

한국산 활엽수종의 도마티아 구조에 대한 연구¹

김갑태^{2*} · 추갑철³ · 김희진⁴

A Study on the Domatia Structure of Broad-leaved Trees in Korea¹

Gab-Tae Kim^{2*}, Gab-Cheul Choo³, Hoi-Jin Kim⁴

요 약

활엽수종들의 초식에 대한 방어전략으로 선택하고 있는 도마티아의 전형적인 형태를 밝히고자 6수종의 잎을 대상으로 도마티아의 형태와 해부학적 구조를 관찰하였다. 도마티아 형태는 싹지형, 털복숭이형, 호주머니형, 호주머니+털복숭이형 등의 형태가 관찰되었다. 이러한 결과는 활엽수가 포식 응애와의 상리공생을 위하여 도마티아 구조를 발달시켜 왔다고 사료된다.

주요어: 도마티아, 싹지형, 털복숭이형, 호주머니형, 호주머니+털복숭이형, 상리공생

ABSTRACT

To study on the typical domatia structure, the leaves of six broad-leaved tree species were examined. Domatia of the leaves of the broad-leaved trees is the defense strategies against herbivory of many broad-leaved tree species. We observed four type domatia; Pouch type, Tuft type, Pocket type, and Pocket + tuft type. This result suggests that broad-leaved trees have developed leaf domatia structures for mutualism with predatory mites.

KEY WORDS: DOMATIA, POUCH TYPE, TUFT TYPE, POCKET TYPE, POCKET+TUFT TYPE, MUTUALISM

서 론

식물은 지구상에 출현한 이후로 끊임없이 초식절지동물이나 동물들의 공격을 받으며, 이에 대한 방어 전략을 개발하면서 진화해왔다. 지금까지 알려진 직접적 방어 전략으로는 가시나 여러 종류의 털을 줄기 잎 등에 발생시키거나 대사산물인 화학물질을 분비하여 초식으로부터 벗어나려는 노력을 기울였고, 간접적 방어 전략으로는 초식에 대한

반응으로 휘발성물질을 발산시켜 육식성절지동물을 불러들여 초식절지동물을 방어하거나, 꽃 이외의 부분에 꿀을 분비하여(extrafloral nectary, EFN; 花外蜜腺) 초식절지동물들의 천적인 포식 응애, 개미, 말벌, 무당벌레 등을 불러들여 초식절지동물이 접근하지 못하게 하는 방법을 이용하였다(Heil, 2008). 다른 하나의 방어 전략은 Lundstroem (1887)에 의해 소개되었으며, 그는 식물의 잎 뒷면에 포식 및 식균성 응애의 피난처 역할을 하는 잎의 미세구조를 확

1 접수 2009년 10월 30일, 수정(1차: 2010년 5월 25일, 2차: 2010년 6월 22일), 게재확정 2010년 6월 23일
Received 30 October 2009; Revised(1st: 25 May 2010, 2nd: 22 June 2010); Accepted 23 June 2010

2 상지대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Sciences, College of Life Sci. & Resour., Sangji Univ., Wonju(220-702), Korea(gtkim@sangji.ac.kr)

3 진주산업대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Jinju Nat'l Univ., Chinju(660-758), Korea(sancgc@cjcc.chinju.ac.kr)

4 서울대학교 대학원 산림자원학과 Dept. of Forest Sciences, Graduate school, Seoul Natl. Univ. Seoul(151-291), Korea(terere84@lycos.co.kr)

