

현호색속 식물 4종에 대한 개미의 전파체 선택에 관한 연구^{1a}

김갑태^{2*}

A Study on the Ant's Selection of the Diaspores of Four *Corydalis* Species^{1a}

Gab-Tae Kim^{2*}

요약

우리나라에서 개미가 종자를 분산시키는 식물종과 관련 개미 및 개미의 종자선택 행태를 밝히고자, 2013년 4월부터 과 2014년 7월까지 현호색 4종의 열매 수집, 전파체 특성, 급여시험을 실시하였다. 개미가 종자를 퍼뜨리는(ant-dispersed) 4종의 현호색 속의 식물이 새롭게 확인되었다. 4종의 식물체의 종자에 부착된 지방체의 형태는 주걱처럼 생겼으며, 식물종간 길이나 크기는 서로 달랐다. 전파체, 종자 및 지방체 무게 및 지방체 비율 등은 식물종간 고도의 통계적 유의차가 인정되었다. 전파체와 종자의 무게는 갈퀴현호색이 가장 무거웠고, 다음으로 현호색, 땃잎현호색, 빗살현호색의 순이었다. 지방체의 비율은 땃잎현호색이 23.7%로 가장 높았고, 다음으로 현호색, 빗살현호색, 갈퀴현호색의 순이었다. 지방체를 물어가는 개미는 곰개미, 누운털개미, 고동털개미 및 주름개미 4종이었으며, 가장 빈번하게 지방체를 물어가는 종은 곰개미였다. 개미의 전파체 선호도는 땃잎현호색, 현호색, 빗살현호색, 갈퀴현호색의 순이었으며, 이러한 순서는 지방체의 비율과 같은 순이었다. 개미의 전파체 선택행동은 식물종 또는 개체간 생존율에 영향을 미칠 것이라 사료된다. 앞으로 개미가 종자를 퍼뜨리는 식물종과 개미에 대한 조사와 급여시험 등의 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

주요어: 지방체, 급여시험, 곰개미, 개미종자산포

ABSTRACT

To search for myrmecochorous plant species, related ant species and diaspore selecting behaviour, collecting fruits and diaspores of four *Corydalis* species, cafeteria experiments, and the related ant species were studied from May 2013 to July 2014. Four *Corydalis* species recording in Korea were proved myrmecochorous (seed attached elaiosome) plants newly. Elaiosome shape of these species is spatulate-shaped, but their size is varied considerably in length and width. Significant differences is proved between four plant species in weight of diaspores, seeds and elaiosomes, and elaiosome ratios. Mean values of diaspores weight showed 4.08 mg, 2.56 mg, 2.49 mg and 2.06 mg in *Corydalis grandicalyx*, *C. remota*, *C. turtschaninovii* for *pectinata* and *C. turtschaninovii* var. *linearis*, respectively. Mean values of seed weights showed 3.68 mg, 2.03 mg, 1.90 mg and 1.67 mg in *Corydalis grandicalyx*, *C. remota*, *C. turtschaninovii* for *pectinata* and *C. turtschaninovii* var. *linearis*, respectively. Elaiosome ratio of *C. turtschaninovii* var. *linearis* was the highest, followed by *C. remota*,

1. 접수 2014년 6월 23일, 수정 (1차: 2014년 10월 7일), 게재확정 2014년 10월 8일

Received 23 June 2014; Revised (1st: 7 October 2014); Accepted 8 October 2014

2. 상지대학교 산림과학과 Dept. of Forest Sciences, College of Life Sci. & Resour., Sangji Univ., Wonju, 220-702, Korea

a 이 연구는 상지대학교 2013년 교내연구비 지원으로 수행되었음

* 교신저자 Corresponding author(gtkim@sangji.ac.kr)

C. turtschaninovii for. *pectinata* and *C. grandicalyx*. Ant's preference for the diaspores is ordered as same as elaiosome ratio's order. Major ant species transporting the diaspores of *Corydalis* species are *Formica japonica*, *Lasius alienus*, *Lasius japonicus* and *Tetramorium tsushimae*. *Formica japonica* transports the diaspores most frequently. Ant's preference for the diaspores among plant species or individuals might be influenced on the survival rates of concerned species. Further studies on the myrmecochorous plant and related ant species, cafeteria experiments should be needed.

