

수종 목본식물의 화력학적 연구

민병미·최재규

단국대학교 사범대학 과학교육과

A Phenological Study of Several Woody Plants

Min, Byeong Mee and Jae Kyu Choi

Department of Science Education, College of Education, Dankook University

ABSTRACT

To investigate phenological differences among species, and relationship between phenology and air temperatures, we surveyed foliation and flowering times of several woody plants in two temperate forests, Namhansansung and Taegwallyong area, for three years, 1991, 1992 and 1993.

In Namhansansung area, the leaves of *Quercus mongolica*, *Rhododendron mucronulatum*, *Prunus leveilleana* and *Symplocos chinensis* for. *pilosa* expanded in the early season (about 10 April), and those of *Quercus variabilis*, *Quercus dentata* and *Maackia amurensis* in the late season (about 5 May). The foliation time of the earliest species (*Rhododendron mucronulatum*) was 27 days earlier than that of the latest (*Maackia amurensis*, *Quercus variabilis* and *Quercus dentata*). In Taegwallyong area, the leaves of *Staphylea bumalda* and *Rhamnus yoshinoi* foliated on 25 April and those of *Rhus verniciflua* and *Fraxinus rhynchophylla* on 25 May.

The annual mean air temperature of Namhansansung area was 5.5°C higher than that of Taegwallyong area. Foliation times of the same species were earlier in the former: the differences between two areas were 8~24 day among species. In contrast, flowering times of the same species were 0~22 days earlier in the former.

It is concluded that the budding time of leaves was related to year day index (YDI), and foliation time of leaves was related to Nuttonson's index (Tn).

Key words: Phenology, Foliation time, Woody plant, Temperate forest, Air temperature, Growing season

서론

북반구 온대지방의 낙엽수는 생육초기인 봄에 개엽하고 가을에 낙엽을 형성함으로써 생물계절현상을 1년 주기로 나타내는데, 발아, 개엽, 개화, 낙화 및 낙엽의 단계로 뚜렷이 구분할 수 있다 (Lieth *et al.*, 1974). 이 중 개엽시기는 그 식물의 생활전략상 중요한 의미를 지니고 있는데, 이

는 생육초기의 급격한 온도변화에 대한 대처능력, 곤충에 의한 피식, 다른 개체와 광에 대한 경쟁 등 복합된 관계를 보여주기 때문이다.

한편, 온대낙엽수림에서 식물의 개화나 개엽에 영향을 주는 환경인자는 기후, 토양의 수분 (Flint 1974), 일장(Garner and Allard 1920), 식물체내의 수분포텐셜 등인데 특히, 생육초기의 기온은 가장 유효한 인자이며(Brown 1953), Hopkins(1920)에 의하면 위도가 1도 증가함에 따라 생물의 활동이 약 4일 늦어진다. 이러한 생물활동과 온도관계는 기온-시간 개념으로 확대되어 일적산온도(Lindsey and Newman 1953), 온량지수(吉良 1945), 연일지수(임 등 1983, 임 1986) 등이 제시된 바 있다. 그러나 식물의 개화나 개엽에 미치는 환경요인으로 대기후뿐만 아니라 미기후도 중요하여 동일 종, 동일 위도라도 지역, 고도, 사면, 개체 또는 가지의 위치에 따라 그 시기가 다르다. 따라서 생물계절현상에 미치는 요인을 정확히 판단하기 위하여는 많은 자료가 요구된다.

그런데, 열대나 건조지역(Beatley 1974, Opler *et al.* 1980, Nilsen and Muller 1981, Gill and Mahall 1986, Heideman 1989, Milton 1991, Wright 1991), 혹은 외국의 온대지역(Taylor 1974)에서 식물의 개엽과 개화에 대한 연구자료는 많다. 그러나 한반도 식물에 대한 자료는 개화에 관한 것은 많지만(김 1965, 임과 조 1977, 김 1978, 임 등 1983, 김과 류 1985, 임 1986, 임 1987), 개엽에 관한 것(임 1979, 김과 류 1985)은 매우 부족한 형편이다.

따라서 본 연구의 목적은 한반도 중부지방에서 수 종 목본식물의 개엽 및 개화시기를 조사하고 이것을 기온과 관련시켜 해석하는 데 있다. 이를 위하여 첫째, 동일 지역내에서 수종별로 비교하고 둘째, 기후가 현저히 다른 두 지역을 비교함으로써 대기후와의 관계를 분석하고 셋째, 동일 장소를 3년간 조사하여 생육초기의 기후자료와 비교, 분석하였다.

조사지의 개황

본 연구를 위하여 한국의 중부지방에서 두 지역을 선정하였다. 그 중 하나인 남한산성 지역은 경기도 광주군 중부면 산성리(37°28' N, 127°10' E)에 위치하며, 남한산성 성곽의 내부에 있는 자연림으로 비교적 보존이 양호하며 해발고도는 200~250 m이다. 다른 한 지역은 대관령 인근 지역으로 강원도 평창군 도암면 수하리(37°37' N, 128°43' E)에 위치하며 인간간섭이 거의 없는 자연림으로 해발고도는 800~900 m이다(Fig. 1).

