

배 ‘신고’의 만개일 및 생육기 기상을 이용한 수확일 예측

한점화^{1†} · 손인창^{1†} · 최인명¹ · 김승희¹ · 조정건¹ · 윤석규¹ · 김호철² · 김태춘^{2*}

¹국립원예특작과학원, ²원광대학교 원예학과

Predicting Harvest Date of ‘Niitaka’ Pear by Using Full Bloom Date and Growing Season Weather

Jeom Hwa Han^{1†}, In Chang Son^{1†}, In Myeong Choi¹, Seung Heui Kim¹, Jung Gun Cho¹,
Seok Kyu Yun¹, Ho Cheol Kim², and Tae-Choon Kim^{2*}

¹National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

²Department of Horticulture, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

Abstract. The effect of full bloom date and growing season weather on harvesting date of ‘Niitaka’ pear (*Pyrus pyrifolia*) in Naju province and the model of multiple linear regression for predicting the fruit growing days was studied. Earlier year in full bloom date, the harvesting date tended earlier but fruit growing days tended longer. Mean and coefficient of variation of fruit growing degree days (GDD) accumulated daily mean and maximum temperature at the base of 0°C from full bloom date to harvesting date was 3,565, 2.9% and 4,463, 2.5%, respectively. Fruit growing days was not correlated with the fruit GDD accumulated daily mean and maximum temperature at the base of 0°C in each month but highly correlated with GDD accumulated daily meteorological factors at days after full bloom date. Especially, it was highly negatively correlated with GDD accumulated daily mean and maximum temperature at the base of 0°C from 1st day after full bloom to 60th day. The determination coefficient (r^2) of multiple linear regression model by full bloom date, GDD accumulated daily mean and maximum temperature from 1st day after full bloom to 60th day for predicting fruit growing days was 0.7212. As a result, the fruit growing days of ‘Niitaka’ pear in Naju province can predict with 72% accuracy by the model of multiple linear regression.

Additional key words: accumulated temperature, fruit growing days, growing degree day, multiple linear regression, *Pyrus pyrifolia*

서 언

우리나라 겨울은 지구 온난화로 1920년대에 비해 약 1개월 정도 짧아져(KMA, 2007) 봄에 꽃피는 시기가 빨라지고 있다(Choi and Moon, 2009). 그러나 2010년과 2011년에는 봄철 이상저온으로 대부분 과수의 개화시기가 평년대비 1-2주 정도 늦어져 개화시기의 조만이 수확시기에 미치는 영향에 대한 관심이 증가되었다. 기후 변화에 따른 수목의 개화시기 변동양상에 관한 연구는 많이 수행되고 있으나(Choi and Moon, 2009; Jung et al., 2005; Yun, 2006) 과수의 개화시기 및 생육기 기상이 수확시기에 미치는 영향에 관한 연

구는 없는 실정이다.

작물의 수확시기를 판정하는 요인으로는 생육일수와 적산온도를 들 수 있는데, 이 중 환경 영향 및 연차 또는 지역간 변이가 적은 적산온도가 널리 활용되고 있다(Jong et al., 1986; Kim et al., 1996; Koo et al., 2001; Lee, 1983). 적산온도에 관한 연구는 주로 1년생 작물에서 많이 수행되었는데 특히, 시설재배에서 고품질 다수확, 그리고 가격 경쟁력을 높이기 위한 파종시기 결정에 관한 것이다(Arnold, 1971; Lee, 1983; Seong et al., 2004).

생육의 예측이나 품종의 조만 정도를 판단하기 위하여 생육온도일수(growing degree days, GDD) 또는 온량지수(heat

*Corresponding author: kitmotc@wku.ac.kr

†These authors are contributed equally to this work.

