

온도에 대한 차풀 (*Cassia mimosoides* var. *nomame*) 종자의 발아반응

이호준 · 서지석 · 윤영진 · 임웅규*

건국대학교 이과대학 생물학과, 서울대학교 농생물학과*

Germination Responses of *Cassia mimosoides* var. *nomame* Seeds to Temperature

Lee, Ho-Joon, Ji-Seock Suh, Young-Jin Yoon and Ung-Kyu Lim*

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

Department of Agricultural Biology, Seoul National University*

ABSTRACT

The germination responses of *Cassia mimosoides* var. *nomame* seeds to temperature were examined under various conditions. The temperature range allowing germination was 20~40°C, and the linear relationship between the germination rate and temperature appeared to exist between 28~38°C. The total thermal time required for germination (10~80%) of *C. mimosoides* seeds ranged from 259 Kh (degree Kelvin×hours) to 421 Kh and base temperature range was relatively constant, i.e., 23.39~26.68°C. In the increasing temperature (IT) regime, *C. mimosoides* seeds started to germinate at 16°C and showed greater germination rate with increasing temperatures. The final germination rate was 64% at 36°C. On the other hand, in the decreasing temperature (DT) regime, the seeds began to germinate at 36°C, and the final germination rate was 52% at 20°C. An induced dormancy occurred at 16°C in the DT regime.

Key words: Base temperature, *Cassia mimosoides* var. *nomame*, Germination rate, Required thermal time

서 론

온도는 종자의 발아를 비롯하여 종의 성장과 생존에 큰 영향을 미치고 있으며(Washitani 1985, Washitani and Ogawa 1989), 여러 종들은 그들이 속한 서식지의 온도변화에 적응·순화해 가고 있다. 온도에 따른 종자의 휴면과 발아 능력은 종에 따라 차이가 있으며(Bewley and Black 1982), 이러한 차이를 일으키는 다양한 생리적 기작이 존재한다(Washitani and Takenaka 1984b). 온도에 대한 종자의 발아반응은 종에 따라, 또는 분포지에 따라 적정온도에 차이가 있으며, 휴면타파 후 온도에 대한 발아반응도 다른 양상을 나타내어 식물의 환경에 대한

생태적 적응을 보여주고 있다(Vegis 1964, Keisuke and Nobuo 1993). 또한, 동일 종내에서도 서식지의 환경에 따라 온도에 대한 다양한 발아양상을 나타내어 종내 변이를 보이는데(Lee 1979, Washitani 1984, Inoue and Washitani 1989), Lee(1991)는 *Taraxacum officinale* 종자에서 나타나는 이러한 변이를 생존을 위한 생태적 전략이라고 하였다.

온도는 대부분의 종에 있어서 발아율과 발아속도를 결정하는 것으로 알려져 있으며(Heydecker 1977, Bewley and Black 1982), 종자의 발아율은 대개 특정한 온도범위내에서 일정하게 유지되고, 이 특정 온도범위에서 온도가 상승함에 따라 발아속도는 직선적으로 증가하며, 이 범위를 벗어나게 되면 매우 급격히 감소한다(Thompson 1970, Hegarty 1973, Bierhuizen and Wagenvoort 1974, Thompson and Fox 1976, Garcia-Huidobro *et al.* 1982). 동일 종의 발아에 요구되는 적산온도는 고도와 위도에 따라 차이가 있으며(Lee *et al.* 1993, Cho 1993b), Cho(1993a)는 고도와 위도에 따라 *Oenothera odorata*의 발아와 생장 및 단백질 밴드 수의 차이가 있다고 하였다. 발아에 요구되는 적산온도는 환경에 따라 일정하여 종간 발아습성의 차이, 그리고 기후와 지역에 따른 발아반응의 변이를 비교하는데 사용될 수 있으며(Bierhuizen and Wagenvoort 1974, Kanemasu *et al.* 1975, Wagenvoort and Bierhuizen 1977, Angus *et al.* 1981), 환경의 변화가 심한 온대지역에 있어서 적산온도는 발아시기를 조절하여, 유묘의 동시적 출현으로 인한 절멸을 방지하는 역할을 한다(Rathcke and Lacey 1985). Garcia-Huidobro 등(1982)은 *Pennisetum typhoides*의 적산온도를 이용하여 분포에 대한 효과를 분석하였으며, Washitani와 Takenaka(1984b)는 적산온도의 분포를 모델화하여 종의 온도 의존적 관계를 추정할 수 있게 하였다.