남한산성 지역의 교목층은 물박달나무(*Betula davurica*), 신갈나무(*Quercus mongolica*) 등이 피도 40~60%를, 아교목층은 신갈나무, 개서어나무(*Carpinus tschonoskii*), 개벚나무(*Prunus leveilleana*), 쪽동백(*Styrax obassia*), 당단풍(*Acer pseudo-sieboldianum*), 팔배나무(*Sorbus alnifolia*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 다릅나무(*Maackia amurensis*) 등이 피도 90~100%를, 관목층은 진달래(*Rhododendron mucronulatum*), 산철쭉(*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*), 철쭉꽃(*Rhododendron schlippenbachii*) 등이 피도 10~30%를 나타내며, 임상의 초본층에는 노루발풀(*Pyrola japonica*), 처녀치마(*Heloniopsis orientalis*), 애기나리(*Disporum smilacinum*), 단풍취(*Ainsliaea acerifolia*) 등이 있으나 피도는 매우 낮아 5~10% 이다. 한편 대관령 지역은 교목층에 사시나무(*Populus davidiana*), 물박달나무, 신갈나무, 졸참나무(*Quercus serrata*) 등이 피도 60~80%를, 아교목층에 당단풍, 졸참나무, 털피나무(*Tilia rufa*), 개벚나무, 생강나무 등이 피도 30~50%를, 관목층에 진달래, 산철쭉, 노린재나무(*Symplocos chinensis* for. *pilosa*), 미역줄나무(*Tripterygium regelii*) 등이 피도 20~40%를, 초본층에 태백제비꽃(*Viola*

albida), 줄방재비꽃(*Viola acuminata*), 알록제비꽃(*Viola variegata*), 더덕(*Codonopsis lanceolata*), 개감수(*Euphorbia sieboldiana*), 단풍취, 노루발풀 등이 피도 10~20%를 나타내어, 남한산성 지역보다 많은 종이 출현하며 층구조가 균질하다.

남한산성 지역의 기후는 서울측후소의 자료에, 대관령 지역의 기후는 대관령측후소의 자료에 의하면 Fig. 2와 같다. 서울측후소는 북위 37°34', 동경 126°58', 해발고도 85.5 m이며, 남한산성의 조사지역은 북위 37°28', 동경 127°12' 이기 때문에 본 조사지소로부터 북서쪽으로 22.2 km 거리에 위치한다. 한편, 대관령측후소는 북위 37°41' 동경 128°45'으로, 북위 37°37' 동경 128°42'인 대관령 조사지역의 북동쪽 4.7 km에 위치한다. 남한산성의 기후는 연평균강수량 1,370 mm, 연평균기온 11.8°C 이며, 대관령의 것은 각각 1,581 mm, 6.3°C 로 연평균강수량은 대관령이 남한산성 지역보다 211 mm 더 많았지만 연평균기온은 후자가 5.5°C 더 높았다.