※ Received 31 August 2011; Accepted 5 October 2011. This paper was supported by Wonkwang University in 2011.

unit)가 널리 쓰이고 있다(Arnold, 1971; Jong et al., 2005, Kim et al., 1996; MAF, 2006). 옥수수를 여러가지 환경에서 재배하는 경우 생육기간 예측은 생육단계별 일수나 품종의 조만 정도로 나타내는 것보다는 GDD로 나타내는 것이 차이가 적고 정확도를 높일 수 있다(Jong et al., 1986; Lee et al., 1981; MAF, 2006). 또한 벼와 보리에서는 특정지역에서 새로운 품종의 재배가능 여부를 판정하는 방법으로 출수기와 성숙기의 GDD가 활용되고 있으며(Koo et al., 2001; Lee, 1983), 과수에서는 하우스 감귤 재배의 가온시기 추정을 위해 적산온도와 GDD와의 관계를 구명하였다(Kim et al., 1996).

GDD를 계산하는 방법은 매우 다양하며, 일 최고온도와 최저온도의 평균에서 생육의 최저 한계온도인 기준온도를 뺀 나머지를 누적하여 계산하는 잉여온도형이 많이 이용되고 있다(Hyun et al., 1994; Kim et al., 1996; Lee, 1983; MAF, 2006). Kim et al.(1996)은 감귤의 생육시기에 따라 기준온도가 달라짐을 보고하였고, Ruml et al.(2010)은 살구의 기준온도는 품종간에 차이가 있으며 수확기까지의 적산 기준온도는 3°C가 가장 적합하다고 하였다. Sugiura(1997)는 배 ‘행수’의 세포분열기에 고온일수록 과실 발육이 빠르고 세포분열기간이 단축되어 수확기가 빨라지며, 세포비대기에는 기온이 과실 발육 및 수확기에 영향을 미치지 않는다고 하였다.

본 연구는 배 ‘신고’ 과실의 과거 작황자료를 이용하여 만개일 및 생육기 기상이 수확일에 미치는 영향을 분석하여 배 과실의 생육일수를 추정할 수 있는 모델을 도출함으로써 기후변화에 따른 배 과실의 비대 및 품질 예측 모델 개발의 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

‘신고’ 배나무(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Niitaka)의 만개일 및 생육기 기상을 활용하여 만개 후부터 수확일까지의 생육일수 추정을 위한 함수를 도출하기 위해 1985년부터 2003년까지 나주시 소재 배시험장에서 조사한 만개일과 수확일 자료를 이용하였다. 1985년부터 2003년까지 배시험장의 기상자료 중 1992, 1994 및 1999년 3개년 자료는 누락되어 제외하였다.

과실 생육일수는 만개 다음날을 1일로 하여 수확 전까지의 일수로 산정하였다. 만개일부터 수확일까지의 생육온도 일수(GDD)는 일 평균기온, 일 최고기온을 적산하였고, 기준온도 이상의 GDD는 일 평균기온 및 일 최고기온에서 기준온도를 뺀 값을 적산하였다. 각 방법별로 16년간 GDD 값

의 평균, 표준편차 및 변이계수(표준편차 / 평균 × 100)를 산출하였다.

과실 생육일수와 월별 기상요인과의 상관분석을 위하여 과실생육기인 4월부터 9월까지의 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온, 일강우량 및 일조시간 등을 적산하였다. 과실 생육일수와 만개 후 생육기별 기상요인과의 상관분석을 위하여 만개후 1-30, 1-60, 1-90, 1-120일 및 31-60, 61-90, 91-120, 121-150일까지의 일평균기온, 일최고기온, 일강우량, 일조시간 등을 적산하였다.

