

## 韓國產 피나무屬 植物의 開花過程과 受粉機作

鄭 英 昊·金 基 重  
(서울대학교 自然科學大學 植物學科)

### Flowering Process and Pollination Mechanism of Genus *Tilia* in Korea

Chung, Yung Ho and Ki-Joong Kim

(Department of Botany, Seoul National University, Seoul)

#### ABSTRACT

An anthecological study of *Tilia* in Korea was undertaken for six native and one introduced species. Flowers are protoandrous with anther and stigma opening during the day-time in section (sect) *Anastraea* and the night-time in sect *Astrophilyra*. Nectar production was coincided with anther and stigma opening. It is revealed that the primary role of floral bracts was attracting pollinators especially in sect *Astrophilyra*.

The peak of stamen and stigma function, and the production of nectar and odor were closely related with pollinator attraction. Forty-three species of insects in 30 families were identified for the pollination studies; bees were the most commonly observed visitors in sect *Anastraea*, while moths were the primary visitors in sect *Astrophilyra*. Pollination study indicate that it is section specific. But within a section, pollination is not species specific thus interspecific hybridization occurs.

#### 緒 論

受粉前 隔離 (prezygotic 또는 premating isolation) 手段으로써 花器的 隔離 (floral isolation) 는 植物의 種 分化와 進化에 중요한 역할을 담당한다 (Grant, 1981; Stebbins, 1974, 1981). 花器的 隔離은 效果的 受粉을 위한 꽃의 構造的 差異와 같은 機械的 隔離 (mechanical isolation) 와 이에 對應하는 受粉媒介者의 選擇의인 行動的 隔離 (ethological isolation) 로 나누어 생각할 수 있다 (Grant, 1981; Tateoka, 1983). 效果的인 機能的 主體으로써 꽃과 動物은 相互作用에 의하여 受粉벡터 (pollination vector) 를 만들어 내고 이에 따라 相互進化하며 (Macior, 1971), 몇몇 分類群에서는 適應放射라는 형태로 표현되었다 (Grant, 1981; Stebbins, 1970). 受粉機作에 관한 具體的 研究는 受粉生態學 (pollination ecology 또는 anthecology) 이라는 獨立의인 分科로 發展하였을 뿐만 아니라 生物學의 種의 概念에 입각한 顯花植物의 生殖的 隔離을 研究하는데 중요한 자료를 제공하여 주고 있다 (Faegri, 1978; Faegri and van der Pijl, 1979; Frankel and Galun, 1977; Real, 1983).

著者들은 피나무屬의 section간에 pin형과 thrum형에 해당하는 花器의 多樣性을 발견하였고, *Lythrum japonicum*, *Hypericum aegypticum*, *Linum grandiflorum*과 같은 種들에서 花器의 多樣性은 花粉 外表壁의 差와 관련이 있으며 이는 不和合性 (incompatibility) 과 연관되어 있다 (de Nettancourt, 1977) 는 데에서 이屬의 受粉機作에 관심을 갖게 되었다.

피나무屬 (Genus *Tilia*) 은 北半球 溫帶地方에 不連續的으로 分布하며 種 多樣性, 分布領域, 染色體 數등으로 보아 韓國, 中國이 起原中心이다 (Chung and Kim, 1983; Jones, 1968). 本 屬의 種들은 變異가 심하고 中間形態가 많아 種을 定義하는데 難점이 많아 (Ashby, 1964), 학자들에 따라 30~80 種으로 생각한다 (Bailey, 1954; Cronquist, 1981; Hora, 1981; Hutchinson, 1967; Jones, 1968, Mechior, 1964). 雜種에 대하여도 논란이 많으며 Engler(1909) 는 14雜種을 기재하였고, Index Kewensis 에는 100여종 이상의 雜種이 기록되었다. 또한 本 屬의 基準種인 *T. europaea*는 *T. cordata* × *T. platyphyllos* 사이에서 생긴 雜種으로 밝혀졌다 (Andrew, 1971; Hora, 1981; Hutchinson, 1967). 그러나 Jones (1968) 은 그 이전까지 20 여 種으로 알려진 미국의 種들에 대하여 집중적인 外部形態의 比較研究 結果, 雜種을 모두 부정하고 種의 變異에 의한 것임을 주장하여 4種으로 묶었으며, Hickok과 Anway (1972) 는 이를 다시 *T. americana* 1種으로 통합하였다. Anderson (1976) 은 美國種을 中心으로 受粉機作을 調査한 結果 受粉은 他家受粉에 依存하며 꽃의 構造 및 花粉媒介者등에 차이가 없어서 雜種의 가능성이 높다고 하였으며, Pigott와 Huntley (1981) 는 *T. cordata*의 花粉管 發芽實驗에서 自家受粉의 가능성을 주장하였다.

