

온도에 대한 돌피(*Echinochloa crus-galli*) 종자의 발아반응

이 호 준 · 성 미 선 · 류 병 혁

건국대학교 이과대학 생물학과

Germination Responses of *Echinochloa crus-galli* Seeds to Temperature

Lee, Ho-Joon, Mi-Seon Seong and Byung-Hyuk Ryu

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

ABSTRACT

The germination responses of *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. seeds to temperature were examined under the various thermal conditions. While almost all the seeds tested did not germinate immediately after collection, almost of the seeds which were stored for 7, 10, and 17 months showed very high germination percentages (85~95%) at their own constant temperatures between 16°C and 40°C. The total thermal time which was required for germination(10~70%) of *Echinochloa crus-galli* seeds ranged from 539Kh(degree Kelvin × hour) to 1,279Kh in accordance with the distribution function of thermal time, $F(\theta) = 1 - [3D^{-3}(\theta - m + D) + 1]^{-1/2}$, where m is 935Kh and D is 555Kh. Moist chilling treatment at 2°C for 20 days increased the final germination percentage as well as the germination rate.

In the increasing temperature(IT) regime, *E. crus-galli* seeds started to germinate at 12°C, and showed greater germination rate with increasing temperatures, with the final germination percentage of 80%. On the other hand, in the decreasing temperature(DT) regime, the seeds began to germinate at 12°C(10% germination) with the final germination percentage of 20%. An induced dormancy occurred at 4°C in the DT regime.

Key words: Base temperature, *Echinochloa crus-galli*, Germination percentage, Germination responses, Required thermal time

서 론

종자는 식물의 산포자로서 다양한 환경 변화에 적응하여 생존할 수 있는 특징을 지니고 있으며, 또한 종자의 발아는 적당한 환경조건이 될 때 이루어지고 종자의 발아에 요구되는 온도와 수분조건, 그리고 광조건은 각 식물이 분포하고 있는 환경에 따라 달라진다. 이러한 종자의 발아를

조절하는 환경요인 중 토양온도는 온대 지역에 있어서 발아시기를 결정하는 가장 중요한 요인으로 밝혀졌으며, 이러한 발아시기의 선택에 있어서 다양한 생리적 기작이 존재하고 있음이 입증되었다(Bewley and Black 1982, Washitani and Takenaka 1984a, Baskin and Baskin 1985, 1988). 종자의 온도에 대한 발아 반응은 종에 따라 또는 분포지에 따라 적정온도가 달라지는데, 열대지방에 분포하는 식물은 대부분 적정온도가 높고 한대지방에 분포하는 식물은 적정온도가 낮으며(田川 1982), 휴면타파 후 온도에 대한 발아반응의 유형 역시 다른 양상을 보여 식물의 생태적 적응 역사를 짐작할 수 있게 한다(Vegis 1963, 1964). 또한 동일 종간에도 분포지에 따라 온도에 대한 발아반응에 변이가 있는 것으로 밝혀졌는데(Lee 1979, Grime *et al.* 1981), Lee (1991)는 *Taraxacum officinale* 개체군 종자에서 나타나는 이러한 변이를 여러 환경에서 생존하기 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 범위를 벗어나게 되면 매우 급격히 감소한다고 한다(Thompson 1970). 이 특정한 온도범위에서 온도가 상승함에 따라 발아속도는 직선적으로 증가하고(Hegarty 1973, Bierhuizen and Wagenvoort 1974, Thompson and Fox 1976, Garcia-Huidobro *et al.* 1982), 발아에 요구되는 적산온도는 일정하여 종간의 발아습성의 차이, 그리고 기후와 지역에 따른 발아반응의 변이를 비교하는데 사용될 수 있다(Bierhuizen and Wagenvoort 1974, Kanemasu *et al.* 1975, Wagenvoort and Bierhuizen 1977, Angus *et al.* 1981). Lee 등(1993), Cho (1993a) 및 Cho (1993b)는 동일종의 발아에 요구되는 적산온도가 고도와 위도에 따라 달라지고 있음을 밝혔으며, Rathcke와 Lacey(1985)는 기후와 환경의 변화가 심한 온대지역에 있어서 종자 개체군 내의 넓은 적산온도의 분포는 발아시기를 조절하여 유묘의 동시적 출현으로 인한 절멸을 모면하게 하고 식물의 생존과 번식에 중요한 역할을 한다고 하였다. Garcia-Huidobro 등(1982a)은 *Pennisetum typhoides*를 사용하여 분포에 대한 효과를 적산온도를 이용하여 분석하였으며, Washitani 와 Takenaka(1984a)는 적산온도의 분포를 수학적 함수로 모델화하여 유묘의 출현시기, 앞의 출현, 그리고 개화시기 등의 온도 의존적 관계를 추정할 수 있게 하였다.