과실 생육일수와 만개일과의 단순 선형회귀분석 결과와 비교하기 위하여 상관계수가 가장 높았던 만개후 1-60일까지의 일최고기온 적산온도와 같은 시기의 일평균기온 적산온도 및 만개일 등 3요인을 이용하여 다중 선형회귀분석을 실시하였다. 도출된 선형회귀식의 적합성 검증을 위해 회귀식에 1985년부터 2003년(1992, 1994, 1999제외)의 기상자료를 대입하여 생육일수를 추정하고 추정값과 실측값의 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

만개일의 조만과 과실 생육일수

나주시역에서 ‘신고’ 배나무의 1985년부터 2003년까지 연도별 만개일에 따른 수확일과 과실 생육일수와의 관계를 분석하였다(Fig. 1). 19년간 만개일이 가장 빠른 해는 4월 5일, 가장 늦은 해는 4월 24일로 19일의 차이를 보였다(Fig. 1A). 수확일이 가장 빠른 해는 9월 25일, 가장 늦은 해는 10월 6일로 11일의 차이를 보였으며, 이는 만개일의 19일에 비해 8일 적었다. 만개일이 빠를수록 수확일이 빨라지는 정(+)의 상관을 보였으나 결정계수는 0.4928로서 약 49%의 설명이 가능하였다. 만개일에 따라 과실 생육일수가 가장 짧은 해는 162일, 가장 긴 해는 175일로 차이는 13일이었으며 평균 생육일수는 167일이었다(Fig. 1B). 만개일이 빠를수록 과실 생육일수가 길어지는 부(-)의 상관을 보였으며, 결정계수는 0.6567로서 Fig. 1A의 수확일에 비해 현저히 높았다. 따라서 만개일을 활용하여 직접 수확일을 추정하기보다는 먼저 Fig. 1B의 회귀식을 이용하여 과실 생육일수를 추정하고 이를 이용하여 수확일을 계산하는 방법이 정확도가 높을 것으로 판단되었다.

만개일의 조만과 생육온도일수

1985년부터 2003년까지 19년 중 기상데이터 수집이 안된 3년(1992, 1994 및 1999)을 제외한 16년간 나주시역의 ‘신고’ 배나무의 만개일부터 수확일까지의 일평균기온과 일최

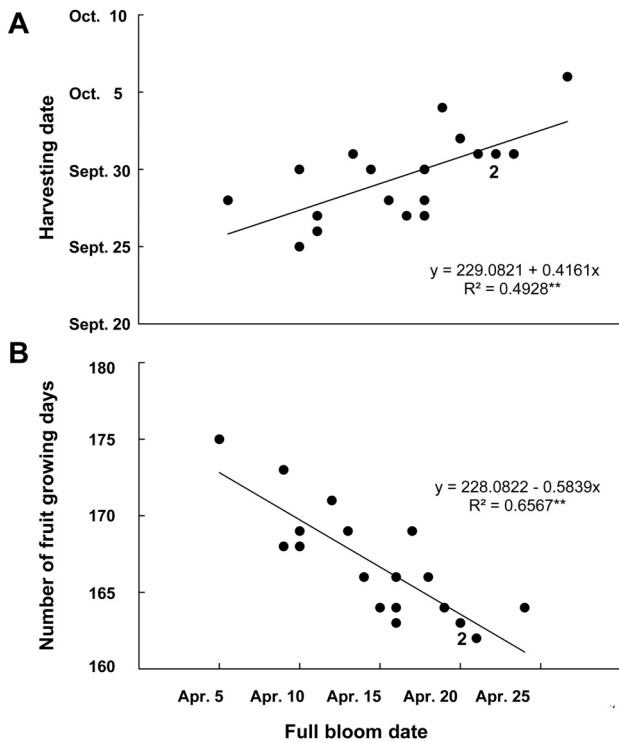


Fig. 1. Relationship between the full bloom date and harvesting date (A) or fruit growing days (B) of 'Naitaka' pear during 1985-2003 in Naju province. Full bloom and harvesting date at regression equation calculated the Julian day number of each year.

