

# 지리산에서 고도에 따른 질경이 (*Plantago asiatica*) 개체군의 온도에 대한 발아습성의 변이

이호준 · 김용옥 · 전재희 · 성미선 · 장일도

건국대학교 이과대학 생물학과

## Variation of the Germination Responses to Temperature of *Plantago asiatica* Seed Population along Altitude in Mt. Chiri

Lee, Ho-Joon, Yong-Ok Kim, Jae-Hee Jeon, Mi-Seon Seong and Il-Do Jang

Department of Biology, College of Science, Kon-Kuk University

### ABSTRACT

This study was focused on the effect of the altitude on the geographical variations of germination characteristics in the populations of *Plantago asiatica* L. distributed in Mt. Chiri. There was a significant difference among the 14 groups in the phenological pattern in relation to altitudes. When the altitude becomes higher, the thermal time which was required for 10 to 80% germination rate showed higher and wider distribution. On the other hand, the germination response of increasing temperature (IT) and decreasing temperature (DT) regime was classified into 3 groups. The first group was the spring germination type. This group showed that the IT regime had higher germination rate than that of the DT regime, and was distributed in Macheon (300 m) and Packmudong (500 m). The second was the spring-fall germination type which was distributed in Hadong (900 m) and Saemteo (1100 m). This group also showed higher germination rate in the IT regime, but the difference of the germination rate between IT and DT regime was less than that in the first group (the spring type). The third group was the early fall germination type which was found in the Nogodan (1507 m), Changteomok (1750 m) and Cheonwangbong (1915 m). The germination rate of this group showed almost 100% similarity between IT and DT regime. These data suggested that the geographical variations of germination characteristics within species was an important ecological strategy for the survival from severe environmental conditions.

**Key words:** Decreasing temperature regime, Germination responses, Increasing temperature regime, Phenological pattern, *Plantago asiatica* L., Thermal time

### 서 론

식물체를 유지하는데는 적당한 온도가 필요할 뿐만 아니라 지면에 고착하여 생활하고 있는 식  
본 논문은 건국대학교의 일반연구비에 의해 이루어진 것임.

물은 생장하고 번식하는 동안 토양온도, 대기온도를 비롯한 여러가지 기상조건에 의해 발아속도와 발아율이 결정된다 (Heydecker 1977). 이와 같은 것들은 대개 특정한 온도 범위에서는 일정하게 유지되지만 이 범위를 벗어나면 급격히 감소하는 등 많은 영향을 받는다. 이러한 모든 요인들이 한국과 같은 온대지역에서는 계절적 변이를 나타내기 때문에 식물은 환경요인의 계절적 변이에 적응하기 위한 전략을 세우지 않으면 안된다. 고등식물 번식의 첫단계는 종자의 성공적인 발아와 유묘형성이라고 할 수 있으며 그 종의 분포와 생존, 번식여부를 결정하는 중요한 시기이다 (Thompson 1970). 그렇기 때문에 종의 발아를 위한 시기선택은 종의 성공적인 정착을 위해 중요하다. 종자는 번식율을 높이기 위해 휴면이라는 조절기구를 지니고 있어 발아 후 개체의 생장에 더 적합한 시기를 선택할 수 있다. 이러한 종자의 발아시기 선택전략은 종에 따라 다양하며 동일하다 하더라도 서식지의 환경변화에 따른 종내변이가 존재하고 있다. 일반적으로 넓은 분포역을 가지는 식물종은 형태 및 생리적 형질에서 생육지의 환경조건과 관련된 폭 넓은 변이가 유전적으로 고정되어 있다 (Turesson 1922). 또한 이와 같은 변이는 유전학, 형태학, 생리학, 생태학 등 모든 분야에서 많은 연구가 되어 왔다 (Heslop-Harison 1964).

서식지의 온도요인과 관련된 종자발아에 관해서는 Heydecker (1977), Thompson (1970), Hegarty (1973), Bierhuizen과 Wagenvoort (1974), Thompson과 Fox (1976), Bewley와 Black (1982), Washitani와 Takenaka (1984a, b), Baskin과 Baskin (1985, 1988), Grime 등 (1981), Inoue와 Washitani (1989), Washitani와 Masuda (1990)을 비롯해서 이 (1991), 김 등 (1993), 이와 김 (1993), 이와 양 (1993a, b), 이 등 (1993), 조 (1993a), 조 (1993b) 등의 연구가 있다.

본 연구의 실험재료인 질경이 (*Plantago asiatica* L.)는 인간과 차량에 밟히는 인위적인 조건이 연속되는 장소에서 흔히 노상군락을 형성하며 한국에서 북쪽은 함경북도의 온성에서 남쪽은 제주도 남단 마라도에 이르기까지, 혹은 심산의 저지대에서부터 고산의 정상에 이르기까지 한반도 전체에 분포하고 있는 종이다. *Plantago*속은 환경조건에 따른 변이가 심하고 변종과 품종이 생기는 가변성이 많아서 종분화의 견지에서 대단히 중요하고 (Makino 1970, Masamune 1930, Nakai 1952) 이 속에 속하는 질경이는 인간의 영향에 대하여 가장 저항이 강한 식물로 알려져 있다. 특히 이(1979)는 위도와 고도에 따른 질경이의 생태형적 변이에 관한 연구에서 고도와 위도 등 다양한 지소의 개체군에서 종자를 채종하여 동일한 지소에서의 재배실험을 통해 질경이의 생장습성, phenological pattern 등에 생태형적 변이가 있음을 이미 입증한 바 있다.

한반도는 남북으로 길게 (극북 43°00'39", 극남 34°17'16") 늘어서 있으며 고산지역이 많을 뿐만 아니라 고산의 고저에 따른 기온의 연교차가 크기 때문에 질경이의 분포지역에 따른 종자발아의 변이성이 있을 가능성이 높다. 특히 기온은 고도가 1000 m 높아짐에 따라 6°C씩 저하되므로 지리산의 경우 표고 0 m에 비해 11°C의 온도차가 생기므로 많은 환경변화가 있으며 이와 같은 환경변화에 따라 질경이 개체군 종자의 발아변이는 개개의 형질상의 변이로서 뿐만 아니라 온도환경 조건에 대한 적응성이라고하는 관점에서 파악해야 할 것이다.

