

기후변화가 원예작물의 성장과 품질에 미치는 영향 (과수를 중심으로)

서형호
농촌진흥청 원예연구소 과수재배과

Growth and Quality of Horticultural Crops Affected by Climate Change (Focusing to Fruit Tree)

Hyeong-Ho SEO
Fruit Tree Cultivation Division, National Horticulture Research Institute,
RDA, Suwon 440-706, Korea.

서 론

지구온난화와 관련된 기후변화가 원예작물에 미치는 영향을 살펴보면, 첫째, 원예작물의 성장과 발육에 영향을 주어 발아기, 개화기, 수확기 등 생육단계를 전반적으로 빠르게 하여, 최종 수확물의 품질과 저장력을 변화시키며(임 등, 1990; Jang *et al.*, 2002), 겨울철의 이상난동은 빈번한 동해 피해와 초기 발육불량을 가져오고, 봄철 잦은 강우나 건조는 작물의 개화기에 수분·수정에 영향을 주어 착과율을 떨어뜨리기도 한다. 과수의 경우, 성숙기 고온이 과실의 성숙과 착색을 불량하게 한다. 또한 기후변화는 과실의 발육환경을 변화시켜 배의 유채과 발생이나 포도의 화진현상 같은 생리장애의 한 원인이 되기도 한다. 둘째로, 기후변화는 원예작물의 성장환경을 변화시켜 각 작물의 주산지 이동과 재배치에 영향을 준다(Seo, 2003). 호냉성 채소의 경우, 기온이 높아지면, 생리장애와 병해가 빈번하게 발생하게 되어 결국 수량의 감소를 가져오게 되므로 재배지와 재배시기의 이동이 이루어질 수밖에 없다(윤 등, 2001). 이것은 재배농민들로 하여금 새로운 경작지로 이동하거나 또는 새로운 작물과 작형의 전환을 요구하게 되고 이로 인해 많은 시행착오와 경영비의 손실을 가져오게 된다. 셋째로, 기후의 변화는 작물의 안정생산 및 농가 소득에 증대한 영향을 미치고 있다. 빈번한 기상재해는 일부 작물의 원활한 수급에 심각한 영향을 주고 있으며, 기온의 상승은 높은 온도를 요구하는 과채류의 수량 증가를 가져올 수는 있으나 대부분의 원예작물이 직간접으로 다양한 재배 상 문제점을 발생시킬 수 있다. 이상의 세 가지로 요약하여 살펴 본 원예작물에 대한 기후변화의 영향은 아주 다양하며, 실제 생산현장에서도 기후변화의 영향을 조금씩 느껴가고 있다. 따라서 기후변화에 능동적으로 대응하기 위해서는 작물의 생산환경과 생산성 변화 추이를 관찰하면서 그 영향을 인지하고, 완충할 수 있는 최선의 방법을 찾아가야 할 것이다. 본 고에서는 원예작물 중 노지에서 경계수령이 다할 때까지 재배되기 때문에, 기후변화의 영향을 가장 많이 받을 수 있는 과수를 중심으로 기후변화가 과수의 성장과 품질에 미치는 영향을 기술하고자 한다.

본 론

1. 과수 생육시기의 변화

윤(1993)은 우리나라의 연평균기온이 3~4 °C 상승하면 작물기간이 전국적으로 약 40일 정도 늘어나며, 적산온도는 현재 2,500~4,500 °C에서 1,400~1,900 °C가 증가되며 저온에 의한 생육 제한이 완화되고 작물의 발육속도가 빨라져 생육기간이 전체적으로 단축될 것이라고 보고하였다. 이러한 변화는 과수의 개화기를 앞당기고 때로는 개화기간을 연장시키며, 서리 피해 등 자연재해에 노출되는 시간을 길게 할 뿐만 아니라, 결실불량 현상을 유발하여 작황에 크게 영향을 주며, 나아가

서는 숙기와 저장력까지 영향을 미쳐 수급을 불안정하게 하는 요소로 작용할 것으로 여겨진다 (Jang *et al.*, 2002).

