

개미가 종자를 산포하는 춘계단명식물 깽깽이풀과 현호색의 전파체, 종자산포 및 발아 특성¹

김희진² · 김갑태^{3*}

Diaspore, seed dispersion and seed germination characteristics of two myrmecochorous spring ephemerals -*Jeffersonia dubia* and *Corydalis remota*-¹

Hoi-Jin Kim², Gab-Tae Kim^{3*}

요 약

개미가 종자를 분산시키는 춘계단명식물 깽깽이풀과 현호색의 전파체 특성, 종자분산 및 발아특성을 밝히고자, 2014년 4월부터 2015년 6월까지 열매 수집, 전파체의 전처리에 따른 포장발아율을 조사하였다. 깽깽이풀의 전파체는 5mm 정도의 황갈~암갈색의 장타원형 종자에 부정형의 백색 지방체가 붙어 있고, 전파체는 15.86mg, 종자는 13.46mg, 지방체는 2.40mg 등의 평균값을 보였으며 지방체의 중량비는 15.13% 였다. 현호색 전파체는 지름이 1.2mm 정도의 광택이 나는 검은색 난형의 종자에 주걱형의 백색 지방체가 붙어 있고, 전파체는 2.58mg, 종자는 2.05mg, 지방체는 0.53mg 등의 평균값을 보였으며, 지방체의 중량비는 20.54% 였다. 털왕개미와 곰개미가 깽깽이풀 전파체를 물어가고, 곰개미와 고동털개미가 현호색 전파체를 물어갔다. 깽깽이풀의 발아율은 지방체 제거 유무에 무관하며, 전처리와 파종 시기 간에는 1% 유의수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 6월 20일에 파종에서, 깽깽이풀은 평균 발아율은 65%, 8월 19일 파종에서는 17.50%, 10월 20일 파종에서는 전혀 발아하지 않았다. 현호색의 발아율은 지방체 제거 유무 간에 5%, 파종시기 간에는 1% 유의수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 무처리구에서 평균 54.17%가 발아하였고, 지방체를 제거한 처리구에서 평균 35.0%가 발아하였다. 6월 20일에 파종에서 발아율은 75%, 8월 19일 파종에서 53.75%, 10월 20일 파종에서 5.0%가 발아하였다. 개미가 종자를 분산시키는 춘계단명 식물종의 발아는 성숙하여 종자가 낙하하는 시기에 개미들이 개미집으로 부지런히 물어가는 것을 고려할 때 채종 후 곧바로 파종하는 것이 이들 식물종들이 진화해온 특성에 적합한 방법이며, 가장 높은 발아율을 확보할 수 있는 방법이라 판단된다. 개미가 종자를 분산시키는 춘계단명 식물종들은 개미와의 상리공생을 위하여 지방체를 생산하여 종자에 부착하고, 개미에 의하여 적온·적습한 환경조건, 개미집,으로 이동되어 배가 충분히 자라서 이듬해 봄에 발아에 성공하는 것이라 판단된다.

주요어: 깽깽이풀, 현호색, 급여시험, 배의 후숙

ABSTRACT

This study examined the germination characteristics by collecting fruits and pretreatment of the diaspore from April 2014 to June 2015 to investigate the diaspore characteristics, seed dispersion, and seed germination characteristics of two myrmecochorous spring ephemerals (MCSE): -*Jeffersonia dubia* (Jb) and *Corydalis remota* (Cr)-. The diaspore of Jb was about 5mm-long yellow-dark brown, oblong seeds with the attached

1 접수 2016년 7월 20일, 수정 (1차: 2017년 3월 21일, 2차: 2017년 10월 30일), 게재확정 2017년 11월 1일
Received 20 July 2016; Revised (1st: 21 March 2017, 2nd: 30 October 2017); Accepted 01 November 2017

2 강원대학교 대학원 Graduate school, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

3 상지대학교 산림과학과 Department of Forest Sciences, Sangji University, Wonju 26339, Korea

