

겨울기온 상승에 따른 낙엽과수의 휴면생태 변화

정재은¹ · 서희철¹ · 정유란² · 윤진일¹

¹경희대학교 생태시스템공학과, ²서울대학교 농학과

(2006년 4월 30일 접수; 2006년 6월 2일 수락)

Spring Phenology of a Grapevine Cultivar under the Changing Climate in Korea during 1921-2000

Jea-Eun Jung¹, Hee-Cheol Seo¹, Uran Chung² and Jin I. Yun¹

¹Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University, Suwon, Korea

²Department of Agronomy, Seoul National University, Seoul, Korea

(Received April 30, 2006; Accepted June 2, 2006)

ABSTRACT

Remarkable winter season warming has been observed in East Asian countries during the last century. Accordingly, significant effects on dormancy and the resulting budburst of deciduous trees are expected. However phenological observations are rare and insufficient compared with the long-time climate records in the same region. A chill-day accumulation, which can be estimated from daily maximum and minimum temperature, is expected to make a reasonable proxy for dormancy depth of temperate zone fruit trees. To simulate dormancy depth during 1921-2004, a chill-day model parameterized for "Campbell Early" grapevine, which is the major cultivar grown virtually anywhere in South Korea, was applied to daily temperature data at 8 locations in South Korea. The calculations showed that the chilling requirement for breaking endo-dormancy of this grapevine cultivar can be satisfied by mid-January to late February in South Korea, and the date was delayed going either northward or southward from the "Daegu-Jeonju" line crossing the middle of South Korea in the east-west direction. Maximum length of the cold tolerant period (the number of days between endo-dormancy release and forced dormancy release) showed the same spatial pattern. When we divide the 83 years into 3 periods (I: 1921-1950, II: 1951-1980, and III: 1981-2004) and get the average of each period, dormancy release date of period III was accelerated by as much as 15 days compared with that of period I at all locations except Jeju (located in the southernmost island with subtropical climate) where an average 15-day delay was predicted. The cold-tolerant period was also shortened at 6 out of 8 locations. As a result, budburst of "Campbell Early" in spring was accelerated by 6 to 10 days at most locations, while inter-annual variation in budburst dates was increased at all locations. The earlier budburst after the 1970s was due to (1) warming in winter resulting in earlier dormancy release (Incheon, Mokpo, Gangneung, and Jeonju), (2) warming in early spring accelerating regrowth after breaking dormancy (Busan and Jeju), and (3) both of them (Seoul and Daegu).

Key words : Climate change, Phenology, Vineyards, Dormancy, Chill day

I. 서 언

전문가들 사이에 아직도 논란이 남아 있긴 하지만

인간활동에 의한 지구기후의 변화는 이미 시작되었으며, 최근 100년간 우리나라가 속한 동아시아지역은 연평균기온이 1-2°C 상승한 것으로 알려졌다(IPCC,

2002). 기후가 변하면 식물의 생장과 발육에 영향이 있는 것은 당연하므로 미래 기후시나리오에 따른 농작물 재배적지의 이동, 생산성과 품질의 변화, 품종 및 재배기술 측면의 적응에도 관심이 고조되고 있다(한화진, 2005). 적응전략 수립의 전제조건 가운데 하나인 농업기상학적 전망은 지난 세기의 기후변화는 물론 농작물에 나타난 변화를 함께 분석해야만 신뢰성을 확보할 수 있다.

하지만 관측밀도와 관측표준이 유지되는 기후관측과는 달리 농작물관측은 시공간적으로 매우 미흡하여 기후분석 수준의 정량적인 영향평가는 사실상 불가능하다. 따라서 기상조건에 따른 농작물의 반응을 적절한 생장모형으로 표현한 다음, 상대적으로 풍부한 기상관측자료에 의해 이 반응을 정량적으로 모의함으로써 간접분석이 가능한 내용자료(proxy data)를 생성하는 수밖에 없다. 그러나 지금까지 개발된 어떤 생장모형도 농작물의 일생전체를 정확하게 모의하지는 못하며 다만 발육단계 및 상태변수에 따라 부분적으로 검증이 가능할 뿐이다.

우리나라의 기후변화 특징 가운데 하나는 다른 계절에 비해 겨울철 기온상승이 두드러진 것이다(권원태, 2004). 겨울기온의 상승 혹은 짧아진 겨울에 의해 나타날 수 있는 가장 두드러진 현상은 수목의 출엽(budburst)과 봄꽃의 개화시기 단축이며, 이미 기상청 생물계절 관측자료에 의해 확인되었다(이승범 등, 2003). 북반구에 위치한 다른 지역, 예컨대 유럽과 북미대륙에서도 지난 반세기 동안 꾸준히 상승해온 겨울기온에 의해 출엽기와 개화기가 10년에 평균 1.2일 내지 3.8일 정도 빨라졌으며, 특히 80년대 후반부터 출엽 이후 낙엽까지 생장기간이 11일이나 연장되었다 (Menzel and Fabian, 1999). 낙엽과의 개화기는 2월부터 4월까지 3개월 평균기온 1도 상승시 1주일 단축된 것으로 분석되었다(Sparks *et al.*, 2000; Chmielewski *et al.*, 2004).