돌피(*Echinochloa crus-galli*)는 도시 주변의 빈터나 도랑, 논, 밭, 그리고 강가 등에서 자라며(고 1991), 전 세계적으로 분포하는 화본과(Heywood 1985)에 속하는 1년생 초본으로, 농업생태계에 있어서 문제가 되는 잡초이다. 잡초의 제거에 있어서 제초제의 사용은 농토를 오염시키며 잡초의 저항성이 더욱 늘어가고 있으므로 제초제를 대체할 새로운 연구가 필요할 것으로 생각되며 식물의 생태적 특징을 기초로 하여야 한다고 생각한다. 따라서 본 연구는 농작물에 피해를 주는 돌피의 발아에 대한 생태적 특징을 항온과 변온, 그리고 발아한계 밖의 고온과 저온에 대한 발아 반응을 통하여 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 돌피(*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) 종자는 1991년 9월 건국대학교 구내에서 채종하여, 종이봉지에 넣어 15°C 이상의 실온에 건조상태로 보관하였다가 1991년 9월부터 1993년 2월까지 발아실험에 사용하였다.

실험방법

1) 항온발아실험

발아실험은 1991년 9월부터 1992년 4월, 7월 및 1993년 2월에 각각 3반복으로 실시하였다. 종자는 직경 90mm의 페트리 접시에 2겹의 여과지를 깔고 증류수를 충분히 공급한 후 접시당 50립씩 파종하여 암상태 하에서 온도가 조절되는 성장상에서 실험하였다.

온도조건은 12°, 16°, 20°, 24°, 28°, 32°, 36°, 40°, 42°, 43°, 44°C의 항온조건으로 하였으며, 발아율은 육안으로 보아 유근이 1mm 돌출한 것을 시간별로 누적산출하였다. 발아시간은 파종 후 성장상에 넣은 시간부터 발아를 확인할 때까지로 하였으며 돌피종자에 요구되는 적산온도는 Garcia-Huidobro 등(1982)과 Washitani와 Takenaka(1984a)가 사용하였던 온도와 발아속도와의 관계 분석법에 따라 계산하였다.

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

A : 발아에 요구되는 적산온도

T : 온도

T_b : 기준온도(Base temperature),

발아속도와 온도와의 1차 회귀직선에서 발아속도가 0이 되는 온도

R : 발아속도(1/t), t : 발아시간

2) 변온발아실험

채종 후 10개월된 돌피종자의 변온발아실험은

- 1) 4°, 12°, 그리고 20°C에서 2일간, 12°C에서 4일간 처리 후 36°C로 각각 처리하였으며
- 2) 돌피종자의 발아시기를 조사하기 위하여 0°C에서 9일, 4°C에서 7일, 8°C에서 4일, 12°C에서 4일, 16°C에서 1일, 20°C에서 1일, 그리고 24°C에서 1일간 각 온도를 유지시키며 온도를 점차 증가시켜주는 Increasing Temperature(IT) regime과 온도를 점차 감소시켜주는 Decreasing Temperature(DT) regime을 실시하였다. IT regime과 DT regime은 Washitani(1984)가 사용한 방법을 변형시켜 사용하였으며, 1987~1991년 서울지역의 평균기온을 근거로 하였다(기상청 1987~1991). IT, DT regime의 상한온도는(돌피종자의 산포시기인 9월의 평균기온이 20.0°C, 최고기온은 25.6°C였으며 유묘의 출현시기인 5월의 평균기온은 17.3°C, 최고기온은 22.6°C를 나타냄) 24°C로 하였으며 하한온도는 12월, 1월, 그리고 2월의 평균기온이 1.1°C, -2.0°C, 그리고 0.5°C인 것을 고려하여 0°C로 하였다.

3) 발아적정온도 밖의 저온과 고온처리

돌피종자를 2°C에서 20일간 전처리한 후 16~36°C에서 4°C 간격으로 항온 처리하였으며 고온 처리는 45°C에서 1~9일간 처리한 후 36°C의 항온에 처리하였다. 저온처리 후의 발아에 요구되는 적산온도는 항온발아실험과 같은 방법(Washitani and Takenaka 1984a)으로 계산하였다.