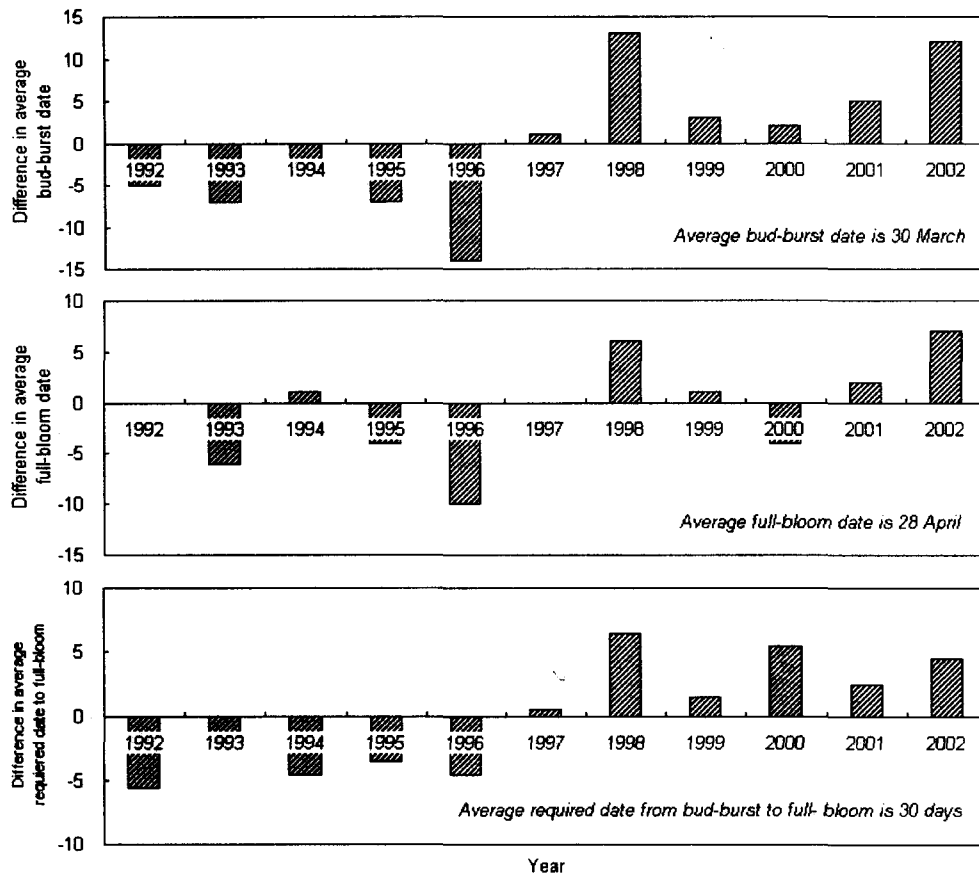


Fig. 1. Differences in average date of bud-burst, full-bloom, and required to full-bloom in 'Fuji' apple from 1992 to 2002 in Suwon.

생육상황 변화의 한 예로, 1992년부터 2002년까지 수원의 사과 '후지' 품종의 발아기, 만개기, 발아에서 만개기까지의 소요일수를 살펴보면, 발아기는 1997년을 기점으로 평균보다 빨라지는 경향을 보고 있으며, 발아해서 만개하기까지 소요되는 일수는 전체 평균보다 길어지는 경향을 나타낸다는 것을 알 수 있다(Fig. 1).

2. 과수 주산지 변화

사과는 현재보다 2°C만 올라간다고 하여도 현재의 사과 주산지의 일부는 폐원의 위기에 몰릴 수도 있다. 현재 우리나라에서 사과는 연평균기온 13.5°C 이하인 곳에서 재배되고 14°C 이상인 곳에서는 재배하지 않는다. 현재 대구의 연평균기온이 13.2°C이고, 칠곡은 12.3°C인데, 2°C가 상승되면 각각 15.2°C, 14.3°C가 되어 사과의 재배 부적지가 된다. 사과는 자발휴면에 요구되는 온도는 7°C 이하로서 0.6~4.4°C가 알맞다고 알려져 있다. 이 휴면에서 깨는 데 요구되는 저온기간은 1,400시간이다(농업기술연구소, 1992). 여기에 만족할 수 있는 곳은 연평균기온 13°C 이하로서 겨울 온도가 내륙 또는 분지의 특징을 지닌 곳이어야 한다. 배, 복숭아, 포도, 단감은 안전재배지역이 확대될 것이다. 남부해안 가까운 곳에는 참다래와 같은 난지과수의 재배가 일반화되고, 제주도

는 아열대과수 재배가 가능할 것이다.