김원식 등(2004)은 서울의 83년간 기온자료와 개화일자료를 분석한 결과를 토대로 Growing Degree Days(GDD) 계산에 의해 개화시기를 예측하는 방법을 제시하였다. 하지만 개화란 긴 겨울동안 진행되는 식물생리생태과정의 가시적인 최종결과에 불과하며, 봄철 개화기의 변화는, 눈에 보이지는 않지만, 겨울과 이듬 해 봄까지 연속적으로 일어나는 변화의 산물이므로 봄철 GDD만 고려한 개화기 예측모형으로는 불완

전할 수밖에 없다.

휴면은 온대낙엽수목이 불량환경에서 생존하기 위한 고도의 진화형태로서 오랫동안 식물생리학자들의 흥미로운 연구주제가 되어왔다 뿐 아니라(Faust, 1989), 식물내동성과의 연관성이나 시설재배를 위한 가온시기 결정 등 영농현장의 관심사인기도 하다(Kwon *et al.*, 2006). 낙엽과수는 우리나라 대표월동작물이지만 휴면상태를 파악할 수 있는 직접적이며 비파괴적인 방법은 아직 개발되지 못한 상태이다. 대신 기온에 의해 구동되는 “휴면시계” 모형을 통해 간접적으로 추정하는 방법이 가능하다. 자연상태에서 휴면이 완료되기 위해서는 일정기간의 저온을 경과해야 하며 그 정도를 매 시간 경과기온에 따른 가중적산값으로 표현한 저온요구도(chilling requirement, C_r)는 휴면해제시기 예측을 위해 여러 과종에서 이용되어왔다(Seeley, 1996). 저온요구도는 사실상 휴면 타파에 걸리는 기간을 시간과 기온의 조합인 온도시간(thermal time)으로 표현한 것인데, 휴면완료 이후 발아까지 기간 역시 온도에 의해 결정되므로 저온요구도에 대응하여 고온요구도(heating requirement, C_h)라고도 부른다.

Cesaraccio *et al.*(2004)은 여러 종류의 낙엽수목에서 고온요구도와 저온요구도는 부호만 반대일 뿐 그 값이 같다는 사실을 발견하고 이를 토대로 낙엽과수의 발아기 추정모형을 제시하였다. 이 모형에서는 휴면을 내생휴면(rest)과 환경휴면(quiescence)으로 세분하고, 내생휴면에서 깨어나기 위해서는 저온요구도를, 환경휴면에서 깨어나기 위해서는 고온요구도를 충족시켜야 한다고 가정하며, 각각을 Chill day와 Anti-chill day로 표현한다. Chill day에 의해 휴면해제일과 빌아일을 계산하기 위해서는 먼저 휴면타파에 유효한 온도 즉 기준온도(T_c)를 품종별로 정하고, 이 기준온도에서의 저온요구도를 찾아내 모형을 그 품종에 맞게 모수화 하는 일이 필요하다. Jung *et al.*(2005)은 기상청 서울관측소에서 1922년부터 1950년까지 관측한 왕벚나무의 발아기, 개화기 및 기온자료에 의해 저온요구량과 고온요구량을 도출하여 모형을 조정한 다음 이를 이용하여 1955년부터 2004년까지 서울지방 기온자료만으로 벚꽃 개화기의 연차변이를 거의 완벽하게 재현하였다.

우리나라의 여러 낙엽과종 가운데 포도는 제주도에서 강원도까지 전국에 걸쳐 재배되며 그 면적도 사과에 이어 배, 감귤, 단감과 함께 2-3위에 해당한다. 포

도 품종 캠벨얼리는 1908년에 도입되어 지금까지 근 100년 동안 재배되어 왔으며 현재 국내에 가장 널리 보급된 품종이므로 기후변화 영향의 전국적인 분포를 파악하는데 매우 적합하다. 특히 Cesaraccio *et al.* (2004)의 모형을 이 품종에 맞도록 모수화 시킨 다음 1994년부터 2004년까지 11년간 원예연구소 시험포장의 기온자료에 적용하여 발아일을 추정한 결과 그 실용성이 충분한 것으로 인정되었다 (Kwon *et al.*, 2005).

본 연구는 캠벨얼리 포도의 휴면모형을 1921년부터 최근까지 전국의 기상관서에서 얻은 기온자료에 의해 구동함으로써 휴면해제 및 발아시기를 계산하고, 이를 대용자료로 삼아 남한지역의 낙엽과수 휴면생태에 미친 기후변화의 영향을 평가하기 위해 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 자료 수집

기상청으로부터 강릉, 서울, 인천, 대구, 전주, 부산, 목포, 제주 등 8개 지점의 1921-2004 기간 중 일 최고 및 최저기온자료를 수집하였다.

