

SHORT COMMUNICATION

## DTS (Days Transformed to Standard temperature) 생육 모델을 활용한 군위 지역의 ‘후지’ 사과 성숙기 예측

최인태\* · 심교문 · 김용석 · 정명표 · 윤경담<sup>1)</sup> · 김수형<sup>1)</sup>

농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과, <sup>1)</sup>미국 워싱턴대학교 환경산림과학부

### Predicting Harvest Maturity of the ‘Fuji’ Apple at the Gunwi Province of the South Korea using DTS Phenology Model

In-Tae Choi\*, Kyo-Moon Shim, Yong-Seok Kim, Myung-Pyo Jung, Kyung-Dahm Yun<sup>1)</sup>,  
Soo-Hyung Kim<sup>1)</sup>

*Division of Climate Change & Agroecology, Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea*

*<sup>1)</sup>School of Environmental and Forest Science, College of Environment University of Washington, Seattle WA 98195 -2100, USA*

#### Abstract

Fuji apple variety introduced in Japan has excellent storage quality and good taste so it is most commonly cultivated in the Korean Peninsula.

Accurate prediction of harvest maturity allows farmers to more efficiently manage their farm, such as working time, fruit storage, market shipment and labor distribution so it is very important. This study was carried out to predict the harvest maturity of ‘Fuji’ apple using DTS (Days Transformed to Standard temperature) model based on the Arrhenius law in the Gunwi province of the South Korea. Input data are daily average temperature and apple harvest maturity. Predicted the harvest maturity of Fuji apple after estimating the optimal parameters by using the Nelder-Mead method. The differences of observed and predicted harvest maturity day are approximately 1 to 4 days and the RMSE is 2.9.

**Key words** : DTS model, Fuji, Harvest maturity, Phenology

#### 1. 서론

후지(Fuji) 품종은 일본에서 도입한 품종으로서 맛이 좋고 저장성이 우수하여 일본, 중국뿐만 아니라 한반도에 서도 가장 많이 재배하고 있는 사과 품종 중의 하나이며,

미국이나 유럽에서도 재배면적이 증가하고 있는 추세이다(RDA, 2013). 통계청 국가통계포털(<http://kosis.kr>)에서는 2014년 현재 사과 생산면적이 30,702 ha, 생산량은 474,712 톤이며, 사과 재배 농가의 약 82%가 후지 품종을 재배하는 것으로 조사되었다. 후지의 성숙기는

Received 13 October, 2015; Revised 9 November, 2015;

Accepted 17 November, 2015

\*Corresponding author : In-Tae Choi, Division of Climate Change & Agroecology, Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea  
Phone:+82-63-238-2521  
Email: [finder@korea.kr](mailto:finder@korea.kr)

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

계통별로 차이가 나지만, 일반적으로 조숙 계통은 9월 중·하순, 착색 계통은 10월 하순~11월 상순이다. 수확기는 용도에 따라서 장기 저장용은 주로 10월 20일~25일경으로 일찍 수확하고 단기 저장용이나 판매용은 10월 30일~11월 5일경에 수확한다. 보통 만개 후 누적일수에 의한 숙기를 예측하는데 후지는 만개 후 170~180일 정도이다(RDA, 2013). 정확한 성숙기의 예측은 재배 농가로 하여금 수확 전·후의 농작업 시기 결정, 노동력 배분, 과실 저장 및 시장 출하 계획 등 농장관리를 효율적으로 계획할 수 있게 하므로 매우 중요하다.

현재까지 수학적 생육모델인 DTS(Days Transformed to Standard temperature)를 이용하여 사과 생육시기에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

Ono and Konno(1999)는 DTS 모델을 이용하여 일본 Honshu 섬에서 재배하고 있는 사과, 배, 복숭아 등의 과실수 11종 186품종에 대하여 10년 동안의 개화일과 일 평균기온을 입력자료로 하여 DTS 모델을 구동하여 개화일까지의 날짜의 합계를 예측하였다. 실제 관측된 개화일과 DTS 모델을 구동하여 예측한 개화일을 비교하였는데, 사과 (Tugaru)의 결정계수는 0.980, 배 (Nijisseiki)는 0.937, 복숭아 (Hakuto)는 0.931로서 모델의 적합성이 높게 나타났다. 몇몇 연도의 경우에는 예측한 개화일과 관측한 개화일과의 날짜의 차이가 있었는데, 그 해는 이상 기상이 있었던 기간으로서 DTS 모델이 온도에 민감하게 반응한다는 것을 보여주었다.