결과 및 고찰

함온발아실험

1991년 9월에 채종한 직후 파종한 돌피(*Echinochloa crus-galli*)종자는 20~28°C의 온도범위에서 발아가 이루어지지 않았으며, 32~40°C에서도 3%이하의 발아율을 나타내어 채종 후 7개월, 10개월과 17개월에 실험된 종자의 최종발아율과 큰 차이를 나타내었다(Table 1). 채종 직후 실험한 후 7개월간은 발아실험을 하지 않았기 때문에 그 사이의 발아율은 알 수 없지만, 채종 7개월 이후의 종자는 저온처리를 하지 않았음에도 불구하고 80% 이상 발아하였는데 이것은 *Acer truncatum* 종자에서 보여지는 것(Ackerman 1957)과 같이 채종 후 시간이 지날수록 휴면의 지속성이 감소한 결과라고 생각된다.

다양한 온도구(12°, 16°, 20°, 24°, 28°, 32°, 36°, 40°, 42°, 43°, 44°C)에서 채종 후 7, 10, 그리고 17개월된 돌피종자의 시간에 따른 발아 반응은, 16~40°C의 범위에서 85~91%의 최대 발아율을 나타내었으며, 이 온도 범위 밖에서는 발아율이 급격히 감소하여 12°C에서 50%를 나타내었고 43°C에서는 70%를 나타내다가 44°C에서는 전혀 발아하지 않았다(Fig. 1a, b). 종자가 발아할 수 있는 최고온도와 최저온도의 간격은 대부분 종자의 경우 20°C 전후로 알려져 있는데(Thompson

Table 1. Germination percentage of seed population of *E. crus-galli* under the constant temperature (20~40°C). The seeds were stored at room temperature for 0, 7, 10, and 17 months

Months after seed collection	Germination percentage (%)					
	20°C	24°C	28°C	32°C	36°C	40°C
0	0.0±0.0*	0.0±0.0	0.0±0.0	2.0±1.2	2.7±1.4	0.7±0.8
7	89.0±1.0	94.0±0.0	81.0±3.0	87.5±2.0	86.0±4.0	87.4±2.0
10	88.8±6.3	96.0±0.0	89.0±3.0	86.0±5.9	85.0±7.0	92.0±0.0
17	89.0±1.0	80.0±9.9	83.0±0.9	83.3±0.9	81.0±7.0	88.7±2.5

* mean±s.e.

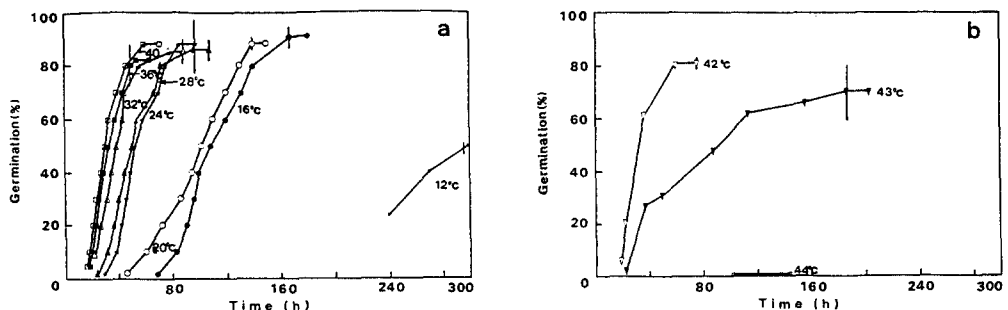


Fig. 1. Time courses of the cumulative germination of a seed population of *E. crus-galli* at various constant temperatures of 12°(□), 16°(●), 20°(○), 24°(★), 28°(▲), 32°(△), 36°(■), 40°(□), 42°(▽), 43°(▼), and 44°C(□). Mean percentage germination of four replications of 50 seeds is plotted with a vertical bar showing maximal SD. a: 12~40°C, b: 42~44°C.

