

발육 속도 모델을 이용한 복숭아 ‘유명’의 개화기 예측

윤석규¹ · 정경호¹ · 윤익구¹ · 남은영¹ · 한점화¹ · 유덕준² · 이희재^{2,3*}
¹국립원예특작과학원, ²서울대학교 농업생명과학연구원, ³서울대학교 식물생산과학부
(2012년 10월 30일 접수; 2012년 11월 15일 수정; 2012년 11월 15일 수락)

Developmental Rate Equations for Predicting Blooming Date of ‘Yumyeong’ (*Prunus persica*) Peach Trees

Seok Kyu Yun¹, Kyeong Ho Chung¹, Ik Koo Yoon¹, Eun Young Nam¹,
Jeom Hwa Han¹, Duk Jun Yu² and Hee Jae Lee^{2,3*}

¹Fruit Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

²Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

³Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

(Received October 30, 2012; Revised November 15, 2012; Accepted November 15, 2012)

ABSTRACT

To predict the blooming date of ‘Yumyeong’ peach trees, the models for flower bud developmental rate (DVR) were constructed. The DVRs were calculated from the demanded times at controlled air temperatures. The branches of ‘Yumyeong’ peach trees were incubated at three different temperatures of 9.7, 15.2, and 18.9°C. The DVRs were also constructed with blooming dates and air temperatures in the field, collected from 1979 to 2008 at the experimental orchard of National Institute of Horticultural and Herbal Science, Suwon, Korea. All the DVRs increased linearly or exponentially with air temperature. The DVR equations evaluated under controlled air temperatures were $y=0.0018x+0.0051$ and $y=0.0125e^{0.0603x}$. The DVR equations under field conditions were calculated as $y=0.0039x-0.0112$ and $y=0.0062e^{0.1512x}$. These DVR equations offer developmental indices and predict the date for blooming with air temperature data. These DVR equations were validated against the blooming data observed in the field. When the blooming dates were calculated with exponential DVR equations and daily air temperature data, the root mean squared errors between the observed and predicted dates were around 2 days. These results suggest that the DVR models are useful to predict the blooming date of ‘Yumyeong’ peach trees.

Key words: Air temperature, Blooming date, Exponential equation, *Prunus persica*, Yumyeong

I. 서 론

작물의 생육은 온도의 영향을 크게 받는다. 최근 지구 온난화가 빠르게 진행되면서 과수 작물에 있어서도 발아기와 개화기가 빨라지고 있는데, 이상 기후에 따른 봄철의 기온 변화도 심해져 동해 피해의 우려가 커지고 있다(Honjo, 2007). 특히, 복숭아는 다른 과수

작물보다 개화기가 빨라 저온 피해 가능성이 매우 높기 때문에 개화기 예측을 통한 적절한 대책 마련이 필요하다.

대부분 작물의 생육 단계 예측 모델들은 온도 인자를 근거로 하고 있다. 개화기 예측에 있어서도 온도 인자를 바탕으로 한 모델들이 많은데, 온도 인자에 대한 다중 회귀식 모델(Aoki *et al.*, 1985) 또는 유효



* Corresponding Author : Hee Jae Lee
(heejee@snu.ac.kr)

적산 온도(Noro *et al.*, 1986), 생장 적산 온도(Rea and Eccel, 2006), 일 평균 기온에 대한 적산 온도(Aono and Omoto, 1990; Aono and Moriya, 2003; Honjo *et al.*, 2006; Kawakami *et al.*, 2009) 등을 예로 들 수 있다. 이들 모델들은 대부분이 과수 작물의 개화기는 자발 휴면이 타파된 이후 개화기까지 대기 온도의 영향을 받으며, 개화기 이전의 적산 온도가 가장 큰 영향을 준다는 것을 근거로 하고 있다. 특히 Kume and Takezawa(1994)와 Murakami *et al.*(2006, 2008, 2009)은 개화기 예측에 있어서 온도 인자로 사용한 발육 속도 계산식 모델이 유용하다고 제시한 바 있다.