우리나라에는 9種의 피나무類가 分布하는 것으로 알려져 있는데 (Chung, 1957; Lee, 1979; Nakai, 1922) 이중 7種이 Nakai (1913, 1917, 1921, 1922) 에 의하여 설정된 韓國 特産種으로 모두 分布領域이 좁은 범위내에 제한된 것이 특징이며, 種間 차이가 명확하지 않아 문제점이 많은 分類群인데도 아직까지 어떠한 種 分類學的 研究도 시도된 바 없는 韓國 고유 種들이다. 이러한 시점에서 本 屬에 대하여 生物學的 種의 概念에 입각한 生殖의 隔離를 검증하여 種의 妥當性을 알아보고, 雜種形成 有無와 그 과정을 評定하며, 나아가 種 分類에 이용하고자 開花型, 受粉機作, 苞의 機能등을 조사하였다.

### 材料 및 方法

材 料. 本 實驗은 Genus *Tilia* (피나무屬) 의 section *Anastraea*에 속하는 *T. amurensis* Ruprecht (피나무), *T. taquetii* Schneider (뽕잎피나무), *T. insularis* Nakai (섬피나무), *T. rufa* Nakai (털피나무)와 section *Astrophilyra*에 속하는 *T. manshurica* Ruprecht et Maximowicz (찰피나무), *T. megaphylla* Nakai (염주나무), *T. miqueliana* Maximowicz (보리자나무) 등의 7種을 대상으로 하였으며, 導入種인 *T. miqueliana*를 제외한 나머지 6種은 韓國 自生種이다.

피나무類가 비교적 흔하게 自生하는 漢拏山, 五臺山, 鬱陵島, 雪岳山, 智異山, 冠岳山, 無等山, 加里山, 俗離山등의 自然集團에서 外部形態를 검토한 후, 基本種으로 생각되는 個體를 10개씩 골라 集團별로 각각의 實驗區를 設定하였다. 특히 智異山과 雪岳山에서는 高度에 따른 變化를 알아보기 위하여 高度별로 각각의 實驗區를 設定하였다. 또한 光陵林業試驗場, 洪陵林業試驗場, 梨花女大 藥草園, 千里浦 樹木園등에 제식하는 피나무類도 實驗對象으로 하였으며, 實驗에 이용한 個體들로부터 採集한 모든 確證標本 (voucher specimen)

