Papaver rhoeas L. 종자의 온도 수준에 따른 발아기 예측 함수식 개발

김재순 · 정명일 · 한승원 · 정나라 · 박은희 · 유은하 · 정현환*

국립원예특작과학원 원예작물부 도시농업연구팀

Development of a Functional Formula for Estimation of Germination Periods According to Temperature Levels of *Papaver rhoeas* L. Seeds

Jae Soon Kim, Myeong Il Jeong, Seung Won Han, Na Ra Jeong, Eun Hee Park, Eun Ha Yoo and Hyun Hwan Jung*

Urban Agriculture Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Abstract

The seed spray technology prepares for landscape by spraying seeds, fertilizers and other materials but does not consider the relationship of the germination time and temperature of seeds for construction. The purpose of this study is to develop a functional formula that shows the relationship of germination and temperature for using the *Papaver orientale* L. seeds for the spray technology. The germination test in a chamber was progressed from March to April 2014 and the verification experiment proceeded in a greenhouse in May 2014. After culturing each 100 seeds of Petri dish and *Papaver orientale* L. seeds on filter beds 4 repetitive times, each 10mL of the first distilled water was sprayed to treat temperature at level 7 and the light source was maintained at 4~4.5 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$. The germination rate was investigated at two-day intervals, and the germination was based on the emergence of 3mm radicles. For experimental verification, seeding was implemented in a greenhouse and daily mean temperatures and germination periods were investigated. As a result of the treatment, based on a 50% germination rate, the functional relation between the temperature and germination period was found to be $y = 1/-0.0004x^2 + 0.0224x - 0.0398$, $R^2 = 0.9441$. As the result of the analysis of the cardinal temperature from using graphs of functions, the lowest temperature was 2°C and the optimum temperature was 28°C and the highest temperature was 54°C, but in the actual test, normal germination was made at 5°C and the unusual germination of the final germination rate was below 50% at 35°C. In the experimental verification, as a result of substituting the daily mean temperature with functional formulas, it was found to be 4.4 days and the lapse of time for actual foliation was investigated to be 5.5 days.

Key words: Urban greening, Landscape, Garden, Seed spray

I. 서론

현대사회에서의 도시민은 고도의 스트레스 속에서 살아가고 있기 때문에 휴식에 대한 욕구가 커지고 있고 이를 위하여 아름다운 산과 들, 공원으로 휴식처를 찾아 떠난다. 이러한 아름다운 휴식처를 도시 유흥지 등 도시민의 실생활권에 제공하기 위하여 아름다운 식물들을 사용하는데 씨드 스프레이공법이 많이 사용된다. 씨드 스프레이 공법은 종자, 비료 및 기타 재료들을 섞어 살포하는 방법으로 주로 도로, 사방공사, 하천, 골프장, 스키장 등과 같이 대면적의

경관을 조성할 때 주로 사용되는 기법이다. 온도는 식물의 생장에 있어 중요한 요인으로 작용하며(Yan and Hunt, 1999) 대부분의 종자들이 15~30°C의 온도 범위에서 가장 잘 발아되며 30°C 이상의 고온에서는 발아가 크게 감소한다고 보고되었다(Hendricks and Taylorson, 1979). 하지만 씨드 스프레이공법의 사용 시 발아와 온도와의 관계에 대한 고려되지 않고 있다.

씨드 스프레이 공법에서 사용되는 식물 중 꽃양귀비(*Papaver rhoeas* L., corn poppy)는 유럽 원산으로, 초장이 30~80cm 정도 까지 자라는 일년초이며, 보통 붉은색 내지 주황색 꽃이 피지만 흰색 꽃이 피는 것도 있다. 유럽에서는 오래전부터 농작물로 재배해 왔으며, 풍년을 상징하는 꽃으로 오랫동안 여겨 왔다.

현재 종자발아에 관한 연구는 냉이, 머느리배꼽, 닭의장풀 종자의 발아 적은 연구(Yang and Kim, 1993), 할미꽃 종자의 발아 적

Received on July 23, 2015. Revised on September 21, 2015.

Accepted on October 13, 2015.

*Corresponding author: baramdosa@korea.kr

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호 : PJ010250012015)의 지원에 의해 이루어진 것임.