KEY WORDS: ELAIOSOME, CAFETERIA EXPERIMENT, *Formica japonica*, MYRMECOCHORY

서론

개미에 의한 종자산포(myrmecochory)는 지방체를 부착한 전파체(diaspore)를 개미가 물어가 지방체를 먹이로 이용하고, 식물체는 지방체를 생산하는 생리적 에너지 소비에 비하여 지속적인 편익(종자 이동, 산불과 종자포식자로부터의 보호와 양료가 풍부한 환경을 제공받는 등)을 얻기에 상리공생의 좋은 사례이며(Kim, 2011; Rico-Gray and Oliveira, 2007; Gorb and Gorb, 2003; Beattie, 1985), 이러한 상리공생은 개미, 피자식물, 초식곤충 등의 다양성이 풍부해지는 시기인 백악기 후반에서 에오세기 초반에 시작된 것이며, 피자식물과 함께 상호작용하며 개미의 종 분화가 이루어진 것이라 보고 하였다(Moreau *et al.*, 2006). 다수의 식물은 개미를 유인하기 위하여 종피에 지방체(elaiosome)라는 육질의 구조를 부착하고 있다. 개미는 전파체(지방체가 붙어있는 종자)를 개미집으로 물어가 지방체는 떼어서 애벌레의 먹이로 이용하고 남은 종자는 개미집 내부의 쓰레기장이나 집 밖의 모래언덕 또는 개미군체의 영역 경계로 내다버린다. Fischer *et al.*(2008)은 종자에는 고분자의 단백질, 전분이 많으나 지방체에는 저분자의 아미노산과 당당이 많으며, 지방산, 아미노산의 종류가 종자의 배와 배젖과는 현저하게 다르며, 아미노산 함량은 지방체가 종자보다 7.5배나 높았음을 밝혔으며, 개미 애벌레에 대한 지방체의 영양적 가치가 식물과 개미의 관계에서 중요한 요인이라 주장하였다. 개미에 의한 지방체 제거는 발아묘를 증가시킬 뿐만 아니라 종자의 피식을 줄이기도 하며, 지방체가 종자 분산에 미치는 myrmecochorous system의 긍정적인 영향은 생태학적으로 진화생물학적으로 매우 중요하며(Garrido *et al.*, 2009), 개미를 이용하는 쌍자엽식물의 진화를 설명할 수 있으며, 지방체는 생물학에서 수렴진화(convergent evolution)의 적절한 사례이다(Lengyel *et al.*, 2010). Gammans *et al.*(2006)은 가시양골담초(*Ulex*)속 식물의 지방체에는 개미의 성장에 필요한 4종의 필수 지방산과 4종류의 스테롤이 함유되었음을 보고하였다. Edwards *et al.*(2006)은 *Acacia*

87종, 그 밖의 22종의 식물을 대상으로 지방체의 크기와 종자 크기간의 상관관계가 있으며, 개미의 선택행위가 종자 형질에 영향하며 개미는 보다 많은 보상을 원하는 사실을 밝혔다. Fischer *et al.*(2005)은 현호색(*Corydalis cava*) 종자의 15N 라벨된 지방체 급여 시험에서 일개미가 39%, 애벌레가 61%를 먹으며, 엘라이오솜(elaiosomes)은 개미 애벌레의 주요한 먹이이며 온대지방 개미의 생활사에서 주요한 역할을 하며, Bas *et al.*(2009)은 지방체를 가진 갈매나무속(*Rhamnus alaternus*) 종자를 대상으로 장다리개미 일종(*Aphaenogaster senilis*)에 의한 개미집으로의 이동 확률은 종자 중량이 증가할수록 높았음을 밝혔다. Servigne and Detrain(2010)은 *Viola odorata*, *Chelidonium majus* 종자와 육식성 개미(*Myrmica rubra*), 잡식성 개미(*Lasius niger*)를 대상으로 종자 분산을 조사하여, 육식성 개미가 잡식성 개미보다 빨리 종자를 물어가며, 육식성 개미와 애기똥풀간의 상리공생이 가장 효과적이었음을, Okawara *et al.*(1997)은 왜현호색(*Corydalis ambigua*) 낙하종자의 46%는 개미집에서 발견되고 이동거리는 평균 48cm 정도였으며, 개미 두 종(*Lasius japonicus* and *Myrmica kotokui*)에 의한 종자분산 이후에 보행성 딱정벌레(*Pterostichus* spp.)의 종자포식이 있었음을 각각 보고한 바 있다. 개미가 씨앗을 퍼뜨리는(myrmecochory) 식물종은 세계적으로 약 3,000종(Beattie, 1985)이 알려지고 있으며, 호주에 1,500여 종(51.7%), 남부 아프리카에 1,300여 종(44.8%), 온대에 속하는 북미 동부, 일본 및 지중해지역에 1.7%, 신열대 지역에 0.2%가 분포함이다(Rico-Gray and Oliveira, 2007) 밝혔으며, 국내에서는 Kim(2011)이 처음으로 24종의 식물에서, Lee(2012)가 12종의 식물종에서, Lee(2013)가 머느리밭풀속의 몇 종들도 개미가 종자를 개미가 씨앗을 퍼뜨리는(myrmecochory) 식물종임을 보고한 바 있으며, 국내에서의 관련 연구는 시작단계라 할 수 있다.