Table 1. Collected data and examined contents of Genus *Tilia*

Species	Locality (altitude)	Collection Number*	Voucher Number**	Examined Contents***
<i>T. amurensis</i> RUPRECHT	Jiri Mt. (1100M)	30455, 30460, 30472	57051, 57053, 57067	I, D, N, F
	Gwanak Mt. (200M)	28485, 30124, 29751 29654, 28512, 24544	57014, 57092, 57099 57250, 57245, 57321	I, D, N, F, S
	Seolak Mt. (500M, 700M, 1100M)	31137, 30961, 30995 31209, 31317, 31320	57138, 57144, 57148 57132, 57133, 57134	I, D, N, F
	Odae Mt. (900M)	30211, 30316, 30375	57211, 57214, 57215	I, N, F
	Hongneung		HA*473-1051	I, D, N, F, S
<i>T. taquetii</i> SCHNEIDER	Jiri Mt. (1300M, 1500M, 1550M)	30847, 30859, 30682 30710, 24271, 24295	57056, 57059, 57060 57064, 57294, 57297	I, D, N, F
	Mudeung Mt.	20361, 20479, 20517	57101, 57218, 57220	I, D, N, F
	Seolak Mt. (700M, 1000M, 1100M, 1150M, 1500M, 1600M)	31429, 31446, 31154 31150, 31168, 31175 31168, 31190, 31195 31257, 31263, 31185	57112, 57115, 57116 57120, 57149, 57150 57119, 57141, 57142 57124, 57125, 57127	I, D, N, F
	Halla Mt. (1700M)	22683, 22694, 22773	58723, 58724, 58725	I, D, N, F
	Hongneung		HA****473-528, 473-1045	I, D, N, F, S
<i>T. insularis</i> NAKAI	Ulneung Isl.	29698, 29710, 29114 29130, 29212, 29299	57096, 57098, 57221 57224, 57227, 57228	N, F
	Hongneung		HA****473-1006	D, N, F, S
<i>T. rufa</i> NAKAI	Seolak Mt. (1100M)	28410	57110	N, F
	Hongneung		HA****473-1041	N, F, S
<i>T. manshurica</i> RUPRECHT et MAXIMOWICZ	Gwanak Mt.	30006, 30011, 29833 29842, 29856, 29862	57076, 57078, 57079 57082, 57086, 57087	I, D, N, F, S
	Sogli Mt.	28742, 28743	57068, 57069	I, N, F
	Seolak Mt. (200M, 400M)	30889, 30897, 30925 30930, 30935, 30941	57151, 57153, 57156 57158, 57159, 57160	I, D, N, F, S
	Ewha Univ. Camp.	28602, 28605, 28609 28613, 25121, 32565	57232, 57235, 57239 57243, 57342, 57350	I, D, N, F, S
	Gari Mt.	21718, 21719	57254, 57255	I, N, F
	Cheollipo Arboretum	25300, 25303	57264, 57265	S
	Gwangneung	29910	57111	I, D, N, F, S
<i>T. megaphylla</i> NAKAI	Seolak Mt. (400M)	31009, 31018, 31024 31028	57161, 57163, 57164 57165	I, N, F
	Gwangneung	29942, 29945	57090, 57091	I, D, N, F, S
<i>T. miqueliana</i> MAXIMOWICZ	Hongneung	28560, 28564, 28567	57070, 57072, 57073	I, D, N, F, S

\* All specimens are collected by the author.

\*\* Voucher specimens are deposited in Herbarium SNU.

\*\*\* Examined contents; I: Insect collection, D: Debracted test, N: Nectar production, F: Flowering pattern, S: Seed dispersal range.

\*\*\*\* Serial number of the plants at Hongneung Arboretum of National Forest Research Institute.

은 서울大學校 腊葉標本館 (SNU) 에 보관되어 있다 (Table 1).

**研究方法.** 開花型, 꽃의 機能的 變化, 苞의 機能, 蜜의 分泌, 昆蟲의 誘引 및 受粉機作 등을 알아보기 위하여 다음 事項등을 調査하였다 (Table 1). 꽃받침이 열리는, 開花의 始作은 주로 오후 5시에서 8시 사이에 進行되므로 이때를 起點으로 하여 같은 發生課程의 꽃만 남기고 나머지는 除去하여 同調化시킨 꽃에서 모든 實驗을 進行하였다. 自然集團에서는 각 實驗區당 최소한 3 그룹의 다른 個體로부터 1,000~1,500개의 꽃을 同調化시켰다.

開花型의 調査를 위하여 同調化시킨 꽃을 12時間 間隔으로 100개씩 收穫하여 꽃받침, 꽃잎, 擬雄蕊, 花絲, 花柱 등의 生長과 葯 및 柱頭의 變化를 기록하였다. 蜜은 25ml microcapillary tube로 6時間 또는 12時間간격으로 採取하여 量과 濃度를 測定하였으며 (hand refractometer, Erma-B type) 蜜을 갖는 꽃과 갖지 않는 꽃의 비도 記錄하였다.