은 연구(Sang et al., 1993), 잉글리쉬 라벤다의 종자발아에 대한 온도, 광 및 생장조절물질의 영향(Li et al., 1998), 몇 가지 환경요인이 돼지풀의 종자발아에 미치는 영향(Cha et al., 2002), 라벤더 종자발아에 미치는 온도의 영향에 관한 연구(Park et al., 2005), 털머위 종자의 온도에 따른 발아 영향(Choe, 2007), 온도에 따른 주걱썩부쟁이 종자의 발아 특성(Lee and Nam, 2009), 소리쟁이속 잡초 종자의 발아특성(Park et al., 2010), 큰바늘꽃의 종자발아에 미치는 온도 및 광주건의 영향(Cho et al., 2013), 경관농업용 주요 일년초화류의 온도별 종자발아특성(Lee et al., 2008), 난쟁이바위솔의 종자발아에 미치는 온도, 광 및 priming 처리의 영향(Kwon et al., 2013) 등 다양한 식물에 대해 진행된 바 있다. 꽃양귀비의 발아 적온에 관한 연구는 꽃양귀비의 발아 온도범위가 10~25°C 이라는 결과와 캘리포니아양귀비(학명)의 발아 최적온도가 25°C라는 결과 있으나(Lee et al., 2008) 꽃양귀비 종자의 발아에 관련된 온도와 시간의 함수식개발에 관한 연구는 미비하다. 따라서 본 연구의 목적은 꽃양귀비 종자의 발아시간과 온도간의 관계 함수식 개발을 통하여 씨드 스프레이용 꽃양귀비 종자의 효율적인 사용을 위한 기초자료 제시에 있다.

II. 연구방법

본 연구는 2014년 3월부터 4월까지 수원시 권선구 탑동에 위치한 국립원예특작과학원에서 진행되었다. 꽃양귀비 종자를 페트리디쉬 안에 깔린 연과지(Whatman No.2, GE Healthcare, UK) 위에 100립씩 4반복으로 치상하였고, 1차 증류수를 10ml씩 관수한 이후 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35°C로 온도가 세팅된 생장상(DS-134, Daewon, Korea)에 각각 두었다. 시험 중 인공광원은 LED 램프를 사용하여 $4\sim4.5\mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 유지하였다. 처리 후 여과지의 수분상태를 고려하여 주기적으로 증류수를 관수하였고 관수 시 처리 온도와 동일한 온도의 증류수를 관수하여 시험의 정밀도를 높였다.

페트리디쉬에 치상 후 2일 간격으로 종자별 발아여부를 조사하였는데, 유근이 길이가 3mm 되었을 때를 발아 시점으로 정하였다. 그리고 6일간 더 이상 발아하지 않는 시점에 조사를 종료하였다. 얻어진 데이터를 사용하여 다음과 같이 발아특성을 분석하였다.

- 발아율(Percent germination, %): 총공시종자에 대한 발아종자의 백분율($PG = (N/S) \times 100$, 단, N = 총발아수, S = 총 공시종자수)
- 발아세(Germinative energy): 치상 후 일정기간(72시간)까지의 발아율
- 발아속도(Germination speed, rate): $GR = \sum(n_i/t_i)$, 단, t_i : 치

상 후 조사일수, n_i : 조사당일의 발아수

그리고 각 처리의 발아율 50% 기준으로 정규분포함수를 이용하여 발아 시 주요온도를 예측하였다. 그리고 통계처리에는 Microsoft office excel 프로그램을 이용하였다. 그리고 분석된 데이터를 검증하기 위하여 온실에서 꽃양귀비 100립씩 4반복으로 파종하여 발아율을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 온도에 따른 발아특성

꽃양귀비 종자는 5, 10, 15, 20, 25, 30°C에서 80% 이상 발아를 하였으나 35°C에서는 80%이상 발아 하지 못하였다(Fig. 1). 최초 발아는 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35°C에서 각각 8일, 6일, 4일, 4일, 3일, 3일, 4일째 일어났으며, 최종 발아는 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35°C에서 각각 27일, 14일, 14일, 8일, 9일, 14일, 14일째 일어났다(Fig. 1). 최초 발아는 온도가 높을수록 빨라지는 경향을 보였으며 25~30°C에서 3일로 가장 짧았으나 35°C에서 4일로 느려졌다. 최종 발아는 온도가 높을수록 빨라져 20°C에서 8일로 가장 짧았으나 25°C 이후 온도 증가에 따라 발아가 느려졌다.