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

인하고 개미가 서식하는 보다 큰 공간에 대비시켜 acrodomatia(mite house)라 소개하였다. 최근 많은 연구자들이 domatia라는 용어를 흔히 이용하며, 이는 home 또는 dwelling을 뜻하는 라틴어 'domus'에서 만들어진 용어로 흔히 잎의 뒷면 주맥과 측맥 사이에 있는 공간에 만들어진 미세한 공간으로 보통의 경우 포식 또는 식균성 응애류가 산란하고 탈피하기도 하는 서식처(Pemberton and Turner, 1989)로 알려졌다. Monks *et al.*(2007)은 뉴질랜드 관목 (*Coprosma lucida*)에서 domatia가 식균성 응애의 서식밀도를 증가시키고 곱팡이를 구제하는 효과를 보였으며, 잎의 domatia가 이러한 상리공생을 증대한다고 보고했으며, Ferreira *et al.*(2008)은 커피나무와 피망을 대상으로 domatia를 막아버린 결과 응애가 감소하였으며, domatia에는 포식 및 식균성 응애가 서식하며 이들을 보호하는 것을 확인했으며, Nakamura *et al.*(1992)은 커피(*Coffea arabica*) 잎에서 domatia를 중심으로 해부학적 연구를 통해 domatia는 잎 뒷면의 주맥과 측맥 사이에 위치하며 입구 주변에는 36-143 μ m 길이의 털이 분포하고, 횡단면 상으로는 입구는 좁으나 내부 공간은 넓으며, domatia 내부로는 소독액도 들어가지 않았음을 확인하였다. Walter(1996)는 leaf domatia는 포식 응애류의 서식밀도를 증가시키고 초식곤충에 대한 구조적 방어 역할을 하며, 포식 응애에게 산란하고 탈피할 안전한 공간을 제공하여 식물과 곤충 간의 오랜 상리공생의 증거라 주장하였다.

Kim *et al.*(2009a)은 8종의 단풍나무속의 도마티아 특성과 서식하는 포식 응애를 보고하였고, Kim *et al.*(2009b)은 충남 태안군 지역에서 67종의 활엽수를 조사하여 46종 (68.7%)에서 도마티아 구조를 지녔음을 보고하였다. O'Dowd와 Pemberton(1998)은 한국의 광릉과 점봉산에서 수관층 응애의 분포와 풍부도를 조사하여 우점종을 포함한 목본식물의 50%는 domatia 구조를 가지고 있고, 24종의 수종에 대하여 잎의 domatia와 응애류의 서식실태를 조사하여 포식 응애와 목본식물의 상리공생을 확인하였으며, 살아있는 포식 응애의 70%와 응애 알의 80%는 domatia에서 관찰되었고, domatia의 유무는 포식 또는 식균성 응애류의 풍부도에 영향함을 밝혔다.

O'Dowd *et al.*(1991)은 호주의 예오세기 담팔수과와 녹나무과 식물의 화석에서 현재와 비슷한 식물과 포식 응애의 상호작용을 확인하여 4,000만 년 전 호주 남부지방에서 식물과 포식 응애의 상호작용이 광범위하게 이루어졌다고 보고하였다. Nishida *et al.*(2006)은 녹나무의 쌈지형(pouch type) 도마티아의 해부학적 구조를 보고한 바 있다. O'Dowd *et al.*(1994)은 한국의 활엽수종에 대한 도마티아 구조를 보고하면서 털북송이형(Tuft type), 구덩이형(Pit type), 호주머니형(Pouch type), 호주머니+털북송이형(Pocket + tuft type), 털북송이+호주머니형(Tuft + pocket type) 등으로 나누어 보고하였다.

이 연구는 국내에 분포하는 활엽수종들의 초식에 대한 방어전략으로 선택하고 있는 도마티아의 전형적인 형태를 비교하고자 6수종의 잎을 대상으로 도마티아의 전형적인 형태와 해부학적 구조를 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

국내에 생육 중인 주요 활엽수종에 대한 도마티아 구조와 포식응애의 조사는 2009년 5월 초순부터 9월 하순까지 진행되었으며, 전형적인 도마티아 형태를 지닌 녹나무, 아왜나무, 산딸나무, 서어나무, 산겨릅나무, 개암나무 등의 6 수종을 대상으로 도마티아 형태를 분류하고자 하였다. 각 수종들의 채집지를 Table 1에 보였다.

