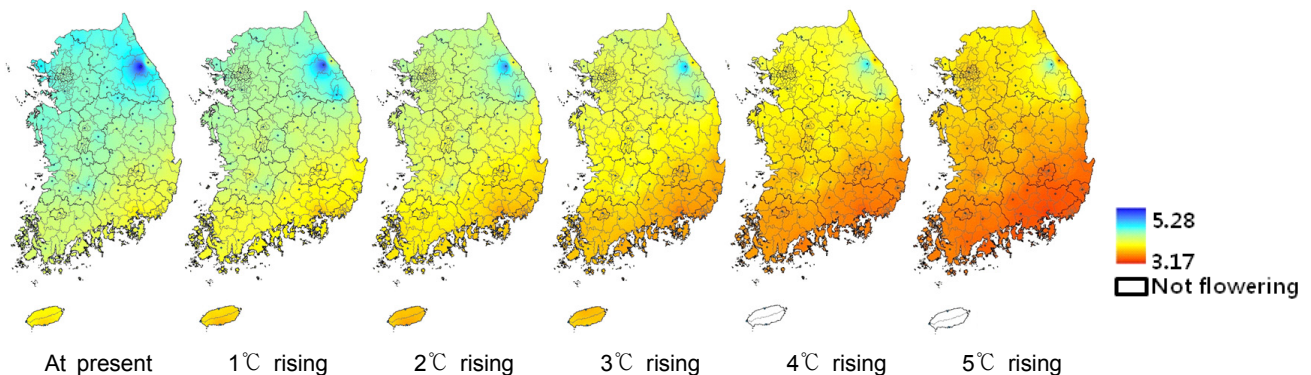


Fig. 2. Changes of full bloom dates of 'Niitaka' pear tree predicted by modified development rate model with temperature rising condition. Full bloom date distribution map was drawn up with ArcGIS 9.0 program.

Table 3. Acceleration of full bloom date (FBD) of 'Niitaka' pear tree predicted by development rate model according to monthly temperature rise from December to April at 67 locations in Korea Meteorological Administration site during from 1971 to 2000.

Month	Temperature rising (°C)	Acceleration of FBD ² (days)
December	1	0.3
	3	1.2
	5	2.0
January	1	0.7
	3	2.6
	5	4.7
February	1	0.8
	3	3.2
	5	6.4
March	1	1.8
	3	6.6
	5	13.0
April	1	2.1
	3	5.7
	5	8.7

²Earlier than average FBD.

족하여 개화되지 않을 것으로 추정되었다. 우리나라 평균기온은 2080년대에 현재보다 3.80°C 상승할 것으로 전망(NIMR, 2007)되고 있으므로 2080년대까지는 배 재배 주산지의 만개일이 빨라질 것으로 전망된다.

초 록

기온 상승이 '신고' 배나무의 만개일에 미치는 영향을 조사하기 위해 배시험장의 시간별 기온자료로 발육지수를 산정하고, 기상청 관측자료에 있는 67개 지역의 최고 최저 온도에 의한 발육속도로 평년 만개일 분포 및 온도상승에 따른 만개일 변화를 추정하였다. 나주지역에서 '신고' 배나무의 발육지수는 0.9593이었다. 천안지역의 만개일 관측자료와 발육지수에 따른 예측자료와의 차이가 0-7일 범위였고, 일치한 해가 35.3%였다. 67개 지역의 평년 만개일은 4월 4일부터 5월 28일까지 분포하였다. 예측 만개일이 평년기온보다 5°C 상승할 때까지 대부분의 지역에서 빨라졌지만 3°C 상승부터 남쪽의 해안가 지역에서 늦어졌으며, 4°C와 5°C

상승하면 제주, 고산(제주도 서부), 서귀포 지역에서는 개화되지 않는 것으로 추정되었다. 3월 기온 상승 시 예측 만개일의 변화가 가장 컸고, 4월, 2월, 1월 및 12월 순이었다. 기온상승에 따라 우리나라 배 재배 주산지의 만개일이 빨라질 것으로 전망되었다.

추가 주요어 : 발육속도, 자발휴면, 거리역산가중법, *Pyrus pyrifolia*

인용문헌

- Choi, C.M. and S.G. Moon. 2009. Changes of flowering time in the weather flora in Busan using the time series analysis. *J. Environ. Sci.* 18:369-374.
- Erez, A. and S. Lavee. 1971. The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. I. Temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96:711-714.
- 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 'Niitaka' pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *Kor. J. Agri. For. Meteorol.* 10:58-64.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate change 2007 (The physical science basis), Summary for policymakers, technical summary and frequently asked questions. WMO & UNEP, p. 142.
- Jang, H.I., H.H. Seo, and S.J. Park. 2002. Strategy for fruit cultivation under the changing climate. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 20:270-275.
- Lee, S.H. and K.M. Lee. 2003. The trend on the change of the cherry blossom flowering time due to the temperature change. *J. Kor. Soc. Environ. Impact Assessment* 12:45-54.
- National Institute of Fruit Tree Science (NIFTS). 2003. Research report of fruit production constitution, p. 59-65.
- National Institute of Meteorological Research (NIMR). 2007. The application of regional climate change scenario for the national climate change report (III), p. 131.
- Sugiura, T. 1999. Prediction of full bloom date of pear using air temperature. *Agr. Hort.* 54(10):146-149.
- Sugiura, T. 2002. Dormancy and chilling requirement of deciduous fruit tree. *Series of Agr. Technol. (Fruit 8)*, p. 50~2-50~7~4.
- Sugiura T. and H. Honjo. 1997. The effects of temperature on endormancy completion in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) and modeling the relationship. *J. Agri. Meteorol.* 53:285-290.
- Tamura, F., K. Tanabe, A. Itai, and M. Morimoto, 2001. Variations in the chilling requirements for breaking leaf bud endodormancy in wild pear species and pear cultivars. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70:596-598.
- Weinberger, J.H. 1950. Chilling requirements of peach varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 56:122-128.