

복숭아 품종의 만개기와 과실 생장에 영향을 미치는 환경요인 분석

한현희[†] · 한점화 · 정재훈 · 류수현 · 권용희

국립원예특작과학원 과수과

Analysis of Environmental Factors for Full Bloom Stage and Fruit Growth in Peach

Han, Hyun Hee[†], Han, Jeom Hwa, Jeong, Jae Hoon, Ryu, Su Hyun and Kwan, Yong Hee

Fruit Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wangju 55365, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effect of environment factors on full bloom stage and fruit width in four peach cultivars. The average temperature in March was the main factor to determine the date of full bloom in 'Kurakatawase' (-0.6871*) and 'Changhowon Hwangdo' (-0.5270*). The fruit growth curve after 35 days from full bloom was the double sigmoid shape in 'Changhowon Hwangdo' cultivar. Environmental factors affecting fruit width were mean diurnal range(BIO2) and temperature annual range(BIO 7) in 'Kurakatawase', growing degree days(GDD) after 30 days from full bloom and July precipitation in 'Yumyeong', and annual mean temperature(BIO1), BIO7, and July precipitation in 'Kawanakajima Hakuto'. Of these, major environmental factors affecting fruit width in more than two cultivars were BIO7 and July precipitation.

Key words: BIOCLIM, Growing Degree Day, Meteorology

1. 서 론

기후변화는 자연생태계뿐만 아니라, 농업에 장기적으로 위협을 제기한다(Porter *et al.*, 2014; Thomas *et al.*, 2004). 과수의 경우, 주로 노지에서 재배되기 때문에, 재배의 전 과정이 환경적 요인에 민감하고 영향을 가장 많이 받는 분야이기도 하다.

환경적 영향 중에서 연차간의 기상은 모든 식물에서 생물계절의 시작단계에 큰 영향을 미친다. 또한, 기상특성과 생물계절의 상호관계는 작물의 기후변화의 영향 평가의 하나의 중요한 수단으로 연구되고 있다. 재배적 측면에서도 개화 및 발아 등 몇 가지 생물계절 단계는 매우 중요하다. 일반적으로 과수는 생물계절적으로 가장 중요한 단계인 발아기, 개화기(만개기), 착색기, 수확기로 구분할 수 있는데(Gregory and Robert, 2000), 이 생물학적 단계간의 기간은 품종, 기후, 그리고 재배지에 의해서 많이 달라진다. 또한, 이러한 발달단계의 기간은 생산량과 관련이 있어, 포도에서는 빠른 생물계절은 일반적으

로 많은 수확량을 생산한다고 알려져 있다(Jones, 1997; Mullins *et al.*, 1992). 한편, 복숭아에서는 만개 후 30일까지의 온도가 높으면 성숙일수가 짧아지고, 과실크기가 작아진다고 보고하였다(Lopez and DeJong, 2007).

과실의 크기와 수확 시기는 시장에서 가격과 밀접한 관계가 있다. 이러한 이유로, 많은 연구자들이 만개일, 성숙일수, 생육도일 등의 요인들을 이용한 예측 연구를 수행해 왔다(Hüsnü and Leyla, 2007; Elisa *et al.*, 2014). 과실생장 기간은 이른 봄철의 온도와 관련이 있다는 연구가 복숭아(Weinberg, 1948), 사과(Austin *et al.*, 1999)와 살구(Brown, 1952)에서 수행되었다. DeJong과 Goudriaan(1989)은 복숭아 과실생장의 이중성장곡선은 상대적 성장률(Relative Growth Rate; RGR)으로 설명하였고, 탄수화물의 요구량으로 과실 생장의 크기를 측정할 수 있다고 하였다.