* 교신저자 Corresponding author: gtkim@sangji.ac.kr

amorphous white elaiosome. The mean weights of diaspore, seed, and elaiosome were 15.86mg, 13.46mg, and 2.40mg, respectively, and the elaiosome ratio was 15.13%. The diaspore of Cr was about 1.2mm diameter and glossy black ovoid seeds with the attached white spatula-shaped elaiosome. The mean weights of diaspore, seed, and elaiosome were 2.58mg, 2.05mg, and 0.53mg, respectively, and the elaiosome ratio was 20.54%. *Camponotus niponensis* and *Formica japonica* transported the diaspore of Jb while *Formica japonica* and *Lasius japonicus* transported the diaspore of Cr. The germination percentage of Jb seeds was statistically significant and had the significance level of 1% with the pretreatment and date of sowing. However, it was independent of attachment of elaiosome. The mean germination percentages of Jb seeds was 65.0% during sowing on June 20, 17.5% during sowing on August 19, and 0% during sowing on October 20. The germination percentage of Cr was statistically significant and had the significance level of 5% and 1% with the attachment of elaiosome and date of sowing, respectively. The mean germination rates were 54.17% and 35.0% in the non-treatment section and the treatment section with elaiosome detached, respectively. The mean germination percentages of Cr seeds was 75.0% during sowing on June 20, 53.75% during sowing on August 19, and 5.0% during sowing on October 20. Considering the fact that the ants transported the diaspores to the ant house when the fruits of MCSE were ripened and dropped the seeds, the direct seeding right after collecting may be most suitable to the characteristics of the evolution of these plant species and may be the best method to obtain the highest germination percentages. Since the ants distribute their seeds, the MCSE produces and attaches the elaiosome to the seed to maintain the symbiotic relationship with ants. The ants then transport the seed to the ant house where the environment is controlled for suitable temperature and humidity, and then the MCSE succeeds in germination after the embryo grows sufficiently in the next spring.

KEY WORDS: *Jeffersonia dubia*, *Corydalis remota*, CAFETERIA EXPERIMENT, AFTER RIPENING EMBRYO

서론

개미가 종자를 산포하는 식물(myrmecochory)은 지방체(elaiosome)를 부착한 형태의 전파체(diaspore = seed + elaiosome) 형태로 성숙하여 열매로부터 탈락한다. 개미에게 보상할 지방체를 부착한 종자를 일반 종자와 구별하여 전파체라 한다(Kim, 2011; Gorb and Gorb, 2003; Beattie, 1985). 성숙한 전파체는 개미를 이용하여 최적의 발아조건을 얻고자 종피의 발아공이 위치한 부분에 저분자의 아미노산과 단당류, 지방산이 풍부한 지방체라는 육질의 구조를 부착하고 있다. 개미는 전파체를 개미집으로 물어가 엘라이오솜은 떼어서 애벌레의 먹이로 이용하고 남은 종자는 개미집 내부의 쓰레기장이나 개미집 밖의 모래언덕 또는 개미군체의 영역 경계로 내다버린다. 관찰한 대부분의 전파체는 개미가 지방체 부분을 물고 개미집으로 운반하나, 지방체가 탈락한 종자는 구형 또는 장타원형으로 개미의 큰 턱으로 종자를 물어서 개미집 밖으로 옮기는 것은 매우 힘들어 종자는 개미집 속에 남겨지는 것이 대부분이다. 개미의 이런 행동이 1) 씨앗의 피식(predation)을 피하게 하고, 2) 씨앗이 흩어져 개체간 경쟁으로부터 벗어나

고, 3) 발아에 적합한 장소에 도달하고, 4) 종자가 모체로부터 멀어짐에 따라 종자의 사망률이 낮아지고, 5) 종자가 유기물이 풍부하고 배수가 양호한 토양에서 발아할 수 있게 하고, 6) 산불의 피해나 척박한 토양에서 의 종자생존율을 높이는 등 다양한 편익을 제공하여 생물종 간의 좋은 상리공생의 예이다(Rico-Gray and Oliveira, 2007; Gorb and Gorb, 2003; Beattie, 1985). 종자에는 고분자의 단백질, 전분이 많으나 엘라이오솜에는 저분자의 아미노산과 단당류가 많으며, 지방산, 아미노산의 종류가 종자와는 현저하게 다름을 밝혔고, 아미노산 함량은 엘라이오솜이 종자보다 7.5배나 높았으며, 개미 애벌레에 대한 엘라이오솜의 영양적 가치가 식물과 개미의 관계에서 중요한 요인이다(Fischer et al., 2008). Moreau et al.(2006)은 개미의 다양성은 피자식물, 초식곤충과 같은 시기인 백악기 후반에서 에오세기 초반(7,000만년~5,000만년 전)에 시작된 것이라 보고하여, 피자식물과 함께 상호작용하며 종 분화가 이루어진 것이라 보고하였다. 일반적으로 식물종에 따라 엘라이오솜의 성분도 다르고 공생하는 개미도 상이하며, 개미에 의한 엘라이오솜 제거는 발아묘를 증가시킬 뿐만 아니라 종자의 피식을 줄이기도 하며,