고기온에 대해 기준온도를 달리하여 적산한 생육온도일수의 평균, 표준편차와 변이계수는 Table 1과 같다. 만개일부터 수확일까지의 0°C 기준 일평균기온 및 일최고기온의 생육온도일수는 3,656과 4,463이었고 변이계수가 각각 2.9와 2.5로 변이정도가 작아 배 '신고'의 과실 생육기간을 생육온도일수로 표현하는 것은 적합한 것으로 판단되었다. 기준온도 5°C, 10°C, 15°C 이상의 일평균기온과 일최고기온 생육온도일수의 변이계수는 기준온도가 높을수록 높아지는 경향이였다. 다만, 5°C 기준 일최고기온 생육온도 일수의 변이계수는 2.8로 0°C 기준의 일평균기온 생육온도 일수의 변이계수 2.9보다는 낮았다.

MAF(2006)는 옥수수의 적산온도 계산 시 일최고기온이 30°C가 넘을 때 초과온도를 30°C에서 빼주고, 일최저기온이 기준온도보다 낮을 때 기준온도로 대체하여 보정하면 변이계수가 낮아진다고 보고하였는데, 본 연구에서는 일평균기온과 일최고기온을 보정하여도 변이계수가 높아져 고온성 작물과는 차이가 있음을 알 수 있었다. Kim et al.(1996)은 가온시기에 따른 감귤의 적산온도를 비교한 결과, 일최고, 일최저 및 일평균 기온 적산온도의 변이계수는 생육일수의 변이계수에 비해 작으며, 이 중 일최고기온 적산온도의 변이계수가 가장 작다고 하여 적산온도가 감귤의 생육기

Table 1. Fruit growing degree days (GDD) accumulated daily mean and maximum temperature with various basic temperatures from full bloom date (FBD) to harvesting date (HD) during 1985-2003, except 1992, 1994 and 1999, in Naju province.

FBD	HD	GDD accumulated daily mean temp. (°C)				GDD accumulated daily max. temp. (°C)			
		0	5	10	15	0	5	10	15
Apr. 5	Sept. 28	3,656	2,781	1,910	1,090	4,510	3,635	2,760	1,887
Apr. 9	Sept. 25	3,739	2,899	2,059	1,229	4,602	3,762	2,922	2,083
Apr. 10	Sept. 26	3,517	2,677	1,840	1,038	4,449	3,609	2,769	1,930
Apr. 10	Sept. 27	3,628	2,783	1,946	1,181	4,514	3,692	2,824	2,008
Apr. 12	Oct. 1	3,706	2,846	1,986	1,170	4,659	3,799	2,939	2,082
Apr. 13	Sept. 30	3,585	2,740	1,895	1,078	4,427	3,582	2,737	1,898
Apr. 15	Sept. 27	3,622	2,802	1,982	1,190	4,541	3,721	2,901	2,081
Apr. 16	Sept. 27	3,404	2,589	1,775	1,014	4,259	3,444	2,629	1,815
Apr. 16	Sept. 30	3,552	2,722	1,892	1,100	4,433	3,603	2,773	1,943
Apr. 17	Oct. 4	3,459	2,614	1,769	950	4,353	3,508	2,663	1,819
Apr. 18	Oct. 2	3,602	2,772	1,942	1,148	4,544	3,692	2,884	2,042
Apr. 19	Oct. 1	3,609	2,789	1,970	1,173	4,480	3,660	2,840	2,020
Apr. 20	Oct. 1	3,412	2,597	1,782	980	4,304	3,489	2,674	1,859
Apr. 20	Oct. 1	3,424	2,609	1,794	1,026	4,311	3,518	2,681	1,879
Apr. 21	Oct. 1	3,513	2,703	1,896	1,110	4,484	3,653	2,864	2,043
Apr. 24	Oct. 6	3,617	2,792	1,967	1,151	4,535	3,689	2,885	2,051
Mean		3,565	2,732	1,900	1,102	4,463	3,629	2,797	1,965
SD		103	93	87	82	111	101	100	97
CV (%)		2.9	3.4	4.6	7.4	2.5	2.8	3.6	4.9