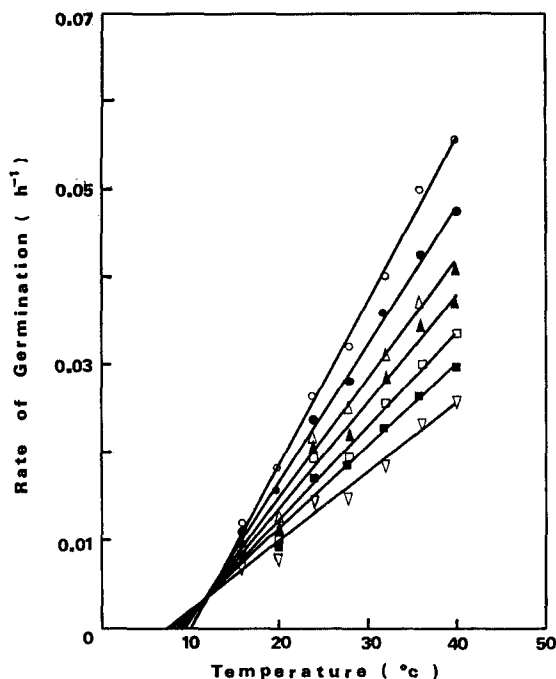


Fig. 2. Effect of temperature in the sub-optimal range on the germination rate of 10(○), 20 (●), 30(△), 40(▲), 50(□), 60(■), 70(▽) % subpopulations from a seed population of *E. crus-galli*. Each subpopulation was characterized by its germination percentage.

Table 2. Parameters of linear regressions of the germination rate on temperature in the sub-optimal range for the subpopulations characterized by 10~70% germination

Subpopulation (germination %)	Required thermal time (Kh)	Base temperature (°C)	r ² *
10	539	9.96	0.996
20	638	9.48	0.993
30	735	9.13	0.989
40	824	8.73	0.977
50	935	8.35	0.966
60	1067	7.74	0.979
70	1279	7.40	0.975

* r² : The coefficient of determination between germination rate and temperature

1970), 돌피종자는 30°C가 넘는 넓은 발아온도 범위를 나타내어 발아의 온도 적응성에 있어서 생태적으로 유리한 조건을 가지고 있었다.

발아개시에 필요한 시간은 40°C에서 16시간이었고, 온도가 하강함에 따라 요구되는 시간의 길이가 증가하여 16°C에서 68시간, 12°C에서는 210시간으로 온도에 따라 발아개시 시간의 차이가 많았다. 발아 종료시간 역시 다양하였으며 16~40°C의 온도범위에서는 168시간 이내에 모든 발아가 종료되었고 발아속도는 온도가 증가할수록 직선적으로 증가하였는데(Fig. 2) 이러한 증가는 저온에서 억제되었던 효소가 활성화되는 것에 기인하는 것으로 생각된다 (Amen 1968, 黑岩 1987).

돌피종자가 10~70% 발아하는데 요구되는 적산온도는 539~1,279Kh (degree kelvin×hours)였으며 (Table 2), 적산온도 분포함수인 $F(\theta) = 1 - [3D^{-3}(\theta - m + D)^3 + 1]^{-1/2}$ (Washitani 1987)과 일치하였다(Fig. 3b). 돌피의 경우 50% 발아에 요구되는 적산온도 m은 935Kh이었으며, 발아개시에 요구되는 적산온도는 16°C에서 380Kh((16°C - 10.25°C) × 66h)로 계산되어 m에서 발아개시에 요구되는 적산온도를 빼준 값인 D는 555Kh로 나타났다(Fig. 3a). 돌피종자의 10% 발아에 요구되는 적산온도와 70% 발아에 요구되는 적산온도 간에 740Kh나 되는 심한 차이를 나타내고 있는데 적산온도의 넓은 분포가 기후 변화가 심한 온대 지역에 있어서 한 종의 동시적 유묘출현으로 인하여 그 종이 절멸하는 것을 방지하는 것을 고려할 때(Baskin and Baskin 1972, Marks and Prince 1981, Inoue and Washitani 1989) 돌피종자가 유묘출현시기의 적응에 있어서 매우 중요한