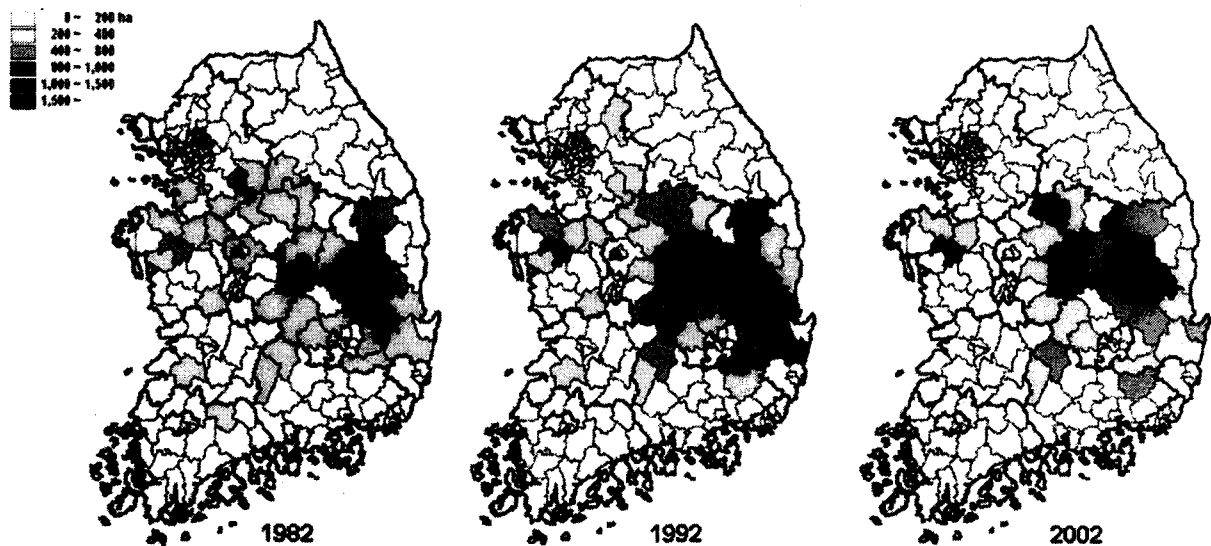


Fig. 2. Changes of 'Fuji' apple cultivation area in 1982, 1992, 2002

우리나라 과수 중 가장 많은 면적을 차지하고 있는 사과의 재배면적 변천을 살펴보면, 1980년대 46,100 ha 이었던 재배면적이 1990년에는 48,800 ha에 이르면서 적지의 구분 없이 전국에 걸쳐 재배되었으나, 생산량 과다와 타 과종 대비 가격의 폭락으로 2001년에는 26,300 ha로 급감하게 되면서 재배지역은 일부지역으로 집중되는 것으로 조사되었다. 연도별 사과 재배지역 변화를 살펴보면, 1982년에는 경기 일부, 충북 전역, 충남 일부, 전남·북 일부, 경·남북지역에 형성되어 있었으나, 1992년에는 전체적인 재배면적의 감소와 더불어 경북지역으로 재배면적이 집중되는 양상을 보였다. 이러한 재배면적의 집중은 2002년에는 더욱 뚜렷하여 경북 북부지역, 충주를 중심으로 한 중부지역, 예산과 서산을 중심으로 한 서해안지역으로 집중되고 있으며, 한때 재배면적이 많았던 대구 인근지역의 감소가 뚜렷하였으며, 전반적으로 재배지역이 점차 북상하는 것을 알 수 있다(농림부 1983, 1987, 1992, 1997, 2002). 이러한 사과 재배지역의 변화는 전체 재배면적의 감소나 상대적인 수익성 감소에서 그 원인을 찾을 수도 있으나, 근본적으로는 장기간의 재배기간 경과에 따라 사과의 기온요구도 등 기후조건에 의해 품질이 떨어지고, 재배가 불리한 지역은 도태되고, 재배에 적합한 지역은 활성화되면서 나타난 현상이라고 볼 수 있다(Kim 등, 1991).

