발육속도 모델을 이용한 배 ‘신고’ 자발휴면타파시기 추정

한점화^{1*} · 이상현¹ · 최장전¹ · 정상복¹ · 장한익²

¹원예연구소 배시험장, ²원예연구소 과수과

(2008년 5월 15일 접수; 2008년 6월 23일 수정; 2008년 6월 25일 수락)

Estimation of Dormancy Breaking Time by Development Rate Model in ‘Niitaka’ Pear (*Pyrus pirifolia* Nakai)

J. H. Han^{1*}, S. H. Lee¹, J. J. Choi¹, S. B. Jung¹ and H. I. Jang²

¹Pear Experiment Station, NHRI, RDA, Godongri 1034, Keumcheonmyon, Naju, Korea

²Fruit Research Division, NHRI, RDA, 475th, Imok-dong Jangan-gu Suwon, Korea

(Received May 15, 2008; Revised June 23, 2008; Accepted June 25, 2008)

ABSTRACT

This study was carried out to determine the availability of development rate (*DVR*) model for predicting bud break time of ‘Niitaka’ pear. In addition, the study also assessed the effect of an increase in temperature on predicting bud dormancy breaking time in winter season. The *DVR* model, which was developed for ‘Kosui’ pear, illustrated that the bud break time (e.g., Dec. 12 - Dec. 19) of ‘Niitaka’ pear observed in the field corresponded to the predicted bud break time by *DVR* model. This result indicates that the bud break time of ‘Niitaka’ pear can be predicted by *DVR* model tuned for ‘Kosui’ pear. As the temperature increased during the winter season, the bud break time was delayed. Chilling requirement deficiency for the bud break time is expected in Jeju Province when the temperature increased above 4°C in winter season.

Key words : Bud dormancy breaking time, *DVR*, Pear

I. 서 론

지구온난화 등 최근의 기후변화는 산업화 및 도시화에 따른 온실가스 배출로 인한 것으로 보이며 과수재배에도 큰 영향을 미치고 있다(Jang *et al.*, 2002). 지난 100년 동안 한반도의 평균 기온은 지속적으로 상승하여 약 1.5°C 상승을 기록하였으며, 이는 지구평균기온 상승(0.74°C)의 2배를 상회하였고(IPCC, 2007), 계절적으로는 겨울철의 온도상승폭이 여름철보다 컸다(Koo *et al.*, 2007).

지구온난화가 과수에 미치는 영향은 첫째로, 과수의 생장과 발육에 영향을 주어 개화기, 수확기 등 생육단

계를 전반적으로 앞당기고(Jang *et al.*, 2002) 과실 발육상태도 달라져 유채과 발생, 밀증상, 과심갈변 등의 생리장해 증가(배)와 화진현상(포도)이 빈번하게 나타난다. 둘째로, 과수의 성장환경을 변화시켜 재배농민들로 하여금 새로운 경작지로 이동하거나 또는 새로운 작물과 작형의 전환을 요구하고 이로 인해 많은 시행착오와 경영비의 손실을 가져오게 한다. 셋째로, 작물의 안정생산 및 농가 소득에 큰 영향을 미치는데, 기후변동에 따른 빈번한 기상재해는 일부 작물의 원활한 공급에 차질을 주고 있다(Seo, 2003). 이렇듯 지구온난화는 지역 및 작물에 따라 상이하고 다양한 방향으로 영향을 주고 있다. 배 작목에 있어서 온난화됨에

따라 가장 크게 영향을 받는 부분은 저온요구도 불충족에 의한 개화불량(휴면병), 만상피해, 동해 및 동고병 발생, 생리장해 등이 보고되고 있다(National Institute of Fruit Tree Science, 2003). 일본 큐슈지방의 배 '행수'의 시설재배에서는 가온 후에 발아되지 않고, 경우에 따라서는 눈의 고사나 수체고사가 발생되기도 한다. 남큐슈지방에서는 노지에서도 배 '행수'의 발아 불량이 발생되고 있으며, 저온요구도 충족에 곤란이 예상되고 있다(National Institute of Fruit Tree Science, 2003).