국내에서는 사과, 배, 포도의 만개일 예측을 위해 1990년대 초반에 일 평균 기온이 5°C 이상인 날의 적산 일수와 평균 온도를 이용한 발육 속도 모델이 소개된 바 있다(NAAS, 1990). 최근에는 포도 발아기 예측에 대한 연구가 진행되었는데, 포도 발아기는 발아 전 생육 기간의 온도에 크게 영향을 받고(Noro *et al.*, 1986; Kwon *et al.*, 2005), 온도를 인자로 사용한 발육 속도 모델이 포도 발아기 예측에 유용한 것으로 제시되었다(Yun *et al.*, 2011). 작물의 개화기 예측에 있어서 온도에 대한 발육 속도 계산에 베타 함수 모델이 상관이 제일 높긴 하지만 선형 함수 모델(Behdani *et al.*, 2008)이나 지수 함수 모델(Ono *et al.*, 1988; Omoto and Aono, 1989; Aono and Omoto, 1990; Aono, 1993)도 유용한 것으로 알려져 있다. Yun *et al.*(2011)은 포도 ‘캠벨얼리’의 발아 전 발육 속도 계산에 있어서 온도에 대한 선형 함수식과 지수 함수식이 모두 발아기 예측에 유용한 것으로 제시하였다. 한편, 복숭아 ‘장호원황도’ 품종을 대상으로 결과지의 자발 휴면타파에 필요한 저온 요구도를 계산하는 휴면 시계 모형을 최적화하고 이를 이용하여 개화에 필요한 고온 요구도를 계산함으로써 만개기를 예측하는 방안도 제시된 바 있다(Kim *et al.*, 2009).

본 연구에서는 복숭아 ‘유명’ 품종의 개화 전 발육 속도를 정량화할 수 있는 개화 전 발육 속도 계산식을 구하고 복숭아 개화기 예측에 있어서 발육 속도 모델의 이용 가능성을 검토하였다. 복숭아 개화 전 발육 속도 계산식은 최근 30년간 수원 포장에서 조사한 개화기 자료와 항온 실험에서 조사한 자료를 이용하여 도출하였으며, 이를 이용하여 개화기 예측 값을 계산하고 개화기 예측 가능성을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 항온 조건에서의 개화 소요일 조사

복숭아 ‘유명’ 품종의 개화기 발육 속도를 계산하기 위해 10, 15, 19°C 항온 조건에서 가지의 개화 소요일을 조사하였다. 1월 30일경에 10개 이상의 꽃눈이 착생한 복숭아 가지를 30cm 내외의 길이로 채취하여 수삽 처리한 후 항온기에 두어 개화를 유도하고 개화율이 50%에 도달한 날을 개화기로 정하여 개화 소요일을 계산하였다. 시험 기간 동안에 측정된 항온기의 평균 온도는 각각 9.7, 15.2, 18.9°C이었다.

2.2. 포장 조건에서의 개화기 및 대기 온도 조사

수원시 이목동 소재 국립원예특작과학원의 과수원에 재식된 복숭아 ‘유명’ 품종을 대상으로 1979년부터 2008년까지 개화기를 조사하였다. 개화기는 꽃눈의 50%가 개화한 날을 기준으로 하였다. 복숭아 월동 이후 개화기까지의 대기 온도는 국립원예특작과학원 인근의 수원시 서둔동에 위치한 수원 기상대에서 수집한 자료를 이용하였다.

2.3. 개화 전 발육 기간에서의 발육 지수와 발육 속도 계산

복숭아 개화기 예측을 위한 발육 지수와 발육 속도에 대한 개념은 De Wit *et al.*(1970)과 Horie and Nakagawa(1990)가 과수 개화기 예측에서 정의한 개념을 응용하였다(Yun *et al.*, 2011). 휴면이 완료된 복숭아의 꽃눈이 생육을 시작하여 개화기에 이르기까지의 기간을 개화 전 발육 기간, 그 기간 동안의 발육량은 발육 지수(developmental index, DVI), 발육량의 변화율은 발육 속도(developmental rate, DVR)로 정의하였다. 꽃눈의 휴면이 완료되고 생육을 시작하는 시점에는 DVI가 0이고 DVI가 1.0이 되는 시점에 꽃눈이 개화에 도달하는 것으로 가정하였다.