채취된 잎은 곧바로 플라스틱 백에 넣어 아이스박스에 담아 실험실로 운반하여 냉장실에 보관하면서 조사하였다. 가장 먼저 잎 뒷면의 엽맥 겨드랑이(vein axils)에 있는 domatia를 20x hand lens를 이용하여 조사하였으며, 10-80x 해부현미경(Zeiss V8 Discovery) 하에서 도마티아와 해부용 메스로 자른 잎의 횡단면을 관찰, 촬영하였다.

결과 및 고찰

1. 쌈지형 도마티아(Pouch type domatia)

녹나무의 도마티아를 Figure 1에 보였다. 잎 뒷면 맥액에

Table 1. Investigated tree species and its sources

Species(Common name)	Habit	Sources
<i>Cinnamomum camphora</i> (녹나무)	Evergreen	Jinju, Gyeongsangnam-do
<i>Viburnum odoratissimum</i> var. <i>awabuki</i> (아왜나무)	Evergreen	Jinju, Gyeongsangnam-do / Taean-gun, Chungcheongnam-do
<i>Cornus kousa</i> (산딸나무)	Deciduous	Jeju-do
<i>Carpinus laxiflora</i> (서어나무)	Deciduous	Taean-gun, Chungcheongnam-do
<i>Acer tegmentosum</i> (산겨릅나무)	Deciduous	Mt. Jungwang, Gangwon-do
<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>heterophylla</i> (개암나무)	Deciduous	Hongreung, Seoul