저온저장하였다가, 10월 10일에 3차 파종을 실시하였다. 종자의 파종시기와 종자 전처리는 Table 1에 보였으며, 세구별로 각각 10립의 종자를 4반복으로 파종하여 비닐포트를 포장에 배치하여 2015년 4월에 발아개체를 확인하였다.

결과 및 고찰

1. 전파체의 특성과 개미의 종자산포

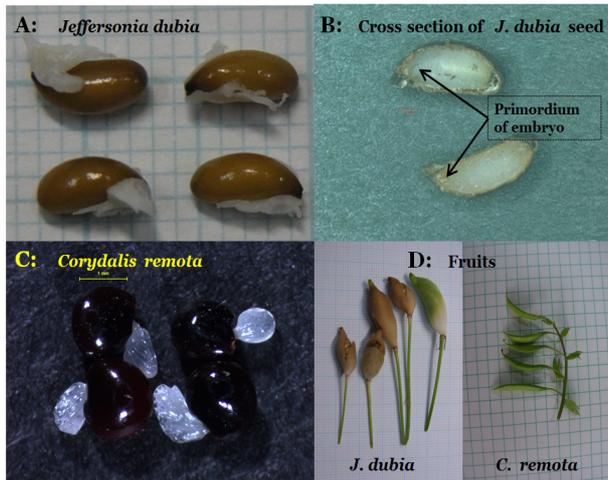


Fig 1. Shape of diaspores and fruits. Diaspore of *J. dubia* (A) and Cross section (B). Diaspore of *C. Remota* (C) and (D) Shape of the fruits

깽깽이풀과 현호색의 열매, 전파체의 모양과 개미가 종자를 개미집으로 물어가는 것을 Fig. 1, 2에, 식물종별 전파체, 종자, 지방체 및 지방체의 비율 등에 대한 평균값을 Table 2에 각각 보였다. 깽깽이풀과 현호색은 비옥한 숲그늘에서 자라는 다년초로 춘계단명식물에 속한다. 깽깽이풀은 1.5~3.0cm의 골돌로 넓은 타원형이나 끝이 뾰족한 열매(Fig.1, D)이며, 5mm 정도의 황갈~암갈색의 장타원형 종자에 부정형의 백색 지방체가 붙어 있다(Fig.1, D). 현호색은 광택이 나는 검은색 난형의 종자에 주걱형의 백색 지방체가 붙어 있는 광택이 나는 검은색 난형의 종자에 주걱형의 백색 지방체가 붙어 있다(Fig.1, C). 깽깽이풀 종자단면

관찰에서는 배의 원기가 발육되지 않은 형태로 관찰되었다 (Fig.1, B). 이러한 배의 미발육 상태는 Lee et. al(2012)이 깽깽이풀에서 관찰·보고한 것과 같은 결과였다. 이러한 배의 미성숙 상태는 Lee et al.(20120)이 깽깽이풀 등 몇 종의 개미가 종자를 산포하는 춘계단명식물에서 관찰·보고한 결과와 같은 경향이었다. 현호색 종자에서는 배의 원기 관찰에 실패하였다.

개미와의 상리공생을 위한 식물이 개미에게 제공하는 지방체(elaiosome)를 일부 연구자(Lee et. al., 2012; Chung and Kim. 2001; Kim and Chung, 2001)들은 배병(胚柄; suspensor or funiculus)이라 하나, 이는 이들 식물종과 개미와의 상리공생을 인지하지 못한 오류라 판단된다.



Fig 2. Ants want for elaiosome eagerly. Transporting diaspore of *J. dubia* (A) *Camponotus nipponensis* and (B) *Formica japonica*. Transporting diaspore of *C. Remota* (C) *Formica japonica* and (D) *Lasius niger*.