복숭아의 개화 전 발육 기간의 DVI와 DVR은 온도에 따라 결정되는 함수로 가정하면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 항온 조건에서 개화에 N일이 소요된 경우에는 DVI는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있고, 특정 온도에 대한 DVR은 개화 시점에 DVI가 1.0이므로 개화 소요일인 N의 역수 값으로 식 (3)과 같이 표현할 수 있다(Sameshima and Iwakiri, 1987; Yun *et al.*, 2011).

$$DVI_i(\text{개화 전 발육 기간에서의 발육 지수})=DVR_i \quad (1)$$

$$DVI_N(\text{발육 시작 N일 후의 발육 지수})=N \times DVR \quad (2)$$

$$DVR_T(\text{특정 온도에 대한 발육 속도})=1 \times N^{-1} \quad (3)$$

그리고 온도 조건에 따라 개화 소요일(N)이 달라지는 경우에 개화 소요일의 역수(N⁻¹)는 온도에 대하여 식 (4)와 같이 표현할 수 있다. 따라서 DVR은 대기 온도(T)에 대한 선형 함수식 (5)와 같이 표현할 수 있으며, 또한 식 (6)과 같이 지수 함수식으로도 나타낼 수 있다. 단, A, B, C, D는 상수이다.

$$N^{-1}(\text{개화 소요일의 역수})=A+B \times T \quad (4)$$

$$DVR_T(\text{대기 온도 T에 대한 발육 속도})=A+B \times T \quad (5)$$

$$DVR_T(\text{대기 온도 T에 대한 발육 속도})=C \times e^{(D \times T)} \quad (6)$$

2.4. 개화 소요일과 온도 자료를 이용한 개화 DVR 계산식의 도출

향온 조건에서의 DVR은 수삽하여 조사한 복숭아 개화 소요일을 이용하여 계산하였다. 각 온도 조건에서 DVR은 개화 소요일의 역수(N⁻¹)로 계산되므로 이를 회귀 분석하여 DVR 계산식을 도출하였다.

포장 조건에서의 DVR은 수원 지역 포장에서 30년간 관측한 자료를 이용하여 계산하였다. 개화기가 빠르거나 늦은 경우를 포함한 15개 자료의 개화 소요일과 일 평균 기온 자료를 회귀 분석하여 온도에 대한 DVR 계산식을 도출하였다. 이때 DVR 계산식은 온도에 대하여 선형 함수식 또는 지수 함수식으로 표현이 가능하였다.

한편, 수원 지역에서 복숭아 ‘유명’의 자발 휴면은 ‘장호원황도’와 비슷한 시기에 완료(Kim *et al.*, 2009)되는 것으로 가정하고 1월 30일 이후부터 복숭아 개화 DVR 계산을 시작하였으며 일 평균 기온이 5°C 이상인 날만을 포함하였다(Moncur *et al.*, 1989; NAAS, 1990). 또한 30년간 관측한 자료에 의하면

복숭아 개화 전 발육 기간 중에 일 평균 기온의 최고 값이 20°C 이하인 점과 온도 20°C 이상에서 DVR 계산 값이 과도하게 높은 점을 고려하여 온도의 최고 값은 20°C로 한정하여 계산하였다.

2.5. DVR 함수식을 이용한 개화기 예측과 적합도 검증

복숭아 개화 전 발육 기간의 온도에 대한 DVR 함수식이 구해지면 온도 자료를 이용하여 DVI 계산이 가능하고 개화기 예측 값을 구할 수 있다. 향온 실험 또는 포장 조사 자료를 이용하여 계산한 DVR 함수식에 수원 지역에서 30년간 관측한 일 평균 기온 자료를 대입하여 개화기 예측 값을 구하고 개화기의 예측 값과 실측 값을 비교하여 예측 적합도를 검증하였다. DVR 함수식과 온도 자료를 이용한 DVI 계산은 엑셀 소프트웨어(MS Office 2007, Microsoft, USA)를 사용하였으며, 개화기 예측 적합도 검정을 위한 회귀 분석은 통계 소프트웨어(SPSS 12.0, SPSS, USA)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 향온 조건에서 개화 전 발육 기간의 DVR 계산식