간을 표현하는데 적합하다고 보고하였다. 만개일이 빠를수록 만개일부터 수확일까지의 적산온도가 높아지는 경향이 있으나 통계적인 유의차는 없었다(자료 미제시). 이와 같은 경향은 벼(Lee, 1983), 보리(Koo et al., 2001), 귀리(Hyun et al., 1994)에서도 출수기 혹은 파종시기가 빠를수록 수확기까지의 적산온도가 높다는 보고와 유사하다. 앞에서 언급된 바와 같이 만개일이 빠를수록 만개 직후의 기온이 낮아 과실의 생장속도가 낮기 때문에 생육일수가 길어지고 적산온도가 높은 것으로 추정된다.

생육기 기상과 과실 생육일수와의 관계

생육기의 월별 기상요인과 과실 생육일수와의 상관분석 결과는 Table 2와 같다. 4월부터 9월까지의 월별 기상요인 중에서 8월의 강수량과 일조시간 두 요인만 과실 생육일수와 유의한 상관관계가 인정되었다. 8월에 강우가 많으면 일조시간이 부족하고, 또한 토양수분을 증가시켜 질소 흡수량이 증가하여 과피내 엽록소의 소실이 늦어져(Choi et al., 2007) 과실 수확시기가 늦어졌을 것으로 추정된다. 그러나 배 ‘신고’의 수확시기가 9월 하순부터 10월 상순에 해당되

므로 8월의 강우량을 이용하여 수확일을 추정하는 것은 큰 의미가 없다. Sugiura(1997)는 배 ‘행수’의 수확시기는 유과기의 온도와 상관이 높으며, 그 이후의 기상요인은 숙기에 영향을 미치지 않는다고 하였다.

만개후 특정 기간의 기상요인과 과실 생육일수와의 상관관계를 분석하였다(Table 3). 만개 후 1일부터 60일까지의 일평균기온, 일최고기온 및 일조시간, 그리고 만개 후 31일부터 60일까지의 일평균기온, 일최고기온 및 일조시간이 생육일수와 높은 부의 상관을 보여, 유과기 기온이 높을수록 생육일수가 짧아지는 것을 알 수 있었다. 이는 Sugiura(1997)의 보고와 마찬가지로 유과기 기온이 높을수록 세포분열 기간이 단축되어 생육일수가 짧아진 것으로 생각되었다. 그러나 Sugiura(1997)는 ‘행수’의 생육일수가 만개 후 1일부터 33일까지의 일평균기온과 상관이 높다고 하였으나 본 연구에서는 만개후 60일까지의 기온과 상관이 높은 것을 볼 때 ‘신고’의 세포분열 정지시기는 ‘행수’에 비해 늦었기 때문으로 생각되었다.

과실 생육일수를 추정하기 위한 모델식을 작성하기 위해 과실 생육일수와 상관이 높은 만개일(연중일수, X_1), 만개

Table 2. Correlation coefficient between fruit growing days and daily meteorological factors in each month during 1985-2003, except 1992, 1994, and 1999, in Naju province.

Month	Accumulated daily temperature		Precipitation	Sunshine duration
	Mean temp.	Max. temp.		
April	0.3886	0.2133	0.2632	- 0.3735
May	0.0828	- 0.2291	0.1269	- 0.4603
June	0.0269	0.2191	- 0.3384	- 0.1699
July	0.1165	- 0.0405	0.0895	- 0.3064
August	- 0.2234	- 0.3876	0.6310 ^{z*}	- 0.5423*
September	0.2248	0.1485	- 0.1024	- 0.1068

^{z*}, ^{**}Significant at $p = 0.05$ and 0.01 .

Table 3. Correlation coefficient between fruit growing days and daily meteorological factors at days after full bloom date during 1985-2003, except 1992, 1994, and 1999, in Naju province.