깽깽이풀과 현호색 전파체를 물고가는 개미들을 Fig. 2에 보인다. 털왕개미(Fig. 2, A)와 곰개미(Fig. 2, B)가 깽깽이풀 전파체를 개미집으로 물어가고, 곰개미(Fig. 2, C)와 고동털개미(Fig. 2, D)가 현호색 전파체를 개미집으로 열심히 물어간다. 개미는 애벌레 먹이를 얻고자 필사적으로 전파체를 개미집으로 물어가고, 식물은 종자에 개미 애벌레의 성장에 필요한 영양분이 풍부한 지방체를 준비(Fischer et al., 2008)하여 제공하고, 안전한 개미집에서 알맞은 온·습도와

Table 2. Mean weights(mg) of diaspore, seed and elaiosome ratios(%) for two myrmecochorous plant.

Species	Weight(mg)			E-ratio (%)
	Diaspore	Seed	Elaiosome	
<i>Jeffersonia dubia</i>	15.86	13.46	2.40	15.13
<i>Corydalis remota</i>	2.58	2.05	0.53	20.54

발아에 필요한 환경조건을 제공받는 상리공생 관계가 에오 세기 전반부터 발전해 왔다는 Moreau et al.(2006)의 주장을 뒷받침하는 결과라 사료된다.

깻쟁이풀은 길이가 5mm 정도의 장타원형의 비교적 큰 종자와 부정형의 백색 지방체가 붙어있는 전파체(Fig.1, A)는 15.86mg, 종자는 13.46mg, 지방체는 2.40mg 등의 평균값을 보였다. 지방체의 중량은 전파체의 15.13% 였다. 이러한 결과는 Jo(2015)가 강원 홍천, 충북 음성, 경북 청송 및 전남 광양지역에서 측정 보고한 깻쟁이풀 전파체 특성의 범위에 포함되었다. 현호색의 경우에는 직경이 1mm 정도의 난형인 광택이 있는 종자에 주걱 모양의 백색의 지방체가 붙어있는 전파체(Fig.1, C)는 2.58mg, 종자는 2.05mg, 지방체는 0.53mg 등의 평균값을 보였다. 지방체의 중량은 전파체의 20.54% 였다. 이러한 결과는 Kim(2014)가 원주 지역 측정 보고한 현호색의 전파체 특성의 측정치와 비슷하였다. 개미와 식물의 이러한 상리공생 관계가 지속적으로 발전해 왔던 개미가 종자산포하는 식물(myrmecochorous plant)들은 많은 에너지를 지방체를 준비하는 데 할당하고 안전한 번식처인 개미집으로 이동한 다음에 개미집의 서서히 배를 발달시켜 이듬해 봄에 개미집에서 발아하는 것에 적합하도록 진화한 것이라는 Guitián and Garrido(2006)의 보고를 뒷받침한다고 판단된다.

2. 종자발아

개미가 종자를 산포하는 깻쟁이풀과 현호색 전파체에서 지방체의 제거 유무와 종자 전처리에 따른 채종시기별 발아율을 파악하고자 정선 후 무처리 파종(June 20), 60일간의 습윤 실온저장 후(Aug. 19) 및 60일 간의 습윤저온저장 후(Oct. 20) 각각 파종용 상토를 채운 비닐화분에 파종하여 이듬해 봄에 발아한 결과를 Tab. 3에 보였다. 깻쟁이풀의 발아율은 지방체 제거 유무에 영향받지 않으며, 전처리와 파종시기 간에는 1% 유의수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 정선 후 무처리로 6월 20일에 파종한 결과, 깻쟁이풀은 평균 65%가 발아하였고, 60일간 습윤실온저장 후 파

종한 결과 평균 17.50%가 발아하였다. 그리고 습윤저온저장 후에 파종한 결과는 전혀 발아하지 않았다(Table 3). 이러한 결과는 열매 성숙 후 곧바로 개미들이 개미집으로 물어가 지방체를 애벌레 먹이로 활용하고 개미집에 남아서 배의 원기가 충분히 성장하고 이듬해에 발아하는 데 적응한 탓이라 추정된다. 특히 60일간의 습윤 저온저장 후 10월 20일 파종에서는 전혀 발아하지 않았다. 이는 배의 원기가 발달하는 데 저온저장이 부정적인 영향을 미친 것이라 판단된다. 이러한 결과는 깻쟁이풀 배는 자연상태에서 9월에 자라기 시작하며 11월에 배생장이 완성된다는 Rhie(2014)의 보고를 뒷받침하며, Kondo et al.(2004)의 왜현호색 종자의 저온처리(0-5°C)에서 배가 발육되지 않았다는 보고와 비슷한 경향이라 사료된다.

