

## 발육 속도 모델을 이용한 포도 ‘캠벨얼리’의 발아기 예측

윤석규<sup>1</sup> · 신용익<sup>1</sup> · 윤익구<sup>1</sup> · 남은영<sup>1</sup> · 한점화<sup>1</sup> · 최인명<sup>1</sup> · 유덕준<sup>2</sup> · 이희재<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>국립원예특작과학원, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학연구원, <sup>3</sup>서울대학교 식물생산과학부

### Developmental Rate Equations for Predicting Bud Bursting Date of ‘Campbell Early’ (*Vitis labrusca*) Grapevines

Seok Kyu Yun<sup>1</sup>, Yong Uk Shin<sup>1</sup>, Ik Koo Yun<sup>1</sup>, Eun Young Nam<sup>1</sup>,  
Jeom Wha Han<sup>1</sup>, In Myung Choi<sup>1</sup>, Duk Jun Yu<sup>2</sup>, and Hee Jae Lee<sup>2,3\*</sup>

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

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

<sup>3</sup>Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

**Abstract.** To predict the bud bursting date of ‘Campbell Early’ grapevines, the bud developmental rate (DVR) models were constructed. The DVRs for bud bursting were calculated from the demanded times at controlled air temperatures. The DVRs were examined on the ‘Campbell Early’ grapevines incubated in three different temperatures at 4.6, 11.8, and 16.6°C. The DVR increased exponentially or linearly on the air temperature with a slope of about 0.0019. The DVR equations were computed as  $DVR = 0.0249 + 0.0020e^{0.1654x}$  or  $DVR = 0.0019x + 0.0187$ . These DVR equations offered developmental indices and predicted dates for bud bursting with air temperature data. The DVR equations were validated to the bud bursting data observed in the field. When bud bursting dates were calculated with daily temperature data, the root mean squared error (RMSE) between the observed and the predicted dates was less than 4 days. When those were calculated with hourly temperature data, on the other hand, the RMSE was less than 3 days. These results suggest that the DVR models are useful to predict bud bursting date of ‘Campbell Early’ grapevines.

**Additional key words:** air temperature, developmental index, exponential regression, linear regression

## 서 언

최근 과수 작물의 발아와 개화기가 지구 기후 변화의 영향으로 크게 변하고(Honjo, 2007), 봄철의 기온 변화가 심해져 저온 및 서리 피해가 증가하고 있다. 이러한 과수 작물의 발아 및 개화기의 변동과 서리 등 저온 피해에 대비하기 위해 발아기를 예측한 연구(Kume and Takezawa, 1994; Kwon et al., 2005; Moncur et al., 1989)와 개화기 예측에 대한 연구(Aono and Moriya, 2003; Aono and Omoto, 1990; Honjo et al., 2006; Murakami et al., 2006, 2008, 2009; Rea and Eccel, 2006)가 활발하게 진행되고 있다. 특히 개화기 예측에 대한 연구가 많은데 생육 단계로서 개화기가 매우 중요하고 저온에 의한 피해 가능성이 발아기보다 더 크기 때문

이다. 한편 포도 생육 시기 예측에서는 발아기 예측에 대한 필요성이 크다. 포도는 발아 시기가 배와 복숭아에 비해 늦어 배와 복숭아가 개화하는 시기에 발아하며 발아 이후에는 저온에 노출된 경우에 저온 피해를 받게 되므로 포도의 재배에 있어서는 발아기를 예측하여 저온 피해에 대비하여야 한다.

온대 과수의 생육에 있어서 수체 발육은 온도의 영향을 크게 받으므로 이를 근거로 한 생육 단계 예측 모델들이 많이 제시되어 왔다. 과수 개화기 예측 모델의 예로 온도 인자에 대한 다중 회귀식(Aoki et al., 1985), 유효 적산 온도(Noro et al., 1986; Richardson et al., 1975), 성장 적산 온도(growing degree day) 모델(Rea and Eccel, 2006), 일 평균 기온을 기준으로 한 적산 온도(Aono and Moriya, 2003; Aono and Omoto, 1990; Honjo et al., 2006; Kawakami et al., 2009; Yoshitaka, 2010) 등을 들 수 있다. 또한 발육 속도 계산식을 이용한 개화기 예측 모델도 많이 제시되었는데

\*Corresponding author: heejlee@snu.ac.kr

※ Received 15 November 2010; Accepted 1 April 2011.