9.7, 15.2, 18.9°C의 조건에서 관측한 개화 소요일은 각각 45, 31, 26일이었으며 이때 DVR은 각각 0.022, 0.032, 0.038로 계산되었다(Table 1). 이 향온 조건에서의 개화 소요일과 DVR 값을 이용하여 온도(x)에 대하여 DVR 선형 함수식 $y=0.0018x+0.0051$ ($r^2=0.99^*$)과 지수 함수식 $y=0.0125e^{0.0603x}$ ($r^2=0.99^*$)를 도출할 수 있었다(Fig. 1). 국립농업과학기술원에서는 복숭아 ‘창방조생’의 개화기 예측 DVR 지수 함수식 $y=0.0054e^{0.1653x}$ 를 제시하였는데(NAAS, 1990), 이에 비하면 복숭아 ‘유명’ 품종의 개화기 예측 DVR 지수 함수식은 값이 작고 기울기가 낮은 편이었다. 한

Table 1. Number of days needed for blooming and DVR of ‘Yumyeong’ peach tree at three different air temperatures

Temperature (°C)	20% Blooming		50% Blooming		80% Blooming	
	No. of days	DVR	No. of days	DVR	No. of days	DVR
9.7	39	0.026	45	0.022	53	0.019
15.2	26	0.038	31	0.032	35	0.029
18.9	22	0.045	26	0.038	29	0.034

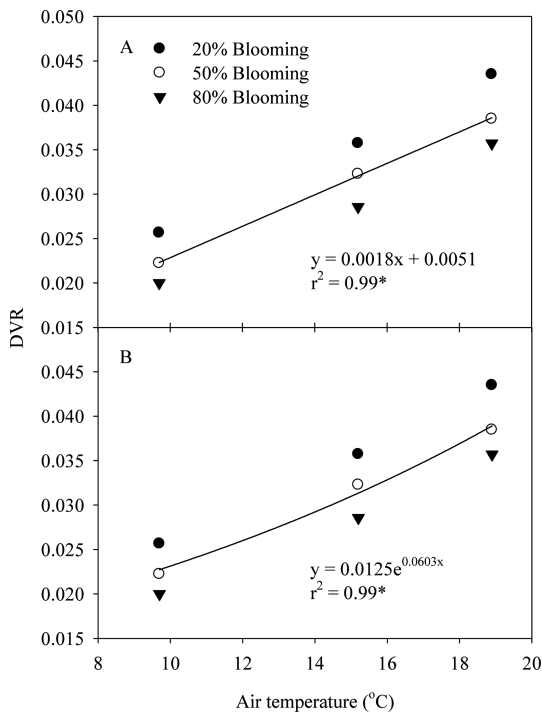


Fig. 1. Linear (A) and exponential (B) DVR equations for blooming measured in a controlled air temperature test.

편 Sugiura and Honjo(1997)가 제시한 동양배의 개화기 예측 DVR 지수 함수식인 $y=0.0124e^{0.0425x}$ 에 비해서는 값이 크고 기울기가 높았다. 개화기가 빠를수록 발육 속도 계산식의 값이 크고 기울기가 높게 나타나는데, 일반적으로 수원 지역에서 복숭아 개화기는 동양배 개화기보다 2~5일 빠른 것으로 알려져 있다(NIHHS, 2009).

3.2. 포장 조건에서 개화 전 발육 기간의 DVR 계산식

수원에 소재한 국립원예특작과학원에서 1979년부터 2008년까지 30년간 조사한 자료에 의하면 복숭아 ‘유명’ 품종의 개화기는 4월 13일부터 5월 4일이었으며 평균 개화기는 4월 22일이었다(Table 2). 일 평균 기온이 5°C 이상인 날만을 발췌하여 분석하면 개화 소요일은 40.0일, 일 평균 기온은 9.48°C, DVR은 0.0253이었다. 30년간 조사한 개화기와 일 평균 기온 자료에서 15개 자료를 추출하여 개화 소요일과 DVR을 계산하고 이 값들을 이용하여 온도(x)에 대하여 DVR 선형 함수식 $y=0.0039x-0.0112(r^2=0.72^*)$ 과 지수

Table 2. Blooming date, daily air temperature, and number of days over 5°C for blooming of ‘Yumyeong’ peach trees in Suwon, Korea from 1979 to 2008

Item	Minimum	Mean	Maximum
Blooming date (month/day)	April 13	April 22	May 4
Daily air temperature (°C)	8.73	9.48	10.64
No. of days ^z	35	40	45

^zDays were counted from February 21 when the daily mean air temperature was over 5°C.