본 연구는 질경이의 생활사 측면에서 고도에 따른 온도구배에 대한 발아반응의 지리적 변이를 조사하고 질경이의 종분화의 측면에서 미진화를 규명하기 위해 실시하였다.

## 채종지의 개황

본 실험에 사용된 질경이(*Plantago asiatica* L.)의 종자는 Fig. 1에서와 같이 지리산의 고도별로 14 개체군(화엄사, 마천, 내령마을, 백무, 달궁, 하동바위, 시암재, 샘터, 헬기장, 돼지평전, 노고단, 반야봉, 장터목산장, 천왕봉)에서 채취하였다. 채취지와 고도, 채취시기는 Table 1에 나타

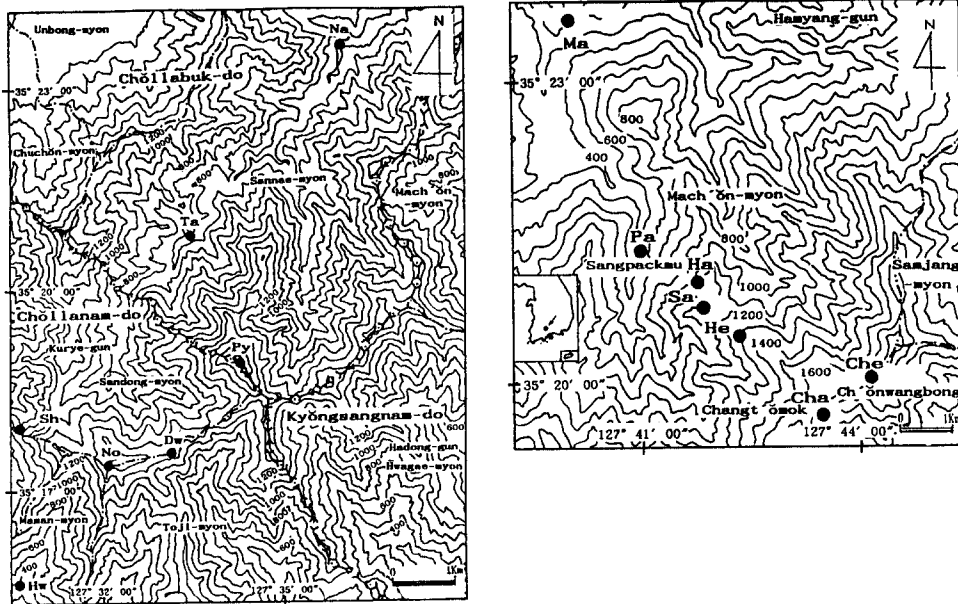


Fig. 1. Location(●) of the seed source populations of *Plantago asiatica* L. Abbreviations are the same as in Table 1.

내었다. 채종지의 기상자료가 없기 때문에 지리산 주변의 진주, 남원, 산청의 기상자료를 이용하였다. 질경이가 겨울을 지내는 3개월간(12월과 다음해 1, 2월)의 기온은 진주와 산청이  $-4.7 \sim -4.8^{\circ}\text{C}$ 로 유사하고 남원은  $-6.9^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮으며 연평균 기온은  $12.1 \sim 13.2^{\circ}\text{C}$ 로 유사하였다. 채종지의 고도가 가장 낮은 화엄사, 마천, 달궁 등과 지리산 정상 온도 차이는 약  $10^{\circ}\text{C}$  이상의 차이가 있을 것으로 생각되며 이와 같은 온도차는 질경이 개체군의 성장 및 발아에 많은 영향을 미칠 것으로 생각된다. 또한 연평균 강수량은 남원이  $1282.2 \text{ mm}$ 로 가장 낮으며 산청은  $1353.8 \text{ mm}$ , 진주는  $1572.2 \text{ mm}$ 로 질경이의 성장에는 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다.

## 재료 및 방법

### 재 료

본 실험에 사용된 질경이(*Plantago asiatica* L.)의 종자는 1993년 10월 2~3일 사이에 지리산의 고도별로 화엄사(Hw), 마천(Ma), 내령마을(Na), 백무(Pa), 달궁(Ta), 하동바위(Ha), 시암재

**Table 1.** Locations and climate conditions of *Plantago asiatica* seed collection sites

Populations*	Altitude(m)	Latitude /Longitude	Location & Habitat	Collected data
Hw	200	35° 15' /127° 30'	Environs of Hwaum Temple.	R.L.I.=50% Oct. 2, 1993
Ma	300	35° 24' /127° 40'	The roadside leading from Macheon to Packmu.	Oct. 3, 1993
Na	400	35° 23' /127° 35'	The roadside passing from Shincheon (Sannaimyon) to Talgung	R.L.I.=100% Oct. 2, 1993
Pa	500	35° 22' /127° 41'	The roadside passing from Hapackmu to Sangpackmu.	R.L.I.=100% Oct. 3, 1993
Ta	500	35° 21' /127° 17'	The roadside leading from Naeryeongmau, to Shiam ridge, camping ground.	R.L.I.=100% Oct. 2, 1993
Ha	900	35° 21' /127° 42'	Environs of Hadongbawi.	R.L.I.=60% Oct. 3, 1993
Sh	950	35° 17' /127° 35'	The roadside leading from Talgung to Samsung ridge.	R.L.I.=70% Oct. 2, 1993
Sa	1100	35° 21' /127° 42'	Environs of Saemteo.	R.L.I.=60% Oct. 3, 1993
He	1320	35° 20' /127° 41'	The roadside passing from Hadongbawi to Changteomok, Heliport.	R.L.I.=80% Oct. 2, 1993
Dw	1420	35° 17' /127° 17'	The roadside passing from Nogodan to Panyabong, level land (plain).	R.L.I.=100% "
No	1507	35° 17' /127° 32'	Environs of Nogodan retreat.	R.L.I.=100% "
Py	1715	35° 19' /127° 34'	Environs on the summit of Panyabong.	R.L.I.=80% "
Cha	1750	35° 20' /127° 43'	The roadside passing through Changteomok retreat.	Oct. 3, 1993
Che	1915	35° 20' /127° 44'	Environs on the summit of Mt. Chiri.	R.L.I.=100% Oct. 2, 1993

\* Hw=Hwaum Temple, Ma=Macheon, Na=Naeryeong, Pa=Packmu, Ta=Talgung, Ha=Hadongbawi, Sh=Shiam ridge, Sa=Saemteo, He=Heliport, Dw=Dweji level land, No=Nogodan, Py=Panyabong, Cha=Changteomok retreat, Che=Cheonwangbong, R.L.I.=Relative light intensity

(Sh), 샬터(Sa), 헬기장(He), 돼지평전(Dw), 노고단(No), 반야봉(Py), 장터목산장(Cha), 천왕봉(Che) 등 14 지소에서 채종하여 종이봉지에 넣어 3~4℃의 냉장고에 보관하였다가 실험에 사용하였으며 phenological pattern은 1991년 6월 1일부터 1994년 5월 31일까지 조사하였다.