(Kume and Takezawa, 1994; Murakami et al., 2006, 2008, 2009), 우리나라에서도 평균 기온이 5°C 이상인 날의 적산 일수와 평균 온도를 이용한 발육 속도 계산식 모델이 사과, 배, 포도의 만개일 예측을 위해 제시된 바 있다(NAAS, 1990). 포도의 발아기도 발아 전 생육 기간의 온도에 크게 영향을 받기 때문에(Kwon et al., 2005; Noro et al., 1986; Richardson et al., 1975) 개화기의 예측에서와 마찬가지로 방식으로 포도 발아 전 생육 기간의 온도와 발아기와의 관계를 분석하면 효과적으로 발아기를 예측할 수 있을 것이다(Kwon et al., 2005).

Behdani et al.(2008)은 작물의 개화기 예측에 있어서 온도에 대한 발육 속도 계산에 베타 함수 모델이 정확도가 가장 높긴 하지만 선형 함수 모델이 유용하다고 제시한 바 있다. 한편 식물의 발육 속도는 온도에 대하여 지수 함수 모델로 설명이 가능한 것으로 알려져 있다(Aono, 1993; Aono and Omoto, 1990; Omoto and Aono, 1989; Ono et al., 1988).

본 연구에서는 3가지 향온 조건에서 조사한 포도(*Vitis labrusca*) ‘캠벨얼리’의 발육 속도와 온도의 관계를 선형 함수와 지수 함수식으로 제시하고, 이를 이용하여 계산한 발아기 예측 값과 포장에서 조사한 실측 값을 비교함으로써 포도 ‘캠벨얼리’의 발아기 예측에 있어서 발육 속도 계산식의 이용 가능성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 향온 온도 조건에 따른 발아율 및 발아 소요일 조사

포도 ‘캠벨얼리’의 온도에 따른 발육 속도를 측정하기 위해 향온 조건에서 발아율 및 발아 소요일을 조사하였다. Kwon et al.(2005)은 ‘캠벨얼리’는 1월 19일에서 1월 26일 사이에 자발 휴면이 타파된다고 하였는데, 이를 근거로 삼수는 휴면이 완료되었을 것으로 예상되는 1월 20일경에 채취하여 각각 눈 2개를 남기고 20cm 내외의 길이로 준비하였다. 준비한 삼수는 5, 10, 15°C로 설정된 향온기(VS-911H, Vision Science, Seoul, Korea)에 각각 15개씩 수삽하여 발아율을 조사하였으며 발아율이 50%인 날을 발아일로 계산하였다. 처리 기간 동안의 향온기의 평균 온도는 각각 4.6, 11.8, 16.6°C였다.

### 포장 조건에서의 발아일 및 발아 소요일 조사

수원 이목동 소재 국립원예특작과학원의 포장에서 1978년부터 2008년까지 실제로 조사한 값을 포장 조건에서의 포도 ‘캠벨얼리’의 발아일로 사용하였다. 발아일은 노지 포장

에서 주아 또는 부아가 50% 발아한 날을 기준으로 하였다. 포도 자발 휴면의 완료일로부터 발아기까지의 온도 자료는 국립원예특작과학원 인근의 수원시 서둔동에 소재한 수원 기상대에서 측정한 자료를 이용하였다.

### 포도 발아 단계의 발육 지수 및 발육 속도 계산

포도 발아기 예측을 위한 발육 지수 및 발육 속도에 대한 개념은 과수 개화기 예측에서 정의한 개념을 응용하여(De Wit et al., 1970; Horie and Nakagawa, 1990), 휴면이 완료된 포도의 눈이 생육을 시작하여 발아기에 도달하는 기간을 발아 생육 기간 또는 발아 생육 단계로 보고 그 기간 동안의 발육량을 수치화한 값을 발육 지수(developmental index, DVI)로 칭하고 발육량의 변화율을 발육 속도(developmental rate, DVR)로 표현하였다. 포도 눈의 휴면이 완료되고 생육을 시작하는 시점에 DVI는 0이고 DVI가 1.0에 도달할 때 발아에 도달하는 것으로 가정하였다.