또한 복숭아도 재배지역이 전국으로 확대되고 있는 추세이다. 최근 복숭아의 수익성이 증대되고, Fig. 3에서 알 수 있듯이 동해피해 위험과 빈도가 줄어들자 재배면적의 양적 성장뿐만 아니라 재배지역도 경기도 북부, 충북 북부, 강원도 일대까지 확장되었다. 그러나 2001년 겨울과 휴면이 끝나는 시점에 내습한 저온으로 인해 경기, 강원, 충북의 약 3,600 ha가 직·간접적인 동해피해를 받았다. 동해의 피해는 급격한 저온으로 인한 물리적인 피해가 대부분이나 최근에는 발아기 이후의 저온으로 인한 과수의 고사와 생육부진을 많이 목격할 수 있는데, 그 예로 올해 김제지역의 포도에서 발생한 저온피해를 들 수 있다. 김제지역은 동해로부터 안전한 지역으로 알려져 있었으나, 지난해의 잦은 강우로 인한 일조량이 부족으로 수체 내 저장양분의 축적이 충분히 이루어지지 않은 상태에서 봄철에 이상난동이 발생함으로써 많은 포도원에서 저온피해를 입었다. 이처럼 최근의

저온으로 인한 피해는 재배안전지대를 불문하고 발생되고 있으며, 전년도와 익년도 기후환경의 복합적인 영향에 의해 이루어지고 있다. 앞으로도 이러한 이상난동으로 인한 과수의 저온피해는 전국적으로 빈번하게 발생할 것으로 판단된다.



Fig. 3. Interpolations of danger zones of freezing damage in 'Hakuto', 'Kurakatawase', 'Daitoryo', 'Mibaekdo', 'Wolmi', 'Yumyeong', 'Changhown Hwangdo' peaches.

3. 기후조건이 과수의 성장과 품질에 미치는 영향

과수원내 재배환경은 국지기후에 의하여 영향을 받으며, 미기상을 형성하여 수체생장과 결실, 비대, 품질 및 수확기에까지 영향을 미친다(황과 윤, 1993). 기상요소가 과실발육과 특성에 영향을 미치는 예로서 과실비대 및 과형변화를 들 수가 있는데, Westwood(1962, 1993)는 과형의 결정이 만개 후 16일 이내에 결정되며, L/D비의 변화는 개화 후 60~100일 동안 일어난다고 하였다. 사과는 착색요소 중 안토시아닌의 생성이 기온과 일사량 등에 영향을 받으며, 성숙기 일 평균 기온이 12~13℃일 때에 착색이 가장 양호하였고, 서 등(2002)의 보고에 의하면, 4~10월의 최저기온과 가장 상관이 큰 것으로 나타나고 있다. 또한 '후지' 품종에 있어서 과실의 당도는 일조시간이 많을수록, 경도는 평균기온이 낮을수록 높아진다고 하였다. 이러한 결과를 종합해보면, 생육기의 기후요소는 과실의 품질에 커다란 영향을 주고 있으며, 생육기의 기후가 변하면, 과실의 품질도 바뀔 수 있다는 것을 알 수 있다. Fig. 4.는 해발고도와 '후지' 사과의 과형지수간의 관계를 나타내고 있다. 해발고도가 높을수록 사과의 과형이 장원형이 되는 것을 알 수 있는데 점진적으로 기온이 상승하고, 국지기상과 해발별 기온벨트가 바뀌면 현재 과형이 좋은 사과 생산 지대도 가까운 미래에는 조건이 바뀔 수 있다는 것을 알 수 있다.

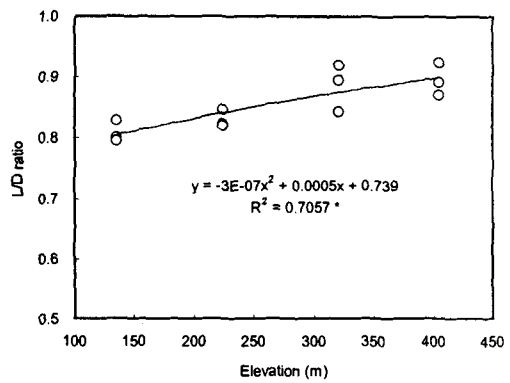


Fig. 4. Regression of L/D ratio in 'Fuji' apple on elevation in Yecheon, Kyungbuk in 2001.