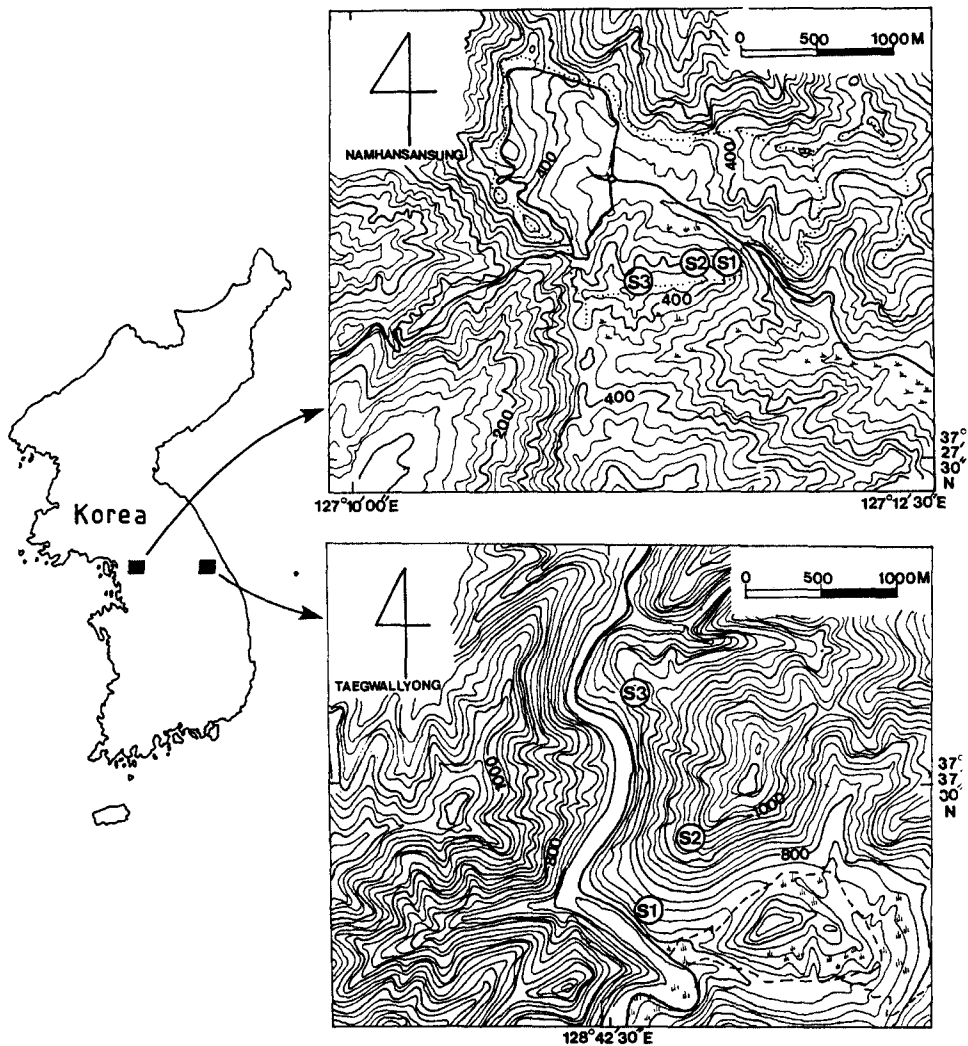


Fig. 1. Map of study sites in the two study areas.

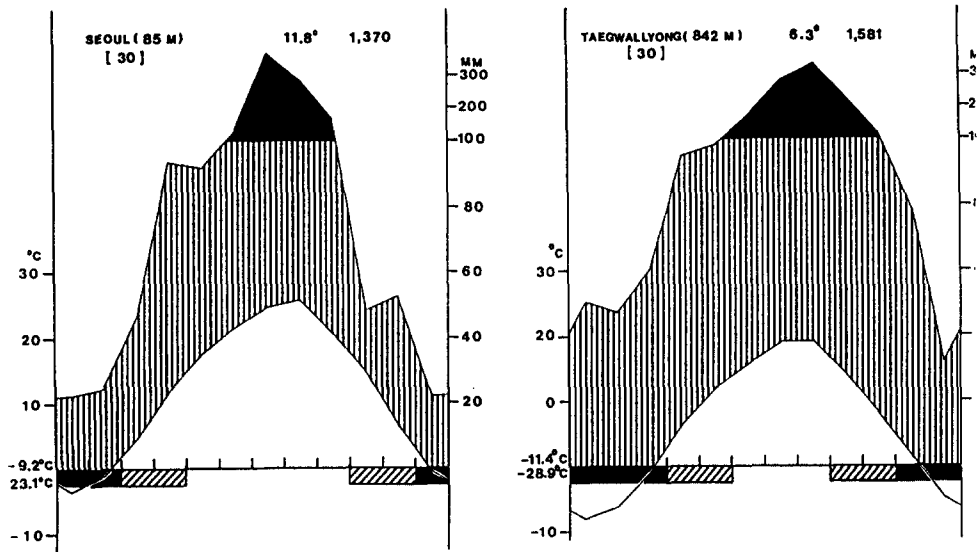


Fig. 2. Climate diagram of Namhansung(Seoul) and Taegwallyong based on the data from Central Meteorological Office from 1961 to 1990.

연구방법

1991년 3월 초순 각 조사지역에 인간간섭이 적은 자연림으로 미환경이 균질하며, 가능한한 여러 수종이 포함되는 3 지소를 선정하여 영구방형구를 설치하였다. 그 결과 남한산성 지역의 S1, S2 및 S3은 모두 동북사면으로 경사 5° 이었고, 대관령 지역의 S1과 S3은 남사면, S2는 서사면으로 경사는 10° 이었으며 방형구의 크기는 15 × 20 m로 하였다. 설치된 방형구내의 매목에 대하여 번호를 기입하고 1991년은 방형구내의 전 개체를 조사하였으나 1992년과 1993년은 이들 중 표준목을 재선정하여 실시하였으며, 이때 조사된 수종과 개체수는 Table 1과 같다. 조사는 남한산성 지역에서 1991. 3.28~6.6, 1992. 3.28~5.31 및 1993. 3.27~1993. 5.30의 세 기간이며, 대관령 지역에서는 1992. 4.18~1992. 6.10이었고, 남한산성 지역은 1주당 2회, 대관령 지역은 1주당 1회 실시하였다.

개엽은 최외각 겨울눈이 파열된 시기부터 잎이 전개되어 크기는 관계없이 완전한 형태를 갖춘 시기까지로 하였으며, 호생엽은 제2차엽을, 대생엽과 윤생엽은 제1차엽을 조사대상으로 하였다. 그리고 한 개체내에서 잎의 위치는 잎이 가장 많은 높이로 정하였다. 한편, 개화는 꽃망울이 관찰되는 시기, 화관이 전개되는 시기, 화관이 떨어지는 시기 및 화관이 완전히 떨어진 시기로 구분하였으며, 암꽃의 관찰이 어려운 신갈나무 등은 수술로 판단하였다.