이에 이 연구는 우리나라 중부지방에서 개미가 종자를 분산시키는 현호색 네 종의 종자 특성과 개미의 전파체 선택 행동을 밝히고자, 2013년 4월부터 2014 6월까지 열매수집, 전파체 특성조사 및 급여시험을 실시하였다.

연구방법

1. 대상 식물종 및 열매 채취

개미가 종자를 분산시키는 식물로 알려진 현호색 4종-현호색, 땃잎현호색, 빗살현호색 및 갈퀴현호색-을 연구대상으로 선택하였다. 현호색, 땃잎현호색 및 빗살현호색은 원주시 단구동과 우산동에서, 갈퀴현호색은 평창군 장전리 중왕산에서 각각 2013년과 2014년 4, 5월에 열매를 채취하여 채종하였으며, 종자 및 지방체 형태 등은 10-80x 실체현미경(V8 Discovery, Zeiss, Germany) 하에서 관찰하고 필요한 사진을 촬영하였다.

2. 전파체(종자+지방체)특성 조사

조사대상 식물의 성숙한 열매를 채취하여 밀봉저장하여 실험실로 가져와서 그늘에서 풍건하여 채종하였다. 각 식물종 별로 40립 이상의 전파체(종자+지방체)와 종자의 중량을 분석용 저울(METTLER AJ100)로 측정하였다. 전파체를 10립씩을 4반복으로 측정하였으며, 확대경과 핀셋을 이용하여 지방체를 떼어내고 종자들을 평량하여 지방체의 중량과 지방체의 중량 비율을 산출하였다.

3. 급여시험과 개미의 선호도 조사

급여시험은 Kim(2011)의 방법에 준하여 4반복으로 실시하였다. 식물종별 전파체(종자+지방체)를 목재로 제작한 접시(11×8×0.5cm)에 5립씩 배열하여(Figure 2) 상지대학교 구내의 개미집이 분포하는 숲 가장자리에 배치하고 식물종별 전파체를 물어가는 것을 10분 간격으로 확인하였다. 현장에서 종자를 물어가는 개미와 주변에서 관찰되는 개미를 종별로 3마리 이상씩 포획하여 실험실에서 종을 동정하고, 필요한 사진을 촬영하였다. 포획된 개미는 표본을 만들어 상지대학교 곤충표본실에 보관하였다.

결과 및 고찰

1. 개미가 종자를 퍼뜨리는 식물종

종자에 지방체가 뚜렷이 부착되어 있고 종자 급여시험에서 개미가 이들 전파체를 물어가는 것을 확인한 *Corydalis* 속 4종-갈퀴현호색, 땃잎현호색, 빗살현호색 및 현호색-이 새롭게 개미가 종자를 분산시키는(myrmecochorous) 자생 식물임을 확인하였으며, 전파체의 형태적 특성을 Figure 1

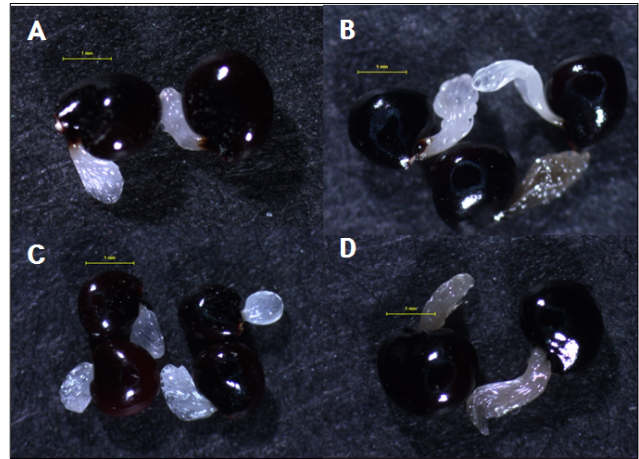


Figure 1. Diaspores of 4 myrmecochorous plants. A: *Corydalis grandicalyx*, B: *C. turtchaninovii* var. *linearis*, C: *C. turtchaninovii* for. *pectinata*, D: *Corydalis remota*