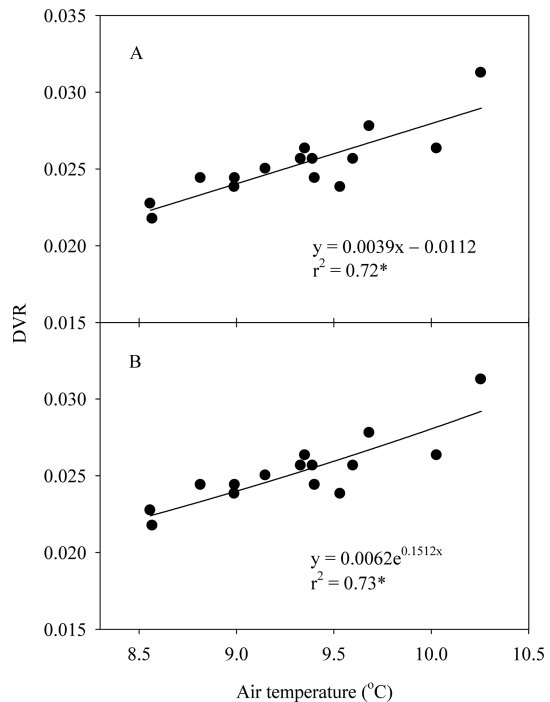


Fig. 2. Linear (A) and exponential (B) DVR equations for blooming estimated from field data collected in Suwon, Korea from 1979 to 2008.

함수식 $y=0.0062e^{0.1512x}(r^2=0.73^*)$ 를 도출할 수 있었다 (Fig. 2). 지수 함수식의 경우 국립농업과학기술원 (NAAS, 1990)에서 제시한 복숭아 ‘창방조생’의 개화기 예측 DVR 지수 함수식인 $y=0.0054e^{0.1653x}$ 의 발육 속도 값과 기울기가 비슷하였다.

3.3. DVR 지수 함수식을 이용한 개화 소요일 예측

복숭아 ‘유명’ 품종의 개화기 예측 DVR 지수 함수식에 일 평균 기온 자료를 대입하여 DVI를 계산하고 DVI가 1.0에 도달하는 시점을 개화 예측일로 추정하였다. 특정 연도의 시작으로부터 경과된 일수인 Julian

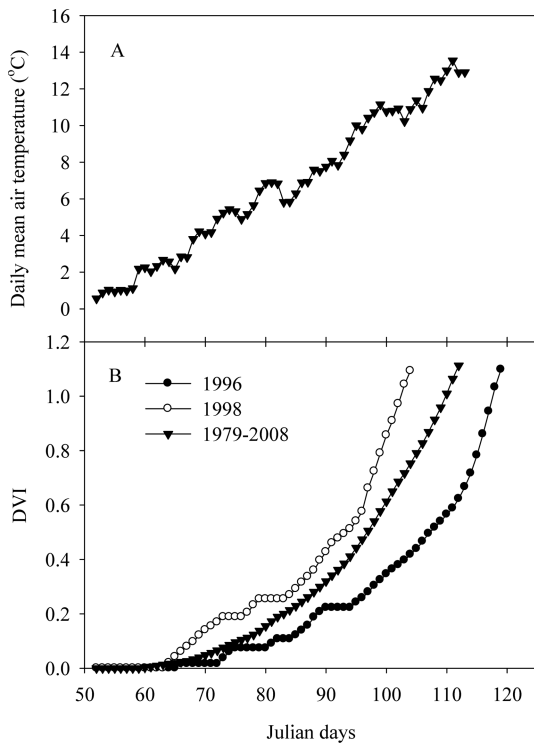


Fig. 3. Daily mean air temperature (A) and DVIs (B) for 1996, 1998, and 30 years from 1979 to 2008 calculated with a DVR equation ($y=0.0062e^{0.1512x}$) and daily temperature data.

days로 나타내면 1979년부터 2008년까지 30년간 조사한 개화 소요일의 평균은 113 Julian days이었다. 개화일이 빨랐던 1998년도에 개화 소요일은 104 Julian days이고 이때에 DVI 값이 빠르게 증가하였다. 반면에 개화일이 늦었던 1996년도에는 개화 소요일이 120 Julian days이었고 DVI 값이 느리게 증가하였으며 특히 70~80 Julian days에 DVI 값이 낮은 경향이였다 (Fig. 3).