이와 같이 온도가 종자발아에 미치는 영향에 관해서는 많은 연구가 진행되어 왔으나, 온도에 대한 발아습성을 비교·검토하기 위한 확실한 매개변수가 아직까지 설정되지 않고 있다. 따라서 해열 및 지사제 등의 약용으로 이용될 뿐만 아니라 줄기와 잎을 차 대용으로 사용할 수 있는 1년생 콩과식물인 차풀(*Cassia mimosoides* var. *nomame*)종자 개체군을 항온조건하에서 온도에 따른 발아습성의 변수를 찾고, 변온처리에 의해 유묘 출현시기 선택 기작을 연구함으로써 환경변화 속에서의 생존을 위한 차풀의 생태적 전략을 조사하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 차풀(*C. mimosoides* var. *nomame*)종자는 1992년 8월에 경기도 가평군에 위치하고 있는 명지산에서 채종하여, 종이봉지에 넣어 실온에서 보관하였다가 1992년 10월부터 1993년 7월까지 발아실험에 사용하였다.

실험방법

1) 항온처리

항온발아실험은 1992년 10월부터 1993년 7월까지 4반복으로 실시하였다. 직경 90 mm: petri dish에 2점의 여과지를 깔고 증류수 7 ml를 공급한 후, petri dish 1개 당 50립씩의 종자를 파종하여 온도가 조절되어지는 생장상(Hotpack Co., U. S. A)에서 암상태로 처리하였다.

온도조건은 각각 16, 20, 24, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42°C로 처리하였으며 발아는 유근이 1

mm 이상 종피를 뚫고 돌출한 것을 육안으로 확인하여 발아한 것으로 간주하였고, 발아시간은 온도별로 성장상에 넣은 후부터 발아를 확인할 때까지로 하였다. 차풀종자에 요구되는 적산온도는 Garcia-Huidobro 등(1982)과 Washitani와 Takenaka(1984a)가 사용했던 온도와 발아속도와와의 관계법에 따라 계산하였다.

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

A : 발아에 요구되는 적산온도

T : 온도

T_b : 기준온도(base temperature),
발아속도와 온도와의 1차 회귀
직선에서 발아속도가 0이 되는
온도

R : 발아속도(1/t), t : 발아시간

2) 변온처리

변온발아실험의 온도조건은 2개의 성장상을 사용하였으며, Washitani (1984)가 사용한 방법을 변형하여 4℃에서 8일, 8℃에서 5일, 12℃에서 4일, 16℃에서 3일, 20~36℃에서는 2일간 각 온도를 유지시키며 온도를 점차 증가시켜주는 increasing temperature (IT) regime과 온도를 점차 감소시켜주는 decreasing temperature (DT) regime을 실시하였다. 발아된 종자는 2개의 온도처리구 모두 각 온도단계에서 다음 온도단계로 온도를 변화시키기 전에 측정하여 기록하였다.

결 과

항온처리

다양한 온도구(16, 20, 24, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42℃)에서 차풀종자의 누적 발아곡선은