에 각각 보였다. 이러한 결과는 Rico-Gray and Oliveira(2007)가 온대에 속하는 북미 동부, 일본 및 지중해지역에 1.7%의 식물이 포함된다는 보고와 열레지아와 좀현호색을 개미가 종자를 퍼뜨리는 식물로 보고한 Ohkawara *et al.*(1996, 1997)의 결과와 부합하는 것이며, 우리나라에서도 개미와 식물간의 오래된 상리공생이 확인되었으며, 이러한 관계를 추가로 확인한 것은 의미 있는 일이라 사료된다.

종자에 부착된 지방체의 형태는 모두 비슷한 형태로 발아공이 있는 부위에서 주걱처럼 생긴 백색의 지방체가 달려있는 형태(Figure 1)이나 크기나 모양이 서로 달랐다. Kim(2011)이 보고한 동일속의 산괴불주머니(*Corydalis speciosa*)의 종자를 감싸는 듯한 보자기 모양의 지방체와는 다른 형태였다.

2. 개미가 종자를 퍼뜨리는 식물종들의 전파체 특성

충분한 열매를 수집하고, 비교적 종자에서 지방체를 떼어내기 쉬운 4종의 전파체 특성을 분석한 결과를 Table 1과 같다. 전파체(종자+지방체), 종자, 지방체 등의 중량, 지방체의 중량비(지방체 중량/ 전파체 중량 × 100, %) 등의 조사 항목들은 공통적으로 식물종간 고도의 통계적 유의차가 인정되었다. 조사대상 4종중에서 전파체 중량은 갈퀴현호색이 4.08mg으로 가장 무거웠고, 다음으로 현호색, 땃잎현호색, 빗살현호색 순이었으며, 빗살현호색이 0.29mg으로 가장 가벼웠다. 종자 중량도 갈퀴현호색이 가장 무거웠고, 빗살현호색이 가장 가벼워 같은 순으로 나타났다. 지방체의 중량은 땃잎현호색이 0.59mg으로 가장 무거웠고, 다음으로 현호색, 갈퀴현호색과 빗살현호색은 0.40mg으로 가장 가벼웠다. 지방체 중량비는 땃잎현호색이 23.7%로 가장 높았고,

Table 1. Diaspore characteristics of four myrmecochorous species

| Plant species(Common name) | Weight (mg; mean±sd) | | | Elaiosome ratio(%) |
|--|-----------------------|---------------|----------------|--------------------|
| | Diaspore (D=S+E) | Seed(S) | Elaiosome(E) | E/D*100 |
| <i>Corydalis grandicalyx</i> 갈퀴현호색 | 4.08 ± 0.16 c | 3.68 ± 0.14 c | 0.40 ± 0.12 a | 9.8 ± 2.8 a |
| <i>Corydalis urtschaninovii</i> var. <i>linearis</i> 댓잎현호색 | 2.49 ± 0.17 b | 1.90 ± 0.17 b | 0.59 ± 0.05 b | 23.7 ± 2.5 b |
| <i>Corydalis turtschaninovii</i> for. <i>pectinata</i> 빗살현호색 | 2.06 ± 0.12 a | 1.67 ± 0.09 a | 0.40 ± 0.08 a | 19.0 ± 3.1 b |
| <i>Corydalis remota</i> 현호색 | 2.56 ± 0.13 b | 2.03 ± 0.13 b | 0.54 ± 0.10 ab | 20.9 ± 3.7 b |
| F-values | 146.01** | 187.17** | 4.11* | 15.44** |

Values with the same letter are not significantly different at 5% level in Duncan's multiple range test

다음으로 현호색, 빗살현호색, 갈퀴현호색 순이었으며, 갈퀴현호색이 9.8%로 가장 낮았다.