최종발아율의 분석결과 5~25, 30, 35°C 처리군간에는 유의한 차이가 나타났으며 5~25°C처리에서 가장 발아율이 높았고 35°C 가장 발아율이 낮았다. 발아세의 분석결과 15, 20~30, 20~25, 35°C 처리군간에는 유의한 차이가 나타났으며 발아세는 20~25°C 처리군에서 가장 높았고 35°C에서 가장 낮게 나타났다. 그리고 발아속도는 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35°C 처리군 모두 유의한 차이를 나타냈으며 25°C에서 가장 빨랐으며 5°C에서 가장 느렸다.

정규분포함수를 이용하여 발아율 50% 기준으로 온도 수준에 따른 발아소요시간의 관계를 함수식으로 나타낸 결과 $y = -0.0004x^2$

Fig 1. Cumulative germination of *Papaver rhoeas* L. seeds as influenced by germination temperature. All data are means $\pm$ SE of four replications

Fig. 2. Estimated germination rate of *Papaver rhoeas* L. GR₅₀ (the time to 50% germination) was calculated by parabolic equation. Estimated equation was $y = -0.0004x^2 + 0.0224x - 0.0398$. All data are means $\pm$ SE of four replications.

Table 1. Germination characteristics under different constant temperatures in *Papaver rhoeas* L.

Temperature (°C)	Percent germination (%)	Germinative energy (%)	Germination speed (No./day)
5	97.0 $\pm$ 2.4 ^z a ^y	-	5.7 $\pm$ 0.5 a
10	94.3 $\pm$ 4.0 a	-	14.4 $\pm$ 0.5 b
15	95.8 $\pm$ 2.6 a	36.3 $\pm$ 10.8 a	21.4 $\pm$ 3.0 c
20	96.0 $\pm$ 3.4 a	87.5 $\pm$ 7.8 bc	28.0 $\pm$ 1.5 d
25	96.0 $\pm$ 1.4 a	94.8 $\pm$ 2.2 c	46.1 $\pm$ 1.3 e
30	88.6 $\pm$ 3.4 b	83.8 $\pm$ 4.6 b	39.8 $\pm$ 2.6 f
35	39.5 $\pm$ 6.5 c	17.5 $\pm$ 3.1 d	-

^zMean $\pm$ standard deviation

^yDifferent lowercase letters after the means within columns indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$

+ 0.0224x - 0.0398, $R^2 = 0.9441$ 이었다(Fig. 2). 함수식을 이용하여 꽃양귀비의 종자 발아 시 주요온도를 구한 결과 발아 시 예측 값은 최저온도는 2.00°C, 최적온도는 28.01°C, 최고온도는 54.16°C로 나타났다.

실증을 위하여 꽃양귀비를 온실에서 파종하였고 파종 후 발아율 50%까지 온실의 일평균기온은 17.37°C로 나타났다. 꽃양귀비의 발아 함수식 $y = 1/ -0.0004x^2 + 0.0224x - 0.0398$ ($R^2 = 0.94$)에 일평균온도를 대입하여 계산하였다. 계산 결과는 발아에 필요한 소요시간은 4.4일이 계산되었으며 실제 파종 후 발아기까지 소요시간은 5.5일로 나타났다.

5, 10, 15, 20, 25, 30, 35°C에서의 온도수준별 발아속도, 발아세, 균일도 등의 발아특성을 분석하면 저온일수록 발아속도와 발아세, 균일도는 낮아지나 최종발아율은 높아졌다(Table 1). 그리고

Fig. 3. Daily average temperature in the greenhouse from 5 May until 11 May in 2014.