2.2. 모형 구동

$T_c = 8^{\circ}\text{C}$, $C_r = -155$, $C_h = +155$ 로 모수화된 휴면모형을 8개 지점에 대해 매년 10월 1일부터 구동시켜 Chill day를 계산하고, 저온요구량(-155 Chill days)에 도달한 날짜를 내생휴면해제일로 두고, 다시 이 날짜부터 모형을 구동하여 -155 이상으로 올라가는 첫째 날을 환경휴면해제일, 고온요구량(+155 Anti-chill days)을 충족시켜 0에 도달한 날짜를 발아일로 간주하였다. 모형에 대한 구체적인 설명, 품종모수 도출, Chill days, Anti-chill days 계산방법 등은 Kwon *et al.*(2005)에 자세히 소개되어 있다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 월동기간 중 휴면생태

지난 80년간 8개 지점에서 계산된 매년 “휴면심도”의 변화곡선을 중첩시킨 것이 Fig. 1이다. 매년 10월 1일부터 일 최고 및 최저기온에 따라 해당날짜의 Chill day(음의 부호)를 계산하여 누적시킨 값을 편의상 휴면심도(dormancy depth)라고 표현하였다. 휴면심도가 -155에 도달하면 저온요구도가 충족되어 생리적으로는 휴면이 해제된 것으로 간주한다. 하지만 발아가 되기 위해서는 +155만큼 Anti-chill day가 누적되어 -155를 상쇄시키는 시점, 즉 휴면심도가 0으로 환원될 때까지 더 기다려야 한다. Chill day는 0°C 이상 8°C 이하의 적당한 저온조건에서 잘 누적되는 반면, Anti-chill day는 8°C 이상의 고온조건에서만 계산되므로 내생휴면이 해제되더라도 일 최고기온이 8°C 이상으로 올라가지 않는 한 발아에 이르지 못하고 소위 “환경휴면” 상태에 머물게 된다. 환경휴면상태는 혹한을 견디기 위한 낙엽수목의 적응전략이라고 볼 수 있는데, 포도를 이용한 실증실험에서도 휴면심도가 깊을수록 내동성이 강한 것으로 확인되었다(Kwon *et al.*, 2006). 만약 과수나 가로수가 인위적 요인에 의해 월동기간 중 환경휴면상태를 지속하지 못한다면 자연상태에 비해 동상해 위험이 커질 것이란 추론이 가능하다.

Fig 1은 10월 이후 일 최저기온이 8°C 아래로 내려가면 Chill day 축적이 시작되고 날이 길수록 휴면심도가 점차 깊어져서 최대값(-155)에 도달하며, 기온이 8°C 이상으로 상승할 때까지 일정기간 이 상태를 유지하는 것을 보여준다. 곡선형태의 유사성에 따라 8개 지점을 분류해 보면 인천-서울, 전주-대구-강릉, 제주-부산-목포 등이 함께 묶인다. 이들 중 겨울기후가 온난한 제주의 경우 Chill day 축적 개시일자가 늦고 축적속도가 완만해서 아무리 빨라도 2월에 접어들어야 저온요구도가 충족되며, 가끔씩 저온요구도를 충족시키지 못하는 해도 눈에 띈다. 대신 내생휴면해제 후 상대적으로 높은 기온에 의해 고온요구도의 축적이 빨라지고 환경휴면기간이 짧아서 휴면곡선은 다른 지점과 확연히 구별되는 날카로운 “V”자 형태이다. 부산은 계곡이 약간 넓어지긴 했지만 그래도 “V”자 형태를 유지하며, 목포는 부산과 유사하나 내생휴면 해제 이후 Anti-chill day 축적속도가 더 완만하여 발아시기가 부산보다 늦어진다. 이들과는 대조적으로 인천과 서울에서는 Chill day 축적개시날짜가 매우 빠른 반면 축적속도가 다른 지역에 비해 훨씬 느려서 내생휴면해제에 도달하는 시점이 가장 늦은 특징을 보인다. 아울러 이 시점에 도달하기까지 휴면심도곡선의 연차변이가 매우 큰 특징도 보인다. 전주, 대구, 강릉은 휴면곡선이 서로 닮아 보이나 강릉의 내생휴면 해제일이 가장 늦고 환경휴면해제 및 발아기도 따라서 늦은 편이다.