## 실험방법

### 1) 항온발아실험

1993년 12월부터 1994년 4월까지 6회에 걸쳐 실험을 실시하였으며, 페트리 접시에 3겹의 여과지를 깔고 증류수 7 mL를 공급한 후 50립씩 파종하여 15, 20, 25, 30, 35℃의 온도로 조절된 5개의 성장상에서 실시하였다.

모든 실험은 암상태하에서 실시하였으며, 육안으로 보아 유근이 1 mm 이상인 것을 발아한 것으로 간주하여 시간별로 누적산출하였다. 발아시간은 파종 후 성장상에 넣은 시간부터 발아를 확인할 때까지로 하였으며 발아속도는 발아시간을 역수로 취하여 구하였다. 고도별 질경이 종자에 요구되는 적산온도는 Garcia-Huidobro 등(1982)과 Washitani 등(1984a)이 사용하였던 온도와 발아속도 사이의 관계 분석법에 따라 다음과 같이 계산하였다 :

$$A = (T - T_b) / R$$

A : 발아에 요구되는 적산온도

T : 온도

T<sub>b</sub> : Base temperature

(발아속도와 온도의 1차 회귀직선에서 발아속도가 0이되는 온도)

R : 발아속도(1/t), t : 발아시간

### 2) 변온발아실험

Increasing temperature (IT) regime과 decreasing temperature (DT) regime으로 조절된 2개의 성장상(Hotpack, Philadelphia, PA., U.S.A.)에서 실시하였다. IT regime에서는 4℃에서 36℃까지 4℃ 간격으로 온도를 증가시켜 주었으며, DT Regime에서는 4℃의 간격으로 36℃부터 4℃까지의 온도범위로 점차 감소시켜 주었다. 두 온도처리구에서는 온도를 다음 단계로 높이거나 낮추기 전에 종자를 한 온도에서 2~8일간 유지시켜 주었는데, 일반적으로 고온에서 발아율이 높은 것을 고려하여 20℃에서 36℃까지의 온도범위에서는 각각 2일 동안, 16℃에서는 3일, 12℃에서는 4일 동안, 8℃에서는 5일, 그리고 4℃에서는 8일 동안 종자를 각각의 온도에 노출시켜 주었다.

IT regime의 경우 마지막 단계에서 종자를 36℃에 노출시킨 후 5일 동안 12℃(17h)~24℃(7h)로 변온처리를 해주었으며, DT regime의 경우는 마지막 단계에서 종자를 4℃에 노출시킨 후 7일 동안 25℃에 처리하여 주었다. 발아된 종자의 수는 매번 온도변화를 시키기 전에 측정하여 기록하였다.

## 결과 및 고찰

### Phenological Pattern

Bradshaw(1959)는 고지대의 식물들은 저지대의 식물보다 빨리 개화하고 종자가 빨리 성숙된

다고 하였다. 한편 이(1979)는 질경이의 종자를 고도별로 채종한 후 재배실험을 통해 고도가 높은 지역의 집단은 화경의 출현시기가 빨라서 고도가 낮은 지역의 개체군과는 약 1개월의 차이가 있다고 하였다.

Table 2에서와 같이 질경이 개체군(200개체 중 20% 이상 개화)의 개화시기는 일반적으로 고도가 낮은 개체군에서는 6월말에, 고도가 높은 개체군에서는 6월 초순에 각각 개화가 시작되었으며 종자의 성숙시기와 산포시기도 고도가 높은 개체군은 8월 중순경부터, 고도가 낮은 개체군은 9월초부터 시작되었다. 한편 종자의 무게는 고도가 높은 지역인 천왕봉 개체군의 경우 200입의 무게가 0.152 g으로, 고도가 낮은 화엄사, 마천, 내령마을, 백무동지역은 0.106~0.126 g으로 나타나 고도가 높을수록 종자의 무게가 큰 값을 나타내는 경향이 있었다. 이와 같은 현상은 고도가 높을수록 종자의 무게가 큰 값을 나타낸다고 하는 Bradshaw(1959)와 이(1979)의 결과와 일치되는 것으로 생각한다.

또한 Harper 등(1977)은 동일한 종이라 할지라도 종자의 크기와 중량이 다르며 이에 따라 발아습성이 다르다고 하는 종자의 다양성을 보고하였으며, Counts와 Lee(1991)는 고도가 높을수록 *Zizania palustris* 종자의 중량이 증가한다고 하였다. 질경이의 경우도 Harper 등(1977)과 Counts와 Lee(1991)의 결과와 일치하며 개체군 내에서 이러한 종자중량의 차이가 서로 다른 환경 속에서 생존을 위한 생태적 적응전략을 수행할 것으로 생각된다.

### 항온발아실험

고도별 개체군의 15, 20, 25, 30, 35℃의 항온에서 발아율은 20~30℃의 온도에서 대부분 70% 이상의 발아율을 나타내었으며, 화엄사 개체군은 25℃에서 90.52%로 가장 높은 발아율을 나타내었고, 내령마을, 달궁, 시암재, 샘터와 헬기장의 개체군은 30℃에서 가장 높은 최종발아율을 나타내었다. 돼지평전, 노고단, 반야봉의 개체군은 25℃에서 가장 높은 발아율을 나타내었고 장터목산장은 20, 25와 30℃에서 모두 98.3%의 높은 발아율을 나타내었으며, 천왕봉은 20℃에서

**Table 2.** Phenological pattern of the population of *Plantago asiatica* L. in the collection sites

Population*	Flowering period	Seed dispersal period	Seed weight (200grains /g)
Hw	Early July	Early Sept. ~ Middle Nov.	0.120
Ma	Late June	Early Sept. ~ Middle Nov.	0.110
Na	Late June	" "	0.126
Pa	"	" "	0.106
Ta	"	" "	0.122
Ha	"	" "	0.119
Sh	Middle June	" ~ Early Nov.	0.121
Sa	Middle June	Middle Sept. ~ Early Nov.	0.123
He	"	Late Aug. ~ Late Oct.	0.136
Dw	"	" "	0.157
No	Early June	Middle Aug. ~ "	0.142
Py	"	" "	0.145
Cha	"	Middle Aug. ~ Late Oct.	0.173
Che	Early June	" "	0.152

\* Abbreviations are the same as in Table 1.