이에 본 연구는 수원에서 약 15년간 복숭아 '창방조생', '유명', '천중도백도'와 '장호원황도'의 각각의 만개기와 과실 생

[†] Corresponding author: applespur@korea.kr

Received November 1, 2016 / Revised November 21, 2016 / Accepted November 28, 2016

장에 영향을 미치는 환경요인을 알아보기와 과실 성장 자료와 기상자료를 이용하여 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 만개기, 과실 성장 및 기상 자료 분석

복숭아(*Prunus persica*) ‘창방조생’, ‘유명’, ‘천중도백도’, ‘장호원황도’의 만개일과 만개 후 일수별 과실 생장은 수원 소재 국립원예특작과학원에서 2000년부터 2014년까지 조사된 자료를 이용하였다. 2006년과 2010년에는 만개일은 조사되었으나, 과실성장 조사가 이루어지지 않아 과실 성장 분석에서는 제외하였다. 연도별로 과실 크기를 조사한 날짜와 간격이 달랐기 때문에 조사된 자료를 조사 간격의 일수로 나누어 일 성장량으로 산출하여 표기한 후, 만개 후 10일 간격의 자료로 조정하여 분석에 이용하였다. 과실 비대는 착과량에 의해 영향을 크게 받기 때문에, 적과가 완료된 만개 35일 후부터 자료 분석을 실시하였다. 생육기간 동안의 기상 자료는 2000년부터 2014년까지 기상청(KMA) 수원기상대에서 측정된 기상 요인 중에서 평균기온, 최고기온, 최저기온, 강수량, 일조시간 등의 일별 자료를 이용하였다. 만개일과 과실의 크기와 정 상관관계인 최종 황경(Hüsnü와 Leyla, 2007)을 각 기상요인들과 R 프로그램을 이용하여 상관 분석을 실시하였다.

2.2 생물기후변수(BIOCLIM)

생물학적으로 좀 더 의미있는 변수들을 만들기 위하여 기후 자료로 부터 19개의 생물기후 변수들을 만들었다(Table 1). 생물기후 변수들은 월단위 온도와 강수량으로 부터 구하였는데, 이러한 변수들은 주로 ‘생태적 지위 모델링’(예를 들어 BIOCLIM, GARP)에 이용되어 왔다. 생물기후 변수들은 연간 추세(예를 들어 연 평균기온, 연 강수량), 계절적 변동(예를 들어 기온, 강수량의 연간 범위), 그리고 극 또는 한계 환경변수(예를 들어 가장 춥거나 더운 달, 강수량이 많거나 건조한 분기)들을 대표한다(www.worldclim.org/bioclim).

2.3 생육도일(Growing Degree Days; GDD)

Grossman와 DeJong(1994)이 제안한 일 최고기온과 최저기온을 이용한 방정식으로 생육도일을 계산하였다. 개화시작의 기본임계온도는 이전의 복숭아 연구에서와 같이 7°C 기준으로 하였다(Zalom *et al.*, 1983; DeJong and Goudriaan, 1989; Marra *et al.*, 2002; Day *et al.*, 2008).

Table 1. The code number and mean of BIOCLIM

Code no.	Mean
BIO1	Annual mean temperature
BIO2	Mean diurnal range (Mean of monthly (max temp. - min temp.))
BIO3	Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Temperature seasonality (standard deviation * 100)
BIO5	Max temperature of warmest month
BIO6	Min temperature of coldest month
BIO7	Temperature annual range (BIO5~BIO6)
BIO8	Mean temperature of wettest quarter
BIO9	Mean temperature of driest quarter
BIO10	Mean temperature of warmest quarter
BIO11	Mean temperature of coldest quarter
BIO12	Annual precipitation
BIO13	Precipitation of wettest month
BIO14	Precipitation of driest month
BIO15	Precipitation seasonality (Coefficient of variation)
BIO16	Precipitation of wettest quarter
BIO17	Precipitation of driest quarter
BIO18	Precipitation of warmest quarter
BIO19	Precipitation of coldest quarter

$$GDD = \sum_1^n \left[\frac{(t_{\max} + t_{\min})}{2} \right] - b$$

* Σ : 1부터 n까지 합, t_{\max} : 일 최고온도, t_{\min} : 일 최저온도,
b : 임계온도(7°C)