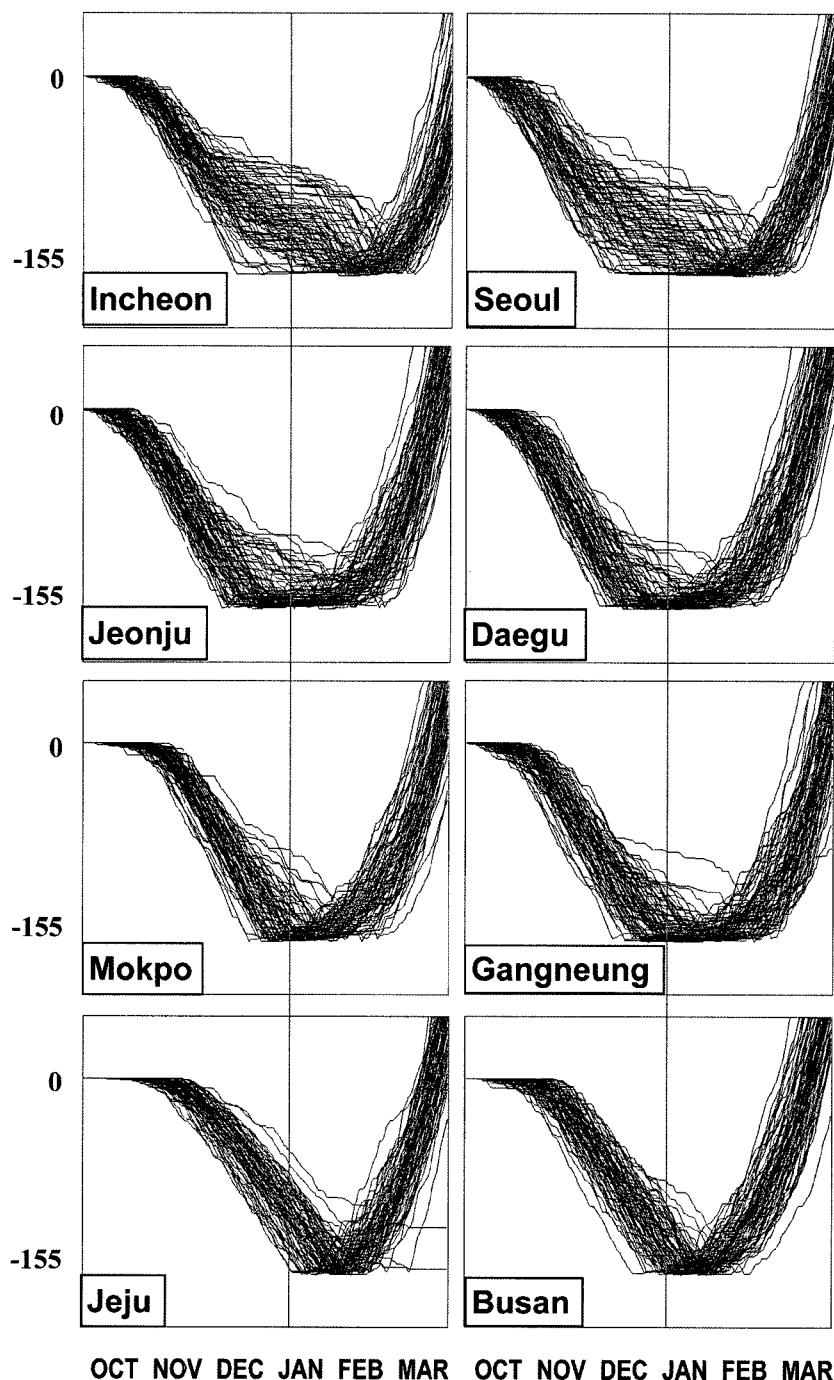


Fig. 1. Daily accumulation pattern of chill days in “Campbell Early” grapevine during 1921-2004 estimated by daily maximum and minimum temperature at 8 weather stations in South Korea.

이 자료를 1921-1950, 1951-1980, 1981-2004 등 3 기간으로 나누고 각 기간별 내생휴면해제일(휴면심도가 -155 또는 그 이하로 내려가는 첫째 날), 환경

휴면해제일(휴면심도가 -155 이상으로 올라가는 첫째 날), 내동성유지기간(환경휴면해제일과 내생휴면해제일의 차이)의 평균을 계산하여 비교한 것이 Fig. 2이다.

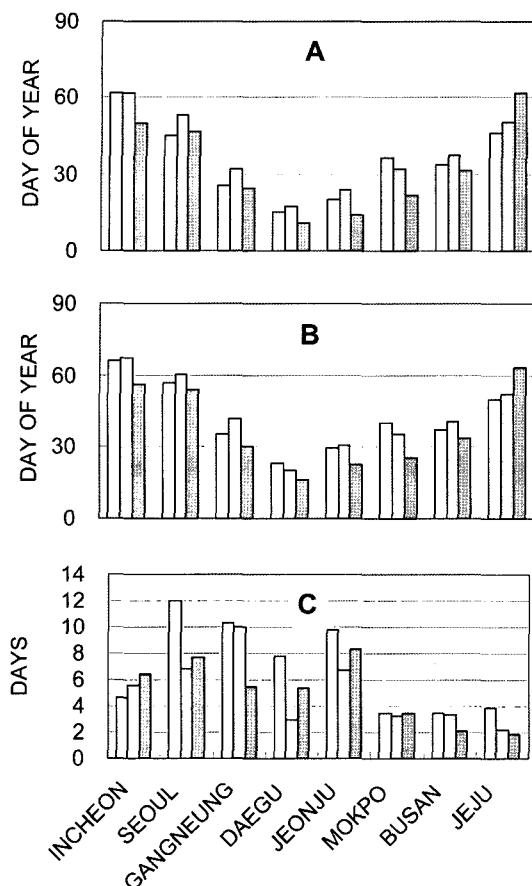


Fig. 2. Endodormancy release date (A), forced dormancy release date (B), and duration of maximum cold tolerance of "Campbell Early" grapevine at 8 weather stations. Each bar represents the average for 1921-1950 (white), 1951-1980 (grey), and 1981-2004 (black), respectively.

내생휴면의 해제, 즉 저온요구도를 충족시키는 날짜는 1월 중순(대구, 전주)에서 2월 하순(인천)까지 매우 다양하지만 지역간 편차에 어느 정도 규칙성이 보인다. 즉 전주, 대구 등 중부지방에서 가장 일찍 해제되며 이곳으로부터 북쪽으로 멀어지거나 혹은 남쪽으로 멀어질수록 휴면해제일이 지연된다. 서로 멀리 떨어진 인천과 제주가 내생휴면해제일 측면에서는 매우 가까우며, 강릉과 목포 역시 비슷한 시기에 내생휴면이 해제되는 등, 기후가 달라 휴면타파에 필요한 저온경과 양상이 상이한 지역간에 최종적인 저온요구도 충족시기가 비슷하다(Fig. 2A). 이 같은 현상은 환경휴면해제일에 있어서도 마찬가지인데, 지역간 상대적인 편차 양상이 유지되는 모습이다(Fig. 2B).