3.4. DVR 지수 함수식과 일 평균 기온 자료를 이용한 개화기 예측

향온 실험에서 도출한 DVR 지수 함수식인 $y=0.0125e^{0.0603x}$ 에 수원 지역에서 조사한 일 평균 기온 자료를 대입하여 구한 개화기 예측 값과 실측 값의 적합도 검정 평균 제곱 오차(root mean squared error, RMSE) 값은 2.31이었다(Fig. 4A). 포장 조사에서 도출한 DVR 지수 함수식 $y=0.0062e^{0.1512x}$ 에 일 평균 기온 자료를 대입하여 구한 개화기 예측 값과 실측 값의 RMSE 값은 1.83으로 나타났다(Fig.

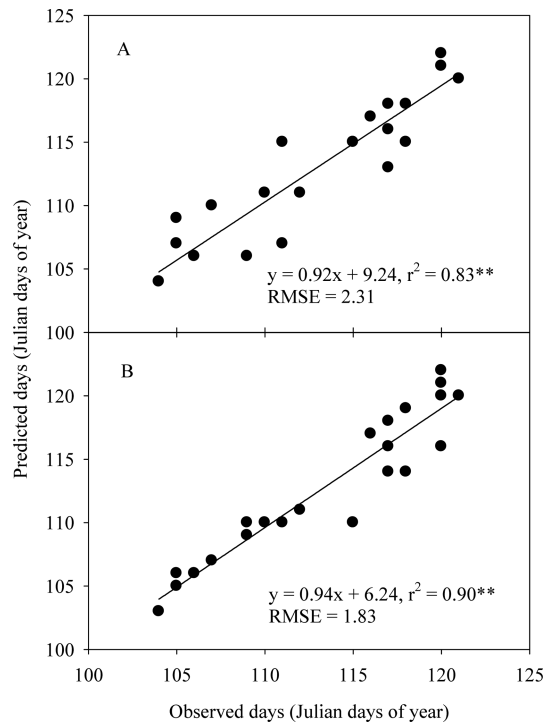


Fig. 4. Fitness of the predicted data calculated with exponential DVR equations. A, by $y=0.0125e^{0.0603x}$; B, by $y=0.0062e^{0.1512x}$.

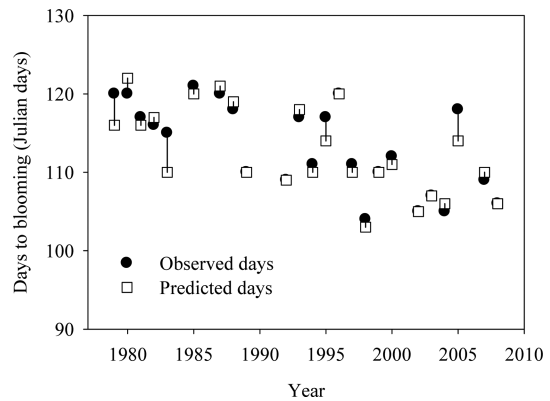


Fig. 5. Relationship between the observed and the predicted days for full blooming in 'Yumyeong' peach trees calculated with a DVR equation ($y=0.0062e^{0.1512x}$). Vertical bars represent residual between the observed and the predicted days by year.

4B). 이는 DVR 지수 함수식에 의해 계산한 개화기 예측 값과 실측 값의 차이가 대부분 2일 내외에 분포한다는 것을 의미한다. 또한 이를 통해 향온 실험에서 계산된 DVR 지수 함수식보다 포장 조건에서 도출한 DVR 지수 함수식이 개화기 예측에 더 적합하다는 것

을 알 수 있었다. 포장 조건에서 도출한 DVR 지수 함수식을 이용하여 최근 30년간 만개기를 예측한 결과 1979, 1983, 1995, 2005년의 경우를 제외한 대부분의 경우에는 예측 값이 실측 값과 2일 이내로 유사하였다(Fig. 5).