현호색의 발아율은 지방체 제거 유무 간에 5%, 파종시기 간에는 1% 유의수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 지방체가 붙어있는 무처리구에서 평균 54.17%가 발아하였고, 지방체를 제거한 처리구에서 평균 35.0%가 발아하였다. 이러한 결과는 지방체 제거가 개미가 종자를 산포하는 일부 식물종에서 발아율을 높인다는 보고(Garrido et al., 2009; Ohkawara, 2005; Lobstein & Rockwood, 1993)와는 상반된 결과였다. 정선 후 무처리로 6월 20일에 파종한 결과과 평균 75%가 발아하였고, 60일간 습윤실온저장 후 파종한 결과 평균 53.75%가 발아하였다. 그리고 습윤저온저장 후에 파종한 결과 평균 5.0%가 발아하였다(Table 4). 이러한 결과는 열매 성숙 후 곧바로 개미들이 개미집으로 물어가 종자의 딱정벌레나 설치류의 포식을 피하고, 지방체를 애벌레 먹이로 활용하고 개미집에 남아서 배의 원기가 충분히 성장하고 이듬해에 발아하는 데 적응한 탓이라 추정된다. 특히 60일간의 습윤저온저장 후 10월 20일 파종에서는 5.0%만 발아하였다. 이는 60일 간의 습윤실온저장이나 습윤저온저장이 현호색 종자의 배의 원기가 발달하는 데 부정적인 영향을 미친 것이라 추정된다.

이러한 결과는 개미가 종자를 분산시키는 춘계단명 식물 종의 발아는 성숙하여 종자가 낙하하는 시기에 개미들이 개미집으로 부지런히 물어가는 것을 고려할 때 채종 후 곧

Table 3. Mean germination percentages(%) of *Jeffersonia dubia* seeds by treatments and sowing date

Treatment(sowing date)	Elaiosome +	Elaiosome -	Mean	F-value
June 20	65.0	65.0	65.00	25.86**
Aug. 19	15.0	20.0	17.50	
Oct. 20	0.0	0.0	0.00	
Mean	26.67	28.33	27.50	
F-value	0.05 ^{NS}			

** & NS means significant at 1% significance level & not significant

Table 4. Mean germination percentages(%) of *Corydalis remota* seeds by treatments and sowing date

Treatment (sowing date)	Elaiosome +	Elaiosome -	Mean	F-value
June 20	80.0	70.0	75.00	30.04**
Aug. 19	72.5	35.0	53.75	
Oct. 20	10.0	0.0	5.00	
Mean	54.17	35.00	44.58	
F-value	6.45*			

** & * means significant at 1%, 5% significance level, respectively

바로 파종하는 것이 이들 식물종들이 진화해온 특성에 적합한 방법이며, 가장 높은 발아율을 확보할 수 있는 방법이라 판단된다. 개미가 종자를 산포하는 춘계단명식물인 깽깽이풀, 복수초, 얼레지와 큰연영초 등이 당년에 기내에서 발아하지 않았다고 형태·생리적 휴면(morphophysiological dormancy)이라는 주장(Rhie, 2014; Lee et al., 2012; Chung and Kim, 2001; Kim and Chung, 2001)이 정당함을 재검토해야 할 것이라 판단된다. 개미가 종자를 분산시키는 춘계단명 식물종들은 개미와의 상리공생을 위하여 지방체를 생산하여 종자에 부착하고 오랫동안 진화하여 종자 분산 후 개미집이라는 적온·적습한 환경조건에서 배가 후속하는 기간을 거치고 이듬해에 발아하는 전략을 선택하고 있는 것이라 판단된다.

감사의 글

이 연구에서 관련된 개미류를 동정해 주신 상지대 류동표 교수님과 상지대학교의 늘푸른솔 회원들의 조사활동 지원에 진심으로 지면을 통하여 감사드립니다.