포도의 발아 시기는 온도의 영향을 크게 받으므로 발아 단계의 DVI와 DVR은 주로 온도에 따라 결정되는 함수라 가정 하에 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다(Sameshima and Iwakiri, 1987). 발아 단계의 DVI는 DVR의 누적 값으로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있고, 향온 조건에서 발아 처리 시작일로부터 N일 후에 발아한 경우에는 매일의 DVR은 동일한 값을 가지므로 DVI는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다. 그리고 발아일에 DVI는 1.0이므로 특정 온도에 대한 DVR은 발아 소요일인 N의 역수 값으로 식 (3)과 같이 표현된다.

$$DVI_i(\text{발아 단계에서의 발육 지수}) = \sum DVR_i \quad (1)$$

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

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

그리고 향온 실험에서 온도 수준에 따라 발아 소요일(N)이 달라지는 경우에는 발아 소요일의 역수(N<sup>-1</sup>)는 온도에 대하여 식 (4)와 같이 표현할 수 있다. 결국 포도의 DVR은 대기 온도 T에 대한 선형 함수식 (5)와 지수 함수식 (6)으로 표현된다. 단, A, B, C, D, E는 상수이다. 한편 T가 일별 평균 기온일 때는 식 (7)과 같이 일 발육 속도(DVR<sub>d</sub>)가 되고, T가 시간별 평균 기온일 때는 시간 발육 속도(DVR<sub>h</sub>)가 된다. 발아 단계에 포도 DVR<sub>h</sub>는 DVR<sub>d</sub>에 대하여 24시간을 반영하면 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

$$\begin{aligned} \text{DVR}_T(\text{대기 온도 } T \text{에 대한 발육 속도}) \\ = C + D \times e^{(E \times T)} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{DVR}_d(\text{일별 평균 기온 } T \text{에 대한 발육 속도}) \\ = \text{DVR}_T \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{DVR}_h(\text{시간별 평균 기온 } T \text{에 대한 발육 속도}) \\ = \text{DVR}_d \times 24^{-1} \end{aligned} \quad (8)$$

### 발육 속도를 이용한 발아기 예측 및 발아기 예측 적합도 평가

포도 발아 단계의 DVR 계산식이 구해지면 DVI 계산이 가능하고 이를 이용하여 발아기 예측이 가능하다. 향온 실험에서 계산한 DVR 계산식에 온도 값을 대입하면 DVR이 계산되고 DVR을 누적한 DVI 값이 1.0에 도달할 때를 예측 발아일로 결정하였다.

향온 실험에서 계산한 DVR 계산식에 수원 지역에서 30년간 관측한 일 평균 기온 자료를 대입하여 DVI를 계산하고 발아기의 예측 값을 구하였다. 그리고 발아기의 실측 값과 예측 값을 비교하여 예측 적합도를 검정하였다. DVR 계산식과 온도 자료를 이용한 DVI 계산에는 엑셀 소프트웨어(MS Office 2007, MS사, USA)를 사용하였으며 발아기 예측 적합도 검정을 위해 통계 소프트웨어(SPSS 12.0, SPSS사, USA)를 이용하여 회귀 분석을 실시하였다.

DVR 계산식을 이용한 발아기 예측은 먼저 DVR 계산식에 일 평균 기온을 대입하여  $\text{DVR}_d$ 를 계산하고 발아기 예측 값을 계산하였다. 수원 지역에서 ‘캠벨얼리’의 휴면 완료 시기를 고려하여 DVR 계산은 1월 30일 이후부터 시작하였으며, 일 평균 기온이 5°C 이상인 날만 포함하였다(Moncur et al., 1989; NAAS, 1990). 또한 30년간 관측한 자료에 의하면 포도 발아 기간의 일 평균 기온은 최고 값이 20°C 내외인 것으로 나타나 DVR 계산은 20°C 이하의 범위에서 계산하였다.  $\text{DVR}_h$  계산 시에는 시간별 기온 자료를 대입하여 발아기 예측 값을 구하였다. 이때 5°C 미만인 온도 값은 제외하고 5°C 이상인 온도 값만을 반영하여 DVR을 계산하였다.