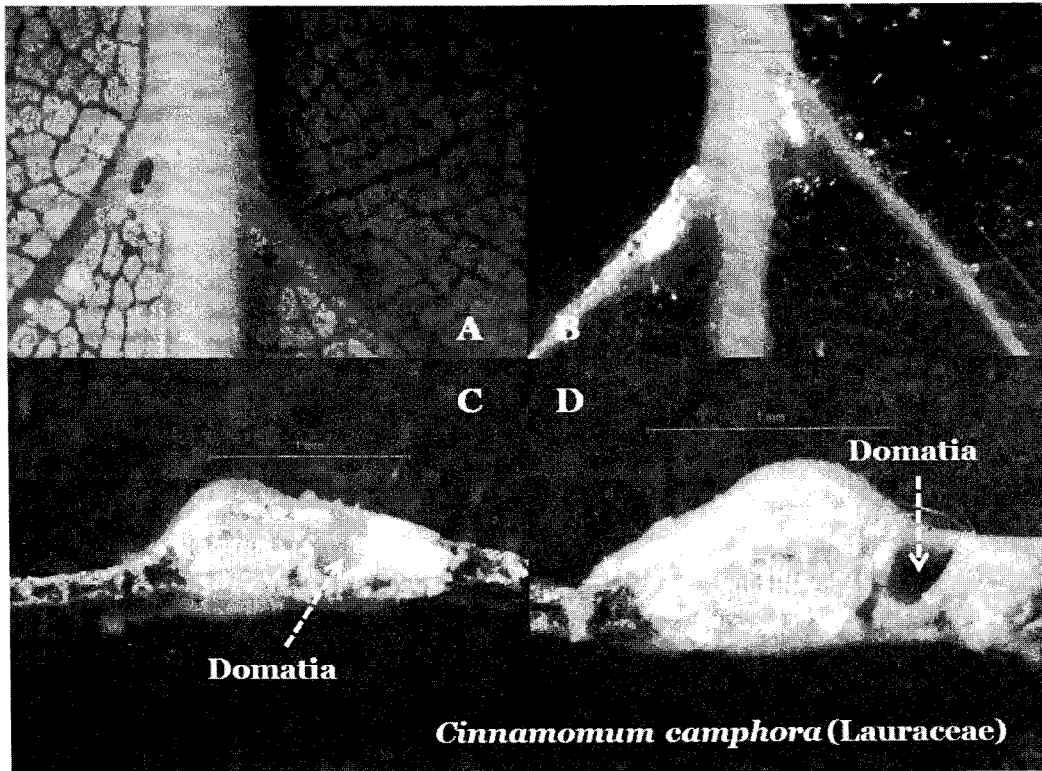


Figure 1. Pouch type domatia in the axils of *Cinnamomum camphora* midvein (A: View from the lower leaf surface, showing the opening. B: View from the upper leaf surface, showing the expansion. C, D: Cross section, showing pouch type domatia.)

는 길이 300~400 μ m 정도의 타원형 구멍이 있으며 입구에 털이 나 있어 Nakamura *et al.*(1992)의 도마티아 구조 속으로 소독액도 들어가지 못함을 보고한 것이나, Ferreira *et al.*(2008)이 도마티아 구조가 포식응애를 보호한다는 보고로 보아 물이나 바람의 영향으로부터 내부를 보호하는 역할을 한다고 판단된다(Figure 1. A). 잎의 앞면에는 내부공간을 넓게 하려고 불룩하게 솟아있는 것이 관찰되었다(Figure 1. B). 잎의 횡단면에서는 싹지 또는 행낭 같은 공간이 관찰되었다(Figure 1. C, D). 이러한 구조는 Nakamura *et al.*(1992)의 커피(*Coffea arabica*) 잎에서 domatia는 잎 뒷면의 주맥과 측맥 사이에 위치하며 입구 주변에는 36-143 μ m 길이의 털이 분포하고, 횡단면 상으로는 입구는 좁으나 내부 공간은 넓으며, domatia 내부로는 소독액도 들어가지 않았음을 확인한 보고와 유사한 결과라 판단된다.

O'Dowd and Pemberton(1994)가 녹나무의 도마티아 구조가 싹지형임을 보고하였고, Nishida *et al.*(2006)을 일본에서 이를 밝힌 바 있어, 이번의 결과는 이들의 보고와 일치한다.

아왜나무의 도마티아를 Figure 2에 보였다. 잎 뒷면 맥액에는 길이, 400~500 μ m 정도의 원형 구멍이 있으며, 입구에

털이나 있어 물이나 바람의 영향으로부터 내부를 보호하는 역할을 한다고 판단된다(Figure 2. A). 잎의 앞면에는 녹나무와 같은 경향으로 내부공간을 넓게 하려고 불룩하게 솟아있는 것이 관찰되었다(Figure 2. B). 잎의 횡단면에서는 싹지 또는 행낭 같은 공간이 관찰되었으며(Figure 2. C, D), 도마티아에서 나오는 포식 응애를 촬영할 수 있었다(Figure 2. C). 아왜나무의 싹지형 도마티아는 이 보고가 최초로 의미있는 발견이라 사료된다.

2. 털북숭이형 도마티아(Tuft type domatia)

산딸나무의 맥액에는 갈색의 털이 수북하게 나 있어 응애가 산란하고 부화시키는 안전한 서식처로서의 공간이 확보되며, 이미 포식 응애가 서식하고 있음이 확인되었다(Figure 3. A). 서어나무의 맥액에는 산딸나무보다는 털의 밀도가 낮아 엉성해 보이는 털북숭이 도마티아가 있었으며, 이 공간에 포식 응애가 서식하고 있음이 확인되었다(Figure 3. B). Kim *et al.*(2009b)은 태안군 지역에서 조사된 활엽수의 68.7%가 도마티아 구조를 가졌으며, 그들 중의 67.4%가 털북숭이 도마티아를 지녔음을 보고하여, 이 형태의 도