3. 결과 및 고찰

3.1 복숭아 만개기에 영향을 미치는 환경요인

수원지역에 재배되고 있는 복숭아 ‘창방조생’, ‘유명’, ‘천중도백도’, ‘장호원황도’ 각각의 조사기간, 만개일과 최종 황경은 Table 2와 같다. ‘창방조생’과 ‘유명’은 2006년을 제외한 8년간의 조사가 이루어졌으며, 만개일은 각각 4월 20일과 21일이었다. ‘천중도백도’, ‘장호원황도’의 조사는 2010년을 제외

Table 2. Full bloom data and final fruit width for each cultivar of peach in Suwon

Cultivar	Survey period	Full bloom date
Kurakatawase	2000~2008	April 20±5.3
Yumyeong	2000~2008	April 21±4.8
Kawanakajima Hakuto	2009~2014	April 26±6.3
Changhowon Hwangdo	2009~2014	April 24±6.2

* 2006, 2010: No data.

한 5년간 조사되었고, 만개일은 각각 4월 26일과 24일이었다. 수원지역에서 복숭아 4품종의 만개기를 기상, 생물기후변수 및 생육도일과 상관 분석한 결과, 품종에 따라 조사기간의 차이가 있지만 ‘창방조생’과 ‘장호원황도’ 품종에서 만개기가 3월의 평균온도와 관련이 있는 것으로 나타났다(Table 3). 3월의 평균기온이 만개기와 부의 상관을 나타내었는데, 이는 만개기를 줄리안 데이로 변환시켜 분석한 결과이므로, 3월의 평균기온이 높을수록 만개기가 빨라지는 결과를 보였다. 이러한 결과는 다른 품종에서도 유사하게 보고되었는데, 사과에서는 3월과 4월의 평균기온이 높으면 개화기가 빨라진다고 하였고 (Fujisawa and Kobayasho, 2007), 배나무는 3월의 일평균기온이 복숭아는 3월의 일평균 최저기온이 개화기와 상관이 높다고 발표하였다(Choi and Moon, 2009). 3월의 기온이 만개기와 상관이 높은 것은 기온이 높을수록 발아기부터 개화기 등 빠른 생물계절로 인해 식물의 양·수분 이동이 먼저 이루어진 결과로 사료된다.

3.2 과실 성장에 영향을 미치는 환경요인

만개 후 약 35일 이후부터 과실의 횡경을 10일 간격으로

Table 3. Correlation coefficient between full bloom date and average temperature in March in peaches

Cultivar	Average temperature in March	N
Kurakatawase	-0.7308*	8
Yumyeong	-0.5773 ^{NS}	8
Kawanakajima Hakuto	-0.8739 ^{NS}	5
Changhowon Hwangdo	-0.9257 *	5

* Significant at $P=0.05$.

^{NS} Not significant.

조사하였으며, 그 성장 곡선은 Fig. 1과 같다. 일반적으로 복숭아는 이중 S자 곡선의 성장을 하는 것으로 알려져 있지만, 품종에 따라 조생종에서는 생육기간이 짧아 명확한 이중 S자 곡선을 나타내지는 않는다(DeJong and Goudriaan, 1989). 본 연구에서도 ‘창방조생’의 경우, 만개 후 약 90일 후 수확이 되어 이중 S자 곡선을 나타내지 않았으며, ‘장호원황도’ 품종이 전형적인 이중 S자 성장곡선을 나타내었다.