REFERENCES

- Beattie, A.J.(1985) The Evolutionary Ecology of Ant-Plant Mutualism. Cambridge Univ. Press. New York, USA. 182pp
- Christian, Caroline E. and Maureen L. Stanton. 2004. Crytic consequences of a dispersal mutualism: seed burial elaiosome removal, and seed-bank dynamics. *Ecology* 85:1101-1110.
- Chung, J.D. and H.Y. Kim. 2001 Effects of storage condition and duration on seed germination of several native ornamental plants. *Research Journal of Agricultural Science and Technology* V: 59-69.
- Fischer, R.C., V. Mayer, A. Richter, F. Hadacek and V. Mayer(2008) Chemical differences between seeds and elaiosomes indicate an adaptation to nutritional needs of ants. *Oecologia* 155: 539-547.
- Garrido, J.L., P.J. Rey and C.M. Herrera(2009) Influence of elaiosome on postdispersal dynamics of an ant-dispersed plant. *Acta Oecologica* 35: 393-399.
- Gorb, E. and S. Gorb(2003) Seed Dispersal by Ants in a Deciduous Forest Ecosystem: Mechanisms, Strategies, Adaptations. Kluwer Academic Publishers, 225p
- Gutián, J. and J.L. Garrido. 2006. Is early flowering in myrmecochorous plants an adaptation for ant dispersal? *Plant Species Biology* 21: 165-171.
- Jo, M.Y. 2015. A Study on the Habitat Characteristics and Seed Dispersion of *Jeffersonia dubia*. MS Thesis Sangji University. 52pp.
- Kim, G.T.(2014) A study on the ant's selection of the diaspores of four *Corydalis* Species. *Korean Journal of Environment and Ecology* 28(5): 495-499.
- Kim, G.T.(2011) A study on the myrmecochorous plant species and their diaspore characteristics in middle part of the Korean Peninsula. *Korean Journal of Environment and Ecology* 25(5):685-690.
- Kim, H.Y. and J.D. Chung 2001 Effects of GA₃, Moist-Chilling Storage and Removal of Funiculus on the Germination of *Dicentra spectabilis*. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 19(1): 78-80.
- Kondo, T., T. Miura, N. Okubo, M. Shimata, C. Baskin and J. Baskin(2004) Ecophysiology of deep simple epicotyl morphophysiological dormancy in seeds of *Gagea lutea*(Liliaceae). *Seed Science Reserch* 14(4): 371-378.
- Lee, S.Y., Y.H. Rhie, Y.J. Kim and K.S. Kim(2012). Morphological and morphophysiological dormancy in seeds of several spring ephemerals native to Korea. *Flower Research Journal* 20(4):193-199.
- Lim, H.S., J.S. Kim and J.S. Eun. 2010. Effects of Chemicals on the Germination Rate of Seed in Bleeding Heart (*Dicentra spectabilis* L.). *Journal of Agriculture & Life Sciences* Volume 41(1):25-30.
- Lobstein, M.B. and L.L. Rockwood(1993) Influence of elaiosome removal on germination in five ant-dispersed plant species. *Virginia Journal of Science* 44(1): 59-72.
- Moreau, C.S., C.D. Bell, R. Vila, S.B. Achivald and N.E.

- Pierce(2006) Phylogeny of the ants: diversification in the age of angiosperms. *Science* 312: 101-104.
- Nomizu, T., Y. Niimi, and E. Watanabe. 2004. Embryo development and seed germination of *Hepatica nobilis* Schreber var. *japonica* as affected by temperature after sowing. *Scientia Hort.* 99:345-352.
- Ohkawara, K. 2005. Effects of timing of elaiosome removal on seed germination in the ant-dispersed plants, *Erythronium japonicum* (Liliaceae). *Plant Species Biology* 20: 145-148.
- Peters, M., Oberrath, R. and K. Bohning-Gaese. 2003. Seed dispersal by ants: are seed preferences influenced by foraging strategies or historical constraints? *Floral* 198: 413-420.
- Rhie, Y.H. 2014. Seed dormancy and germination of *Jeffersonia dubia* in relation to temperature, hormone levels, and cell wall polysaccharides. Phd Dissertation. Seoul National University. 104pp.
- Rico-Gray, V. and P.S. Oliveira(2007) *The Ecology and Evolution of Ant-Plant Interactions*. the Univ. of Chicago Press. Chicago, USA. 331pp.
- Vandelook, F. and J.A. Van Assche. 2009. Temperature conditions control embryo growth and seed germination of *Corydalis solida* (L.) Clairv., a temperate forest spring geophyte. *Plant Biol.* 11:889-906.