전술한 바와 같이 내생휴면해제일로부터 환경휴면해제일까지 기간은 식물체가 동상해에 견디는 힘을 어느 정도 확보하고 있는 기간이라 할 수 있으므로 본 연구에서는 “내동성유지기간”이라고 명명하였다. 내동성유지기간을 지역별로 비교해보면 휴면해제에 걸리는 기간의 지역적 양상과는 상당히 다르다(Fig. 2C). 즉 대구-전주 선 이북의 상대적으로 추운 곳에서는 내동성유지기간이 길고, 따뜻한 남쪽일수록 내동성 유지기간이 짧다. 휴면해제가 가장 빠른 지역이기도 한 대구-전주지역은 포도의 휴면생태 측면에서 전이지대(transition belt)라 할 수 있다. 서울의 경우 1921-1950 기간에는 가장 긴 내동성유지기간(평균 12일)을 보이다가 최근에는 급격히 줄어들어 1981-2004 기간에는 전주에 이어 두 번째가 되었다.

3.2. 기후변화에 따른 휴면생태의 변화

현재와 가까운 1981-2004 기간의 평균을 현재값으로, 1921-1950 평균을 과거값으로 두고 비교해보면 변화추세를 더욱 뚜렷이 알 수 있다. 휴면해제일은 과거에 비해 대체로 앞당겨지는 추세인데, 다만 제주의 경우 오히려 휴면해제에 걸리는 시간이 지속적으로 늘어나는 양상을 보인다(Fig. 3). 즉 온난화는 중부부지방의 저온요구도 충족에는 유리한 방향으로 작용하지만 제주와 같은 아열대기후에서는 불리한 방향으로 작용하는 것으로 판단된다. 모의결과에 따르면 최근 제주에서는 겨울 동안 저온요구도가 충족되지 못해서 휴면해제가 아예 불가능한 경우도 종종 발생한다(Fig. 1). 따라서 기후조건만으로 본다면 캠벨얼리 품종의 재배지로서 제주는 안정성이 떨어지는 지역이라 할 것이다.

내생휴면해제일의 가장 큰 변화는 제주와 목포에서 발견되는데 제주의 경우 15일 가량 지연된 반면 목포에서는 13일 이상 단축되었다(Fig. 3A). 제주와 서울을 제외한 나머지 지역에서는 대체로 단축되는 경향인데 서울에서는 약간 지연되었다. 두 시기 간 휴면해제일의 연차변이를 표준편차로 표현하여 비교해보면 제주를 제외한 모든 지역에서 변이가 줄어들었음을 알 수 있는데, 특히 서울, 대구, 강릉, 전주에서는 크게 줄었다 (Fig. 3D). 특이한 것은 휴면해제일이 크게 앞당겨진 인천에서 연차변이는 그만큼 줄지 않았는데, 이는 인천지역의 포도재배는 상대적으로 다른 지역에 비해 불안정할 수 있다는 뜻이다. 제주에서는 오히려

연차변이가 증가되었는데, 이는 겨울기온의 상승에 따라 휴면해제에 걸리는 시간이 늘어나고 심할 경우 휴면이 타파되지 않는 이열대의 생물계절특성 때문이라 할 것이다. 이는 지중해성 기후조건에서 불충분한 휴면으로 인한 올리브나무 개화불량사례에서 확인된다 (De Melo-Abreu et al., 2004).

환경휴면해제일의 변화 역시 내생휴면해제일의 양상과 유사하여 제주를 제외한 모든 지역에서 단축되었다(Fig. 3B). 서울의 경우에도 내생휴면해제일은 달리 환경휴면해제일은 과거에 비해 3일 가까이 단축되었다. 연차변이의 감소양상은 내생휴면해제일의 경우와 비슷하며, 서울에서 가장 많이 감소했고 제주에서는 연차변이가 증가했다(Fig. 3E).