과실의 횡경에 영향을 미치는 환경요인 중에서 높은 상관관계를 나타내는 요인들을 Table 4로 나타내었다. ‘창방조생’의 경우, BIO2(평균일교차)와 BIO7(연간 온도범위)이 과실횡경에 부의 영향을 미쳤다. BIO2의 경우, 평균일교차를 의미하고, BIO7은 연간 온도범위를 의미하는 바, 이는 ‘창방조생’ 품종의 경우 최고온도와 최저온도의 일교차가 심할수록 횡경이 작아진다는 것을 의미한다. 일반적으로 탄수화물, 질소 그리고 수분이 어떻게 과실 성장에 영향을 미치는지 연구되었으나(Pavel and DeJong, 1993; Grossman and DeJong, 1995a,b; Berman and DeJong, 1996; Rufat and DeJong, 2001), 일교차에 의한 영향 또한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. ‘유명’ 품종은 7월의 강수량과 만개 후 30일까지의 생육도일이 영향을 미쳤다. 복숭아에서 기본임계온도 7°C의 누적시간은 오갈병, 개화기 및 수확시기 예측에 이용되고 있는데(Litschmann *et al.*, 2008), 기본임계온도 7°C 기준으로 만개 후 30일까지의 생육도일과 부의 상관관계는 Lopez와 DeJong(2007)이 발표한 만개 후 30일까지의 누적온도가 높으면 복숭아나무는 과실생장에 필요한 최대의 영양분을 공급할 수 없기 때문에 과실크기가 작아진다는 연구결과와 일치하였다.

‘천중도백도’는 BIO1(연평균온도), BIO7, 7월의 강수량 그리고 5월의 일조시간이 횡경에 영향을 미쳤다. BIO1의 경우 연평균기온이 높으면 횡경이 증가함을 의미하고, BIO7과 7월의 강수량의 상관관계는 각각 ‘창방조생’과 ‘유명’ 품종과 같

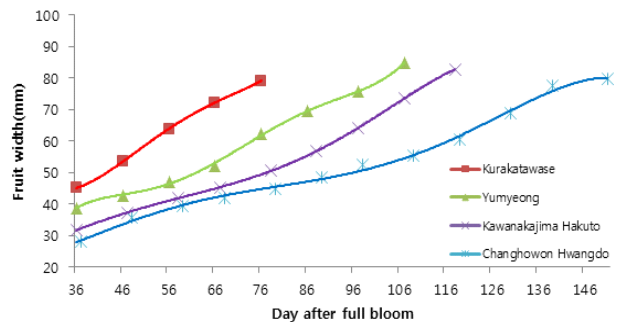


Fig. 1. Annual diagram of fruit width in accordance with day after full bloom in each peach.

Table 4. Correlation coefficient between final fruit width and environmental factors in peaches

Cultivar	BIO1	BIO2	BIO7	Prc07 ¹⁾	Sun05 ²⁾	GDD30 ³⁾
Kurakatawase	-	-0.727*	-0.752*	-	-	-
Yumyeong	-	-	-	-0.712*	-	-0.711*
Kawanakajima Hakuto	0.935*	-	-0.996**	-0.894*	0.979**	-
Changhowon Hwangdo	-	-	-	-	-	-

* Significant at $P=0.05$, ** Significant at $P=0.001$.

¹⁾ Prc07 = July precipitation, ²⁾ Sun05 = Total sunshine hours in May, ³⁾ GDD30 = Growing degree day accumulation at 30 days after full bloom.

은 경향을 나타냈다. ‘장호원황도’ 품종은 다양한 분석에도 불구하고, 짧은 조사기간으로 인하여 환경요인에 의한 상관관계를 나타내지 않았다.

Table 4에서 제시한 환경요인들을 각 품종 간 서로 교차상관을 분석하였는데(Table 5), ‘창방조생’과 ‘유명’ 품종은 각각의 환경요인이 상관관계를 나타내지 않았다. 이는 각각의 환경요인들이 독립적으로 과실 횡경에 영향을 미친다고 분석되었다. 반면에, ‘천중도백도’ 품종은 BIO1과 BIO7, BIO1과 5월의 일조시간, BIO7과 5월의 일조시간이 각각 높은 상관관계를 나타내어, 두 요인 중에서 하나의 요인만 선택하였다. 그 결과, ‘천중도백도’ 품종은 BIO7과 7월의 강수량이 횡경에 영향을 미치는 요인으로 분석되었다. 종합적으로, 서로 교차상관을 나타내지 않고, 두 품종 이상에서 과실 횡경에 영향을 미치는 환경요인은 BIO7과 7월의 강수량이었다.