**Table 3.** Germination percentage of *Plantago asiatica* L. seeds collected from 12 local populations

Sites*	Temperature (°C)				
	15	20	25	30	35
Hw	00.00	80.00	90.52	87.70	3.30
Ma	00.00	75.00	85.20	87.05	7.25
Na	00.00	78.30	77.50	85.87	5.00
Ta	00.00	87.00	88.50	88.67	13.30
Sh	00.00	76.70	71.00	91.10	00.00
Sa	00.00	70.00	85.30	87.60	13.30
He	00.00	41.70	62.50	88.97	15.00
Dw	01.60	93.30	97.50	91.60	11.70
No	13.30	81.70	95.80	95.40	6.70
Py	00.00	85.00	96.70	96.70	15.00
Cha	16.70	98.30	98.30	98.30	33.30
Che	31.70	98.30	96.10	93.86	6.70

\* Abbreviations are the same as in Table 1

98.3%의 가장 높은 발아율을 나타내었다 (Table 3). 화엄사가 25°C에서 가장 높은 발아율을 나타내고 반야봉이 25, 30°C에서 동일한 발아율을 나타내긴 하였지만 일반적으로 고도가 높아질수록 최적온도가 30°C에서 20°C로 점차 낮아지는 것을 볼 수 있었는데, 고도가 높은 지역에서 생육하는 식물의 종자가 고도가 낮은 지역의 식물보다 발아 최적온도가 낮다고 하는 Shibata(1985)와 Dorne(1981)의 견해와 일치하고 있다. 또한 식물의 온도에 대한 발아 반응은 분포지에 따라 적정온도가 달라지며, 열대지방에 분포하는 식물은 대부분 적정온도가 높고 한대지방에 분포하는 식물은 적정온도가 낮다(田川 1982)는 것을 고려해 보면 고도가 높을수록 기온이 낮기 때문에 이에 적응하여 최적온도가 낮아진 것으로 생각된다.

고도에 따라 발아할 수 있는 온도 범위와 발아율도 차이가 나타났는데 고도가 높아질수록 발아 범위가 넓어져 돼지평전 (1420 m) 이상의 고도에서는 15°C에서도 발아한 개체가 나타나기 시작하였으며, 15~35°C의 모든 온도에서 고지대의 종자 개체군이 발아율이 높게 나타났다 (Table 3). 이러한 결과는 위도와 고도가 다른 8개 지역에서 채종한 질경이 종자 개체군에서 고위도 및 고지대 개체군일수록 발아율이 모든 온도대에서 높게 나타났다(이 1979)는 것과 동일하며, 성장하기 어려운 온도 환경 속에서 생존을 위한 생태적 적응의 결과라고 생각된다.

종자의 발아율이 일정하게 유지되는 특정한 온도범위에서 온도가 상승함에 따라 발아속도는 직선적으로 증가하고 (Hegarty 1973, Thompson and Fox 1976), 발아에 요구되는 적산온도는 일정하여 (Garcia-Huidobro *et al.* 1982) 종간의 발아습성의 차이, 그리고 기후와 지역에 따른 발아반응의 변이를 비교하는데 사용할 수 있다 (Bierhuizen and Wagenvoort 1974, Kanemasu *et al.* 1975, Wagenvoort and Bierhuizen 1977, Angus *et al.* 1981). 본 실험 결과 고도가 500 m인 달궁 개체군과 고도가 950 m인 시암재 개체군에서 채종한 질경이 종자 개체군의 10~80% 발아에 요구되는 적산온도와 그 분포범위는 유사하였다 (Table 4). 달궁의 경우, 10~80% 발아에 요구되는 적산온도는 1603.3~3545.94 Kh(degree Kelvin × hour)로 1942.64Kh의 차이가 있었으며, 시암재의 경우는 10~80% 발아에 요구되는 적산온도는 1611.84~3310.08 Kh로 1698.24 Kh의 차이가 있었다. 헬기장 개체군의 10~40% 발아에 요구되는 적산온도는 1374.94~2016.12 Kh였으며 노고단 개체군의 10~40% 발아에 요구되는 적산온도 1491.62~2158.53 Kh와 유사하

**Table 4.** Parameters of linear regression of germination rate on constant temperature (20°C, 25°C, 30°C) for the subpopulations characterized by 10~80% germination of *Plantago asiatica* L. collected from 8 local populations

Sites	Subpopulation (% germination)	Thermal time (Kh)	Base temperature (°C)	r <sup>2</sup>
Ta	10	1603.30	3.10	0.99
	20	1782.13	3.94	0.97
	30	1943.13	4.18	0.95
	40	2112.73	5.48	0.93
	50	2310.47	4.11	0.90
	60	2563.83	4.15	0.93
	70	2927.36	4.13	0.94
	80	3545.94	4.09	0.92
Sh	10	1611.84	4.98	0.99
	20	1768.17	5.14	0.99
	30	1908.91	5.32	0.97
	40	2057.18	6.07	0.95
	50	2230.04	4.41	0.99
	60	2451.53	5.20	0.98
	70	2769.32	5.03	0.99
	80	3310.08	5.23	0.95
He	10	1374.94	10.15	0.99
	20	1600.02	9.68	0.99
	30	1802.65	9.76	0.99
	40	2016.12	10.56	0.99
	50	—	—	—
	60	—	—	—
	70	—	—	—
	80	—	—	—
Dw	10	1527.62	4.73	0.99
	20	2043.44	1.25	0.97
	30	2360.65	-0.71	0.96
	40	2685.06	-2.90	0.99
	50	2800.00	-4.44	0.98
	60	3230.65	-6.54	0.99
	70	3509.97	-5.46	0.97
	80	4017.06	-7.23	0.95
No	10	1491.62	6.37	0.81
	20	1725.73	6.38	0.83
	30	1936.50	6.36	0.87
	40	2158.53	6.22	0.83
	50	2417.40	6.25	0.83
	60	2749.08	6.23	0.86
	70	3224.99	6.27	0.86
	80	4034.80	6.25	0.85