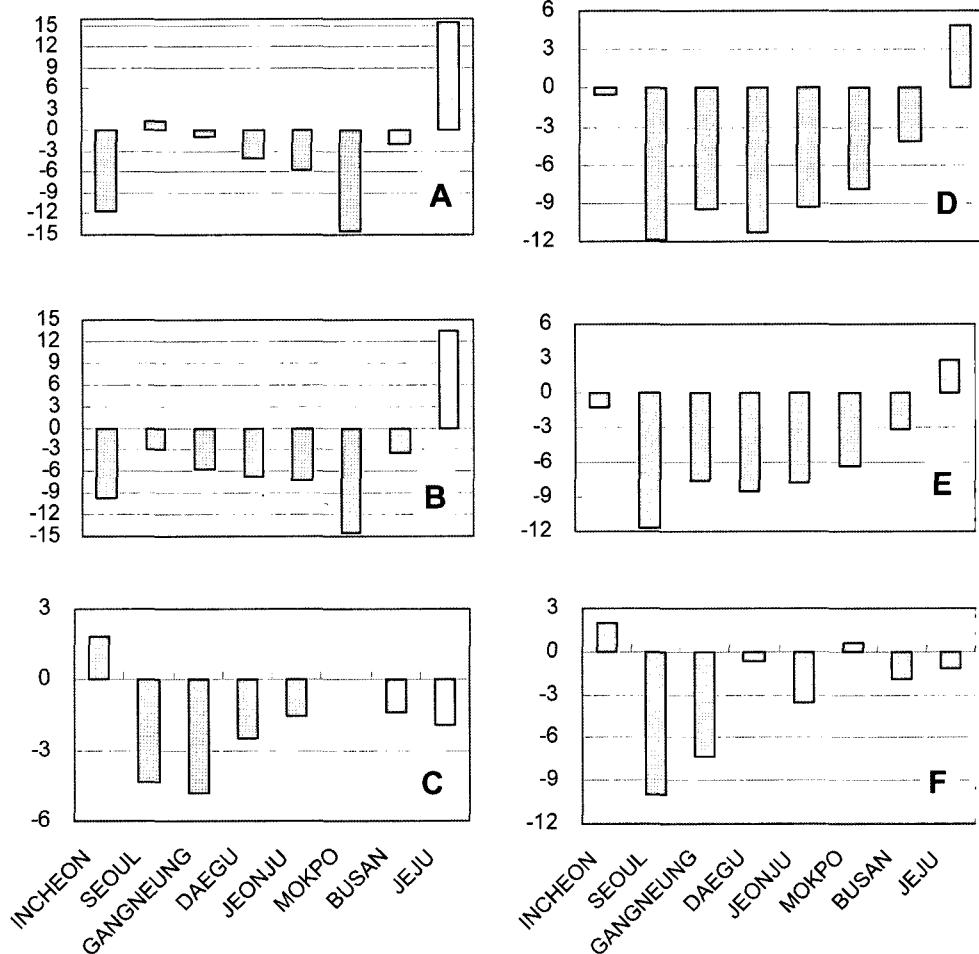


Fig. 3. Changes in endodormancy release date (A), forced dormancy release date (B), maximum cold tolerance duration (C), standard deviation of endodormancy release date (D), standard deviation of forced dormancy release date (E), and standard deviation of cold tolerance duration (F) of "Campbell Early" grapevine at 8 weather stations between 1921-1950 and 1981-2004.

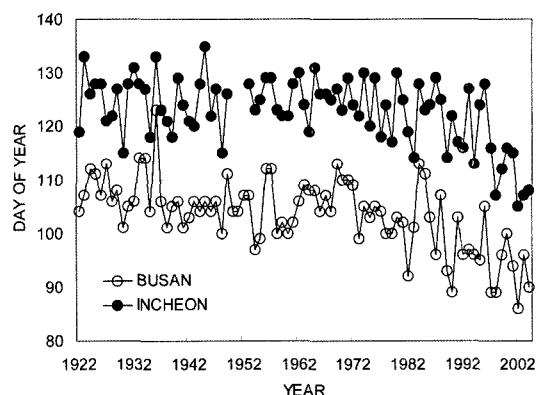


Fig. 4. Inter-annual variation in budburst dates of "Campbell Early" grapevine at earliest (Busan) and latest (Incheon) locations in South Korea during 1922-2004.

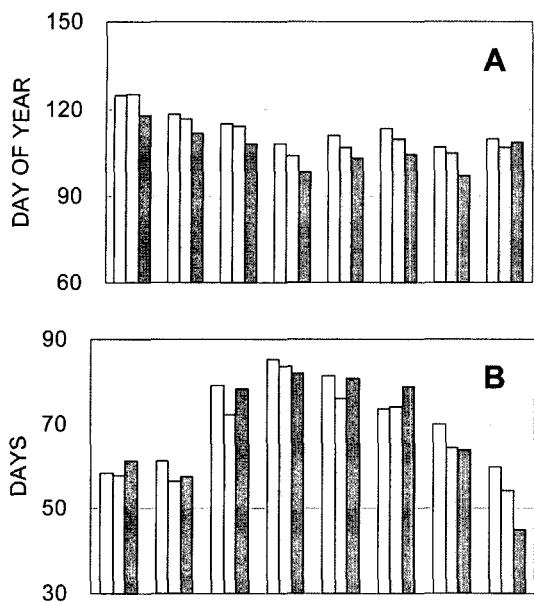


Fig. 5. Budburst date (A) and the duration between dormancy release and budburst (B) of “Campbell Early” grapevine at 8 weather stations. Each bar represents the average for 1921-1950 (white), 1951-1980 (grey), and 1981-2004 (dark grey), respectively.

내동성유지기간은 대부분 지역에서 1921-1950 기간에 비해 1981-2004 기간에 인천과 목포를 제외한 모든 지역에서 줄어드는 경향이다. 목포에서는 거의 변화가 없고 인천에서는 오히려 내동성유지기간이 지속적으로 늘어났다(Fig. 3C). 연차변이양상 역시 평균의 경우와 흡사한데, 인천에서는 휴면해제일과 마찬가지로 연차변이가 증가하였지만 인접한 서울에서는 큰 폭으로 감소하였다(Fig. 3F).

3.3. 발아기의 경년변화

겨울동안의 휴면생태에 이른 봄의 기온이 더해져서 종합적인 생물계절로 표현된 것이 발아라고 할 수 있다. 모형에 의해 예상된 지난 83년간 발아일의 경년변화를 보인 것이 Fig. 4이다. 가독성을 위해 발아시기가 가장 빠른 부산과 가장 늦은 인천의 결과만을 표현했는데, 다른 지역의 결과는 모두 이들 두 극값 사이에 위치한다. 두 지점 모두 70년대 이후 발아일이 크게 앞당겨지는 추세이지만 연차변이는 점차 커지는 모습이다.