Days after full bloom date	Accumulated daily temperature		Precipitation	Sunshine duration
	Mean temp.	Max. temp.		
1-30	-0.2066	-0.4370	-0.5526 ^{z*}	-0.2943
1-60	-0.5407*	-0.6683**	-0.4140	-0.5057*
1-90	-0.5532*	-0.6004**	0.0221	-0.3429
1-120	-0.5205*	-0.6046**	-0.2296	-0.2687
1-150	-0.3304	-0.4778*	-0.4142	-0.2935
31-60	-0.6528**	-0.6546**	0.0605	-0.5941**
61-90	-0.3190	-0.0962	0.5851*	-0.0623
91-120	-0.1522	-0.3040	-0.4251	-0.1089
121-150	-0.3861	0.1734	-0.3838	-0.3264

^{z*}, ^{**} Significant at $p = 0.05$ and 0.01 .

Table 4. Multiple linear regression analysis between fruit growing days and full bloom date (FBD, X_1), GDD accumulated daily mean temperature (ADMnT, X_2) and daily maximum temperature (ADMxT, X_3) at 60 days after full bloom date during 1985-2003, except 1992, 1994, and 1999, in Naju province.

Model	Independent variable	Parameter estimated	Coefficient of determination (r^2)	Probability > F
I	X_1 : FBD	Intercept : 228.082	0.6567	0.0001
		X_1 : -0.5839		
II	X_1 : FBD X_2 : ADMnT X_3 : ADMxT	Intercept : 231.3545	0.7212	0.0012
		X_1 : -0.4855		
		X_2 : 0.0339		
		X_3 : -0.0344		

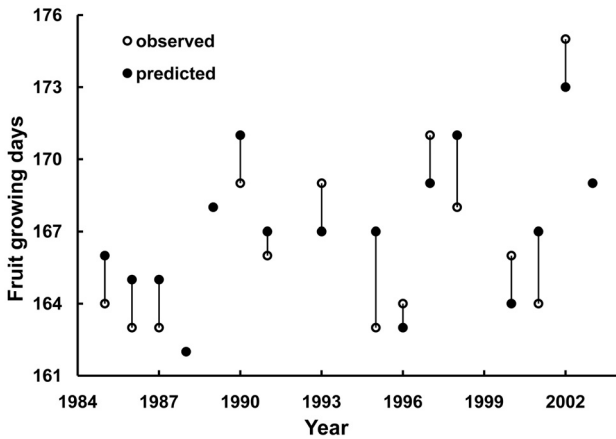


Fig. 2. Difference between the observed and the estimated fruit growing days of 'Niitaka' pear at each year.

후 1일부터 60일까지의 0°C 기준 일평균기온 생육온도 일수(X_2) 및 일최고기온 생육온도 일수(X_3)를 독립변수로 하여 다중 선형회귀분석을 실시하였다(Table 4). 다중 회귀식의 결정계수는 0.7212로서 만개일 만의 단순 회귀식의 결정계수 0.6567보다 높았다. 다중 선형회귀식을 이용하여 과실 생육일수를 추정하고 실측값과 비교한 결과(Fig. 2) -2일부터 +4일까지의 차이를 보였으며, 평균 1.7일의 차이를 보였다. 또한 다중 선형회귀의 분산분석에서 오차분산(MSE)의 제공근 값이 1.75로서 만개일의 단순 선형회귀(model I)의 MSE의 제공근 값 1.88에 비해 작았다(자료 미제시).

따라서 나주지역에서 배 '신고'의 과실 생육일수 추정은 만개일, 만개후 60일까지의 0°C 기준 일평균기온 및 일최고기온의 생육온도 일수를 이용하여 72%의 정확도로 추정이 가능하다고 판단된다.