결과 및 고찰

수종별 개엽 및 개화 시기

남한산성과 대관령 지역의 수종별 개엽 및 개화 시기는 Fig. 3과 같다. 남한산성 지역에서 겨

Table 1. Species and number of woody plants surveyed(unit:individuals)

Species	Study Area					
	Namhansansung			Taegwallyong		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
<i>Betula davurica</i>	—	1(4)	—	1	1	2
<i>Carpinus tschonoskii</i>	3(5)	1(7)	2(7)	—	1	—
<i>Quercus variabilis</i>	1(1)	—	—	—	—	—
<i>Quercus dentata</i>	1(1)	—	—	—	—	—
<i>Quercus mongolica</i>	2(5)	2(3)	2(8)	5	1	2
<i>Quercus serrata</i>	1(1)	—	—	2	2	3
<i>Ulmus davidiana</i>	—	—	—	2	—	—
<i>Lindera obtusiloba</i>	1(1)	3(4)	—	1	1	1
<i>Prunus levilleana</i>	3(5)	1(2)	3(4)	—	—	1
<i>Sorbus alnifolia</i>	1(2)	—	3(6)	—	—	—
<i>Maackia amurensis</i>	1(1)	1(2)	1(1)	2	—	3
<i>Rhus verniciflua</i>	—	—	—	2	—	—
<i>Staphylea bumalda</i>	—	—	—	1	—	—
<i>Acer mono</i>	1(1)	—	—	1	—	—
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	3(4)	4(6)	2(5)	1	2	1
<i>Rhamnus yoshinoi</i>	—	—	—	1	—	—
<i>Tilia rufa</i>	—	—	—	2	1	2
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	1(2)	2(3)	1(2)	2	—	—
<i>Rhododendron yedoense</i>	1(1)	—	—	—	—	—
var. <i>poukhanense</i>						
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	1(5)	2(5)	1(4)		1	
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	1(1)	—	—	3	2	2
<i>Styrax obassia</i>	3(5)	—	—	—	—	—
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	—	—	—	2	1	—

(): individuals surveyed in 1991

울눈의 파열이 이른 종은 생강나무, 진달래, 신갈나무 등으로 4월 초순에, 늦은 종은 떡갈나무 (*Quercus dentata*), 굴참나무 (*Quercus variabilis*), 다릅나무 등으로 4월 하순이었다. 따라서 이른 종과 늦은 종의 겨울눈의 파열시기 차이는 약 20일로 나타났다. 한편, 겨울눈의 파열로부터 잎이 완전히 퍼질 때까지 소요되는 시간은 생강나무, 철쭉, 팔배나무, 당단풍에서 약 23일로 길었고, 진달래, 개벚나무, 노린재나무, 졸참나무에서 5일로 짧았다. 이로써 개엽이 완료된 시기가 이른 것은 진달래, 신갈나무, 개벚나무, 노린재나무, 졸참나무 등이며 늦은 종은 떡갈나무, 굴참나무, 다릅나무 등으로 겨울눈의 파열이 늦은 종과 일치하였다. 그리고 가장 이른 종인 진달래는 4월 7일, 가장 늦은 종인 떡갈나무, 굴참나무 및 다릅나무는 5월 4일로 약 27일의 차이를 보였다. 한편, 대관령 지역에서, 겨울눈의 파열은 4월 중순의 짝짜래나무와 고추나무로부터 5월 초순의 다릅나무와 옷나무까지 약 25일의 기간내에 완료되었다. 그리고 개엽의 완료가 이른 것은 4월 하순의 짝짜래나무 (*Rhamnus yoshinoi*), 고추나무 (*Staphylea bumalda*), 늦은 것은 5월 하순의 물푸레나무 (*Fraxinus rhynchophylla*), 옷나무 (*Rhus verniciflua*)이었다.

그런데 연평균기온이 5.5℃ 차이를 보이는 남한산성과 대관령 지역의 개엽시기 차이를 수종별

로 비교하면 신갈나무는 24일, 진달래와 개벚나무는 21일로 현저하였으며, 당단풍과 고로쇠나무는 9일, 물박달나무와 다릅나무는 8일로 적었다. 그리고 개엽시기의 차가 현저한 것은 비교적 일찍 개엽하는 종류이었고, 적은 것은 늦은 종류이었다.

한편, 개화는 조사된 일부에서만 관찰되었는데, 남한산성 지역에서 생강나무와 진달래가 각각 3월 27일, 4월 1일로 가장 빨랐고, 개서어나무와 개벚나무가 4월 중순, 신갈나무, 철쭉, 산철쭉 등이 4월 하순이었다. 그리고 대관령 지역에서는 생강나무가 4월 19일, 진달래가 4월 20일로 가장 빨랐고, 개벚나무가 5월 초순, 신갈나무, 철쭉이 5월 중순이었다. 따라서 두 지역간 생강나무와 진달래의 개화시기 차이는 각각 22일, 19일로 가장 컸으며 이들은 개엽보다 개화가 빠른 종이었고, 이외의 종들은 그 차이가 적어 물박달나무와 철쭉은 각각 8일과 9일이었으며, 노린재나무