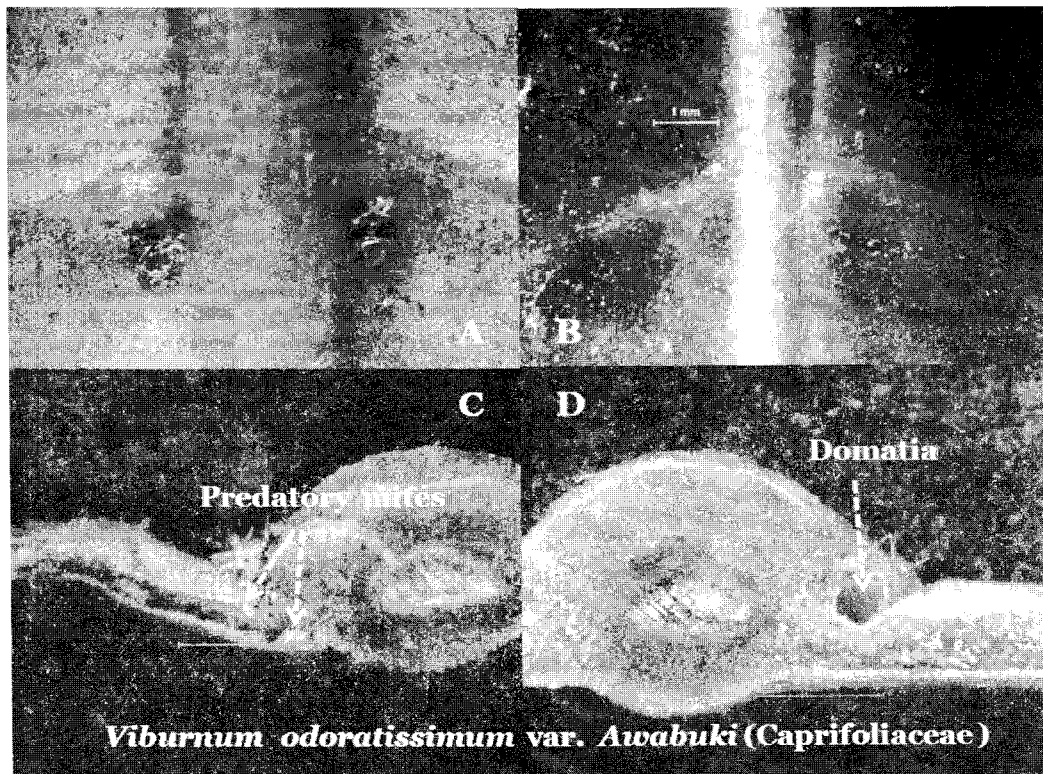


Figure 2. Domatia in the axils of *Viburnum odoratissimum* var. *awabuki* midvein
 (A: View from the lower leaf surface, showing the opening. B: View from the upper leaf surface, showing the expansion. C, D: Cross section, showing pouch type domatia.)

마티아가 가장 보편적임을 암시하는 것이라 사료된다.

3. 호주머니형 도마티아(Pocket type domatia)

산겨릅나무의 잎 뒷면에는 엽맥 조직이 얇게 자라나와 호주머니 모양의 공간이 만들어져 응애의 서식처로 활용되며, 산겨릅나무에서는 특이하게도 이 공간의 입구에는 일부 조직이 길고 넓게 자라 입구를 막고 있는 형상이 관찰되었다(Figure 3. C). 이 결과는 O'Dowd and Pemberton(1994)가 산겨릅나무의 도마티아 구조가 호주머니형임을 보고한 것과 일치한다. 다른 활엽수들에서도 호주머니형 도마티아가 관찰되나 산겨릅나무에서 처럼의 입구를 막는 독특한 구조가 없는 것이 일반적이다. 이 형태의 도마티아는 왕벚나무와 팔배나무에서도 관찰되었다(Kim *et al.*, 2009b).