## 결과 및 고찰

### 향온 조건에서 발아 단계의 DVR 계산

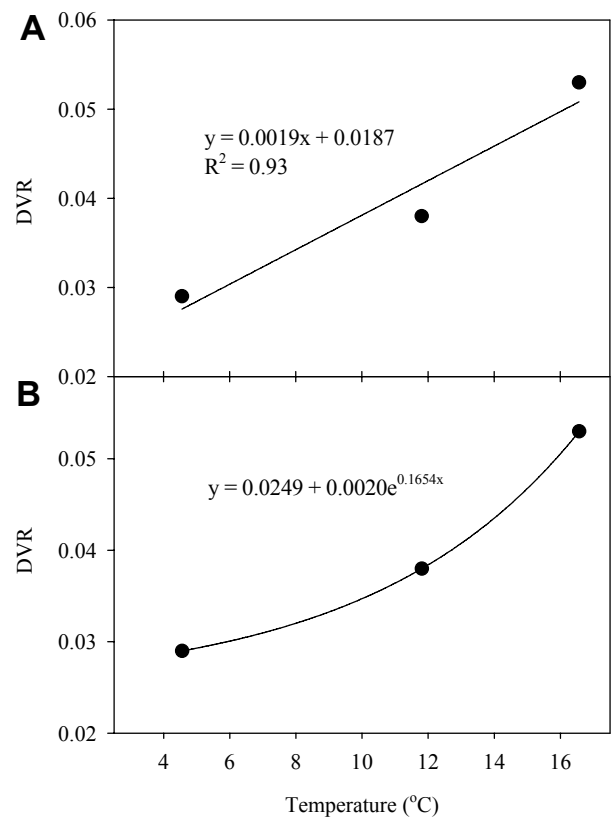
4.6, 11.8, 16.6°C인 향온 조건에서 포도 삼수의 눈이 발아하는 데 소요된 기간은 각각 35, 26, 19일로  $\text{DVR}_d$ 는 각각 0.029, 0.038, 0.053으로 계산되었다(Table 1).

발아 DVR은 대기 온도에 비례하여 증가하였고 지수 함수적으로 증가하는 경향이였다. DVR에 대한 선형 함수식과 지수 함수식은 대기 온도  $x$ 에 대하여 각각  $\text{DVR}_d = 0.0019x + 0.0187$ ,  $\text{DVR}_d = 0.0249 + 0.0020e^{0.1654x}$ 로 계산되었다(Fig.

1). 이때 이들 계산식의 기울기는 차이가 없이 거의 일치하는 경향이였다. 한편 포도 발아 시기와 비슷한 시기에 개화하는 동양배에 대한 개화기 시간 발육 속도 계산식  $\text{DVR}_h = 2.078 \times 10^{15} \times e^{-12094/(x + 273)}$ 이 Sugiura and Honjo(1997)에 의해 제시되었는데 이는  $\text{DVR}_d = 0.0124e^{0.0425x}$ 로 환산되는데, 이에 비하면 포도의 발아 DVR은 값이 크고 기울기가 높았다. 한편 1990년도에 국립농업과학기술원에서 포도 ‘캠벨얼리’의 개화기 발육 속도 계산식  $\text{DVR} = (131.1 - 4.1x)^{-1}$ 를 제시하였는데(NAAS, 1990), 이는 본 연구에서 조사된 발아 DVR의 약 1/3 수준이며 이러한 개화 DVR과 발아 DVR의 차이는 발아와 개화에 소요된 기간의 차이와 그 기간 중의 평균 온도의 차이에 기인한다.

**Table 1.** Number of days needed for bud bursting and DVR of ‘Campbell Early’ grapevines at three different air temperatures.