Hüsni와 Leylas(2007)는 복숭아 과실의 횡경이 과중 예측을 하는 요소 중에 하나라고 발표하였으며, 살구(Arzani *et al.*, 1999)나 배(Ortega *et al.*, 1998)에서도 과실의 횡경이 과중과 높은 상관관계를 나타냈다고 보고하였다. 이는, 과실의 횡경

에 영향을 미치는 환경 요인들이 결국 과실의 과중을 결정하는 결정인자로서 이러한 환경 요인들의 분석은 최종 과중 결정에 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

최근의 기후변화는 과수의 생물계절 변화에 영향을 미치고 있다. 복숭아의 만개기와 과중은 생산자의 재배적 측면에서는 중요한 요소이다. 본 연구에서는 복숭아 4품종에서 만개기와 과실 생장에 영향을 미치는 환경요인을 알아보고자 수행되었다. ‘창방조생’과 ‘장호원황도’ 품종에서 만개일을 결정하는 환경 요인은 3월의 평균기온이었다. 만개 후 약 35일 이후부터의 과실 성장 곡선은 ‘장호원황도’ 품종에서 이중 S자 곡선으로 나타났으며, 과실 횡경에 영향을 미치는 환경요인들은 ‘창방조생’ 품종은 BIO2, BIO7, ‘유명’ 품종은 GDD30과 7월의 강수량이었다. 또한, ‘천중도백도’ 품종은 BIO1, BIO7, 7월 강수량, 5월의 일조시간이 과실 횡경과 상관관계를 나타내었다. 이중에서, 서로의 요인이 교차상관을 나타내지 않으면

Table 5. Cross-correlation (Pearson correlation coefficients, r) among selected variables on environmental factors in each peach

Cultivar	Variable	BIO1	BIO2	BIO7	Prc07 ¹⁾	Sun05 ²⁾	GDD30 ³⁾
Kurakatawase	BIO7	-	0.249	-	-	-	-
Yumyeong	GDD30	-	-	-	0.384	-	-
Kawanakajima Hakuto	BIO7	-0.931	-	-	-	-	-
	Prc07	-0.608	-	0.641	-	-	-
	Sun05	0.888	-	-0.919	-0.415	-	-

* Notes: Variable with $r \geq \pm 0.75$ was in the same.

¹⁾ Prc07 = July Precipitation, ²⁾ Sun05 = Total sunshine hours in May, ³⁾ GDD30 = Growing degree day accumulation at 30 days after full bloom.