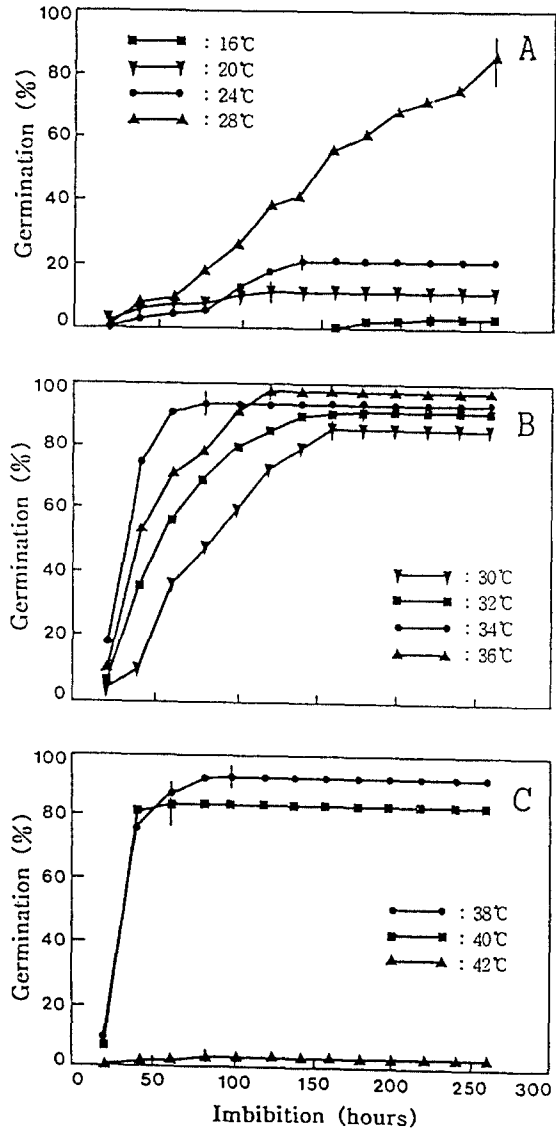


Fig. 1. Time courses of the cumulative germination of the seed population of *Cassia mimosoides* var. *nomame* at various sub-optimal temperature of 16, 20, 24, 28℃ (A), 30, 32, 34, 36℃ (B), 38, 40 and 42℃ (C). Mean percentage germination of four replications of 50 seeds is plotted with a vertical bar showing maximal SD.

Fig. 1과 같다. 80% 이상 발아한 것을 발아에 대한 적정온도로 볼 때 차풀종자의 발아에 대한 적정온도 범위는 28~40°C이며, 10%이상의 발아가 이루어진 온도 범위는 20~40°C로 나타났다. 발아개시에 필요한 시간은 16°C를 제외한 모든 처리구에서 20시간으로 나타났고, 34~38°C에서는 발아를 한 지 90시간 만에 최종발아율이 90%이상으로 나타났으며, 42°C에서는 거의 발아를 하지 않았다. 24°C에서는 140시간 만에 최종발아율이 21%, 20°C에서는 120시간 만에 11%를 나타내었으며, 16°C에서는 파종 후 180시간에 2%의 발아를 나타내어 발아종료시간은 다양하게 나타났다. 온도가 내려갈수록 발아율이 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 적정온도 범위(28~40°C)이하의 온도범위에 있어서 평균적온한계온도는 23.4°C임을 알 수 있었다 (Fig. 2).

차풀종자 개체군의 발아속도는 10~80% 발아된 각 아집단에 있어서 28~38°C 온도범위에서는 직선적으로 증가를 하였다 (Fig. 3). 차풀 종자 개체군이 10~80% 발아하는데 요구되는 적산온도는 259~421 Kh (degree Kelvin × hours)였으며 (Table 1), 적산온도 분포함수인 $F(\theta) = 1 - [3D^{-3}(\theta - m + D)^3 + 1]^{-1/2}$ (Washitani 1987)와 일치하였다 (Fig. 4). 차풀의 경우 50% 발아에 요구되는 적산온도 m 은 320 Kh로 계산되었고, m 에서 발아개시에 요구되는 적산온도를 빼준 값인 D 는 160 Kh로 나타났으며, 발아율이 높아짐에 따라 발아에 필요한 적산온도값은 증가하였다. 기준온도 (base temperature)는 10~80%의 발아된 아집단에서 23.39~26.68°C의 범위로 나타났다 (Table 1).