苞의 除去는 開花 직전에 獨立된 가지를 대상으로 하였으며, 열매 形成 후 열매를 縱斷하여 간접적으로 受粉의 有無를 判定하였다. 열매의 傳播範圍는 獨立 個體에서 10월과 12월 2회에 걸쳐 調査하였다. 花粉 媒介者의 訪問回數를 6시간 간격으로 調査하였으며, 同調化시킨 100개의 꽃에 30분동안 誘引된 昆蟲의 數로 判定하였다. 同調化시키지 않은 個體에서 6시간 간격으로 捕蟲網을 30회씩 sweeping하여 昆蟲을 採集하였으며, 實體顯微鏡으로 花粉粒이 붙은 部位와 量을, 光學顯微鏡으로 *Tilia*型의 花粉粒 (Chung and Kim, 1984) 과 다른 花粉粒의 비를 調査하였다. 採集된 昆蟲의 種을 分類, 同定하였으며\* (Asahina *et al.*, 1970; Cho, 1969; Ehrlich, 1961; Esaki and Takeuchi, 1955; Inoue *et al.*, 1970; Jaques, 1953; Kim, 1970; Kim *et al.*, 1982; Lee, 1979; Lee *et al.*, 1971; Nakane, 1960; Nakane *et al.*, 1969) 確證標本은 全南大學校 昆蟲標本室에 보관되어 있다.

## 結 果

### 1. 꽃의 構造的, 機能的 變化와 蜜의 分泌

**花序의 生長 및 꽃의 構造.** 花芽는 小枝에 側芽와 함께 하나씩 달리며 잎이 나온지 2주일 후부터 生長하기 始作하여 잎의 生長이 끝나는 4월 말에서 5월 초이면 苞의 生長이 3/2정도까지 進行되고 開花 3주 전이면 苞의 生長이 끝나면서 小花梗과 꽃이 發達하기 始作한다. 小花梗과 꽃의 發達은 漸進的이며 小花梗의 生長은 開花 직전에 끝나고 꽃은 계속 生長한다. 꽃은 하늘 방향으로 生長하지만 開花時에는 무게 때문에 花序의 基部가 180° 뒤틀려 아래를 향하게 된다.

꽃은 繖房狀 또는 總狀歧繖花序로 한 花序에 1~60개가 달린다. 花梗은 하나의 披針形 또는 舌狀의 큰 苞를 가지며 이 苞는 花梗의 중간 또는 3/2이하에서 花梗과 융합되었다. 小花梗은 1~4개의 鱗片狀의 小苞를 가지며 이 小苞는 花梗이 生長하는 동안 떨어진다. 꽃은 放射狀稱으로 5數性이며 5개의 꽃받침은 꽃잎과 互生하고 擬雄蕊는 sect *Astrophilyra*에 만 있는데 꽃받침과 對生하고 꽃잎과는 互生한다 (Fig. 15, 16).

開花 직전 꽃의 지름은 sect *Anastraea*에서 3~4mm이었고, sect *Astrophilyra*에서는 4~5mm이었으나 완전 開花時 전자는 꽃잎 꽃받침이 뒤로 젖혀지므로 지름이 10~15mm이지만 (Fig. 13) 후자는 컵모양으로 120°이상 벌어지지 않으므로 그 지름은 8~12mm로 오히려 작다 (Fig. 15, 16). Sect *Anastraea*의 調査 種은 모두 수술이 꽃잎 꽃받침보다 길어서 밖으

\* 昆蟲의 分類는 全南大學校 生物學科 昆蟲學教室의 羅鐵吳教授의 도움을 받았음.

로 突出되지만 (Fig. 11, 12, 13) sect *Astrophilyra*의 3種은 모두 수술이 꽃잎 꽃받침 길이의 이하로 밖으로 突出되지 않았다 (Fig. 14, 15, 16).

수술의 수는 sect *Anastraea*에서 30~40개, sect *Astrophilyra*에서 50~110개 이었으며 수술은 3~5개씩 그 基部가 약간 유합되었는데 특히 sect *Astrophilyra*에서는 擬雄蕊와 수술의 유합체가 다시 붙어있다. 子房은 密綿毛와 星狀毛로 덮여 있으며 5각이 진 圓形이고 花柱는 基部에 털이 있는 것과 없는 것이 있고 頂 部位는 모두 無毛이다. 全體의으로 sect *Anastraea*는 sect *Astrophilyra*에 비하여 葎, 花梗, 꽃, 꽃의 기관 (수술은 반대) 등이 작았다.