4. 호주머니+털복숭이형 도마티아(Pocket + tuft type domatia)

개암나무의 잎 뒷면에는 엽맥 조직이 얇게 자라나와 호주

머니 모양의 공간이 만들어지고 털도 많이 자라 응애의 서식처로 활용되는 호주머니형 털복숭이 도마티아와 이 공간을 이용하는 포식 응애가 관찰되었다(Figure 3. D). Kim *et al.*(2009b)의 태안군 지역에서 조사된 활엽수의 68.7%가 도마티아 구조를 가졌으며, 그들 중의 26.1%가 호주머니형 털복숭이 도마티아를 지녔음을 보고하여, 이 형태의 도마티아가 털복숭이 도마티아 다음으로 보편적임을 암시하는 것이라 사료된다.

한국산 몇 활엽수종의 잎에서 관찰된 전형적인 도마티아 형태는 털복숭이형, 호주머니+털복숭이형, 호주머니형, 싹지형 등이었으며, 이는 O'Dowd *et al.*(1991)의 4,000만 년 전 호주 남부지방에서 식물과 응애의 상호작용이 광범위하게 이루어졌음을 밝히며 훨씬 이른 시기부터 생존을 위하여 활엽수들이 꾸준히 도마티아 구조를 준비해왔던 것이라는 설명이 타당하다고 판단된다. 나의 적의 적은 나의 친구(The enemy of my enemy is my friend)이며 친구를 위한 서식처 또는 쉼터로 도마티아를 제공하거나 화외밀선을 가지는 등의 상리공생(mutualism)을 전략으로 많은 활엽수들이 선택하고 있음을 확인한 의미가 있다고 판단된다. 특히 싹지형 도마티아를 확인한 것은 활엽수종이 상리공생을 위