결론적으로 복숭아 개화 전 발육 기간의 DVR은 대기 온도에 대하여 선형 함수 또는 지수 함수적으로 증가하는 경향이었으며, 향온 실험과 포장 조사 자료에서 도출한 각각의 DVR 함수식은 개화기 실측 값에 대해 적합도가 높은 예측 값을 제공하였다. 이들 DVR 함수식이 복숭아 '유명' 품종 꽃눈의 개화 전 발육 속도 계산에 유용하고, 개화기 예측에도 이용 가능하다는 것을 나타낸다. 한편, 본 연구에서 제시된 복숭아 '유명' 품종의 개화기 예측 DVR 함수식은 수원 이외의 다른 지역에서도 적용이 가능할 것으로 예상되는데, 다른 지역에서 적용하기 위해서는 실측 값을 대입하여 함수식을 보정하거나 DVI를 보정하는 과정이 필요하다.

적 요

복숭아 '유명'의 개화기 예측을 위해 향온 조건과 포장 조건에서의 온도에 대한 발육 속도(DVR) 계산식을 도출하고, 이 계산식을 개화기 예측에 이용할 수 있는지 검토하였다. 향온 조건에서 개화 소요일은 복숭아 가지를 수삽하여 구하고, 포장 조건에서는 1979년부터 2008년까지 관측한 자료를 이용하여 계산하였다. 포장 조건에서의 온도 자료는 5°C 이상의 대기 적산 온도 값을 이용하였다. 개화 소요일을 이용하여 구한 DVR값과 온도 자료를 이용하여 DVR 선형과 지수 함수식을 도출할 수 있었다. 향온 실험에서 도출한 개화기 예측 DVR 선형과 지수 함수식은 각각 $y = 0.0018x + 0.0051$ 과 $y = 0.0125e^{0.0603x}$ 이었다. 포장 조건에서 도출한 개화기 예측 DVR 선형과 지수 함수식은 각각 $y = 0.0039x - 0.0112$ 과 $y = 0.0062e^{0.1512x}$ 이었다. 본 연구에서 계산한 복숭아 '유명' 품종의 개화기 예측 DVR 지수 함수식과 일 평균 기온 자료를 이용하여 복숭아 개화기를 예측한 결과, 적합도 검정 평균 제곱 오차(RMSE)가 향온 실험에서는 2.31이었으며, 포장 조사에서는 1.83이었다. 이러한 결과는 본 연구에서 도출한 복숭아 '유명' 품종의 개화기 예측 DVR 함수식이 개화 전 발육 속도 계산에 유용하고, 개화기

예측에도 이용할 수 있다는 것을 의미한다.

REFERENCES

- Aoki, A., T. Kaneko, and K. Yamazaki, 1985: Forecasting the flowering date of Japanese pear trees. *Bulletin of the Tochigi Agricultural Experiment Station* **31**, 77-86.
- Aono, Y., 1993: Climatological studies on blooming of cherry tree (*Prunus yedoensis*) by means of DTS method. *Bulletin of University of Osaka Prefecture. Series B. Agriculture and Life Science* **45**, 155-192.
- Aono, Y., and C. Moriya, 2003: A generalized model to estimate flowering for cherry tree (*Prunus yedoensis*) considering both processes of endodormancy completion and development. *Journal of Agricultural Meteorology* **59**, 165-177.
- Aono, Y., and Y. Omoto, 1990: A simplified method for estimation of blooming date for the cherry by means of DTS. *Journal of Agricultural Meteorology* **46**, 147-151.
- Behdani, M. A., A. Koocheki, M. Nassiri, and P. Rezvani, 2008: Models to predict flowering time in the main saffron production regions of Khorasan province. *Journal of Applied Sciences* **8**, 907-909.
- De Wit, C. T., R. Brouwer, and F. W. T. Penning de Vries, 1970: The simulation of photosynthetic systems. *Proceedings of the IBP/PP Technical Meeting*, PUDOC, Wageningen, 47-60.
- Honjo, H., 2007: Effects of global warming on dormancy and flowering behavior of temperate fruit crops in Japan. *Horticultural Research* **6**, 1-5.
- Honjo, H., R. Fukui, T. Sugiura, and Y. Aono, 2006: The DTS accumulation model for predicting the flowering date of Japanese pear tree in Japan. *Acta Horticulturae* **707**, 151-158.
- Horie, T., and H. Nakagawa, 1990: Modeling and prediction of developmental process in rice. *Japanese Journal of Crop Science* **59**, 687-695.
- Kawakami, H., A. Yamao, K. Morioka, H. Ikeda, and Y. Hada, 2009: Artificial control of blooming on *Prunus × yedoensis* Matsum. ('Somei-yoshino', Rosaceae) using the number of days transformed to standard temperature. *Naturalistae* **13**, 1-7.
- Kim, J. H., S. O. Kim, U. Chung, J. I. Yun, K. H. Hwang, J. B. Kim, and I. K. Yoon, 2009: 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 a proxy for physiological tolerance to freezing temperature. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(4), 213-220. (in Korean with English abstract)
- Kume, N., and K. Takezawa, 1994: Prediction of time of bud opening in the first crop of tea plants by nonparametric