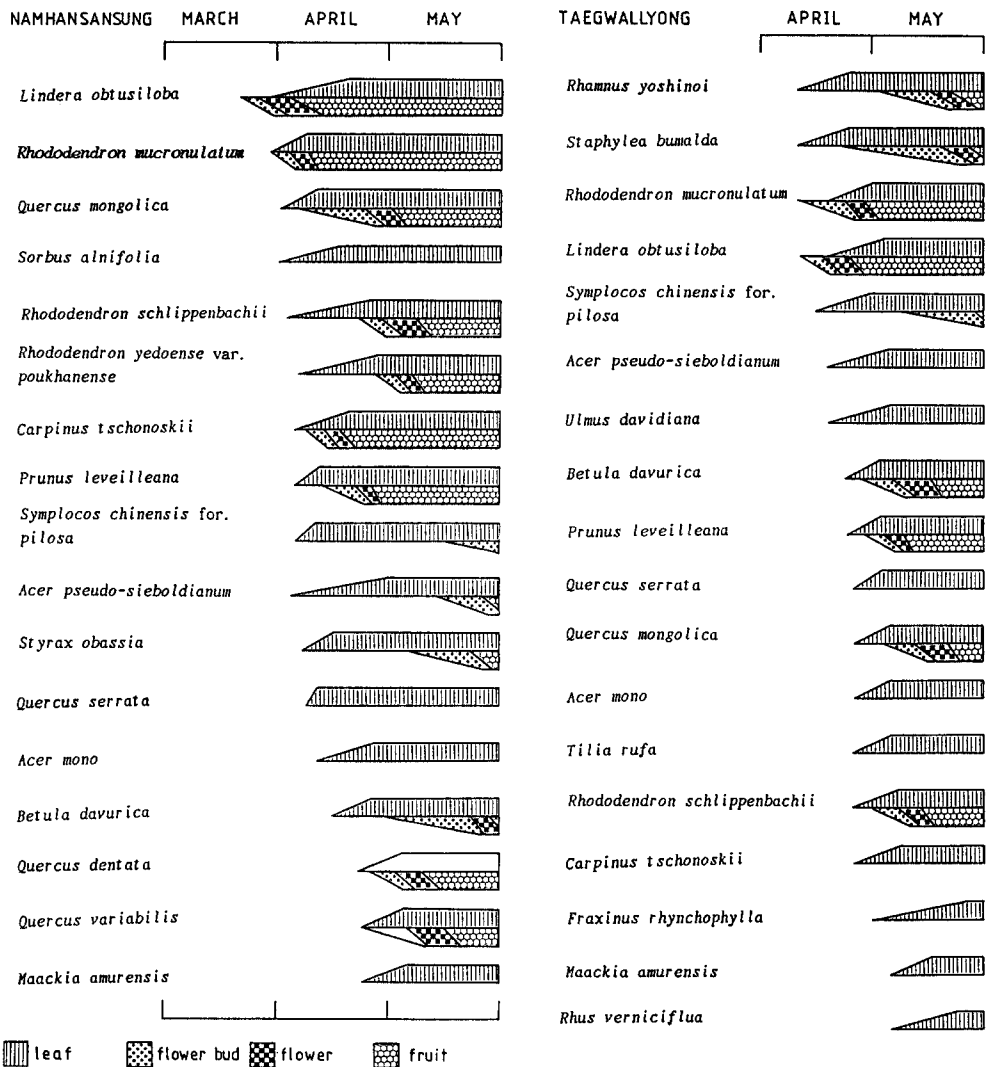


Fig. 3. Phenophases of woody plants in early growing season at Namhansansung and Taegwallyong area.

는 거의 유사하였다. 그러므로 개엽시기의 차는 8~24일인데 비하여 개화시기의 차는 0~22일로 후자가 다소 적었다.

생육초기의 기온과 개엽시기

1991, 1992 및 1993년의 남한산성과 1992년의 대관령 지역에서 1월 1일부터 5월 31일까지 일평균기온이 5℃ 이상인 온도를 누적한 Nuttenson의 온량지수(Tn, Lieth *et al.* 1974 및 임과 조 1977 참조)은 Fig. 4A, 일평균기온이 0℃ 이상인 온도를 누적한 일적산온량지수(year day index, YDI; 임 등 1983, 임 1986, 1987)는 Fig. 4B와 같다. 4월과 5월의 YDI와 Tn은 대체적으로 1992년, 1991년 및 1993년의 순으로 적어졌지만 2월과 3월의 것들은 변화가 심하였다. 따라서 생육

초기중 YDI와 Tn 100, 200을 임의로 선택하여 1992년의 남한산성을 자료에 비교한 결과는 Table 2와 같다. YDI가 100 및 200인 시기는 1991년이 1993년보다 늦었으나 Tn 100과 200의 시기는 그 반대이었다. 즉, 1993년은 1991년에 비하여 이른 시기부터 일평균기온이 0℃ 이상이었지만 3월 하순과 4월 초순에 5℃ 이하의 저온인 기간이 길었다. 생육초기의 저온을 표시한 것으로, 일평균기온이 0℃ 이하인 시기와 일최저기온이 0℃ 이하인 것은 Fig. 5에 나타낸 바와 같다.

남한산성 지역에서 조사된 16종의 1991, 1992 및 1993년과 대관령 지역의 1992년 개엽 및 개화 시기는 Fig. 6과 같다.