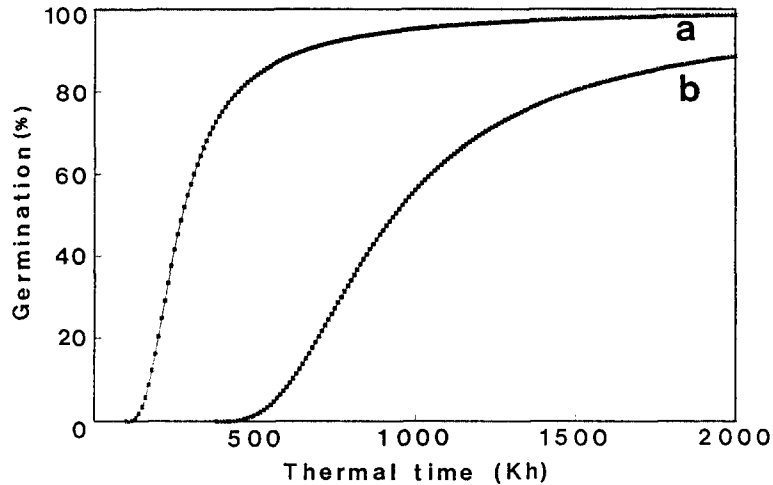


Fig. 3. Relationship between the percentage cumulative germination and the thermal time required for the germination of subpopulation. The seeds were subjected to moist chilling pre-treatment of 20 days(a) and control(b). Two curves based on the distribution function in detail in the text.

전략을 갖고 있음을 나타내고 있다.

Garcia-Huidobro 등 (1982a)은 발아율이 증가함에 따라 base temperature는 일정하고 적산온도가 증가하는 경우와 적산온도는 일정하고 base temperature가 변한다는 두 가지 가설이 있을 수 있으나 *Pennisetum typhoides* 종자의 실험 결과 base temperature는 일정하고 발아율이 증가함에 따라 적산온도가 증가한다고 증명하였으며, Washitani와 Takenaka(1984a)는 *Amaranthus patulus* 종자에서 위 사실을 재확인하였다. *Taraxacum officinale* (Washitani 1984)와 *Cassia mimosoides* var. *nomame* (Suh 1993) 종자의 경우 발아율이 증가함에 따라 적산온도가 증가한다는 것은 위의 두 종과 일치하였으나, base temperature는 *Taraxacum officinale*(Washitani 1984)의 경우 발아율이 증가함에 따라 감소하였고, *Cassia mimosoides* var. *nomame*의 경우 증가하여 base temperature가 일정하지 않음을 보였다. 돌피종자의 경우 10~70%로 발아율이 높아짐에 따라 적산온도가 539~1,279Kh로 증가하여 위의 여러 종들과 일치하였고, base temperature는 10% subpopulation이 9.96°C, 70% subpopulation이 7.40°C로 발아율이 증가할수록 감소하여(Table 2) *Taraxacum officinale*(Washitani 1984)와 동일한 결과를 보였다. 위의 결과로 보아 base temperature가 종에 따라 일정하거나, 발아율이 증가함에 따라 감소 또는 증가하는 것으로 생각된다. Base temperature의 이러한 차이는 기존의 여러 보고에 나타나 있지만(Washitani 1984, Suh 1993), 그 변화율이 적산온도의 변화율에 비해 작았기 때문에 고려되지 않았었다. 그러나 base temperature의 이러한 변이는 적산온도의 분포에 대한 변이와 유묘출현시기를 조절하는 중요한 역할을 하여, 발아율이 높아질수록 base temperature가 증가하는 것은 base temperature가 일정한 것보다 적산온도의 분포범위를 좁게 하고, 감소하는 것은 적산온도의 분포범위를 넓게 하여 발아 개시 후 발아가 종료될 때까지의 시간을 더욱 연장시킨다.

변온처리 효과

온도변환에 의한 휴면타파를 알아보기 위하여, 채종 후 10개월된 돌피종자를 4°C(2일), 12°C(2일, 4일), 20°C(2일)에서 각각 처리한 것은 36°C에서 발아실험한 것이 83±7.3%인 것에 비해 모든 온도변환구에서 92.7±3.4% 이상의 높은 발아율을 나타내어(Table 1, 3) 돌피가 온도변환에 의해 휴면이 타파됨을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 여러 식물의 종자에 있어서 온도변환이 휴면을 깨고 발아를 증진시킨다는 보고와 일치하였다(Bewley and Black 1982, Thompson and Mason 1977, Thompson and Grime 1983).