최근 지구온난화의 영향을 분석하기 위해서 임과 이(2002)는 원예연구소에서 라이조트론 내에 기온과 CO₂가스의 농도를 조절하여, 과수의 성장과 과실의 품질을 비교 검토하고 있다. Table 1.은

가온과 CO₂ 농도를 배가하여 각 처리구에서 수확한 과실의 품질을 분석한 것이다. 지속적으로 외기보다 5℃ 높게 가온 한 처리(온난화 처리)에서 수확한 과실은 외기와 똑같은 기온(정상기온)을 유지한 처리구에 비하여 과형지수가 낮고, 당도가 떨어지며, 특히, anthocyanin 함량과 Hunter a 값이 아주 낮아 전혀 착색이 이루어지지 않거나 착색이 지연되는 것을 알 수 있다. 외기보다 CO₂를 두 배 증가시켜 공급한 처리구와 기온상승+CO₂상승 복합처리구 모두 과형지수가 낮고, 착색이 불량하였다. 이상의 결과로 볼 때 지구온난화 즉, 기후변화는 사과 품질에 불리한 영향을 줄 것이라는 것을 알 수 있다.

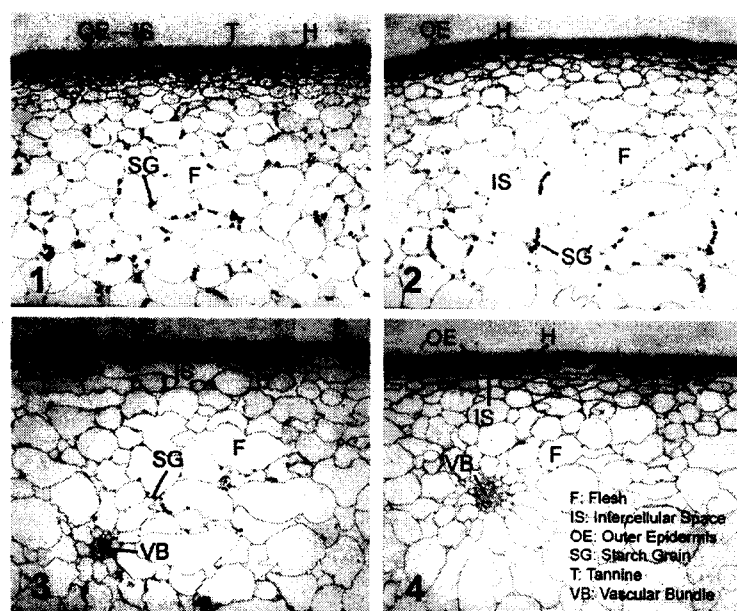
Table 1. Effects of 5℃ heating and/or supplying twice CO₂ concentration contrast with ambience conditions on qualities of 'Fuji' apple fruits in lyzotron.

Treatment contrast with outdoor conditions	Weight (g)	L/D ratio	Firmness (kg/5mm)	Soluble solids (°Bx)	Acidity (%)	Anthocyanin (µg/cm ²)	Hunter value		
							L	a	b
Ta, 1xCO ₂	445.3	0.96	0.85	14.7	2.2	16.0	43.8	28.0	13.9
Ta, 2xCO ₂	267.6	0.98	1.12	14.0	3.0	6.8	61.9	4.3	24.8
Ta+5℃, 1xCO ₂	418.5	0.88	0.88	12.2	2.5	3.0	61.1	0.5	21.1
Ta+5℃, 2xCO ₂	335.4	0.83	1.02	13.4	2.8	3.6	56.9	9.0	20.0

기온의 차이는 과피조직의 구조에도 영향을 주는데, Fig. 5는 생육기 평균기온 조건별 사과 '쓰가루' 과실의 세포조직을 비교한 것으로 생육기 평균기온이 약 1℃ 높아지면서, 각각의 세포조직은 확연한 차이를 나타낸다. 생육기 평균기온이 가장 높은 곳에서 수확한 '쓰가루' 표피층은 3~4층으로 구성되었으나 평균기온이 낮아질수록 표피층이 5~6층으로 되어 있어서 기온이 낮을수록 과실의 표피가 두꺼운 것을 알 수 있었으며, 조직 내 전분의 분포도 생육기 평균기온이 낮은 과실의 세포조직에서 많이 관찰되어 뚜렷한 차이를 보였다. 이것은 생육기 평균기온에 따른 '쓰가루'의 생육단계의 빠르고 늦음과 관련이 있을 것으로 생각된다. 또한 평균기온이 높은 곳의 세포에는 전분이 거의 눈에 띄지 않아 전분이 당으로 전환되었음을 알 수 있었다. 기온에 따른 세포조직은, 생육기 평균기온이 높은 곳의 세포조직이 낮은 곳보다 세포간극이 크고 세포조직은 영성한 특징을 보이고 있어, anthocyanin의 누적에 불리한 구조로 되어 있다. 이러한 결과를 종합해 볼 때, 기온은 과피조직, 전분 분포, 당 함량, anthocyanin 축적을 위한 공간 구성에도 영향을 줄 것으로 생각된다(Seo, 2003).