1921-1950, 1951-1980, 1981-2004 등 3 기간으로 나누어 각 기간별 발아일 평균값과 휴면해제후 발아까지 소요기간을 지점별로 비교한 것이 Fig. 5이다. 발

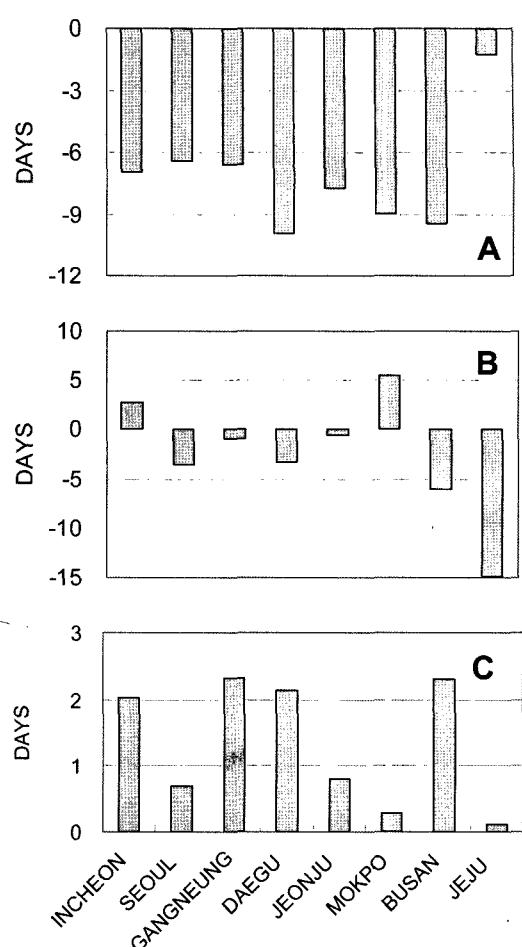


Fig. 6. Changes in budburst date (A), the duration between dormancy release and budburst (B), and standard deviation of budburst date (C) of “Campbell Early” grapevine at 8 weather stations between 1921-1950 and 1981-2004.

아일의 지역분포는 휴면해제일 양상과 비슷하지만 지역간 편차는 크게 줄었다(Fig. 5A). 휴면해제에는 저온조건이, 발아에는 고온조건이 필요한데, 휴면해제가 늦은 곳은 발아에 유리한 기온상승기에, 휴면해제가 빠른 곳은 아직 저온기에 놓이게 되므로 휴면해제시기의 지역간 편차가 발아시기에 와서는 상쇄된 결과이다. 실제로 휴면해제 후 발아에 걸리는 기간은 휴면해제가 늦은 인천-서울에서 60일 정도인 반면, 휴면해제가 빠른 대구-전주에서는 80일 이상이다(Fig. 5B). 휴면해제에 필요한 저온요구량 충족에 점차 불리한 조건으로 변해온 제주의 경우 이 기간이 급격히 단축되어 최근에는 45일에 그친다.

Fig. 6은 1921-1950 기간에 대한 1981-2004 기간의 발아일, 휴면이후 발아소요기간의 변화를 보여준다. 과거에 비해 포도의 벌아일 단축은 모든 지역에서 공통적이며 6일에서 10일 정도 고르게 앞당겨졌는데 제주에서만 변화가 적다. 한편 휴면해제 이후 발아소요기간의 변화는 지역간 편차가 심하여 인천, 목포에서는 3-6일 늘어났고, 서울, 대구, 부산에서는 이만큼 줄어들었으며 강릉, 전주는 큰 변화가 없다. 제주에서는 무려 15일이 단축되었는데 이 기간 중 제주의 휴면해제일이 크게 지연되어 고온기에 놓인 것이 그 원인이다(Fig. 6B). 휴면해제일 변화그림(Fig. 3A, 3B)과 비교해보면 목포, 인천에서는 휴면해제일이 크게 단축되어 상대적으로 저온조건에 놓인 것이 기간연장의 원인임을 알 수 있다.

발아일의 연차변이는 모두 증가하였는데 표준편차로 표현해 보면 2일 이상 증가한 곳이 인천, 강릉, 대구, 부산이며 서울, 목포, 전주에서는 1일 이내였다 (Fig. 6C). 제주의 경우 연차변이 증가가 적어 보이지만 휴면불량으로 아예 발아가 되지 않은 해도 있음을 감안하면 사실은 연차변이가 가장 커진 곳이라 할 것이다.

3.4. 고찰

이 연구에서 사용한 모형은 포도 한 품종(Campbell Early)의 휴면경과 - 벌아실험을 통해 확립되고 포장에서의 장기 관찰자료에 의해 검증되었으므로 온난화에 따른 휴면생태의 변화양상을 최소한 이 품종에 대해서 만큼은 정확히 재현했다고 볼 수 있다. 이 결과를 우리나라 낙엽과수 모두에 확대 적용하기는 곤란하겠지만 일반적인 추세를 파악하는 데는 유용할 것이다. 앞으로 과종별로 정확한 모수가 추정되면 같은 방법에 의해 과종별 혹은 품종별 휴면생태의 변화를 추적할 수 있을 것이며, 기후시나리오와의 결합을 통해 미래의 휴면생태를 예측하는 일도 가능해져서 과수산업의 기후변화 적응전략 수립에 기여할 것으로 기대된다.