남한산성 지역의 경우, 동일 수종에서 겨울눈이 파열된 시기는 연도에 따라 큰 차이가 있었으

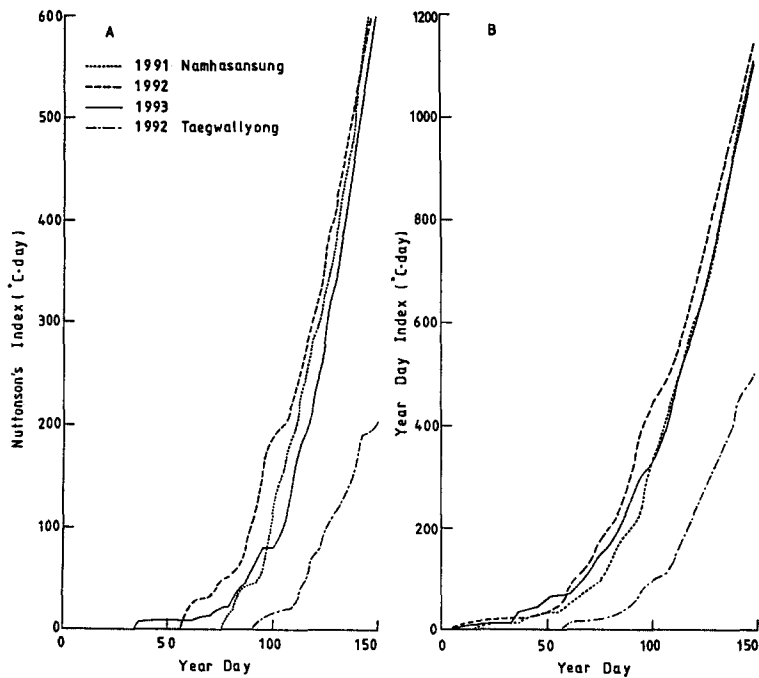


Fig. 4. Nuttenson's index (Tn; A) and year day index (YDI; B) of 1991, 1992 and 1993 at Namahasansung area (data from Seoul Meteorological Station), and 1992 at Taegwallyong area (data from Taegwallyong Meteorological Station).

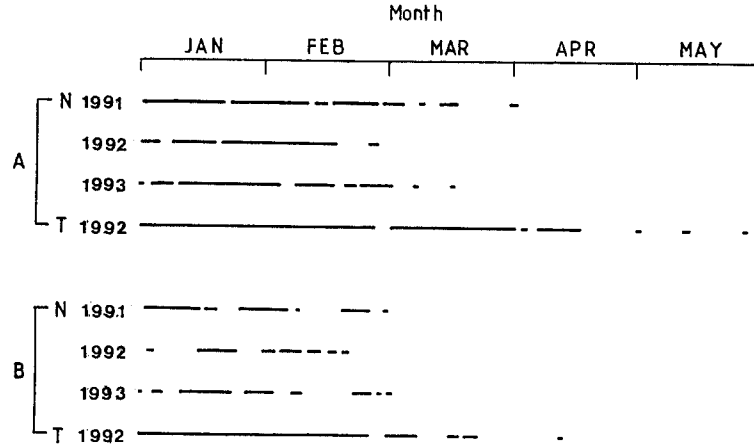


Fig. 5. Dates of which the lowest air temperature of the day is below 0°C (A), and the average air temperature of the day is below 0°C (B).

Table 2. Dates of Nuttenson's index (Tn) 100, 200, and year day index (YDI) 100, 200 at study areas

Site / Year	Index								
	YDI (Month / Date)		Difference*		Tn (Month / Date)		Difference		
	100	200	100	200	100	200	100	200	
Namhansung	1991	77(3/18)	90(3/31)	+15	+10	99(4/9)	111(4/21)	+10	+6
	1992	62(3/3)	80(3/20)	0	0	89(3/30)	105(4/14)	0	0
	1993	67(3/8)	84(3/25)	+5	+4	105(4/15)	117(4/27)	+16	+12
Taegwallyong	1992	99(4/9)	117(4/26)	+37	+27	126(5/6)	149(5/28)	+37	+44

* : differences from Namhansung, 1992.

며, 수종에 따라 이르거나 늦은 연도가 다르게 나타났다. 대체적으로 1992년에 가장 이른 시기에 겨울눈이 파열되었지만 당단풍, 철쭉, 진달래, 개서어나무 및 노린재나무는 1993년이 조사된 3개년 중 가장 빨랐다. 그러나 개엽이 완료된 시기는 조사된 모든 수종에서 1992, 1991 및 1993년의 순으로 늦어졌다. 그리고 연도별 동일 수종내에서 겨울눈이 파열된 시기나 개엽이 완료된 때의 YDI와 Tn은 각각 다른 것으로 나타났다. 그런데 동일 지역에서 조사지소별 개엽완료 시기 차이는 거의 없었지만, 두 지역간은 차이가 뚜렷하였다. 차이가 현저한 수종은 신갈나무, 당단풍, 생강나무, 졸참나무, 노린재나무 등이었으며, 비교적 적은 수종은 다릅나무, 고로쇠나무, 개벚나무, 물박달나무 등이었다. 한편, 모든 수종에서 개화를 관찰하지는 못하였다. 그런데 개화 시기는 대부분의 수종에서 3개년동안 각각 달랐지만 개벚나무는 비교적 유사한 것으로 나타났다.