결 론

기후변화가 원예작물에 미치는 영향에 대한 관심과 연구는 아주 일부분으로 국한되어 있으며, 생산현장의 재배가들도 정확하게 인지하지 못하는 상황이다. 원예작물은 작물의 종류가 다양하여, 일부 작물은 기온상승이 유익한 조건으로 작용하기도 하고, 시설재배 등은 연료비가 절감되는 등 기후에 영향을 극히 적게 받기 때문에 다른 농업분야에 비하면 기후변화의 영향을 적게 받을 수도 있다. 그러나 과수 등 영년생 작물은 한 번 심으면 10여년 이상 경제수령이 다할 때까지 제자리에서 재배되어야 하므로 기후의 변화는 개원, 과종의 선택, 품종의 선택, 작형의 선택에 모두 중요한 의미를 가지므로 기상요소와 생장 및 품질간의 관계를 정량화하여 우리나라의 복잡한 지형이 가져다주는 다양한 기후자원을 적절히 활용하도록 노력해야 하겠다.



Pic ture ID	Eleva tion (m)	Air temperature April to August (°C)				Cumulativ e rainfall (mm)	Cumulative solar radiation (MJ/m ²)	Soluble solids (°Bx) ^z	Hunter a ^z	Firmness (kg/5mm ϕ) ^z
		Avg.	Max.	Min.	Diurnal range					
1	540	17.7	23.0	13.4	9.6	1,105	2,415	12.8	-8.4	1.25
2	400	18.7	24.7	13.9	10.8	1,228	2,173	12.8	-10.1	1.19
3	290	18.9	25.9	12.3	13.6	693	2,456	13.3	-11.3	1.17
4	100	19.5	25.7	13.9	11.8	1,020	1,424	13.2	-10.9	1.19

^z harvesting time : August 30

Fig. 5. Cross sectional features of 'Tsugaru' apples influenced by different climatic conditions described in 4 orchards seen by optical microscope in August 2002.

인용문헌

Jang, H.I., H.H. Seo and S.J. Park. 2002. Strategy for Fruit Cultivation Reseach under the Changing Climate. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 20(3):270-275.

Kim, J.H. and 28 other authors. 1991. *Specifics in Pomology*. 3rd ed. Hyangmunsa. Seoul. Korea. pp.47-81.

Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries. 1983. *Statistical survey of fruit trees in 1982*. Dongyangmunhwainswae Co. Seoul. Korea.

Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries. 1987. *Statistical survey of fruit trees in 1987*. Dongyangmunhwainswae Co. Seoul. Korea.

Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries. 1992. *Statistical survey of fruit trees in 1992*.

Imungiup Co. Seoul. Korea.

Ministry of Agriculture, and Forestry. 1997. *Statistical survey of fruit trees in 1997*. Dongyangmunhwainswae Co. Seoul. Korea.

Ministry of Agriculture, and Forestry. 2002. *Statistical survey of fruit trees in 2002*. Dongyangmunhwainswae Co. Seoul. Korea.

Seo, H.H. 2003. *Site selection criteria for the high quality apples based on agrometeorology in Korea*. Ph. D. thesis. Kyung Hee Univ.

Westwood, M. N. 1962. Seasonal changes in specific gravity and shape of apple, pear, and peach fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 80:90-96.

Westwood, M. N. 1993. *Temperate-zone Pomology, Physiology and Culture*. 3rd edition. p.254-274.

서형호. 2002. 고품질 사과생산을 위한 재배적지 세분화. 원예연구소 2002년도 원예시험결과보고서 (CD). 상록사.

윤성호 등. 2001. 기후변화와 농업생산의 전망과 대책. 한국농림기상학회지. 제3권 제4호. pp.220-237.

윤성호. 1993. 지구온난화 현상과 농업부문의 대응방안. 한국과학기술연구원. 기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지움 자료<I. 생태계, 농림업분야> p.1-29.

임재현, 이인복. 2002. 지구온난화에 대비한 사과원의 수체생육반응 및 생태정보의 정량적해석. 원예연구소 2002년도 원예시험결과보고서(CD). 상록사.

임정남 등. 1990. 주요 과수 재배지대의 기후특성. 농촌진흥청 농업기술연구소. p.205.