현재 우리나라 배 재배는 제주도에서 강원도까지 전국적으로 확대되어 있으며(Ministry of Agriculture and Forestry, 2007), 주 재배품종인 배 '신고'는 현재 일본에서 휴면병이 발생되고 있는 배 '행수'에 비해 저온요구도가 높으므로(Tamura *et al.*, 2001) 머지않아 휴면병이 발생할 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 Sugiura and Honjo(1997)와 Sugiura(2002)가 구축한 배 '행수'의 발육속도 모델을 배 '신고'에 적용하여 그 가능성을 검토하고, 이 모델을 이용하여 겨울철 온도상승에 따른 휴면타파시기를 추정함으로써 저온 불충족에 의한 휴면병 발생가능성을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 발육속도 모델

Sugiura and Honjo(1997)와 Sugiura(2002)가 구축한 발육속도 모델을 이용하였으며 온도 구간별 발육속도는 Table 1과 같다. 자발휴면타파에 유효한 온도는 7.2°C이하를 기준으로 하는 경우가 대부분이었으나 Sugiura and Honjo(1997)와 Sugiura(2002)는 온도범위에 따라 자발휴면타파에 대한 효력이 다르며 배에서는 0~6°C가 자발휴면타파에 가장 유효한 온도임을 보

고하였다. 그리고, 극단적으로 낮은 온도가 자발휴면타파에 효과가 없는 것은 효소의 용매인 물이 동결하는 온도에서는 효소반응이 일어나지 않기 때문이라고 설명하였다.

꽃눈의 자발휴면기의 발육단계는 development stage(DVS)로 표시하였다. DVS는 저온에 조우하여 자발휴면타파를 향해 감에 따라 증가되는 수치이다. DVS는 저온에 조우할 때만 변화하는 것으로 가정하여, 자발휴면 시 전혀 저온에 조우하지 않은 상태의 꽃눈의 발육단계를 DVS=0으로 정의한다. 또한 어느 정도의 저온에 조우하여 자발휴면에서 타파한 시점의 눈의 발육단계를 DVS=1로 정의한다. 시간당 DVS의 변화량을 DVR(h⁻¹)로 한다. DVR은 자발휴면기의 꽃눈 발육속도 시간당 발육량을 표시하고, n시간 후의 DVS는

$$DVS = \sum_{h=0}^n DVR \quad (1)$$

로 표시한다.

본 연구에서는 자발휴면 타파를 지배하는 것은 가온이고, 다른 기상요소나 시기의 영향은 무시할 수 있는 것으로 가정한다. Sameshima and Iwakiri(1987)와 Sugiura *et al.*(1991)의 방법에 따르면 DVR은 실험결과로부터 다음과 같이 구해진다. 항온상태에서 경과한 경우, 매시간의 DVR은 각각 같기 때문에 온도처리 시작으로부터 N시간 후에 자발휴면에서 타파했다고 하면 (1)식은 자발휴면 타파기에 있어서

$$1.0 = \sum_{h=0}^N N \cdot DVR \quad (1)$$

이 된다. 그러므로 결국, N의 역수가 그 온도에 있어서 DVR의 실측치가 된다.

$$DVR = N^{-1} \quad (3)$$

2.2. 발육속도 모델의 검증

실험재료로는 농촌진흥청 배시험장(전남 나주시)에 재식된 27년생 성목 배 '신고'의 절단 가지를 사용하였다.

2006년 11월 18일부터 2007년 2월 18일까지 1주일 간격으로 포장상태의 나무에서 충실한 액화아가 착생된 1년생 가지를 10개 채취하였다. 채취한 각 가지의 선단부의 충실한 꽃눈 5개를 대상으로 꽃눈 1개씩

Table 1. Equations to calculate pear's development rate (DVR) for the six cases, where T is hourly air temperature

Temperature	DVR
T-6	0
-6<T<0	$1.333 \cdot 10^{-3} + 2.222 \cdot 10^{-4}T$
0<T<6	$1.333 \cdot 10^{-3}$
6<T<9	$2.276 \cdot 10^{-3} - 1.571 \cdot 10^{-4}T$
9<T<12	$3.448 \cdot 10^{-3} - 2.874 \cdot 10^{-4}T$
12<T	0