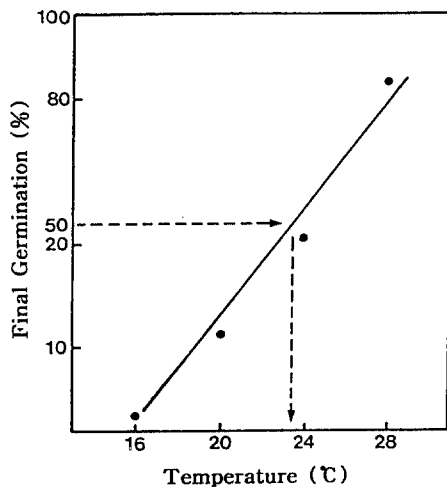


Fig. 2. Relationship between the final germination of a seed population of *C. mimosoides* var. *nomame* and the temperatures around the lower limit temperature with graphic analysis of the relationship on the normal probability scale. The mean lower limit temperature can be determined from the eye-fitted line as indicated by the arrows on the graph.

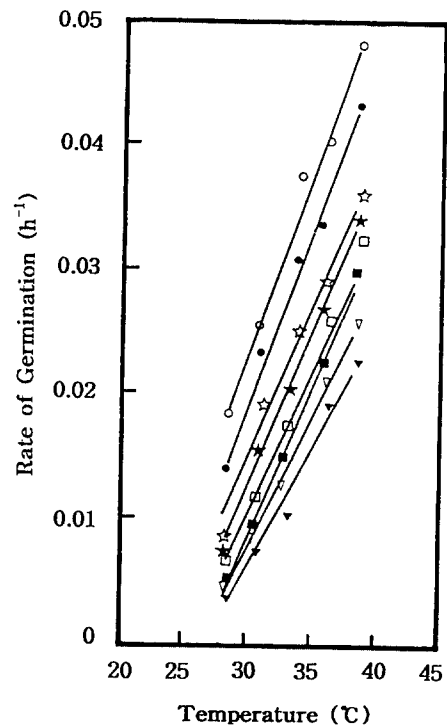


Fig. 3. Effect of temperature in the suboptimal range on the germination rate of 10(○), 20(●), 30(☆), 40(★), 50(□), 60(■), 70(▽), and 80(▼)% subpopulations from a seed population of *C. mimosoides* var. *nomame*. Each subpopulation was characterized by its germination percentage.

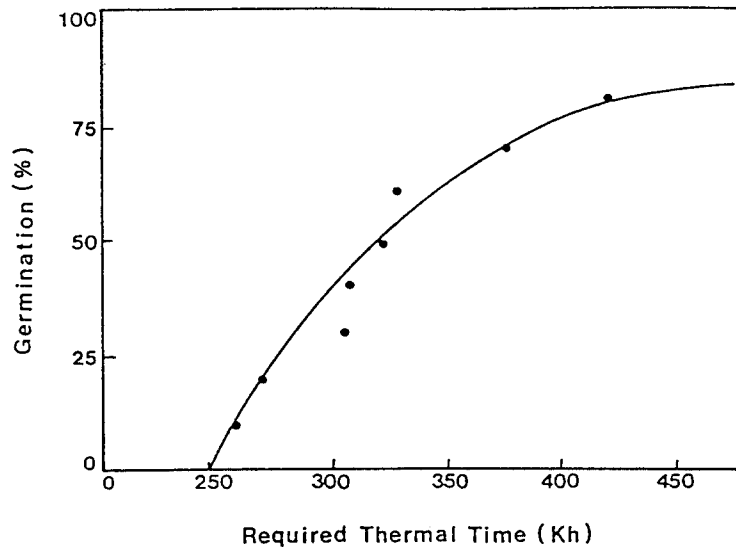


Fig. 4. Relationship between the percentage cumulative germination and the required thermal time (θ) for the germination of the subpopulation characterized by those percentages (points).