**Table 4.** Continued

Sites	Subpopulation (% germination)	Thermal time (Kh)	Base temperature (°C)	r <sup>2</sup>
Py	10	1665.85	1.26	0.99
	20	2312.58	-4.09	0.97
	30	2950.41	-10.16	0.84
	40	3333.04	-12.65	0.88
	50	3612.22	-13.90	0.85
	60	3968.85	-15.30	0.88
	70	4625.65	-16.30	0.84
	80	-	-	-
Cha	10	1666.09	-3.73	0.88
	20	1925.00	-5.69	0.96
	30	2103.85	-6.40	0.94
	40	2283.59	-6.86	0.96
	50	2376.01	-6.74	0.95
	60	3558.75	-17.45	0.94
	70	3701.10	-17.45	0.99
	80	4555.20	-17.45	0.94
Che	10	2351.48	-10.57	0.99
	20	2995.90	-16.56	0.97
	30	3151.31	-15.32	0.99
	40	3812.87	-24.14	0.98
	50	4509.50	-24.14	0.99
	60	4952.85	-26.30	0.99
	70	5049.55	-25.61	0.94
	80	5524.74	-28.41	0.94

게 나타났다(Table 4). 노고단의 10~80% 발아에 요구되는 적산온도는 1491.62~4034.80 Kh로 2543.18 Kh의 차이가 나타났으며, 10~80% 발아에 요구되는 적산온도가 1527.62~4017.06 Kh 이고 2489.44 Kh의 차이를 나타내는 돼지평전 개체군과 유사하게 나타났다(Table 4). 고도가 1700 m인 장터목산장의 개체군과 1715 m인 반야봉의 개체군의 10~70% 발아에 요구되는 적산온도와 분포범위가 유사하게 나타났는데, 장터목산장의 경우 10~80% 발아에 요구되는 적산온도는 1666.09~4555.20 Kh로 2889.11 Kh의 차이를 나타냈으며, 반야봉의 경우는 10~70% 발아에 요구되는 적산온도가 1665.85~4625.65를 나타냈으며 2959.80 Kh의 차이가 있었다. 고도가 1915 m인 천왕봉 개체군의 10~80% 발아에 요구되는 적산온도는 2351.48~5524.74 Kh였으며 그 차이는 3173.26Kh를 나타내어 가장 많은 적산온도를 요구하며 적산온도의 분포도 가장 넓게 나타남을 알 수 있었다(Table 4). 고도가 높아질수록 10~80% 발아에 요구되는 적산온도가 많음을 알 수 있는데, 이것은 고도가 높을수록 적산온도가 높아진다는 조(1993a)와 조(1993b)의 결과와 일치하는 것이다. 또한 질경이의 경우 고도가 높을수록 적산온도의 분포가 넓어짐을 알 수 있었는데, 기후와 환경의 변화가 심한 온대지역에서 종자 개체군 내의 넓은 적산온도의 분포는 발아시기를 조절하여 유묘의 동시적 출현으로 인한 절멸을 모면하게 하여 식물의 생존과 번식에 중요한 역할을 한다(Rathcke and Lacey 1985)는 것을 고려해 볼 때 고지대의 넓은 적산온도의 분포는 종자 개체군의 생존을 위한 전략이라고 생각된다.

### 변온발아실험

IT와 DT regime에서의 발아실험은 특정한 온도 범위에서 야기되는 휴면유도 또는 타과의 존재여부, 발아를 위해 허용되는 적정온도 범위 등을 알 수 있게 하며, 이러한 것들을 통하여 종자의 발아시기 선택 기작을 알 수 있다. 이 regime을 통하여, Inoue와 Washitani(1989)는 *Campyula punctata* 종자 개체군이 고도가 높아짐에 따라 더욱 동시적으로 발아함을 밝혔으며, 이 (1991)는 위도 및 고도를 달리하여 분포하는 *Taraxacum officinale* 개체군의 경우 발아양상에 따라 초가을에 동시에 발아하는 개체군 그룹과 가을동안 시기를 달리하여 발아하는 개체군의 두 그룹으로 나누어짐을 밝힌 바 있으며, 또한 이 등(1993)은 위도를 달리하는 *Hemistepta lyrata*의 5 개체군의 경우 초가을 동시에 발아하는 그룹과 비동시적으로 늦가을에 발아하는 2 그룹으로 구분되어짐을 보고하였다. 그리고 조(1993a)는 위도와 고도가 다른 9개 지역에 분포하는 *Rumex acetocella* 개체군은 발아양상에 따라 봄발아형, 초가을 발아형 및 늦가을 발아형 개체군으로 구분되어진다고 보고한 바 있다.