3. 급여시험과 관련 개미

목재로 제작한 접시(Figure 2, A)에 전파체(종자+지방체)를 배열하여 전파체를 물어가는 개미를 촬영한 사진을 Figure 2에, 종자 분산을 측정된 결과를 Table 2와 같다. 급여시험은 맑은 날 개미의 활동이 활발한 기간을 이용하였으며, (원주: 2013.05.21일, 평균기온 25.0℃, 상대습도 60.3%, 2014.05.16. 일, 평균기온 19.1℃, 상대습도 49.5%) 전파체를 물어가는 개미종은 곰개미(*Formica japonica*; Figure 2, B,D), 누운털개미(*Lasius alienus*; Figure 2,C), 주름개미(*Tetramorium tsushimae*), 고동털개미(*Lasius japonicus*) 등 4종이었으며, 상대적으로 몸집이 큰 곰개미(*Formica japonica*)는 모든 종의 전파체를 빈번하게, 몸집이 작은 편인 고동털개미(*Lasius japonicus*)와 누운털개미(*Lasius alienus*) 및 주름개미(*Tetramorium tsushimae*)는 상대적으로 작은 전파체를 물어가거나 속도가 느린 것으로 나타났다.

Table 2에 식물종별 종자제거율을 평균을 보았다. 급여 시험 시작 20분이 경과한 후 댓잎현호색은 모두 제거되었고, 현호색 95%, 빗살현호색 75%, 갈퀴현호색 35%가 각각

제거되었다. 급여시험 시작 30분이 경과한 후 현호색 100%, 빗살현호색 95%, 갈퀴현호색 75%가 각각 제거되었다. 이러한 결과는 식물종에 따른 개미들의 선호도가 댓잎현호색이 가장 높고, 현호색, 빗살현호색, 갈퀴현호색 순으로 낮아

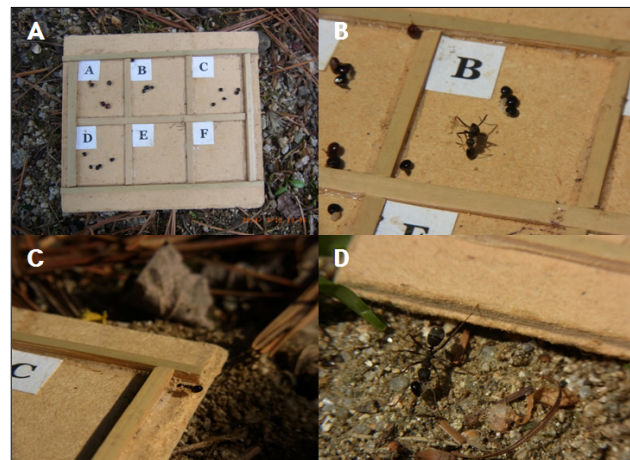


Figure 2. Cafeteria experiments and ant's transporting diaspores. A: Wood-dish(11×8×0.5cm) with diaspores, B: *Formica japonica* and *Corydalis turtschaninovii* var. *linearis*, C: *Tetramorium caespitum* and *C. turtschaninovii* for. *pectinata*, D: *Formica japonica* and *C. remota*

Table 2. Mean values of Diaspore removal rates of four myrmecochorous species by elapsed time

| Plant Species (Common name) | Additional seed removal rates(%) | | |
|--|----------------------------------|---------|---------|
| | Elapsed time (min.) | | |
| | 10 | 20 | 30 |
| <i>Corydalis grandicalyx</i> 갈퀴현호색 | 10.0 a | 35.0 a | 75.0 a |
| <i>Corydalis turtschaninovii</i> var. <i>linearis</i> 댓잎현호색 | 70.0 c | 100.0 c | 100.0 b |
| <i>Corydalis turtschaninovii</i> for. <i>pectinata</i> 빗살현호색 | 30.0 b | 70.0 b | 95.0 b |
| <i>Corydalis remota</i> 현호색 | 65.0 c | 95.0 c | 100.0 b |
| mean | 43.75 | 75.00 | 92.50 |
| F-values | 26.34** | 23.56** | 11.34** |

Differences in letters in vertical columns indicate significant difference at 5% level for Duncan test

집을 의미한다. 이러한 선호도 순위는 지방체의 크기와 지방체 비율이 높은 식물종을 개미가 선호하는 것이라 판단된다. 이러한 결과는 개미의 선택행위가 종자 형질에 영향하며, 개미는 보다 많은 보상을 원한다는 Edwards *et al.* (2006)의 보고, 노루귀(*Hepatica nobilis*)를 대상으로 개미의 종자선택을 조사하여 지방체 크기가 가장 중요하다는 Mark and Olesen(1996)의 보고와 부합된다고 판단된다. 이러한 개미의 전파체 선택행동(선호도)은 식물은 종자 분산자를 선택하는 것과 분산자의 종자처리 행태에 적응하는 형태로 진화한다는 Giladi(2006)의 보고를 고려하면 식물종간 또는 종내의 적응성에 영향을 미치는 진화생물학적인 의미를 갖는다고 사료된다.