Temperature (°C)	Bud bursting 50%	
	No. of days	DVR
4.6	35	0.029
11.8	26	0.038
16.6	19	0.053



**Fig. 1.** DVR equations for bud bursting measured in a fixed temperature test.

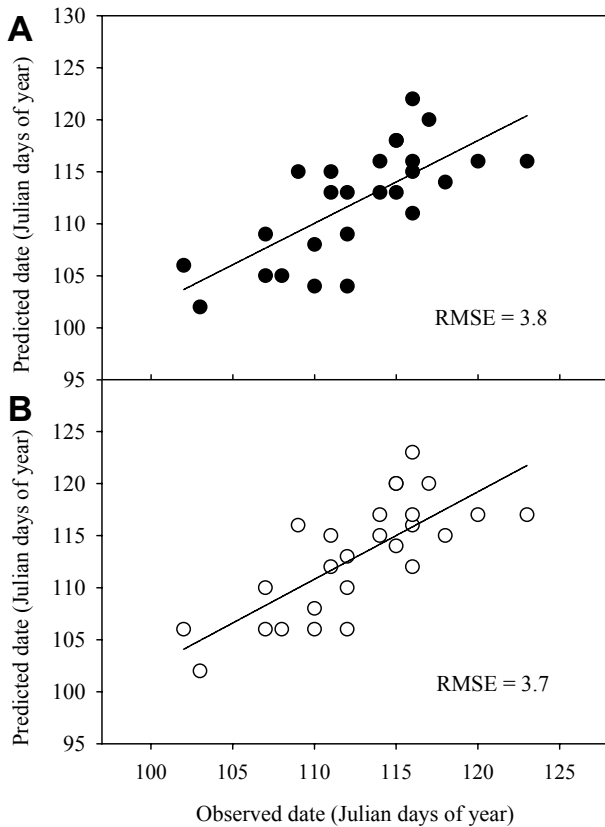
### DVR 계산식을 이용한 발아일 예측

향온 실험에서 계산한 DVR 계산식에 수원 지역에서 조사한 일 평균 기온 자료를 대입하여 발아기 예측을 실시한 결과, 선형 함수식  $DVR_d = 0.0019x + 0.0187$ 을 이용한 경우에는 예측 값과 실측 값의 적합도 검정 평균 제곱 오차 (root mean squared error, RMSE) 값은 3.8이고, 지수 함수식  $DVR_d = 0.0249 + 0.0020e^{0.1654x}$ 를 이용한 경우에는 적합도 검정 RMSE 값은 3.7이며(Fig. 2), 예측 값은 실측 값에 대해 대부분 3-4일 이내로 근접하였다.

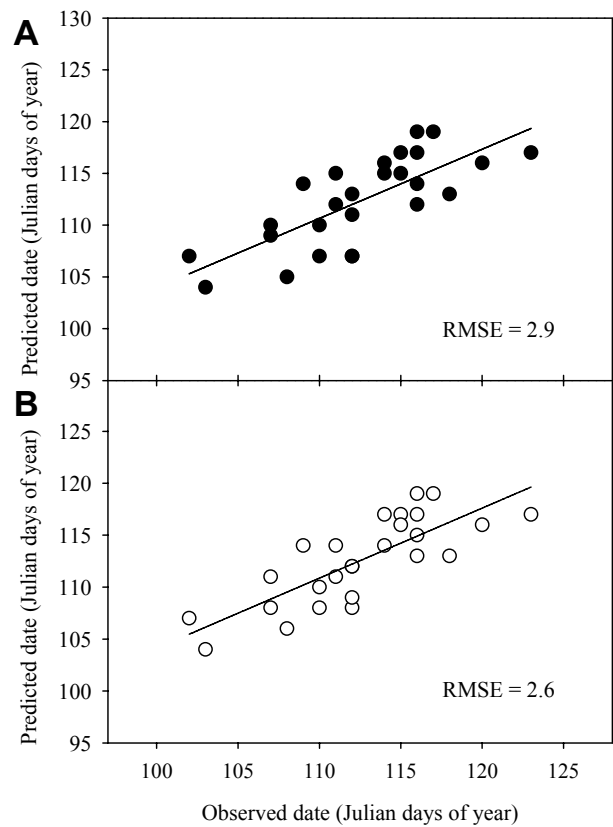
향온 실험에서 계산한 DVR 계산식에 24시간을 반영하여  $DVR_h$  계산식을 작성하고 이를 이용하여 수원 지역 실측 값에 대해 발아기 예측을 실시한 결과,  $DVR_h = (0.0019x + 0.0187) \times 24^{-1} \times 1.4^{-1}$ ,  $DVR_h = (0.0249 + 0.0020e^{0.1654x}) \times$