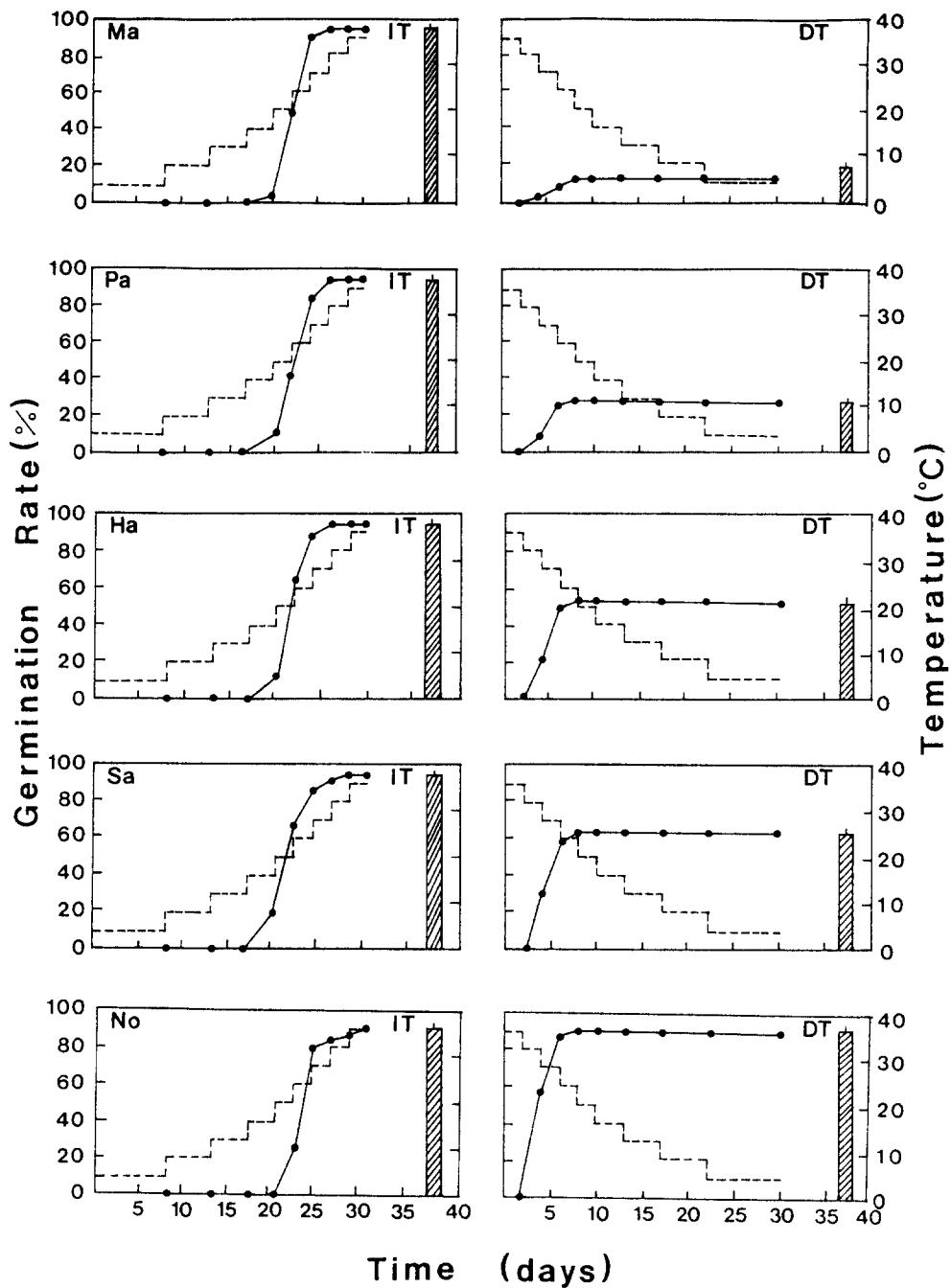
본 실험결과 대부분 개체군의 종자들은 16~32℃의 온도범위에서 발아가 이루어졌으며 IT regime은 16℃에서 발아가 시작되었고, DT regime은 32℃부터 발아가 시작되어 28℃에서 발아가 중지되었다. 항온 발아실험에서의 발아율(Table 4)과 이것을 종합해 볼 때 질경이 종자의 저온한계 온도는 16℃, 고온한계온도는 32℃ 정도임을 알 수 있었다.

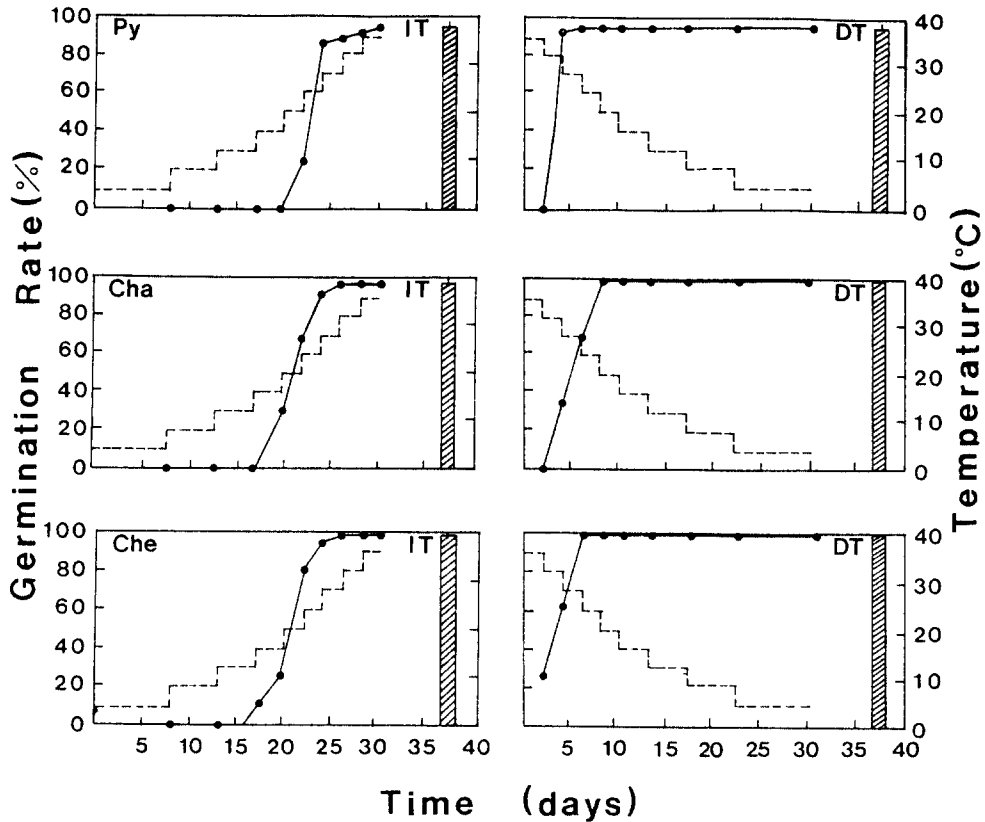
고도에 따라 발아가 가능한 온도범위에서는 차이가 없었으나 발아율에 있어서는 차이를 나타내어 IT와 DT regime의 발아패턴에 따라 3개의 그룹으로 구분되었다 (Fig. 2).