이러한 결과는 동북아시아에 속하는 우리나라에도 개미와 지방체를 매개로 상리공생하는 식물종들이 분포함을 추가로 확인하였으며, 개미의 전파체 선택행동은 식물종간 또는 종내 생존율에 영향을 미칠 것이라 사료된다. 앞으로 개미와 식물의 상리공생을 제대로 파악하기 위해서는 식물종과 개미에 대한 조사와 급여시험 등의 많은 연구가 필요하다.

감사의 글

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

REFERENCES

- Bas, J.M., Oliveras, J. and C. Gómez(2009) Myrmecochory and short-term seed fate in *Rhamnus alaternus*: Ant species and seed characteristics. *Acta Oecologica* 35: 380-384.
- Beattie, A.J.(1985) *The Evolutionary Ecology of Ant-Plant Mutualism*. Cambridge Univ. Press. New York, USA. 182pp.
- Edwards, W., Dunlop, M. and L. Rodgerson(2006) The evolution of rewards: seed dispersal, seed size and elaiosome size. *Journal of Ecology* 94: 687-694.
- Fischer, R.C., Ölzant, S.M., Wanek, W. and V. Mayer(2005) The fate of *Corydalis cava* elaiosomes within an ant colony of *Myrmica rubra*: elaiosomes are preferentially fed to larvae. *Insectes Sociaux* 52: 55-62.
- Fischer, R.C., Mayer, V., Richter, A., Hadacek, F. and V. Mayer(2008) Chemical differences between seeds and elaiosomes indicate an adaptation to nutritional needs of ants. *Oecologia* 155: 539-547.
- Gammans, N., Bullock, J.M., Gibbons, H. and K. Schönrogge (2006) Reactions of mutualistic and granivorous ants to *Ulex elaiosome* chemicals. *Journal of Chemical Ecology* 32: 1935-1947.
- Garrido, J.L., Rey, P.J. and C.M. Herrera(2009) Influence of elaiosome on postdispersal dynamics of an ant-dispersed plant. *Acta Oecologica* 35: 393-399.
- Giladi, I.(2006) Choosing benefits or partners: a review of the evidence for the evolution of myrmecochory. *Oikos* 112: 481-492.
- Gorb, E. and S. Gorb(2003) *Seed Dispersal by Ants in a Deciduous Forest Ecosystem: Mechanisms, Strategies, Adaptations*. Kluwer Academic Publishers, 225pp.
- 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.
- Lee, J.H.(2013) A Study on Seed Dispersion and Habitat Characteristics of Genus *Melampyrum*. M.S. Thesis, Sangji University, 53pp.
- Lee, J.S.(2012) A Study on the Myrmecochory and Seed Characteristics of Several Herbaceous Plants. M.S. Thesis, Sangji University, 31pp.
- Lengyel, S., Gove, A.D., Latimer, A.M. Than, D. Majer, J.D. and R.R. Dunn(2010) Convergent evolution of seed dispersal by ants, and phylogeny and biogeography in flowering plants: A global survey. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 12(1): 43-55.
- Mark, S. and J.M. Olesen(1996) Importance of elaiosome size to removal of ant-dispersed seeds. *Oecologia* 107:95-101.
- Moreau, C.S., Bell, C.D., Vila, R., Achivald, S.B. Pierce, N.E.(2006) Phylogeny of the ants: diversification in the age of angiosperms. *Science* 312: 101-104.
- Ohkawara, K., Ohara, M. and S. Higashi(1997) The evolution of ant-dispersal in a spring-ephemeral *Corydalis ambigua* (Papaveraceae): timing of seed-fall and effects of anta and ground beetles. *Ecography* 20: 217-223.
- Ohkawara, K., Higashi, S. and M. Ohara(1996) Effects of ants, ground beetles and seed-fall patterns on myrmecochory of *Erythronium japonicum* Decne. (Liliaceae). *Oecologia* 106: 500-506.
- Rico-Gray, V. and P.S. Oliveira(2007) *The Ecology and Evolution of Ant-Plant Interactions*. the Univ. of Chicago Press. Chicago, USA. 331pp.
- Servigne, P. and C. Detrain(2010) Opening myrmecochory's black box: what happens inside the ant nest? *Ecological Research* 25: 663-672.