- DVR method. *Journal of Agricultural Meteorology* **50**, 221-224.
- Kwon, E. Y., G. C. Song, and J. I. Yun, 2005: Prediction of dormancy release and bud burst in Korean grapevine cultivars using daily temperature data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(3), 185-191. (in Korean with English abstract)
- Moncur, M. W., K. Rattigan, D. H. Mackenzie, and G. N. McIntyre, 1989: Base temperatures for bud break and leaf appearance of grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* **40**, 21-26.
- Murakami, S., C. Ishii, Z. Inaba, and S. Nakamura, 2009: Forecasting blooming date based on developmental rate of the ecodormancy stage in 'Kawazu-zakura' (*Prunus lannesiana* Wils. 'Kawazu-zakura') cherry trees. *Shokubutsu Kankyo Kogaku* **21**, 24-28.
- Murakami, S., C. Kato, Z. Inaba, and S. Nakamura, 2008: Modeling the developmental rate in the ecodormancy stage and the effect of temperature on cut flowers of 'Kawazu-zakura' cherry tree. *Horticultural Research* **7**, 579-584.
- Murakami, S., N. Suematsu, K. Mito, and S. Nakamura, 2006: Flowering time of 'Kawazu-zakura' (*Prunus lannesiana* Wils.) cherry trees in Minamiizu. *Horticultural Research* **5**, 331-336.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS), 1990: The climatic characteristics of the main fruit cultivation regions in Korea. Rural Development Administration, Korea, 125-191.
- National Institute of Horticulture and Herbal Science (NIHHS), 2009: Annual report of National Institute of Horticultural and Herbal Science, 565-571.
- Noro, S., N. Obara, N. Kudo, S. Saito, and H. Ichinohe, 1986: Estimation of apple bloom date by the developmental zero and the total effective temperature after bud break. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **54**, 405-415.
- Omoto, Y., and Y. Aono, 1989: Estimation of blooming date for *Prunus yedoensis* by means of kinetic method. *Journal of Agricultural Meteorology* **45**, 25-31.
- Ono, S., T. Konno, T. Okuno, and S. Asano, 1988: Effects of temperature on the number of days for budding and flowering of Japanese pear. *Journal of Agricultural Meteorology* **44**, 203-208.
- Rea, R., and E. Eccel, 2006: Phenological models for blooming of apple in a mountainous region. *International Journal of Biometeorology* **51**, 1-16.
- Sameshima, R., and S. Iwakiri, 1987: Studies on crop-weather relationship of soybean. I. Relationship among developmental rate, daylength, and temperature during the period from seeding to flowering. *Journal of Agricultural Meteorology* **42**, 375-380.
- Sugiura, T., and H. Honjo, 1997: A dynamic model for predicting the flowering date developed using an endodormancy break model and a flower bud development model in Japanese pear. *Journal of Agricultural Meteorology* **52**, 897-900.
- Yun, S. K., Y. U. Shin, I. K. Yun, E. Y. Nam, J. W. Han, I. M. Choi, D. J. Yu, and H. J. Lee. 2011. Developmental rate equations for predicting bud bursting date of 'Campbell Early' (*Vitis labrusca*) grapevines. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **29**(3), 181-186. (in Korean with English abstract)