Table 3. Germination percentage after transfer to 36°C for *E. crus-galli* seed populations attained at all pairs of alternating temperature conditions

Treatment		Germination percentage (%)
Temperature(°C)	Days	
4	2	92.7 ± 3.4
12	2	94.7 ± 3.8
12	4	98.0 ± 0.0
20	2	94.0 ± 0.0

가 하강함에 따라 4°C부터 저온에 의한 2차 휴면이 유도되었다(Fig. 4). 이러한 IT와 DT regime에 있어서 발아율의 현저한 차이는 산포 직후인 초가을의 고온에 의해 휴면이 타파되지 않으며, 겨울의 저온에 의하여 휴면이 타파되어 봄의 기온 상승과 함께 요구되는 적산온도를 충족되는 대로 발아하는 봄발아형 종자임을 제시한다.

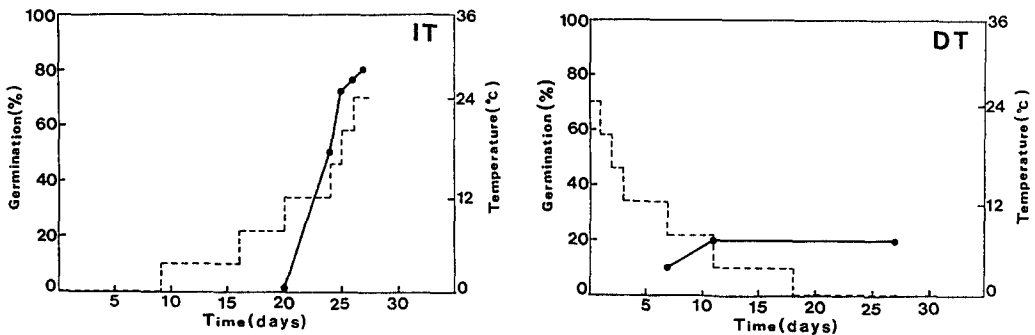


Fig. 4. Germination behaviors of the seed population of *E. crus-galli* in the test system. The dotted lines show the courses of temperature change.

발아 적정온도 밖의 저온과 고온처리 효과

2°C에서 냉습처리한 돌피종자는 36°C에서 50% 발아시의 발아속도가 대조구가 0.03030h⁻¹인 것에 비해 처리구는 0.09091h⁻¹로 증가하였고(Fig. 5), 발아에 요구되는 적산온도를 적게 하였

봄의 온도상승과 가을의 온도하강 유형을 모델화하여 동일 온도, 동일시간을 단지 고온과 저온의 선후만 바꾸어준 IT regime과 DT regime의 실험 결과, IT regime에서는 처음 0°C부터 8°C까지는 전혀 발아하지 않고, 12°C에서 53%의 높은 발아율을 나타내었으며, 온도가 상승함에 따라 발아율이 더욱 증가하여 24°C에서 80%의 최종발아율을 나타내었다. DT regime에서는 12°C에서 처음 발아가 시작되었으며(10%), 8°C에서 20%의 최종발아율을 나타내었고, 온도

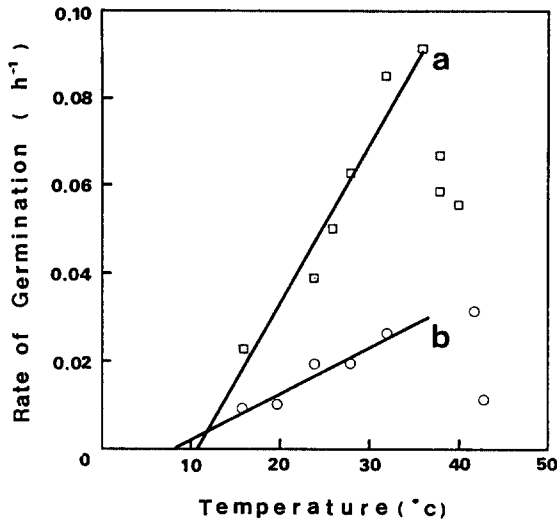


Fig. 5. Effect of pretreatment (at 2°C, 20 days) on the rate of germination(h⁻¹ to G=50%) (a) in contrast to control (b).

Table 4. Germination percentages of control and pretreated (at 2°C, for 20 days) *E. crus-galli* seed populations at various constant temperature conditions

Temperature (°C)	Germination percentage (%)	
	Control	Pretreated
16	90.8 ± 3.7	97.0 ± 3.8
20	88.4 ± 1.5	94.5 ± 2.2
24	88.0 ± 10.7	97.0 ± 1.0
28	86.0 ± 3.7	91.5 ± 7.7
32	84.7 ± 4.4	96.7 ± 4.7
36	83.0 ± 7.3	94.4 ± 4.0
40	92.0 ± 0.0	91.7 ± 7.0

손상에 의한 대사물질의 유출에 따른 것으로 고온한계온도를 결정하는 주요 요인이 된다고 하였으며(Hendricks and Taylorson 1979), 돌피 종자의 고온에서의 억제 현상도 이와 같은 영향에 의한 것이라고 생각한다.