하지만 실제 적용에 앞서 해결되어야 할 과제도 있다. 이 연구에서 보인 것처럼 기후변화에 따른 휴면-발아생태 등 식생반응은 지역적인 편차가 매우 크다. 단지 몇 개 도시지역을 대상으로 얻은 결과를 전국에 적용하기에는 위험부담이 크므로 먼저 기후변화의 지역변이부터 정확하게 파악한 다음 모형을 적용함으로써 식생반응의 국지적인 특성을 놓치지 말아야 한다.

적 요

농림업 분야 기후변화 영향평가를 위해 기후기록에 비해 상대적으로 미흡한 생물계절자료의 보완이 절실하다. 겨울기온의 상승이 동아시아 기후변화의 주된 특징임을 감안하면 낙엽수목의 월동기간 휴면생태가 큰 영향을 받았을 것으로 예상된다. 포도품종 Campbell Early의 품종특성을 갖도록 조절시킨 생물계절모형을 이용하여 1921년부터 2004년까지 남한지역 8곳의 기온경과에 따른 낙엽과수의 월동기간 중 휴면양상을 복원하고 발아기자료를 생산하였다. 이 자료에 따르면 내생휴면해제일은 대구, 전주에서 1월 중순, 인천, 제주에서 2월 하순이었으며 대구-전주 선을 기준으로 남북으로 멀어질수록 지연되며, 내동성유지기간도 짧아지는 공간분포특성을 보였다. 과거에 비해 휴면해제에 걸리는 기간은 단축되는 경향이며 목포의 경우 1921-1950 기간에 비해 1981-2004 기간에 15일 단축되었지만 제주에서는 예외적으로 지연되었다. 내동성유지기간은 강릉과 서울에서 크게 단축되었고 인천, 목포에서는 변화가 없었다. 벌아기는 인천에서 가장 늦고 부산, 대구에서 가장 빠른데 70년대부터 단축되기 시작하여 제주를 제외하고 단축정도는 6-10일이다. 단축의 원인은 지역에 따라 달라 인천, 목포에서는 휴면해제일 단축, 제주, 부산은 휴면해제후 벌아소요기간 단축이 주요인으며 나머지 지역은 두 가지 모두 해당되는 것으로 나타났다. 이 기간 중 벌아일의 연차변이는 지속적으로 증가하였으며 인천, 강릉, 대구, 부산의 증가폭이 목포, 전주, 서울에 비해 컸다.

감사의 글

본 연구는 기상청(기상지진기술개발사업) 및 농림부(농림기술개발사업)의 지원에 의해 이루어진 것임

REFERENCES

- 권원태, 2004: 기후변화의 과학적 현황과 전망. 환경부-기상청-한국기상학회 공동주관 제2차 기후변화학술대회 초록집 1-4. (2004년 11월 18-19일, 대구).
- 김원식, 허창희, 이일하, 이은주, 2004: Earlier spring in Seoul, Korea. 환경부-기상청-한국기상학회 공동주관 제2차 기후변화학술대회 초록집 168-173. (2004년 11월 18-19일, 대구).
- 이승법, 신경섭, 조영순, 손승희, 2003: 식물계절에 나타난

- 한반도 기후변화 영향. 대기 13.
- 한화진(대표저자), 2005: 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 I. 경제인문사회연구회 협동연구총서 05-20-01, 한국환경정책평가연구원, 383p.
- Cesaraccio, C., D. Spano, R. L. Snyder, and P. Duce, 2004: Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agricultural and Forest Meteorology* **126**, 1-13.
- Chmielewski, F-M., A. Muller, and E. Bruns, 2004: Climate change and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agricultural and Forest Meteorology* **121**, 69-78.
- De Melo-Abreu, J. P., D. Barranco, A. M. Cordeiro, J. Tous, B. M. Rogado, and F. J. Villalobos, 2004: Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agricultural and Forest Meteorology* **125**, 117-127.
- Faust, M., 1989: Resistance of fruit trees to cold. In *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley and Sons, p307-331.
- IPCC, 2002: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Report of the IPCC, 572p.
- Jung, J. E., E. Y. Kwon, U. Chung, and J. I. Yun, 2005: Predicting cherry flowering date using a plant phenology model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**, 148-155. (In Korean with English abstract)
- Kwon, E. Y., J. E. Jung, U. Chung, S. J. Lee, G. C. Song, D. G. Choi, and J. I. Yun, 2006: A thermal time - driven dormancy index as a complementary criterion for grapevine freeze risk evaluation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**, 1-9. (In Korean with English abstract)
- Menzel, A., and P. Fabian, 1999: Growing season extended in Europe. *Nature* **397**, 659.
- Seeley, S. D., 1996: Modelling climatic regulation of bud dormancy. In G A. Lang (ed.) *Plant Dormancy-Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. CAB International, Wallingford, U. K., 361-376.
- Sparks, T. H., E. P. Jeffree, and C. E. Jeffree, 2000: An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the U. K. *International Journal of Biometeorology* **44**, 82-87.