Table 1. Parameters of linear regressions of the germination rate on temperature in the sub-optimal range for the subpopulations characterized by 10~80% germination

Subpopulation (% germination)	Required thermal time (Kh)	Base temperature (°C)	r^{2*}
10	259	23.39	0.969
20	270	24.29	0.964
30	306	24.69	0.972
40	307	25.44	0.996
50	320	25.83	0.989
60	328	26.43	0.986
70	377	26.44	0.985
80	421	26.68	0.977

* The coefficient of determination between germination rate and temperature

변온처리

차풀종자의 변온처리 결과 IT regime과 DT regime의 최종 발아율은 각각 64%, 52%로 나타났다 (Fig. 5). IT regime에서는 처음 4°C에서 8일간 노출시 전혀 발아가 이루어지지 않았으며 파종 후 20일부터 발아가 시작되었고, 최종발아율이 64%로 나타난 시기는 파종 후 30일이었다. DT regime의 경우 36°C에서 2일간 처리했을때 16%의 발아가 이루어졌고, 파종 후 13일까지 발아가 증가하여 52%의 발아율을 보였으며, 그 이후부터는 발아가 이루어지지 않았다. DT regime에서는 온도가 내려갈수록 발아율이 비교적 높아지는 경향을 보였으나 20°C 부근에서 더 이상 발아가 일어나지 않았고, IT regime의 경우 20°C 부근에서 발아 개시가 되었으며 온도가 올라갈수록 발아율이 급격히 높아져서 DT regime보다 최종발아율이 더 높게 나타났다.

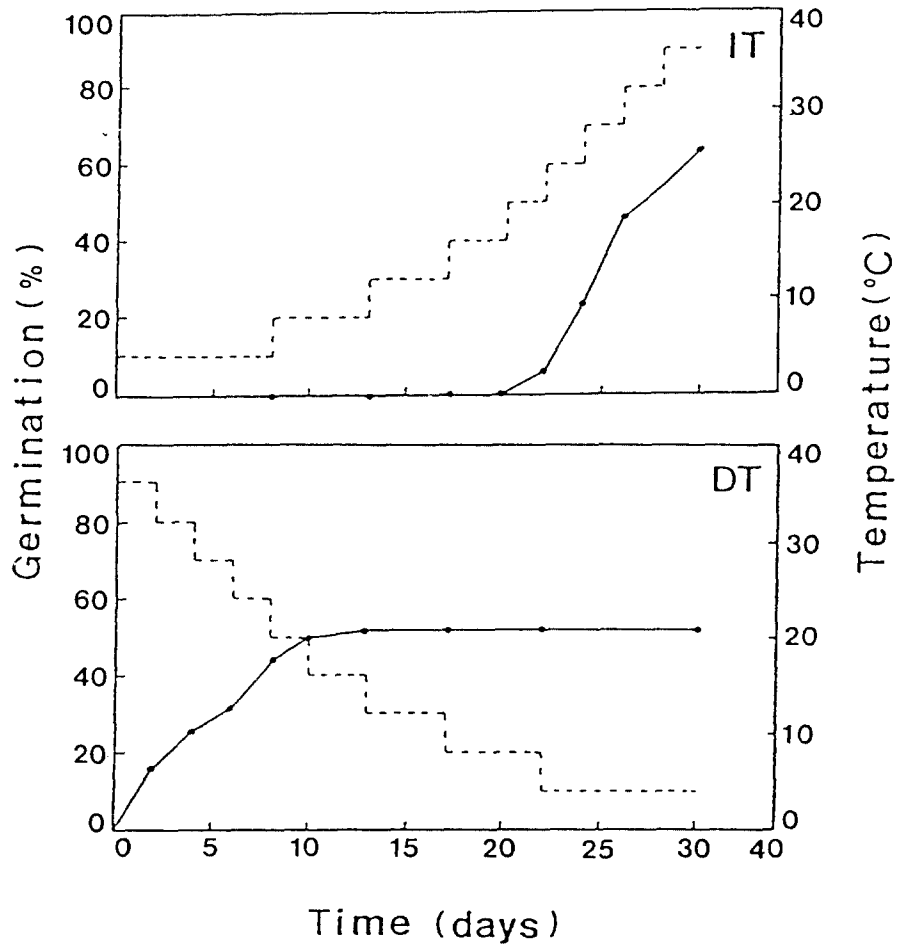


Fig. 5. Germination responses of *C. mimosoides* var. *nomame* seeds. The dotted lines show the courses of temperature change in increasing temperature (IT) regime or decreasing temperature (DT) regime.