$24^{-1} \times 1.4^{-1}$ 로 보정되었으며, 적합도 검정 RMSE 값은 각각 2.9와 2.6이었다(Fig. 3). 그리고 발아 예측 값과 실측 값을 비교한 결과, 대부분의 경우에 3-4일 이내로 예측되었다(Fig. 4). 향온 실험에서 계산한  $DVR_h$  계산식은 적합도 검정 RMSE 값이 2.6 내외로 작고 보정 값이 0.71로 작아 포도 눈의 DVR을 유효하게 설명할 수 있다. 한편  $DVR_h$  계산식에서 발아기 예측 적합도가 증가하였는데, 이는  $DVR_d$  계산에는 일 평균 기온 값을 사용한 반면에  $DVR_h$  계산에는 5°C 이상의 시간별 온도 값을 사용한 것에 기인한다.

이상의 결과로 보아, 포도 발아 단계의 DVR은 대기 온도에 대하여 지수 함수적으로 증가하는 경향이었으며(Fig. 1), DVR 계산식을 이용하여 발아기 예측을 실시한 경우에 발아기 예측 적합도는 선형 함수식과 지수 함수식 간에 큰 차



**Fig. 2.** Fitness of the predicted data calculated with  $DVR_d$  equation. A, by  $DVR_d = 0.0019x + 0.0187$ ; B, by  $DVR_d = 0.0249 + 0.0020e^{0.1654x}$ .

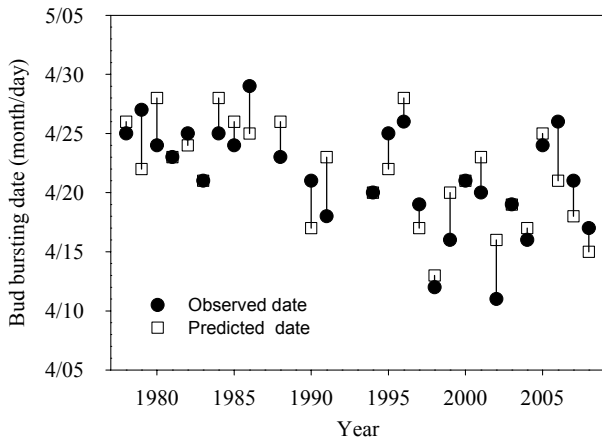


**Fig. 3.** Fitness of the predicted data calculated with  $DVR_h$  equation. A, by  $DVR_h = (0.0019x + 0.0187) \times 24^{-1} \times 1.4^{-1}$ ; B, by  $DVR_h = (0.0249 + 0.0020e^{0.1654x}) \times 24^{-1} \times 1.4^{-1}$ .

**Table 2.** Bud burst date, daily mean temperature, and number of days over 5°C for bud bursting of ‘Campbell Early’ grapevines in Suwon, Korea from 1978 to 2008.

Division	Mean	Maximum	Minimum
Bud burst date (month/day)	4/21	5/02	4/10
Daily mean temperature (°C)	9.3	11.1	7.8
No. of days <sup>z</sup>	37.9	47.0	27.0

<sup>z</sup>Days were counted from February 21 when the daily mean temperature was over 5°C.



**Fig. 4.** Relationship between the predicted and the observed bud bursting dates of 'Campbell Early' grapevines. Vertical bars represent residual between the observed and the predicted dates by year.

이가 없었다. DVR 계산식을 이용한 발아기 예측에 있어서 일 평균 기온 자료를 사용한 경우보다 시간별 온도 자료를 사용한 경우에 예측 RMSE 값이 감소하였다. DVR을 이용한 발아기 예측에서 RMSE 값이 2.6으로 작은 것으로 보아 본 연구에서 계산한 DVR 계산식은 포도 발아기 예측에 유용한 예측 값을 제공할 것으로 예상된다. 한편 본 연구에서 계산한 DVR 계산식은 수원 이외의 다른 지역에서도 적용 가능할 것으로 예상되는데, 다른 지역에서 적용하기 위해서는 실측 값을 대입하여 보정 값을 구하는 과정이 필요하다.