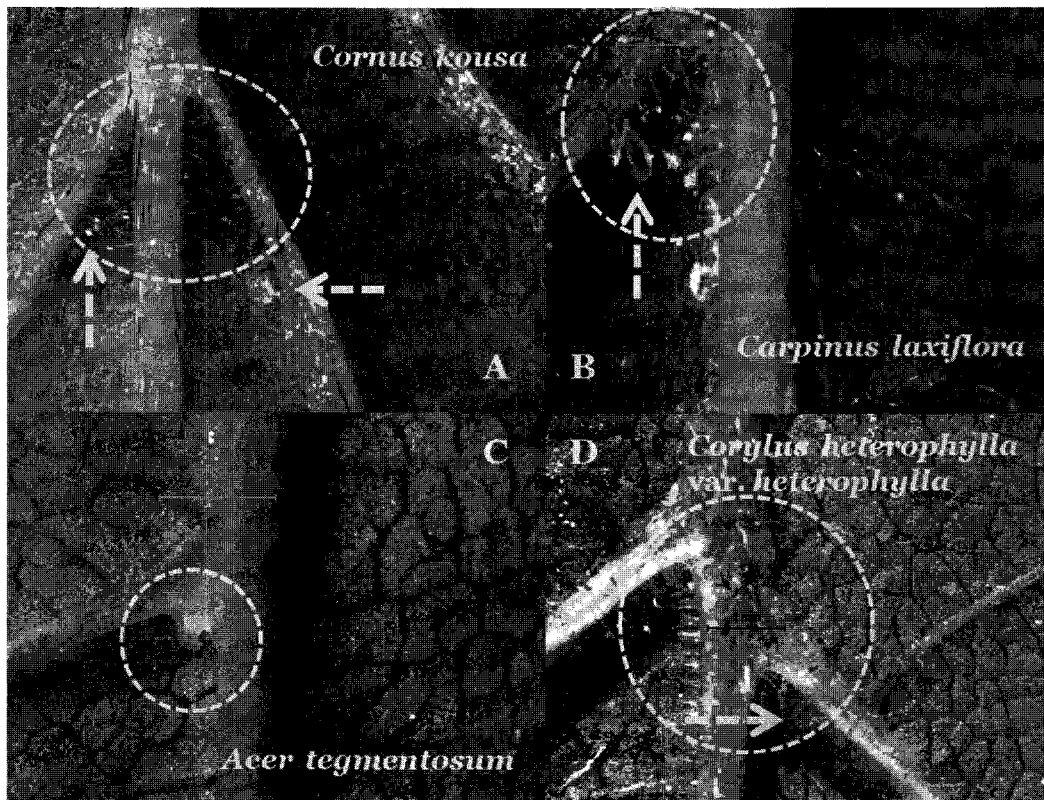


Figure 3. Domatia structures of 4 species(○) and predatory mites(←)

(A: Tuft type domatia in the axils of a *Cornus kousa*, B: Tuft type domatia in the axils of a *Carpinus laxiflora*. C: Pocket type domatia in the axils of a *Acer tegmentosum*. (These figures are cited previous research article(Kim *et al.*, 2009a) D: Pocket+tuft type(P/T) domatia in the axils of a *Corylus heterophylla* var. *heterophylla*.)

하여 도마티아 구조를 발달시켜왔음을 암시하는 것이라 사료된다.

인용문헌

- Ferreira, J.A.M., B. Esuis, A. Janssen and M.W. Sabelis(2008) Domatia reduce larval cannibalism in predatory mites. *Ecological Entomology* 33: 374-379.
- Heil, M.(2008) Indirect defense via tritrophic interactions. *New Phytologist* 178: 41-61.
- Kim, G.T., D.P. Lyu and H.J. Kim(2009a) Exploring on the defense strategies against herbivory of 8 *Acer* species. *Kor. J. Env. Eco.* 23(5): 411-417(in Korean).
- Kim, G.T., D.P. Lyu, T.W. Um and G.C. Choo(2009b) Plant defense strategies against herbivory of several broadleaved tree species in Taean-gun, Chungcheongnam-do. Presented at the 2009 annual meeting of the Korean Society of Environment and Ecology, Jeonju, Korea, October 15-16. pp. 25-28(in Korean).
- Lundstroem, A.N.(1887) *Plflanzenbiologische Studien. II. Die Anpassungen der Pflanzen an Thiere.* Nova Acta Reg. Soc. Sci. Ups. Ser. 3. 13: 1-87.
- Monks, A., D.M. O'Connell, W.G. Lee, J.M. Bannister and K.J.M. Dickinson(2007) Benefits associated with the domatia-mediated tritrophic mutualism in the shrub *Coprosma lucida*. *Oikos* 116: 873-881.
- Nakamura, T., T. Taniguchi and E. Maeda(1992) Leaf anatomy of *Coffea arabica* L. with reference to domatia. *Jpn. J. Crop Sci.* 61(4): 642-650.
- Nishida, S., H. Tsukaya, H. Nagamasu and M. Nozaki(2006) A comparative study on the anatomy and development of different shapes of domatia in *Cinnamomum camphora*(Lauraceae). *Annals of Botany* 97: 601-610.
- O'Dowd, D.J. and R.W. Pemberton(1994) Leaf domatia in Korean plants: floristics, frequency, and biogeography. *Vegetatio* 114: 137-148.
- O'Dowd, D.J. and R.W. Pemberton(1998) Leaf domatia and foliar mite abundance in broadleaf deciduous forest of North Asia.

American Journal of Botany 85(1): 70-78.

O'Dowd, D.J., C.R. Brew, D.C. Christophel and R.A. Norton(1991)

Mite-palnt associations from the Eocene of South Australia.
Science 252: 99-101.

Pemberton, R.W. and C.E. Turner(1989) Occurrence of predatory

and fungivorous mites in leaf domatia. American Journal of
Botany 76: 105-112.

Walter, D.E.(1996) Living on leaves: mites, tomenta, and leaf
domatia. Annu. Rev. Entomol. 41: 101-114.