고찰

대부분의 식물은 서식지의 토양온도 변화에 따라 종자의 발아율과 발아속도가 결정되어지며 (Heydecker 1977), 종자의 발아율은 대개 특정한 온도범위내에서 일정하게 유지되고 이 범위를 벗어나게 되면 매우 급격히 발아율이 감소하게 된다 (Thompson 1970). 또한 발아율은 특정한 범위에서 온도가 상승함에 따라 대개 직선적으로 증가하는데 (Hegarty 1973, Bierhuizen and Wagenvoort 1974, Thompson and Fox 1976), 본 실험의 경우 차풀 종자 개체군의 발아에 대한 적정온도 범위는 28~40°C로 나타났고, 발아를 위해 요구되어지는 적산온도는 259~421 Kh로 *Hemistepta lyrata* (Lee et al. 1993) 보다는 높았으나, *Echinochloa crus-galli* (Lee et al. 1994a) 와 *Plantago asiatica* (Lee et al. 1994b) 보다는 범위가 좁게 나타났으며 20~38°C의 범위에서 온도가 상승함에 따라 발아율도 높아짐을 알 수 있었다. 이와 같이 온도가 상승함에 따라 최종발아율이

증가하는 것은 온도의 증가로 수분흡수가 촉진되었기(Uchiyama 1981) 때문인 것으로 보인다.

Hendricks와 Taylorson(1979)은 대부분의 종자들이 15~30℃의 온도범위에서 가장 잘 발아되며 30℃ 이상의 고온에서는 발아가 크게 감소한다고 하였으며, 이러한 결과는 고온에 의한 세포막 지질의 구조적 손상이 일어나 대사물질이 유출되기 때문이라고 하였다. 본 실험에서는 차풀종자를 항온처리한 결과 40℃에서는 80%에 가까운 발아가 이루어졌으나 42℃에서는 거의 발아를 하지 않아 최고한계온도는 40℃인 것으로 나타났다. 이와 같이 40℃의 높은 온도에서도 발아율이 상대적으로 높은 것은 다른 종자에 비해 차풀 종자의 종피가 두껍기 때문으로 생각된다. 한편, 온도가 내려갈수록 최종발아율이 점차적으로 감소하여 20℃에서는 발아가 10% 정도 이루어졌으나, 16℃의 경우에는 발아가 거의 이루어지지 않아 최저한계온도는 20℃부근인 것으로 나타났다. 이와 같이 저온에서의 발아억제는 효소활성이 낮아지기 때문이라고 한 Amen(1968)의 보고와 같은 이유로 생각된다. 종자가 발아할 수 있는 최고온도와 최저온도의 간격은 대부분 종자의 경우 20℃ 전후로 알려져 있는데(Thompson 1970, Lee *et al.* 1994a), 본 실험결과 차풀 종자의 발아를 위한 허용 온도범위는 20~40℃로 나타나 일치하는 결과를 보였으며, 특히 28~40℃ 범위에서는 80%이상의 발아율을 나타내어 이 온도범위가 차풀 종자의 발아를 위한 적정온도 범위인 것으로 나타났다. 이 적정온도에서의 높은 발아율은 곧 서식지 환경에서의 차풀 개체군의 번식을 위해 중요한 역할을 수행할 것으로 생각되어진다.

28~38℃의 온도범위에서 10~80%의 발아율로 발아하는 각 아집단의 경우 발아세가 정비례적으로 증가하고 있는데, 이러한 결과는 Washitani와 Ogawa(1989)의 실험결과와 일치되는 경향을 보였다. 기준온도는 23.4~26.7℃로 아집단간에 비교적 일정하게 나타났지만 적산온도의 경우는 259~427 Kh로서 보다 다양하게 나타나, 차풀 종자 개체군내에서의 적산온도의 분포는 *Amaranthus patulus* Bertol. (Washitani and Takenaka 1984b)의 적산온도 분포곡선에 매우 근접하고 있음을 알 수 있다.