### 초 록

포도 '캠벨얼리'의 발아기 예측을 위해 자발 휴면 타파 이후 발아일까지의 발육 속도(DVR) 계산식을 도출하였다. 항온 실험에서 계산한 DVR은 온도에 대하여 지수 함수식 또는 선형 함수식 모형으로 증가하는 경향이며 DVR 기울기는 0.0019 내외였다. 포도 DVR 계산식은 대기 온도에 대하여  $DVR = 0.0249 + 0.0020e^{0.1654x}$  또는  $DVR = 0.0019x + 0.0187$ 이었으며, DVR 계산식에 일 평균 기온을 대입하여 계산한 예측 발아일의 실측 발아일에 대한 적합도 검정 RMSE 값이 4일 이하로 작았다. 또한 DVR 계산식에 시간별 온도 자료를 대입한 경우에는 일 평균 기온 자료를 사용한 경우보다 오차 값이 작았으며 이때 RMSE 값은 3일 이하였다. 이는 본 연구에서 계산한 DVR 계산식이 포도 발아기 예측에 유용한 예측 값을 제공할 수 있다는 것을 의미한다.

**추가 주요어 :** 대기 온도, 발육 지수, 지수 함수식, 선형 함수식

Aoki, A., T. Kaneko, and K. Yamazaki. 1985. Forecasting the flowering date of Japanese pear trees. *Bull. Tochigi Agr. Exp. Stn.* 31:77-86.

Aono, Y. 1993. Climatological studies on blooming of cherry tree (*Prunus yedoensis*) by means of DTS method. *Bull. Univ. of Osaka* 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. *J. Agr. Meteorol.* 59:165-177.

Aono, Y. and Y. Omoto. 1990. A simplified method for estimation of blooming date for the cherry by means of DTS. *J. Agr. Meteorol.* 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. *J. Appl. Sci.* 8:907-909.

De Wit, C.T., R. Brouwer, and F.W.T. Penning de Vries. 1970. The simulation of photosynthetic systems. *Proc. IBP/PP Tech. Mtg., PUDOC, Wageningen.* p. 47-60.

Honjo, H. 2007. Effects of global warming on dormancy and flowering behavior of temperate fruit crops in Japan. *Hort. Res.* 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 Hort.* 707:151-158.

Horie, T. and H. Nakagawa. 1990. Modeling and prediction of developmental process in rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 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.

Kume, N. and K. Takezawa. 1994. Prediction of time of bud opening in the first crop of tea plants by nonparametric DVR method. *J. Agr. Meteorol.* 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. *Kor. J. Agr. For. Meteorol.* 7:185-191.

Moncur, M.W., K. Rattigan, D.H. Mackenzie, and G.N. McIntyre. 1989. Base temperatures for bud break and leaf appearance of grapevines. *Amer. J. Enol. Vitic.* 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. *Hort. Res.* 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. *Hort. Res.* 5:331-336.

National Academy of Agricultural Science (NAAS). 1990. The climatic characteristics of the main fruit cultivation regions in Korea. *Rural Dev. Admin., Korea* p. 125-191.

- 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. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 54:405-415.
- Omoto, Y. and Y. Aono. 1989. Estimation of blooming date for *Prunus yedoensis* by means of kinetic method. *J. Agr. Meteorol.* 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. *J. Agr. Meteorol.* 44:203-208.
- Rea, R. and E. Eccel. 2006. Phenological models for blooming of apple in a mountainous region. *Intl. J. Biometeorol.* 51:1-16.
- Richardson, E.A., S.D. Seeley, D.R. Walker, G.L. Anderson, and G.L. Ashcroft. 1975. Pheno-climatology of spring peach bud development. *HortScience* 10:236-237.
- 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. *J. Agr. Meteorol.* 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. *J. Agr. Meteorol.* 52:897-900.
- Yoshitaka, H. 2010. Extent of misestimation of number of days transformed to standard temperature when calculated by daily mean temperature and a correction using the daily temperature range. *Jpn. J. Crop Sci.* 79:342-350.