Honjo et al.(2006)은 일본 내 21곳의 시험지에서 3가지 배 품종인 Kousui, Nijisseiki, Housui 의 개화일을 예측하기 위하여 DTS 모델을 사용했다. 시험지에서 관측한 개화일과 모델을 구동해 예측한 개화일의 차이를 평균제곱근오차(RMSE, root mean square error)를 계산하여 모델의 예측정확성을 검증하였다. 모델 구동을 위한 입력 자료로 1964년부터 2000년까지 21곳 시험지의 3가지 배 품종의 생육자료와 1960년부터 2000년까지의 일별, 시간별 기온자료를 사용하였다. 모델을 구동하여 계산한 RMSE는 Housui 품종의 경우 1~4일, Nijisseiki 품종의 경우 1~3일의 차이로 나타났다.

Sugahara(2000)는 DTS 모델을 구동하여 배 (General Le Clark) 과실 생장일수와 과실의 크기와의 관계를 이용하여 수확시기를 예측할 수 있는 Web application을 소개하였다. 1987년부터 1996년까지의 배 생육자료를

사용하였으며, 과실의 수확시기 판단을 위해서 과실의 크기, 미각, 색깔 등을 조사하였다. Web 의 폭 넓은 접근성으로 인하여 Web application 은 비즈니스분야에도 많이 활용되고 있으며, 농업분야에서도 농작물 생산을 지원하기 위해서 생육정보를 Web에 공개하면 농업인, 농업관련 산업종사자, 연구자들에게 유용할 것으로 보였다.

Aono et al.(1998, 2008, 2010)은 중세시대에 기록된 고문서에서 일본 Kyoto 지역의 체리 (Prunus jamasa-kura)의 개화일을 DTS모델에 적용하여 9세기, 18세기 등 과거의 3월 평균기온을 역계산으로 재구성하여 봄철 온도변화를 복원하였으며, 현재의 봄철의 기온과 비교하여 그 동안의 기후변화를 살펴보았다.

Jina Hur et al.(2014)은 RCP 4.5와 8.5 시나리오를 적용하여 한반도에서 재배하고 있는 복숭아와 배에 대하여 GDD(growing degree days)모델, CD(chill days)모델과 DTS 모델을 사용하여 체리의 첫 개화일(FFD, first flowering date)까지의 날짜를 예측하여 기후시나리오 별로 DTS, GDD 및 CD 모델을 비교하였다. 모델을 구동하기 위해 기상청으로부터 입수한 1981년부터 2010년까지의 일 단위 최대, 최소 및 평균 기온과 첫 개화일의 생육자료를 사용하였다. 3가지 모델을 사용하여 예측한 첫 개화일과 30년 동안 관측한 첫 개화일의 평균 일수와의 차이를 RMSE로 비교한 결과 DTS 모델의 경우 GDD모델과 CD 모델의 예측결과 보다 작게 나왔다.

지금까지의 선행 연구들은 DTS 모델을 이용하여 주로 과실 작물의 개화일을 예측하였으나, 본 연구에서는 DTS 모델을 활용하여 모델의 최적 파라미터를 추정하고 추정된 파라미터를 이용하여 후지 사과의 성숙기를 예측하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 모델 구동 입력 자료

모델을 구동하기 위한 입력 자료로 기온자료와 생육자료를 사용하였다. 기온자료는 기상청으로부터 2005년부터 2013년까지의 군위지역의 일별 기온자료를 제공받아서 일 평균기온을 계산하였다. 후지 사과의 생육자료는 국립원예특작과학원으로부터 경북 군위군 소보면 소재 사과시험장에서 재배하고 있는 후지 품종의 2005년

부터 2013년까지의 발아일자, 만개일자 및 성숙일자에 관한 자료를 제공받았다.