부착시켜 10cm 내외로 절단하여 꽃꽂이용 오아시스를 이용하여 수습하고 발아율을 조사하였다. 수습을 위한 챔버의 온도는 23°C로 설정하였으며, 오전 7시부터 오후 6시까지 인공조명을 실시하였다. 꽃눈의 관찰은 매일 행하고, 전체 꽃눈에 대한 발아 꽃눈의 비율을 발아율로 표시하였다. 발아율이 70% 이상인 시기를 자발휴면에서 타파된 것으로 판단하였다(Tamura *et al.*, 2001). 꽃눈의 인편이 1~2mm 밀려나온 꽃눈은 발아한 것으로 하였다. 포장상태에서의 발육속도(*DVR*) 및 발육단계(*DVS*) 계산을 위한 온도는 센서와 로거 일체형 써미스터(Model HOBO H8 Pro., Onset Computer Corporation, U.S.A.)로 1시간 단위로 측정하였으며, 제작사의 사양에 의하면 측정오차가 -30°C~+50°C범위에서 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 이며 상온에서의 정확도는 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 이다. 발육단계 계산은 10월 1일부터 시작하였다. 매시간의 발육속도(*DVR*)를 계산하여 누적한 것을 발육단계(*DVS*)로 하고 발육단계가 1에 도달한 시기를 휴면에서 타파된 시기로 하였다. 수습한 시험 재료의 발아율이 70%에 도달한 시기와 *DVS*=1.0에 도달한 시기를 비교하여 모델의 타당성을 판단하였다.

2.3. 평년의 겨울철 기상자료 및 휴면타파기 분포도 작성

기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>)에서 제공되는 속초를 포함한 67개 지역의 평년(1971~2000년) 일별 최고기온 및 최저기온 기상자료를 다운받아 시간별 기온을 추정하였다. 시간별 기온 추정에는 Table 2와 같은 Sugiura(1999)의 방법을 이용하였다. 추정된 시간별 데이터를 Table 1의 발육속도 모델에 대입하여 *DVS*=1에 도달되는 시기를 평년의 휴면타파시기로 하였으며, 67개 지역에서 추정된 휴면타파시기 데이터를 ArcMap 9.0 소프트웨어의 점자료 파일로 저장한 다음 전국을 대상으로 250 m 해상도의 거리역산가중

Table 2. Estimation of hourly temperature using daily maximum and minimum temperature

Hour (c)	Air temp. (t)
① $0 \leq c \leq 3$	$t = (h_y - m) \times \sin((4 - c) \times 3.14 / 30)^2 + m$
② $4 \leq c \leq 13$	$t = (h - m) \times \sin((c - 4) \times 3.14 / 18)^2 + m$
③ $1 \leq c \leq 23$	$t = (h - m_t) \times \sin((28 - c) \times 3.14 / 30)^2 + m_t$

※ c: hour, t: air temp., h_y : maximum temp. of the previous day, h: the day's maximum temp., m: the day's minimum temp., m_t : minimum temp. of the next day

법(IDW)에 의해 공간내삽을 실시하여 분포도를 작성하였다. 평년기온에서 각각 1.0~5.0까지 1씩 증가시켜 위와 동일한 방법으로 겨울철 기온 상승에 따른 휴면 타파시기 변동을 추정하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 발육속도 모델의 검증

2006/2007년, 포장에서 채취하여 수습한 삼수의 발아율은 12월 12일에 채취한 것이 58%, 12월 18일에 채취한 것이 77%로 12월 12일~12월 18일 사이에 자발휴면이 완료된 것으로 판단되었으며, *DVS*=1이 되는 시점은 12월 15일로서 모델에 의한 추정 값과 포장에서 채취한 시료의 관찰 값이 일치하였다. 2007/2008년, *DVS*=1에 도달되는 시기는 12월 8일이었으며, 포장상태에서 발아율이 70%에 도달하는 시기는 12월 3일~12월 10일로 모델에 의한 추정 값과 관찰 값이 일치하였다(Fig. 1). Tamura *et al.*(2001)은 배 ‘신고’의 저온요구도는 1,200~1,400시간으로 배 ‘행수’의 1,000~1,200시간에 비해 200시간 정도 높다고 하였지

Fig. 1. Seasonal changes of observed bud break rate and development stage (*DVS*) calculated by *DVR* model in 2006/2007, and 2007/2008 year.

Table 3. Estimation of dormancy breaking time by *DVR* model in normal year (1971~2000)