서 두 품종 이상에서 과실 황경에 영향을 주는 환경요인은 BIO7과 7월의 강수량이었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ010102-2016)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Arzani K, Lawes S, Wood D. 1999. Estimation of 'Sundrop' apricot fruit volume and fresh weight from fruit diameter. *ACTA HORT* 488:321-326.
- Austin PT, Hall J, Gandar PW, Warrington IJ, Fulton TA, Halligan EA. 1999. A compartment model of the effect of early-season temperatures on potential size and growth of 'Delicious' apple fruits. *Annals of Botany* 83:129-143.
- Berman ME, DeJong TM. 1996. Crop load and water stress effects on fruit fresh and dry weight in peach (*Prunus persica*). *Tree Physiology* 16:859-864.
- Brown DS. 1952. Climate in relation to deciduous fruit production in California. V. The use of temperature records to predict the time of harvest of apricots. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 60:197-203.
- Choi CM, Moon SG. 2009. Changes of flowering time in the weather flora in Busan using the time series analysis. *Journal of the Environmental Science* 18:369-374.
- Day K, Lopez G, DeJong TM. 2008. Using growing degree hours accumulated thirty days after bloom to predict peach and nectarine harvest date. VIIIth ISHS on Modelling in Fruit Research. *ACTA HORT* 80:163-166.
- DeJong TM, Goudriaan J. 1989. Modeling peach fruit growth and carbohydrate requirements: Reevaluation of the double-sigmoid growth pattern. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 114:800-804.
- Elisa B, Noferini M, Stefanelli D, Costa G. 2014. A new simple modeling approach for the early prediction of harvest data and yield in nectarines. *Scientia Horticulturae* 172:1-9.
- Fujisawa M, Kobayashi K. 2007. Accelerating phenology of apple trees in Japan as influenced by rising air temperature. *J Agric Meteorol* 63:185-191.
- Gregory VJ, Robert ED. 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am J Enol Vitic* 51:249-261.
- Grossman YL, DeJong TM. 1994. Peach-a simulation-model of reproductive and vegetative growth in peach-trees. *Tree Physiology* 14:329-345.
- Grossman YL, DeJong TM. 1995a. Maximum fruit growth potential and seasonal patterns or resource dynamics during the growth of individual fruit. *Annals of Botany* 75:533-560.
- Grossman YL, DeJong TM. 1995b. Maximum fruit growth potential following resource limitation during peach growth. *Annals of Botany* 75:561-567.
- Hüsni D, Leyla D. 2007. Prediction model for estimating peach fruit weight and volume on basis of fruit linear measurements during growth. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 15:65-69.
- Jones GV. 1997. A synoptic climatological assessment of viticultural phenology. Dissertation, University of Virginia, Department of Environmental Sciences, pp 394.
- Litschmann T, Oukropec I, Křižan B. 2008. Predicting individual phenological phases in peaches using meteorological data. *Hort Sci (Prague)* 35:65-71.
- Lopez G, DeJong TM. 2007. Spring temperatures have a major effect on early stages of peach fruit growth. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 82:507-512.
- Mullins MG, Bouquet A, Williams LE. 1992. *Biology of the grapevine*. Cambridge University Press, pp 239.
- Marra FP, Inglese P, DeJong TM, Jhonson RS. 2002. Thermal time requirement and harvest time forecast for peach cultivars with different fruit development periods. *Proc. 5th IS on Peach. ACTA HORT* 592:523-529.
- Ortega S, Fuentes S, Retamales JB. 1998. Models for predicting fruit diameter of Packham's Triumph Pears. *ACTA HORT* 475:295-302.
- Pavel EW, DeJong TM. 1993. Relative growth rate and its relationship to compositional changes of nonstructural carbohydrates in the mesocarp of developing peach fruits. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118:503-508.

- Porter JR, Xie L, Challinor AJ, Howden M, Iqbal MM, Lobell DB, Travasso MI. 2014. Chapter 7: Food Security and Food Production. In: *Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC 5th Assessment Report*, (eds Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL), Cambridge University Press, pp 485-533.
- Rufat J, DeJong TM. 2001. Estimating seasonal nitrogen dynamics in peach trees in response to nitrogen availability. *Tree Physiology* 21:1133-1140.
- Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, Erasmus BFN, Siqueira MF, Grainger A, Hanan L, Hughes L, Huntley B, Jaarsveld AS, Midgley GF, Miles L, Ortega-Huerta MA, Peterson AT, Philips OL, Williams SE. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145-148.
- Weinberg JH. 1948. Influence of temperature following bloom on fruit development period of 'Elberta' peach. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 51:175-178.
- Zalom FG, Goodell PB, Wilson LT, Barnett WW, Bentley WJ. 1983. Degree-days: The calculation and use of heat units in pest management. In: Leaflet 21373. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Berkeley.
- www.worldclim.org/bioclimate