## 2.2. DTS 모델

본 연구에서 사용한 DTS 모델은 다음과 같은 형태이다(Jina Hur et al., 2014).

$$\sum_{i=1}^{nday} (daily DTS)_i = \sum_{i=1}^{nday} \left( \exp \left\{ \frac{E_a (T_i - T_s)}{R \cdot T_i \cdot T_s} \right\} \right) \quad (1)$$

$E_a$  : Sensitivity of plants to temperature (kJ)

$T_i$  : Average temperature (°C)

$T_s$  : Standard temperature (°C)

$R$  : Universal gas constant (J/mol K)

(1) 식으로 표현된 DTS 모델은 기준온도, 반응민감도, 기체상수 및 일 평균기온의 향으로 이루어진 지수함수로서 열화학방정식인 Arrhenius 식의 형태이다. 성숙기 예측은 특정 생육기간의 시작일자부터 종료일자까지의 합계가 일 단위의 평균기온을 기반으로 하는 DTS 모델 계산결과의 누적일자로 표현된다.

## 2.3. DTS 모델 구현

데이터 입력부터 파라미터 예측과 최적화, 성숙기 예측까지의 처리과정은 파이썬(Python) 프로그래밍 언어로 작성되었으며, 개략도는 다음과 같다.

2005년부터 2007년까지의 군위지역의 일별 평균온

도와 성숙기를 모델의 입력자료로 하여 일별로 계산된 DTS를 합산하여 예측된 성숙기와 관측된 성숙기의 날짜 차이를 계산하여 최소가 되는 모델의 파라미터인 생육시작일  $D_s$ (Starting date)와 온도 민감도( $E_a$ )를 Nelder-Mead method를 이용하여 최적화하였다. Nelder-Mead method는 비선형 함수를 최적화시키거나 목적함수의 최대값 또는 최소값을 찾는 통상적인 수치해석 방법이다. 최적화하여 구한 파라미터인  $D_s$  및  $E_a$ 와 2008년부터 2012년까지의 기온자료와 생육자료를 이용하여 후지 사과의 성숙기를 예측하였다.

## 3. 결과 및 고찰

DTS 모델을 구동하여 군위 지역의 2005년부터 2007년까지의 일별 평균온도와 군위 지역에서 재배한 후지 사과의 성숙기 관측일자를 입력자료로 하여 구한 파라미터를 최적화과정을 거쳐 2008년부터 2012년까지의 후지 사과의 성숙기 예측에 적용하여 계산한 성숙기 예측 날짜를 (Table 1)에 나타냈다.

성숙기 관측일과 모델을 구동하여 예측한 성숙기와의 날짜 차이를 보면, 2008년은 4일 빠르게, 2009년과 2010년은 각각 1일과 2일 늦게, 2011년과 2012년은 각각 3일과 2일 빠르게 예측하였다. 관측일과 예측일과의 차이는 대략 1~4일 정도 차이가 났고 RMSE는 2.9로 나타났으며, DTS 모델을 이용하여 이전의 연구와 같이

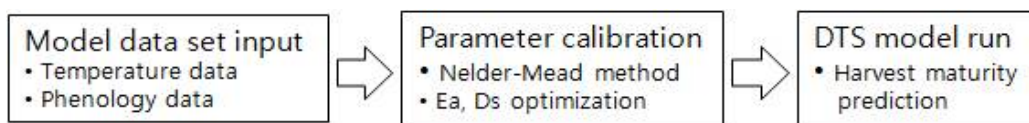


Fig. 1. The flow chart of predicting harvest maturity and optimizing model parameter with model input data.

Table 1. The day of observed and predicted harvest maturity from 2008 to 2012 with parameter  $D_s = 40$  and  $E_a = 80$  kJ

Years	2008	2009	2010	2011	2012
Observed harvest maturity	30-OCT	26-OCT	26-OCT	31-OCT	29-OCT
Predicted harvest maturity	26-OCT	27-OCT	28-OCT	28-OCT	27-OCT
Difference	- 4	+1	+2	-3	-2
RMSE	2.9				

개화일뿐만 아니라 본 연구에서처럼 성숙기의 예측도 가능함을 확인하였다. 성숙기 관측일과 예측일의 차이는 DTS 모델의 특성상 온도와 관련되는데, 파라미터 추정 시의 평균기온과 성숙기 예측일의 평균기온의 차이에서 비롯된다.