개엽과 기온과의 관계를 조사한 국내 자료는 부족한 반면, 임(1986, 1987)은 개화에 YDI가 큰 영향을 준다고 하였다. 이러한 예로 서울지방(홍릉)에서 진달래 화아의 출현과 개화는 YDI가 각각 171.8, 269.4°C·day인 시기에 이루어짐을 보고한 바 있다. 그러나 본 조사 결과 진달래의 개화는 YDI로 계산한 개화시기와 다소 차이가 있었는데, 이는 두 지역의 미기후의 차이, 동일한 지역내서의 개체간 편차 및 기타 다른 환경요인 때문으로 사료된다.

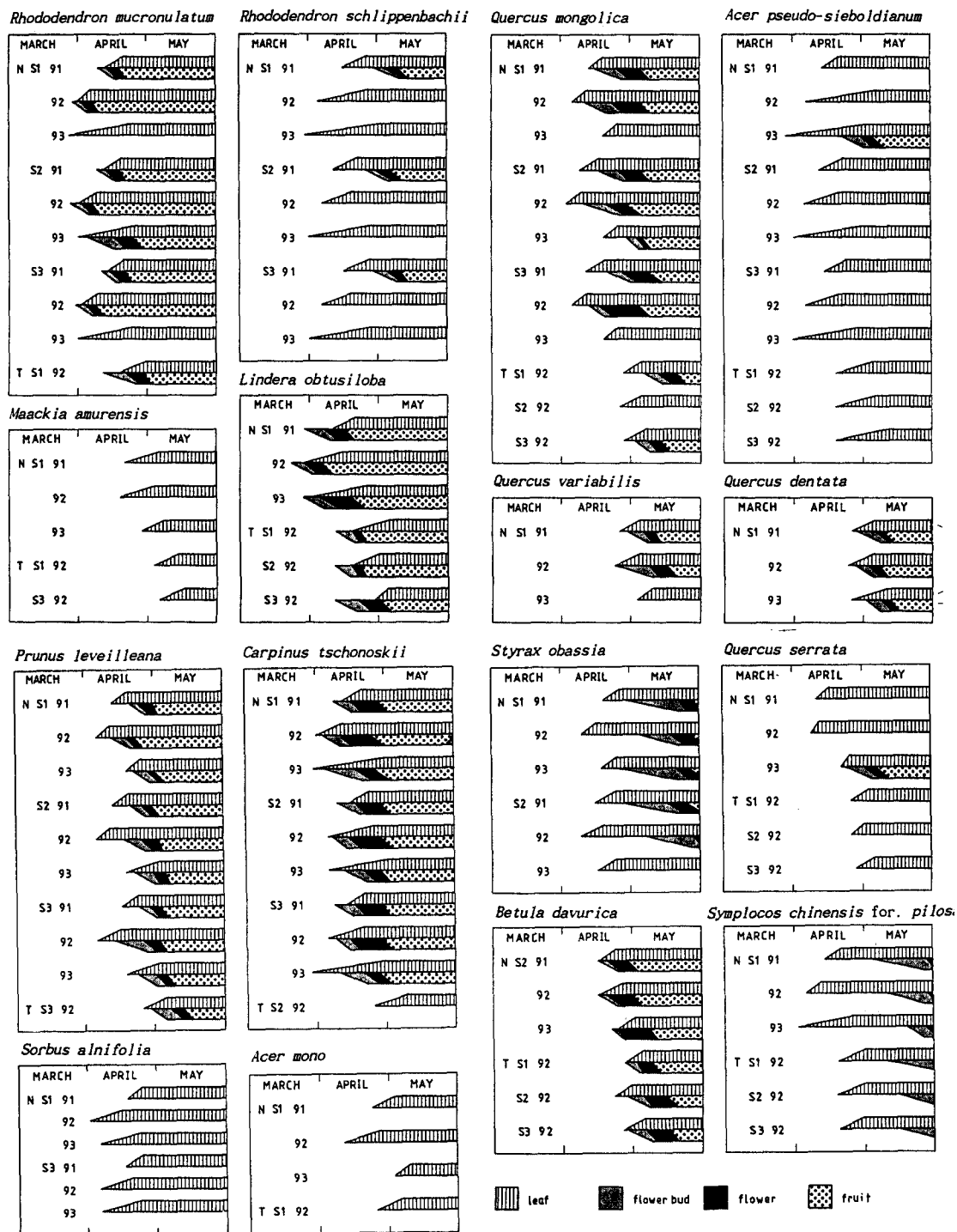


Fig. 6. Phenophases of woody plants in early growing season of 1991, 1992 and 1993 at Namhansansung (N), 1992 at Taegwallyong (T).

그런데 개엽의 경우, 앞의 결과인 1993년에는 1991년에 비하여 YDI 100의 시기가 빨랐으나 Tn 100의 시기가 낮은 점, 일부 수종에서 겨울눈의 파열은 1993년의 것이 1991년의 것보다 빨랐으나 개엽이 완료된 시기는 그 반대인 점, 남한산성과 대관령 지역의 YDI 및 Tn 100인 시기의 차이는 37일 이상이었으나 개엽의 것은 8~20일인 점 등으로 판단할 때 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 즉, 겨울눈의 파열은 대부분의 수종에서 YDI와 관계가 있지만 잎이 완전히 전개하는 시기의 예측에는 YDI보다 Tn가 더욱 신빙성 있는 자료로 볼 수 있다. 그리고 동일 지역내에서 수종별 개엽시기를 일정한 Tn으로 예측하는 것은 대략적으로는 가능하나 정확한 것은 어려우며, Tn에 다른 내적, 외적 환경요인을 종합적으로 고려하여야 될 것으로 생각되었다.