초 록

나주지역에서 '신고' 배나무의 만개일 및 생육기 기상 수확일에 미치는 영향을 분석하고 과실 생육일수를 추정할 수 있는 다중 직선회귀 모델을 도출하였다. 만개일이 빠른

해일수록 수확일이 빨라지는 경향이었지만 과실 생육일수는 길어지는 경향이였다. 과실 생육기의 0°C 기준 일평균기온과 일최고기온의 생육온도일수와 변이계수는 3,565와 2.9% 및 4,463과 2.5%로 해에 따른 편차가 적었다. 과실 생육일수와 생육기의 월별 일평균기온 및 일최고기온의 생육온도 일수와는 관련성이 낮았지만, 만개후 생육일수별 기상요인과는 관련성이 높게 나왔다. 특히 만개후 1-60일과 31-60일까지의 일평균기온 및 일최고기온의 생육온도 일수와는 높은 부(-)의 상관을 나타내었다. 만개일과 만개 후 1일부터 60일까지의 일평균기온 및 일최고기온의 생육온도 일수를 독립변수로 하여 과실 생육일수를 추정하는 다중 선형회귀식으로 0.7212의 높은 결정계수 값을 얻었다. 따라서 나주지역에서 배 '신고'의 과실 생육일수를 다중 직선회귀 모델식에 의해 72%의 정확도로 추정할 수 있다.

추가 주요어 : 적산온도, 과실생장일수, 생육온도일수, 다중 선형회귀, 배나무

인용문헌

- Arnold, C.Y. 1971. Heat units used in field corn production. III. Research 13:6-7.
- 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.
- Choi, S.T., S.C. Kim, G.H. Ahn, Y.W. Yoon, and S.M. Kang. 2007. Time of nitrogen application in autumn affects fruit characteristics and reserve accumulation of 'Fuyu' persimmon. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 25(Suppl. 1):111. (Abstr.)
- Hyun, S.W., Y.M. Park, M.S. Ko, and Y.K. Kang. 1994. Effect of seeding date on growth and yield in oats. Kor. J. Crop Sci. 39:359-365.
- Jong, S.K., S.S. Lee, and K.Y. Park. 1986. Methods of estimating growing degree days to predict growth duration in maize. Kor. J. Crop Sci. 31:186-194.
- Jung J.E., E.Y. Kwon, U. Chung, and J.I. Yun. 2005. Predicting cherry flowering date using a plant phenology model. Kor. J. Agri. Forest Meteorol. 7:148-155.

- Kim, Y.H., D.Y. Moon, C.M. Kim, S.U. Ko, and S.B. Kim. 1996. Comparative analysis of cumulative temperature and growth period depending upon growth stage as affected by cropping system in plastic house-grown Satsuma mandarin. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 37:269-278.
- Koo, B.C., C.W. Lee, C.G. Lee, J.C. Kim, and M.W. Park. 2001. Growth and yield of barley as affected by accumulated temperature. *Kor. J. Crop Sci.* 46:468-472.
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2007. Analysis of climatic change tendency of the Korean Peninsula. KMA, Seoul. p. 15.
- Lee, S.S. 1983. Utilization of growing degree days as an index of growth duration of rice varieties. *Kor. J. Crop Sci.* 28:173-183.
- Ministry for Agriculture and Forestry (MAF). 2006. Prediction of harvesting time of super sweet and waxy corn hybrids with growing degree days. MAF, Gwacheon. p. 49-62.
- Ruml, M., A. Vukovic, and D. Milatovic. 2010. Evaluation of different methods for determining growing degree-day thresholds in apricot cultivars. *Int. J. Biometeorol.* 54:411-422.
- Seong, K.C., J.W. Lee, H.M. Kwon, C.H. Kim, D.Y. Moon, and H.D. Seo. 2004. Effect of planting date on the growth and yield in retarding culture of squash (*Cucurbita maxima*) under rain-shielding condition. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22:143-146.
- Sugiura, T. 1997. Interpretation of climatic ecology response and development model to predict growth and development of pear tree. PhD Diss., Kyoto Univ., Kyoto.
- Yun J. I. 2006. Climate change impact on the flowering season of Japanese cherry (*Prunus serrulata* var. *spontanea*) in Korea during 1941-2100. *Kor. J. Agri. Forest Meteorol.* 8:68-76.