고온일수록 발아율, 발아속도, 발아세, 균일도 모두 높게 나타나서 발아에 유리하였다. 그러나 일정 수준 이상의 고온 시에는 발아는 억제되었다. 이 결과는 대부분의 종자들이 15~30°C의 온도 범위에서 가장 잘 발아되며 30°C 이상의 고온에서는 발아가 크게 감소했다고 보고(Hendricks and Taylorson, 1979)와 특정한 온도 범위 내에서 종자의 발아율이 일정하게 유지되고, 이 범위를 벗어나게 되면 매우 급격히 감소했다는 보고(Thompson, 1970)와 유사하였다. 이것은 고온에 의한 발아억제 현상으로 고온이 세포막의 구조적 손상을 일으키고 이로 인해 대사물질이 유출되었기 때문일 것으로 추측된다(Hendricks and Taylorson, 1979).

발아개시일과 총 발아소요시간은 저온일수록 많이 소요되었으며 고온일수록 적게 소요되었다(Fig. 1). 이 결과는 발아개시일이 온도가 12°C에서 28°C로 상승함에 따라 빨라지는 경향을 보였다는 Cha et al.(2002)의 보고와 유사하였다. 최종발아율의 경우 저온일수록 많은 시간이 소요되었으나 최종발아율은 높았고 적정 수준의 고온은 적은 시간이 소요되었으나 최종발아율은 낮았다(Table 1). 이 결과는 소리쟁이(*Rumex crispus* L.)의 경우 15°C에서 발아율이 최대였고 20°C까지 90.0%의 높은 발아율을 보였으며 25°C 이상의 온도에서 발아율이 급격히 저하되는 것을 알 수 있었다는 Park et al.(2010)의 보고와 유사하였다.

온도수준별 발아율을 분석한 결과 꽃양귀비 종자의 발아 시 온도 환경과 발아소요시간의 관계를 나타내는 함수식은 $y = 1/ -0.0004x^2 + 0.0224x - 0.0398$ ($R^2 = 0.9441$)이었다(Fig. 2). 함수 그래프를 이용하여 꽃양귀비의 주요온도를 분석한 결과 최저온도는 2.00°C, 최적온도는 28.01°C, 최고온도는 54.16°C로 나타났다. 실제 챔버시험에서는 5~30°C 사이에서는 80%이상 정상발아를 하였으며 35°C에서는 최종발아율이 50% 미만으로 비정상발아를 하였다(Table 1). 그리고 온실에서 파종 후 측정한 온도(Fig. 3) 이용하여 발아일을 예측한 결과 4.4일로 나타났으며 실제 발엽까지 소요시간은 5.5일이 소요되었다(Fig. 4). 이러한 결과를 종합하였을 때

Fig. 4. Emergence time of *Papaver rhoeas* L. seeds in the greenhouse from 5 May until 30 May in 2014. All data are mean $\pm$ SE of four replications.

꽃양귀비의 발아적온도는 28°C로 나타났다. 관련 유사 연구사례로 Lee et al.(2008)의 연구에서 꽃양귀비의 발아 적온이 10~25°C 수준이었으며 캘리포니아양귀비(*Eschscholzia californica* Cham.)의 최적발아온도가 25°C라는 보고가 있었다. 연구결과와 비교 시 꽃양귀비의 발아적온이 다르게 나타난 원인은 결과값의 분석방법의 차이 때문일 것으로 생각된다. 그리고 꽃양귀비와 캘리포니아 양귀비간의 발아 적온의 차이의 원인은 품종에 의한 것으로 생각된다.

연구에서 50% 발아율을 기준으로 꽃양귀비 종자 발아 시 주요 온도와 온도수준에 따른 발아소요시간을 예측할 수 있는 함수식을 개발하였다. 그리고 이 함수식을 실증한 결과 예측값과 실제값에서 다소 차이를 보였으며 이는 함수식 작성 시 발아와 관련된 변온 환경, 수분 등의 환경요인과의 상관관계를 고려하지 못했기 때문으로 생각된다. 이 부분에 대하여서는 차후 연구에 반영하여 그 효과를 구명함으로써 함수식을 보완해야 할 것이다.