Location	Bud break time (Month.day)	Location	Bud break time (Month.day)	Location	Bud break time (Month.day)
Sokcho	12.12	Kwangju	12.15	Imshil	12.1
Chorwon	11.26	Pusan	12.29	Chongup	12.10
Taegwallyong	11.11	Tongyong	12.26	Namwon	12.7
Chunchon	12.1	Mokpo	12.23	Changsu	11.28
Kangnung	12.15	Yosu	12.24	Sunchon	12.11
Seoul	12.7	Wando	12.24	Changhung	12.13
Inchon	12.8	Cheju	1.5	Haenam	12.15
Wonju	11.30	Kosan	1.12	Kohung	12.16
Ullungdo	12.19	Sogwipo	1.16	Bonghwa	11.29
Suwon	12.4	Chinju	12.14	Yongju	12.1
Chungju	12.2	Kanghwa	12.2	Mungyong	12.4
Sosan	12.7	Yangpyong	11.30	Yongduk	12.13
Ulchin	12.15	Ichon	12.1	Uisong	12.4
Chongju	12.5	Inje	11.27	Kumi	12.5
Taejon	12.7	Hongchon	11.30	Yongchon	12.8
Chupungnyong	12.4	Taebaek	11.21	Kochang	12.4
Andong	12.6	Chechon	11.27	Hapchon	12.11
Pohang	12.20	Pounan	11.29	Miryang	12.13
Kunsan	12.13	Cheonan	12.3	Sanchong	12.10
Taegu	12.14	Poryong	12.8	Koje	12.19
Chonju	12.11	Puyo	12.6	Namhae	12.20
Ulsan	12.20	Kumsan	12.3		
Masan	12.26	Puan	12.9	Average	12.10

만 본 시험의 검증 결과에 의하면, 배 ‘행수’의 발육 속도 모델을 이용하여 나주지역에서의 배 ‘신고’ 자 발휴면타파시기를 판단하는 것은 큰 무리가 없었다. 그러나 본 시험에서 휴면타파시기 판단 기준을 꽃눈이 70%이상 발아하는 시기로 하였으므로, 발아율을 상향조정하거나 혹은 꽃눈이 개화하고 전엽이 이루어지는 수준의 저온요구도를 기준으로 한다면 휴면 타파시기는 더 늦어지고, 배 ‘행수’의 모델을 이용하여 판단하기에는 부적합할지도 모른다. 그러므로 배 ‘신고’의 휴면타파시기를 정확히 예측하기 위해서는 포트에 재식된 나무를 이용하여 배 ‘신고’의 저온요구도 구명 시험이 함께 이루어져야 할 것이다. 또한 휴면과 관련된 수채내 물질 변화, 즉 단백질, 효소, 과산화수소, 당 등의 변화에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

3.2. 평년의 휴면타파시기

3.1에서 배 ‘행수’의 발육속도 모델이 나주지역 배

‘신고’의 휴면타파시기를 예측하는데 타당함을 검토하였다. 재료 및 방법의 2-1의 모델이 타지역에서도 타당할 것이라는 가정하에 평년의 배 ‘신고’의 휴면타파시기를 추정하였다. 위의 모델식에 의하면 발육은 -6°C부터 시작되어 0°C에서 정점을 이루고, 6°C부터 다시 낮아지다가 12°C이상에서는 정지된다. 즉 0~6°C 범위에서 저온효과가 가장 높다. 그러므로 겨울철의 평균기온이 0~6°C이하인 지역에서는 온난화됨에 따라 어느 기간까지는 휴면타파시기가 빨라지다가 0~6°C이상으로 온난화되면 휴면타파시기가 다시 늦어지고 더욱 온난화될 경우 저온부족에 의해 휴면병이 발생될 것이라고 예상할 수 있다.

조사된 전국 67개 지역 중 휴면타파시기가 가장 빠를 것으로 추정되는 지역은 대관령으로 11월 11일이었고, 가장 늦은 지역은 서귀포로 다음해 1월 16일이었다. 가장 빠른 지역과 가장 늦은 지역의 차이는 66일간의 차가 있었다. 67개 지역의 평균 휴면타파일은 12월 10일이었다(Table 3).

Fig. 2. Monthly normals of mean, maximum, and minimum air temperature in Daegwallyeong and Segwipo stations.

자발휴면기간에 해당되는 10월부터 다음해 1월까지의 평균기온이 가장 낮은 지역은 대관령, 가장 높은 지역은 서귀포로서 휴면타파시기의 순서와 일치하였다 (Fig. 2). 대관령의 월별 일최저기온 평균은 10월부터 다음해 1월까지 각각 2.8, -3.2, -9.4, -12°C로서 휴면타파에 효과적인 고온 한계온도인 12°C이하였다. 한편, 10월부터 휴면타파시기로 추정되는 11월까지의 일최저기온 평균은 -0.2°C, 평균기온은 4.9°C로서 저온효과가 가장 높은 0~6°C의 범주에 포함된다. 따라서 대관령을 포함한 우리나라 대부분 지역에서는 온난화가 진

행됨에 따라 어느 한계온도까지는 휴면타파시기가 늦어질 것으로 판단된다. 한편 휴면타파시기가 1월 16일로 67개 지역 중 가장 늦은 것으로 추정된 서귀포의 경우, 10월부터 다음해 1월까지의 일최저기온의 월평균은 각각 15.3°C, 10.1°C, 5.4°C, 3.2°C로서 10월에는 저온효과가 인정되지 않으며, 11월에는 극히 미약하고, 12월과 1월은 저온효과가 가장 높은 0~6°C의 범주에 속하긴 하나, 비교적 온도가 높기 때문에 온난화에 따른 휴면타파시기의 지연이 다른 지역에 비해 클 것으로 추정되며, 온난화가 심화될 경우 저온부족에 의해 휴면병이 발생할 것이라는 추정도 가능하다.