변온처리의 경우는 IT regime에서는 처음 4℃에서 8일간 처리했을 때 전혀 발아가 이루어지지 않았으며 파종 후 20일부터 발아가 시작되어 30일 후에는 최종발아율이 64%로 나타났다. DT regime의 경우 36℃에서 2일 간 노출시키자 16%의 발아가 이루어졌고, 파종 후 13일까지 발아가 증가하여 52%의 발아율을 보였으며 그 이후부터는 발아가 이루어지지 않았다. 따라서 DT regime에서는 온도가 내려갈수록 발아율이 비교적 높아지는 경향을 보였으나 20℃부근에서 더 이상 발아가 일어나지 않았다. 또한 IT regime의 경우에는 20℃부근에서 발아 개시가 되었으며 온도가 올라갈수록 급격히 발아율이 높아져서 DT regime보다 최종발아율이 더 높게 나타났다. 이것은 *Hemistepta lyrata*(Lee *et al.* 1993)의 DT regime에서는 발아가 이루어지나 IT regime에서는 거의 발아가 이루어지지 않는 것과는 다른 양상이나, Lee 등(1994a)과 Cho(1993b)의 결과와 같은 경향을 나타냈다. 이로써 차풀 종자는 고온에 의해서도 휴면이 타파되지만 저온에 의해서 더 많은 종자의 휴면이 타파되었음을 알 수 있었다. 토양속의 많은 종자들은 휴면과 비휴면 기간을 거치게 되는데(Courtney 1968, Baskin and Baskin 1985), 차풀 종자 개체군의 일부 종자는 가을에 발아를 하기도 하지만, 대부분의 종자들은 겨울의 저온에 의해 휴면이 타파되어 봄의 기온 상승과 함께 요구되는 적산온도가 충족되면 발아하는 종자임을 알 수 있게 한다. 이러한 종자들간의 생태학적 습성의 차이가 종자분산능력 또는 종자발아의 계절적인 선택에서 발견되어지고 있으며(Naito 1975, Hotta 1977, Ogawa 1976), 종자 개체군내에서의 발아시기의 변이는 종자에 의한 번식의 성공에 영향을 미치고 있다 (Rathcke and Lacey 1985). 이러한 발아시기의 변이는 유묘를 성공적으로 정착시키기 위한 것으로서 계절적으로 그리고 우발적으로 변화하는

서식지 환경에서의 종족 보존을 위한 수단이라고 볼 수 있다.

적 요

차풀(*Cassia mimosoides* var. *nomame*) 종자 개체군의 항온처리와 변온처리하에서 온도에 대한 발아반응을 조사하였다. 차풀 종자 개체군의 발아에 대한 최저한계온도는 20℃, 최고한계온도는 40℃로 이 범위내에서 일반적으로 차풀 종자 개체군의 발아가 이루어졌고, 28~38℃범위에서 온도가 상승함에 따라 발아율이 직선적으로 증가하였다. 차풀 종자가 10~80% 발아하는데 요구되는 적산온도는 259~421 Kh(degree Kelvin×hours)이며, 기준온도(base temperature)는 23.39~26.68℃로 비교적 일정하게 나타났다. IT regime에 있어서는 16℃부터 발아가 시작되어 36℃에서 최종발아율(64%)을 보였으며, DT regime은 36℃부터 발아가 시작되어 20℃에서 최종발아율(52%)을 보였고, 16℃부터는 2차 휴면이 유도되었다. 차풀 종자 개체군은 발아가능 온도범위가 비교적 넓으며 개체군내의 발아시기 조절에 의해 다양한 온도에서도 잘 적응하여 생존과 자손의 번식을 위한 생리생태적 전략으로 발아습성 변이를 보이고 있음을 알 수 있다.