IV. 적요

씨드 스프레이 기법은 종자, 비료 및 기타 재료들을 섞어 살포하여 경관을 조성하는 기법이나 시공 시 종자의 발아시간과 온도의 관계는 고려되지 않는다. 본 연구의 목표는 꽃양귀비(*Papaver orientale* L.) 종자를 씨드 스프레이 기법에 사용하기 위한 발아와 온도와의 관계를 나타내는 함수식 개발이었다. 챔버에서 발아시험은 2014년 3월부터 4월까지 진행되었으며 온실에서 실증시험은 2014년 5월에 진행되었다. 페트리디쉬와 여과지 위에 꽃양귀비 종자를 100립씩 4반복으로 치상 후 10mL씩 1차 증류수를 관수하여 7수준의 온도를 처리하였고 광원은 4~4.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 를 유지하였다. 2일 간격으로 발아율을 조사하였으며 발아는 유근이 3mm 출현을 기준으로 하였다. 그리고 실증을 위하여 온실에서 파종을 하였고 일평균온도와 발아시점을 조사하였다. 처리결과 발아율 50% 기준으로 온도와 발아시간의 함수 관계는 $y = 1/-0.0004x^2 +$

$0.0224x - 0.0398$, $R^2 = 0.9441$ 로 나타났다. 함수를 이용하여 주요온도를 분석한 결과 최저온도는 2°C, 최적온도는 28°C, 최고온도는 54°C로 나타났으나 실제 시험은 5°C에서는 정상발아를 하였으며 35°C에서는 최종발아율이 50% 미만으로 비정상발아를 하였다. 실증시험에서는 일평균온도를 함수식에 대입한 결과 4.4일로 나타났으며 실제 발아기까지 소요시간은 5.5일로 조사되었다.

V. References

- Cha, S.H., W.H. Kim, and J.H. Kim. 2002. Effects of some environmental factors on the germination of seeds in *Ambrosia artemisiifolia* var. *elator*. J. Ecol. Environ. 25(3):163-170.
- Cho, J.S., H.J. Jeong, S.Y. Kim, and C.H. Lee. 2013. Effect of light and temperature on seed germination of *Epilobium hirsutum* L. Plant Resources Soc. Kor. 10:70-71. (Abstr.)
- Choe, J.W. 2007. Effects of light, temperature, and storage period on the seed germination of *Farfugium japonicum* L. Kitam. MS Thesis, Korea Univ., Seoul, Korea.
- Hendricks, S.B. and R.B. Taylorson. 1979. Dependence of thermal response of seeds on membrane transitions. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 76:778-781.
- Kwon, H.J., J.S. Cho, J.H. Jeong, S.Y. Kim, and C.H. Lee. 2013. Effect of temperature, light and priming treatment on seed germination of *Meterostachys sikokianus* (Makino) Nakai. Plant Resources Soc. Kor. 10:46. (Abstr.)
- Lee, C.H. and K.W. Nam. 2009. Characteristics of seed germination in *Heteropappus arenarius* Kitam. native to Korea as influenced by temperature. Kor. J. Plant Res. 22(2):116-122.
- Lee, C.H., M.K. Nam, A.Y. Cho, J.Y. Kim, and I.M. Park. 2008. Characteristics of seed germination in major annuals for scenic agriculture as influenced by temperature. Plant Resources Soc. Kor. 11:110. (Abstr.)
- Park, K.W., P.G. Hwang, S.O. Park, and J.P. Baek. 2005. Effects of temperature, light, and priming on the seed germination of *Lavandula angustifolia* Mill. MS Thesis, Korea Univ., Seoul, Korea.
- Park, N.I., I.Y. Lee, and J.E. Park. 2010. The germination characteristics of *Rumex* spp. seeds. Kor. Turfgrass Sci. 24(1):31-35.
- Sang, C.K., E.H. Kim, and H.Y. Kim. 1993. Germination and life span of *Pulsatilla cernua* var. *koreana* seeds. Hort. Environ. Biotechnol. 34:207-212.
- Thompson, P.A. 1970. Characterization of the germination responses to temperature of species and ecotypes. Nature. 225:827-831.
- Yan, W. and L.A. Hunt. 1999. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. Ann. Bot. 84:607-614.
- Yang, Y.J. and Y.S. Kim. 1993. Seed germination of Korean wild medicinal plants: *Capsella bursa-pastoris*, *Persicaria perfoliata* and *Commelina communis*. Hort. Environ. Biotechnol. 34:315-319.