3.3. 온난화에 따른 휴면타파시기의 변화 예측

온난화됨에 따라 휴면타파시기는 지연되었으며 따뜻한 지역일수록 지연 정도가 컸다(Fig. 3). 대관령에서는 1°C증가함에 따라 4~5일 지연되었으나, 서귀포에서 1°C증가할 때 9일, 2°C증가할 때는 10일, 3°C증가할 때는 19일이 지연되어 2월 23일에 휴면이 완료되었으며, 4°C증가할 때는 저온 부족현상이 발생되었다. 그러나 본 연구에서 검토된 모델은 배 '행수'의 모델이며, 배 '신고'는 배 '행수'에 비해 저온요구도가 200시간 더 소요된다(Tamura *et al.*, 2001)는 점을 감안한다면 평년대비 3°C이상 상승되었을 때 우리나라에서 저온부족 현상이 나타날 가능성도 배제할 수 없다.

적 요

배 '행수'의 자발휴면기의 발육속도 모델을 이용하여 배 '신고'의 자발휴면 타파기 예측 가능성을 검토하였으며, 나아가 겨울철 기온이 온난화됨에 따른 휴면타파시기의 변화를 검토하였다. 모델에 의해 예측된 자발휴면 타파시기와 포장에서 조사된 휴면타파시기가 12월 12일~12월 19일로 일치하여 배 '행수'의 발육속도 모델을 배 '신고'에 적용하는 것이 큰 무리가 없는 것으로 판단되었다. 기온이 상승함에 따라 휴면타파시기가 지연되었으며, 4°C이상 상승하면 제주도를 중심으로 휴면타파에 필요한 저온 부족현상이 발생할 것으로 추정되었다.

Fig. 3. Estimation of bud dormancy breaking time by *DVR* model with global warming condition in ‘Niitaka’ pear in Korea.

감사의 글

이 연구는 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행되었다(KRF-2005-214-F00031).

REFERENCES

- IPCC, 2007: Climate Change 2007 (The Physical Science Basis), Summary for Policymakers, Technical Summary and Frequently Asked Questions. WMO & UNEP, 142pp.
- Jang, H. I., H. H. Seo, and S. J. Park, 2002: Strategy for fruit cultivation under the changing climate. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **20**(3), 270-275.
- Koo, G. S., K. O. Boo, and W. T. Kwon, 2007: The estimation of urbanization effect in global warming over Korea using daily maximum and minimum temperature. *Atmosphere* **17**(2), 185-193.
- Ministry of Agriculture and Forestry, 2007: *Agricultural and Forestry Statistical Yearbook*, Republic of Korea, 88pp.
- National Institute of Fruit Tree Science, 2003: Research report of fruit production constitution, 59-65.
- Sameshima, R., and S. Iwakiri, 1987: Studies on crop-weather relationship of soybean (1) Relationship among developmental rate, day length and temperature during the period from seeding to flowering. *Journal of Agricultural Meteorology* **42**(4), 375-380.
- Seo, H. H., 2003: Growth and quality of horticultural crops affected by climate change. *Proceedings of the Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology Conference*, 131-137.
- Sugiura, T., 1999: Prediction of full bloom date of pear using air temperature. *Agriculture and Horticulture* **54**(10), 146-149.
- Sugiura, T., 2002: Dormancy and chilling requirement of deciduous fruit tree. *Series of Agricultural Technology* (Fruit 8), 50~2-50~7~4.
- Sugiura T., and H. Honjo, 1997: The effects of temperature on endodormancy completion in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) and modeling the relationship. *Journal of Agricultural Meteorology* **53**(4), 285-290.
- Sugiura, T., S. Ono, F. Kamota, T. Asakura, T. Okuno, and S. Asano, 1991: A model for developmental rate from rest break to flowering of Japanese pear. *Journal of Agricultural Meteorology* **46**(4), 197-203.
- 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. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science* **70**(5), 596-598.