인용문헌

- Angus, J.F., R.B. Cunningham, M.W. Moncur and D.H. Mackenzie. 1981. Phasic development in field crops. *Field Crops Res.* 3:365-378.
- Amen, R.D. 1968. A model of seed dormancy. *Bot. Rev.* 34:1-31.
- 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*. Springer-Verlag, Berlin. 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.
- Cho, E.B. 1993a. Variation in germination behavior and seedling growth of *Oenothera odorata* Jacq. seeds according to the latitude and altitude. Ph.D. Thesis. Kon-Kuk Univ., Seoul. pp. 58-67.
- Cho, K.I. 1993b. Geographical variations in the thermal germination responses of *Rumex acetocella* L. by distribution areas. M.S. Thesis. Kon-Kuk Univ., Seoul. pp. 23-27.
- Courtney, A.D. 1968. Seed dormancy and field emergence in *Polygonum aviculare*. *J. Appl. Ecol.* 5:675-683.
- Garcia-Huidobro, J., J.L. Monteith and G.R. Squire. 1982. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. and H.). *J. Exp. Bot.* 36:338-343.
- Hegarty, T.W. 1973. Temperature coefficient (Q_{10}), seed germination and other biological processes. *Nature* 243:305-306.
- Hendricks, S.B. and R.B. Taylorson. 1979. Dependence of thermal responses of seeds on membrane transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*

76:778-781.

- Heydecker, W. 1977. Stress and seed germination: An agronomic view. In A.K. Elsevier (ed.), *The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination*. North Holland and Biomedical Press, Amsterdam. pp. 237-282.
- Hotta, M. 1977. On the distribution of dandelion (*Taraxacum*) in the Kinki district. *Shizenshi-Kenkyu* 1:117-134.
- 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. Effects of soil temperature on sorghum emergence. *Pl. Soil.* 43:411-417.
- Keisuke, T. and O. Nobuo. 1993. Temperature effects on seed germination of East Asian and tertiary relict species of *Dioscorea*. *American J. Bot.* 80:493-499.
- Lee, H.J. 1979. A study on the ecotype of *Plantago asiatica* Linne. *Research Bulletin, Hyosung Women's College* 21:3-45.
- Lee, H.J. 1991. Geographical variations in germination response on *Taraxacum officinale* Weber seed by distribution area. *J. Basic Sci. Kon-Kuk Univ.* 16:75-83.
- Lee, H.J., S.H. Park and E.B. Cho. 1993. Geographical variations in the seed germination response and seedling growth of *Hemistepta lyrata* Bunge by distribution areas. *Korean J. Ecol.* 16:39-50.
- Lee, H.J., M.S. Seong and B.H. Ryu. 1994a. Germination responses of *Echinochloa crus-galli* seeds to temperature. *Korean J. Ecol.* 17:367-378.
- Lee, H.J., Y.O. Kim, J.H. Jeon, M.S. Seong and I.D. Jang. 1994b. Variation of the germination responses to temperature of *Plantago asiatica* seed population along altitude in Mt. Chiri. *Korean J. Ecol.* 17:485-499.
- Naito, T. 1975. Notes on ecesis of *Taraxacum* plants. *Biol. Sci. Tokyo* 27:195-202.
- Ogawa, K. 1976. Observation on flowering and seed production of some dandelion species. *Live Teaching Materials Information Service* 12:128-130.
- Rathcke, B. and E.P. Lacey. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 16:179-214.
- 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.
- Uchiyama, Y. 1981. Studies on germination of salt bushes; 1. The relationship between temperature and germination of *Atriplex nummularia* Lindel. *Jpn. J. Trop. Agric.* 25:62-67.
- Vegis, A. 1964. Dormancy in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 15:185-224.
- 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 temperatures including the supraoptimal range. *Plant Cell Env.* 7:655-659.
- Washitani, I. 1985. Germination rate dependency on temperature of *Geranium carolinianum* seeds. *J. Exp. Bot.* 36:330-337.
- Washitani, I. and A. Takenaka. 1984a. Germination responses of a non-dormant seed population of *Amaranthus patulus* Bertol. to constant temperatures 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 Environ.* 7:359-362.
- Washitani, I. and K. Ogawa. 1989. Germination responses of *Taraxacum platycarpum* seeds to temperature. *Plant Species Biol.* 4:123-130.

(1996년 4월 8일 접수)