본 실험 결과, 돌피종자는 산포 직후인 가을과 겨울은 휴면상태로 지내며 겨울의 저온과 봄에 의해 휴면이 타파되고 발아속도가 촉진된다. 따라서 봄의 온도상승과 함께 각 개체군내에서 넓은 발아시기의 차이를 가지고 발아하며, 고온에 의해서는 발아가 억제됨을 알 수 있었다. 농경지에 있어서 돌피의 제거는 이러한 돌피종자의 온도에 대한 반응을 이용할 수 있을 것이라 생각되며, 특히 고온에 의한 발아의 억제효과를 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

다. 또한 적산온도 분포함수인 $F(\theta) = 1 - [3D^{-3}(\theta - m + D)^3 + 1]^{-1/2}$ (Washitani 1987)의 m과 D값이 대조구의 935 Kh, 555Kh에서 처리구는 각각 274Kh, 175Kh로 저하되었으며(Fig. 3a), 발아율도 대조구보다 증가하였다(Table 4). 이와 같은 발아율과 발아속도의 증가와 요구되는 적산온도의 감소로 보여 저온에 의해 휴면이 타파됨을 알 수 있었으며, 양 극단의 온도는 종과 환경에 따라 휴면 유도나 휴면타파를 수행하며(Bewley and Black 1982, Baskin and Baskin 1985, Baskin and Baskin 1988), 저온은 발아율뿐만 아니라 발아속도와 발아 후의 성장속도를 촉진시킨다는 보고(최와 강 1984)와 일치하는 것이라고 생각된다. 또한 발아속도의 증가와 요구되는 적산온도의 감소는 저온에서 이미 배가 성장하였기 때문이라고 생각된다(Nikolaeva 1977, Baskin and Baskin 1984a).

고온처리를 하였을 때 돌피종자의 발아는 상당히 억제되어, 45°C에서 1일 전처리한 후 36°C에서 처리한 종자는 발아속도만 지연될 뿐 발아율에 있어서는 차이가 없었으나, 45°C에서 3일 이상처리한 것부터는 발아속도 뿐 아니라 발아율도 감소하기 시작하여, 7, 9일 처리한 후 36°C에서 처리한 종자는 전혀 발아하지 않았다(Fig. 6). 이와 같이 고온에 의한 억제는 세포막의 구조적

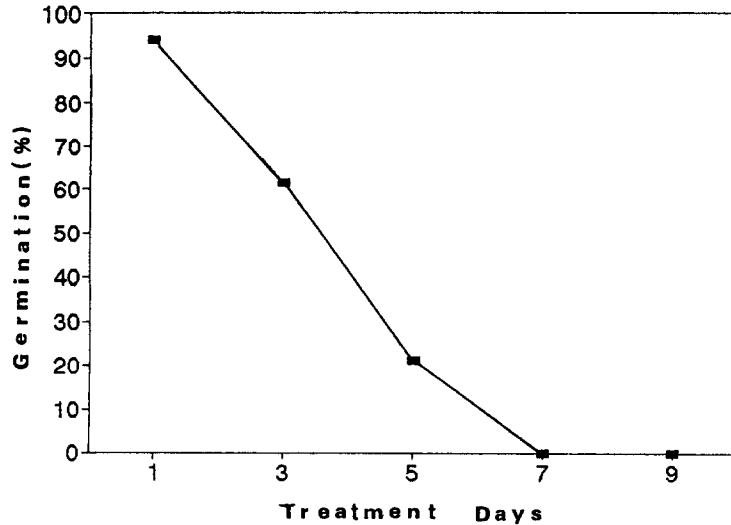


Fig. 6. Effect of pre-incubation (at 45°C, 1~7 days) on the final germination percentage at 36°C.