앞선 Ono and Konno(1999)의 연구에서는 사과, 배, 복숭아 등의 과실수 11종 186품종에 대하여 10년 동안의 개화일과 일 평균기온을 입력자료로 하여 DTS 모델을 구동하여 실제 관측된 개화일과 DTS 모델을 구동하여 예측한 개화일을 비교하였으며, Honjo et al.(2006)은 일본 내 21곳의 시험지에서 3가지 배 품종인 Kousui, Nijisseiki, Housui 의 개화일을 예측하기 위하여 DTS 모델을 사용하였는데, 본 연구에서 모델의 파라미터를 추정하기 위한 기간이 3년, 성숙기 예측에 소요된 기간이 5년으로서 비교적 짧은 기간 동안에 걸쳐 구동되었다. 다양한 지역에서 오랜 기간 동안 재배하고 있는 후지 사과의 생육자료와 그 지역의 기상자료가 필요하다.

#### 4. 결론

후지(Fuji) 사과는 한반도에서 가장 많이 재배되고 있는 사과 품종이며, 성숙기의 예측은 수확 전·후의 농작업 시기 결정, 노동력 배분, 과실 저장 및 시장 출하 계획 등 농장관리를 효율적으로 계획할 수 있게 하므로 매우 중요하므로 평균 기온만을 입력 자료로 하는 DTS 모델을 사용하여 성숙기 관측일과 예측일을 비교하여 DTS 모델이 수확기 예측에도 활용할 수 있음을 확인하였다. 향후, 모델식의 다양한 지역과 넓은 온도범위에서의 적합성을 위해서는 모델 파라미터의 보다 정확한 추정과 성숙기 예측 검증이 필요한데 이를 위해서는 모델 구동에 필요한 기온자료 및 생육자료를 더 오랜 기간에 걸쳐 수집하여 모델의 정확도를 높이는 것이 필요하다.

#### 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 PJ01000703)의 지원으로 수행되었습니다.

#### REFERENCE

- Aono Y., 1998, Climatic change in march temperature deduced from phenological record for flowering of cherry tree in Tokyo since the late 18th century, Bulletin of Osaka Prefecture University, Series B50, 11-19.
- Aono Y., Kazui K., 2008, Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9<sup>th</sup> century, Int. J. Climatol., 28, 905-914.
- Aono Y., Omoto Y., 1990, Estimation of blooming date for prunus yedoensis using DTS combined with chill-unit accumulations, J. Agr. Met., 45(4), 243-249.
- Aono Y., Saito S., 2010, Clarifying springtime temperature reconstructions of the medieval period by gap-filling the cherry blossom phenological data series at Kyoto, Japan, Int. J. Biometeorol, 54, 211-219.
- Honjo H., Fukui R., Aono Y., Sugiura T., 2006, The DTS accumulation model for prediction the flowering date of Japanese Pear Tree in Japan, Acta. Horticulture, 707, 151-158.
- Hur, J. N., Ahn, J. B., Shim, K. M., 2014, The change of cherry first-flowering date over South Korea projected from downscaled IPCC AR5 simulation, Int. J. Climatol, 34, 2308-2319.
- Hur, J. N., Ahn, J. B., 2015, The change of first-flowering date over South Korea projected from downscaled IPCC AR5 simulation: peach and pear, Int. J. Climatol, 35, 1926-1937.
- Ono S., Konno T., 1999, Estimation of flowering date and temperature characteristics of fruit trees by DTS method, Japan Agricultural Reserach Quarterly, 33, 105-108.
- RDA (Rural Development Administration), 2013, Apple, RDA, 18.
- Stastics Korea, 2015, Korean statistical information service, <http://kosis.kr>.
- Sugahara K., 2000, www application for pear fruit growth prediction, Proc. APAN2000, Beijing, 321-324.