첫번째 그룹은 IT regime에서는 90% 이상의 발아가 이루어졌으나 DT regime에서는 40% 이하로 발아하여 봄에 발아할 것으로 예측되는 종자 그룹으로 고도가 300 m인 마천과 450 m인 백무동에서 채종한 종자 개체군이 이 그룹에 속하였다. 마천에서 채종한 종자의 경우, IT regime에서 16℃부터 발아하기 시작하였으며 온도가 증가함에 따라 발아율도 증가하여 28℃에서 최종발아율 97%를 나타내었고 DT regime에서는 32℃에서부터 발아가 시작되어 24℃까지 발아하였으나 20℃부터는 발아하지 않아 11%의 최종발아율을 나타내었다. 백무동의 경우도 IT regime에서 16℃ 부터 발아하기 시작하여 97%의 최종발아율을 나타내었으며, DT regime에서는 29%를 나타내었다. 마천에서는 DT regime의 마지막 단계에서 종자를 4℃에 노출시킨 후 7일 동안 25℃에 처리하였을 때 18%로 발아율이 증가하였는데, 4℃의 저온에서 휴면이 타과된 종자가 발아한 것으로 생각된다(Bewley and Black 1982, 최와 강 1984).

두번째 그룹은 IT regime이 DT regime보다 발아율이 높게 나타나긴 하지만 첫번째 그룹보다는 그 차이가 적게 나타난 곳으로 고도가 900 m인 하동과 1100 m인 샘터지역 개체군으로 대부분 봄과 가을에 걸쳐서 발아하는 그룹이다. 하동에서 채종한 질경이 종자의 경우, IT regime에서는 97%의 발아율을 보였고 DT regime에서 52%를 발아하여 45%의 차이를 나타냈으며, 샘터지역의 경우는 IT regime에서 97%, DT regime에서는 62%의 발아율을 나타내어 비교적 적은 차이를 보였다. 이 지역의 높은 IT regime에서의 발아율은 이 지역의 종자들이 봄에 주로 발아할 것을 나타내며 DT regime에서의 발아율 증가는 가을에 발아하는 종자도 있다는 것을 알 수 있었다.

세번째 그룹은 IT regime과 DT regime의 발아율이 거의 일치하는 곳으로 고도 1507 m인 노고단, 1715 m인 반야봉, 1750 m인 장터목산장과 1915 m인 천왕봉 개체군으로 대부분 초가을 동시에 발아하는 그룹이다. 노고단의 최종 발아율은 두 regime 모두 90%를 나타냈으며, 반야봉은





**Fig. 2.** Germination behaviors of the 8 seed populations in the test system. The broken lines show the courses of temperature change. The hatched bars, the maximum germination percentage under IT or DT regime, obtained after seeds were additionally subjected to alternating temperature of 12°C (17h) and 24°C (7h) after IT regime, or DT regime for 7 days. Abbreviations are the same as in Table 1.

95%, 장터목산장은 IT regime에서 98%, DT regime에서 100%, 천왕봉은 IT regime이 98%, DT regime이 100%를 나타내어 IT regime만 높은 발아율을 나타내고 DT regime의 발아율은 낮았던 위의 두 지역과 구별되었다.

고도가 높을수록 겨울의 저온이 빨리 시작되고 봄이 늦게 오기 때문에 질경이가 성장할 수 있는 시기가 짧게 되므로 고지대의 질경이는 가을에 유묘의 생체량을 축적해 놓으면 이듬해 개화하여 종자를 생산하기에 유리할 것이다. 그러나 식물의 생활사중 유묘단계에서는 특히 불리한 환경의 위협에 처하기 쉽고 치사율도 높아질 우려가 있기 때문에 (Harper 1977, Cook 1979, Solbrig 1980, Silvertown and Dickie 1981, Mark and Prince 1981) 가을에 발아를 할 경우 충분히 겨울을 지낼 수 있을 정도의 유묘생체량을 축적하여야 하므로 (Inoue and Washitani 1989) 산포된 직후 발아를 하여야 할 것이다. 본 실험 결과, DT regime에서 발아율이 높은 고지대의 경우, 32°C부터 발아가 시작되어 28°C에서 발아가 중지되어 초가을의 짧은 시간 동안에 발아가 이루어짐을 알 수 있었으므로 (Fig. 2), 초가을 동시 발아형이 고지대 질경이의 생존과 번식

에 유리한 생태적 조건임을 알 수 있었다.

## 적 요

지리산에 분포하는 질경이 (*Plantago asiatica* L.) 개체군의 고도에 따른 발아습성의 변이를 조사하였다. 고도를 달리하는 14개체군의 phenological pattern에 많은 차이가 나타났으며 10-80% 발아에 요구되는 적산온도는 고도가 높을수록 높게 나타났고 적산온도의 분포도 넓게 나타났다. 한편 IT와 DT regime에 있어서 발아반응은 3개의 그룹으로 구분되었다. 첫번째 그룹은 고도가 낮은 마천(300 m)과 백무동(500 m) 개체군으로 IT regime이 DT regime보다 더 높은 발아율을 나타내는 봄발아형이었으며 두번째 그룹은 하동(900 m), 샘터(1100 m) 개체군으로서 봄가을 발아형으로 IT regime이 DT regime보다 발아율이 높게 나타나지만 첫번째 그룹보다는 그 차이가 적게 나타났다. 3번째 그룹은 초가을에 동시에 발아하는 그룹으로서 IT regime과 DT regime의 최종발아율이 100%에 가까울 정도로 유사하게 나타난 개체군으로 노고단(1507 m), 장터목(1750 m), 천왕봉(1915 m) 개체군이었다. 이와 같은 질경이 개체군의 종내 발아습성의 지리적 변이는 극심한 환경변화 속에서의 생존을 위한 중요한 생태적 전략인 것으로 사료된다.