적 요

온대낙엽수림의 수 종 목본식물에서 생육초기의 기온과 개엽시기와의 관계를 규명하기 위하여 남한산성 지역에서 1991, 1992 및 1993년, 대관령 지역에서 1992년, 3월부터 5월까지 겨울눈의 파열 시기, 개엽이 완료된 시기, 개화 및 낙화의 시기를 관찰 조사하고 이것을 기상자료와 관련시켜 분석하였다.

남한산성 지역에서 개엽이 이른 종은 신갈나무, 진달래, 개벚나무, 노린재나무 등으로 4월 초순이었으며, 늦은 종은 굴참나무, 떡갈나무, 다릅나무 등으로 4월 하순이었다. 그리고 가장 빠른 종인 진달래 (4월 8일)와 가장 늦은 종인 굴참나무, 다릅나무 및 떡갈나무 (5월 4일)의 차이는 27일이었다. 두 지역간 동일 수종의 개엽시기를 비교하면, 남한산성의 것은 대관령 지역의 것보다 8~24일 빨랐다. 한편, 두 지역간 개화시기의 차이는 0~22일로 개엽시기의 것보다 적었다.

겨울눈의 파열시기는 일적산온량지수(YDI)와 관계가 있지만 개엽이 완료되는 시기나 개화시기를 예측하는 데는 YDI보다 Nuttinson의 온량지수(Tn)가 더욱 유효한 것으로 나타났다.

인용문헌

- 김광식. 1965. 우리나라에서의 벚꽃과 복숭아 개화일 예상에 관하여. 한국기상학회지 1:14-20.
- 김원. 1978. 대구분지의 식물의 개화기에 관하여. 경북생물학회지 8:137-147.
- 김준호, 류병태. 1985. 관악산의 고도에 따른 진달래와 철쭉꽃의 개화와 개엽시기. 한생태지 8:53-59.
- 임양재. 1979. 한국의 여러 수종의 엽전개와 온도조건에 관한 화력학적 연구. 학술원논문집(자연과학편) 18:103-122.
- 임양재. 1986. 한국산 식물의 화기에 미치는 온도기후의 영향. 한국양봉학회지. 1:67-84.
- 임양재. 1987. 한국산식물의 개화에 미치는 온도기후의 영향. 양봉을 위한 밀원식물과 화분원식물의 개발을 위하여. 한국양봉학회지 2:9-28.
- 임양재, 조무연. 1977. 홍릉수목원수종의 개화기에 관하여. 한생태지 1:17-23.
- 임양재, 임문교, 심재국. 1983. 한국의 온도기후와 생물의 계절변화. 한국식물학회지 26:101-117.
- 吉良龍夫. 1945. 農業地理學の基礎としての東亞の新氣候區分. 京都帝國大學 農學部 園藝學教室. 23 p.
- Beatley, J. C. 1974. Phenological events and their environmental triggers in Mojave desert ecosystems. Ecology 55:856-863.

- Brown, D. S. 1953. Climate in relation to deciduous fruit production in California. VI. The apparent efficiencies of different temperatures for the development of apricot fruit. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 62:173-183.
- Flint, H. L. 1974. Phenology and genecology of woody plants. *In*, Phenology and Seasonality Modeling, H. Lieth (ed.), Springer-Verlag, New York. pp. 83-97.
- Garner, W. W. and H. A. Allard. 1920. Effect of the relative length of the day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plant. *J. Agric. Res.* 18:553-606.
- Gill, D. S. and B. E. Mahall. 1986. Quantitative phenology and water relations of an evergreen and a deciduous chaparral shrub. *Ecological Monographs* 56:127-143.
- Heideman, P. D. 1989. Temporal and spatial variation in the phenology of flowering in a tropical rainforest. *J. of Ecol.* 77:1059-1079.
- Hopkins, A. D. 1920. The bioclimatic law. *J. Wash. Acad. Sci.* 10:34-40.
- Lieth, H. 1974. Phenology and seasonality modeling. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 444 p.
- Lindsey, A. A. and J. E. Netman. 1956. Use of official weather data in springtime temperature analysis of an Indiana phenological record. *Ecology* 37:812-823.
- Milton, K. 1991. Leaf change and fruit production in six neotropical Moraceae species. *J. of Ecol.* 79:1-26.
- Nilsen, E. T. and W. H. Muller. 1981. Phenology of the drought-deciduous shrub *Lotus scoparius*: Climatic controls and adaptive significance. *Ecological Monographs* 51:323-341.
- Opler, P. A., G. W. Frankie and H. G. Baker. 1980. Comparative phenological studies of treelet and shrub species in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *J. of Ecol.* 68:167-188.
- Taylor, F. G. Jr. 1974. Phenodynamics of production in a mesic deciduous forest. *In*, Phenology and Seasonality Modeling, H. Lieth (ed.), Springer-Verlag, New York. pp. 23-254.
- Wright, S. J. 1991. Seasonal drought and the phenology of understory shrubs in a tropical moist forest. *Ecology* 72:1643-1657.

(1993년 10월 28일 접수)