적 요

돌피(*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) 종자는 산포 직후 상온에서 휴면상태로 발아가 억제되고 있으나 저장기간이 지나면서 휴면이 타파되어 7~17개월후에 16~40°C의 온도에서 85~95%의 최대발아율을 나타내었다. 돌피종자가 10~70% 발아하는데 요구되는 적산온도는 539~1,279Kh(degree kelvin×hours)이며 적산온도 분포함수인 $F(\theta) = 1 - [3D^{-3}(\theta - m + D)^3 + 1]^{-1/2}$ 와 일치하였고 m과 D의 값은 각각 935Kh와 555kh로 나타났다. 2°C에서 냉습처리한 후, 16~40°C의 항온 조건하에 4°C간격으로 처리한 돌피종자는 최종발아율과 발아속도가 대조구에 비해 증가하였다. IT regime에 있어서는 12°C부터 발아속도가 증가하여 24°C에서 최종발아율이 80%가 되었으며, DT regime은 24°C에서 0°C로 하강하는 동안 12°C에서 부터 발아가 시작되었으며(발아율 10%), 8°C에서 20%의 최종발아율을 나타내었고 4°C부터는 2차 휴면이 유도되었다.

돌피종자는 비교적 넓은 발아가능 온도범위를 가지고 있으며 개체군내의 발아시기조절에 의해 다양한 환경변화에서도 잘 적응할 수 있으며 변온과 겨울의 저온에 의해 휴면이 타파되고 봄의 기온상승과 함께 발아하는 봄발아형 종자임을 알 수 있었다.

인용문헌

- 고경식. 1991. 한국식물검색도감 2. 아카데미서적, 서울. 396p.
 기상청. 1987-1991. 기상월보. 기상청, 서울.
 최봉호·강광희. 1984. 종자학. 홍익제, 서울. pp. 147-153.

- 黒岩橙雄. 1987. 植物の休眠と発芽. 東京大學出版會, 41p., 66p.
- 田川日出夫. 1982. 植物の生態. 共立出版, 東京. 191p.
- Ackerman, W.L. 1957. After-ripening requirements for germination of seeds of *Acer truncatum* Bunge. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 69:570-73.
- Amen, R.D. 1968. A model of seed dormancy. Bot. Rev. 34:1-31.
- 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.
- Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1972. Influence of germination date on survival and seed production in natural population of *Leavenworthia stylosa*. Amer Midl. Nat. 88:318-323.
- Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1984a. Germination ecophysiology of an eastern deciduous forest herb *Stylophorum diphyllum*. Amer. Midl. Nat. 111:390-399.
- Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1985. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: A Continuum. BioScience 35:492-498.
- Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 1988. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperature region. Amer. J. Bot. 72:286-305.
- Bewley, J.D. and M. Black. 1982. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination, 2nd Ed. 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.
- 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.
- Garcia-Huidobro, J., J.L. Monteith and G.R. Squire. 1982. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. and H.). 1. Constant temperature. J. of 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. 69:1017-1059.
- 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 response 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.

- Heywood, V.H. 1985. Flowering plants of the world, Equinox(Oxford) Ltd. England. 255p.
- 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.
- 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.
- Marks, M.K. and S.D. Prince. 1981. Influence of germination date on survival and fecundity in wild lettuce *Lactuca seriola*. Oikos 36: 326-330.
- Nikolaeva, M.G. 1977. Factors controlling the seed dormancy pattern. In A.A. Khan(ed.), The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. North-Holland Publ. Co., Amsterdam, New York and Oxford. pp. 51-74.
- Rathcke, B. and E.P. Lacey. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. Ann. Rev. Ecol. Syst. 16:179-214.
- Suh, J.S. 1993. Germination responses of *Cassia mimosoides* var. *nomame* Makino seeds to temperature. M.S. Thesis. Kon-Kuk Univ. Seoul. pp. 7-17.
- 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.
- Thompson, K. and G. Mason. 1977. Seed germination in responses to diurnal fluctuations of temperature. Nature 267:147-9.
- Thompson, K. and J.P. Grime. 1983. A comparative study of germination in response to diurnally-fluctuating temperatures. J. Appl. Ecol. 20:141-156.
- Vegis, A. 1963. Climatic control of germination, bud break, and dormancy. In L.T. Evans (ed.), Environmental control of plant growth. Academic Press, New York. pp. 265-287.
- 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. 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. Mathematics of the seed germination dependency on time and temperature. *Plant, Cell and Environment* 7:359-362.
- Washitani, I. 1987. A convenient screening test system and a model for thermal germination responses of wild plant seeds: behavior of real seeds in the system. *Plant, Cell and Environment*. 10:587-598.

(1994년 6월 7일 접수)