## 인용문헌

- 김창호 · 이호준 · 김용옥. 1993. 아카시나무 종자 단백질의 전기영동 변이. 한국생태학회지 16:515-526.
- 이호준 · 김창호. 1993. 아카시나무의 종자 발아와 유식물 생장에 있어서의 온도 적응. 한국생태학회지 16:501-514.
- 이호준 · 양효식. 1993a. 생육지의 토양염분농도에 대한 갈대개체군의 적응. 한국생태학회지 16:63-74.
- 이호준 · 양효식. 1993b. 생육지의 토양염분농도에 대한 갈대개체군의 발아 및 단백질 패턴. 한국생태학회지 16:135-149.
- 이호준. 1979. *Plantago asiatica* L.의 생태형에 관한 연구. 효성여자대학교 논문집 21:3-45.
- 이호준. 1991. 분포 지역에 따른 *Taraxacum officinale* Weber 종자의 발아반응의 변이. 건국대학교 이학논집 16:75-83.
- 이호준 · 박소현 · 조은부. 1993. 분포지역에 따른 지칭개 종자의 발아반응과 유묘생장의 변이. 한국생태학회지 16: 39-50.
- 조길임. 1993a. 분포지역에 따른 애기수영의 종자발아반응의 지리적 변이. 건국대학교 교육대학원 석사학위논문. pp. 1-27.
- 조은부. 1993b. 위도 및 고도에 따른 달맞이꽃 종자의 발아습성 및 유묘생장의 변이. 건국대학교 대학원 박사학위논문. pp. 1-67.
- 최봉호 · 강광희. 1984. 종자학. 홍익제, 서울. pp. 147-153.
- 田川日出夫. 1982. 植物の生態. 共立出版, 東京. 191p.
- Angus, J.F., R.B. Cunningham, M.W. Moncur and D.H. Mackenzie. 1981. Phasic development in field crops. Field Crops Res. 3:356-378.

- Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 1988. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperature region. *Amer. J. Bot.* 72:286-305.
- Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1985. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: A Continuum. *BioScience* 35:492-498.
- Bewley, J.D. and M. Black. 1982. *Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination*. Springer-Verlag Press, Berlin, Heidelberg, and New York. 375p.
- Bierhuizen, J.F. and W.A. Wagenvoort. 1974. Some aspects of seed germination in vegetables. 1. The determination and application of heat sums and minimum temperature for germination. *Sci. Hortic.* 2:213-219.
- Bradshaw, A.D. 1959. Population differentiation in *Agrostis tenuis* Sibth. I. Morphological differentiation. *New Phytol.* 58:208-227.
- Cook, R.E. 1979. Pattern of juvenile mortality and recruitment in plants. *In* O.T. Solbrig, G.B. Johnson and P.H. Raven (eds.), *Topics in plant population biology*. Columbia University Press, New York. pp. 207-231.
- Counts, R.L. and P.F. Lee. 1991. Germination and early seedling growth in some northern wild rice (*Zizania palustris*) populations differing in seed size. *Can. J. Bot.* 69:686-696.
- Dorne, A.J. 1981. Variation in seed germination inhibition of *Chenopodium bonus-henricus* in relation to altitude of plant growth. *Can. J. Bot.* 59:1893-1901.
- Garcia-Huidobro, J., J.L. Monteith and G. R. Squire. 1982. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). 1. *J. Experimental Bot.* 33:288-296.
- Grime, J.P., G. Mason, A.V. Curtis, J. Rodman, S.R. Band, M.A.G. Mawforth, A.M. Neal and S. Shaw. 1981. Comparative study of germination characteristics in a local flora. *J. Ecol.* 69:1071-1059.
- Harper, J.L. 1977. *The population biology of plants*. Academic Press, London.
- Hegarty, T.W. 1973. Temperature coefficient ( $Q^{10}$ ), seed germination and other biological processes. *Nature* 243:305-306.
- Heslop-Harison, J. 1964. Forty years of genecology. *Asv. in Res.* 2:159-247.
- Heydecker, W. 1977. Stress and seed germination: An agronomic view. *In* A.K. Elsevier (ed.), *Physiology and biochemistry of seed dormancy and germination*. North Holland and Biomedical Press, Amsterdam. pp. 237-282.
- Inoue, K. and I. Washitani. 1989. Geographical variation in thermal germination responses in *Campanula punctata* Lam. *Plant Species Biol.* 4: 69-74.
- Kanemasu, E.T., D.L. Bark and C. Choy. 1975. Effect of soil temperature on *Sorghum* emergence. *Pl. Soil.* 43:411-417.
- Marks, M.K. and S.D. Prince. 1981. Influence of germination date on survival and fecundity in wild lettuce *Lactuca serriola*. *Oikos* 36:326-330.
- Nakai, T. 1952. A synoptical sketch of Korean flora. *Bull. Nat. Sci. Mus.* No. 31. 1-152.
- Rathcke, B. and E.P. Lacey. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 16:179-214.

- Shibata, O. 1985. Botany of heights. Uchida Rokakuho, Tokyo.
- Silvertown, J.W. and J.B. Dickie. 1981. Seedling survivorship in natural population of nine perennial chalk grassland plants. *New Phytol.* 88:555-558.
- Solbrig, O.T. 1980. Demography and natural selection. *In* O.T. Solbrig (ed.), *Demography and evolution in plant strategy*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 1-20.
- Thompson, P.A. 1970. Characterization of the germination responses to temperature of species and ecotypes. *Nature* 225:827-831.
- Thompson, P.A. and D.J.C. Fox. 1976. The germination responses of vegetable seeds in relation to their history of cultivation by man. *Scientia Horticulturae* 4:1-14.
- Turesson, G. 1992. The genotypical response of the plant species to the habitat. *Hereditas* 3:211-350.
- Wagenvoort, W.A. and J.F. Bierhuizen. 1977. Some aspects of seed germination in vegetables. II. The effect of temperature fluctuation, depth of sowing, seed size and cultivar on heat sum and minimum temperature for germination. *Sci. Hortic.* 6:259-270.
- Washitani, I. 1984. Germination responses of a seed population of *Taraxacum officinale* Weber to constant temperature including the supraoptimal range. *Plant, Cell and Environment* 7:655-659.
- Washitani, I. and A. Takenaka. 1984a. Germination responses of a non-dormant seed population of *Amaranthus patulus* Bertol. to constant temperature in the sub-optimal range. *Plant, Cell and Environment* 7:353-358.
- Washitani, I. and A. Takenaka. 1984b. Mathematical description of the seed germination dependency on time and temperature. *Plant, Cell and Environment* 7:359-362.
- Washitani, I. and M. Masuda. 1990. A comparative study of the germination characteristics of seeds from a moist tall grassland community. *Functional Ecol.* 4:543-557.

(1994년 10월 4일 접수)