開花 時期 및 期間. 피나무屬의 開花 期間은 6월 初에서 7월 末까지이며 地域的으로는 南部의 低地帶가 6월 初이고 高地帶는 6월 中旬에서 末까지 이지만 智異山의 1,300M 이상, 漢 杼山의 1,700M에서는 7월 初와 中旬에 開花하였다. 中部地方에서는 6월 中旬에서 末에 걸쳐 滿開하며, 鬱陵島의 *T. insularis*는 6월 21일~30일에 開花하였고, 雪岳山 五臺山 등의 山地에서는 7월 中旬에 주로 開花하였다 (서울대 (SNU), 서울大農大 (SA), 成均館大 (SKK), 江原大 (GWN), 慶北大 (KBN), 高麗大 (KU), 全南大 (CNU), 梨花女大 (EWU) 腊葉標本館에 보관된 표본도 조사하였음). 標本에서 調査한 北部地方의 開花期는 7월 初에서 中旬이고, 冠帽峯, 妙香山, 白頭山 등지에서는 7월 末에서 8월 初이었다.

開花時期는 같은 集團이라 할지라도 氣溫이 높은 해와 낮은 해에 따라 最高 1주일의 차가 있었으며 주로 最低氣溫이 14°C 이상이 될 때 開花하였다. 同所의 集團에서 開花時期는 種에 따라 差異가 있었다. Sect *Astrophilyra*의 모든 種들과 sect *Anastraea*의 *T. rufa*, *T. taquetii*는 sect *Anastraea*의 *T. amurensis*, *T. insularis*에 비하여 1주 내지 2주 먼저 開花하였다.

한 地域에서 동일 種 集團의 開花期間은 13~18일 이었으며, 한 組에서 최초의 꽃이 피어 최후의 꽃이 지는 기간은 sect *Anastraea*가 10~11일, sect *Astrophilyra*가 14~16일 이었고, 꽃이 만개하는 기간은 sect *Anastraea*가 제 4일 부터 7일까지 이었고 sect *Astrophilyra*는 제 4일 부터 10일 까지 이었다. 花序 내에서 꽃의 開花는 岐蘂花序의 맨 끝의 꽃이 먼저 進行되고 여기에 가까운 順序로 連續的으로 일어나므로 한 花序내에서도 發生過程이 다른 꽃들이 함께 存在하였다.

開花率과 時間에 따른 꽃의 變化. 開花는 꽃받침과 꽃잎이 동시에 열리면서 時作된다. 成熟한 花芽에서 開花率은 *T. taquetii*와 *T. rufa*, *T. insularis*가 90% 정도로 비교적 낮았으며 *T. manshurica*, *T. megaphylla*, *T. miqueliana* 및 *T. amurensis* 등은 97% 이상이였다. 開花率은 高地帶로 갈수록 약간 減小하는 傾向이 있었다. 꽃의 開花를 時間별로 보면 아침 6시부터 정오까지가 7.4±2.1%, 정오에서 오후 5시까지가 18.6±2.7%, 오후 5시부터 밤 9시까지가 52.9±4.2%, 밤 9시에서 익일 아침 6시까지가 21.0±4.3%로 대부분의 꽃이 해질무렵에서 초저녁 사이에 開花하였다. 種間, section間的 差異는 없었

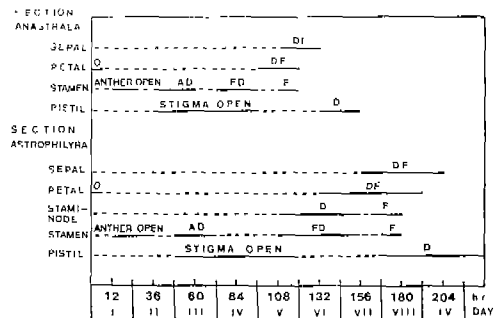


Fig. 1. Anthesis patterns of *Tilia*. DF=Discoloration & Fall, O=Flower Opening, AD=Anther Discoloration, FD=Filament Discoloration, F=Fall, D=Discoloration.

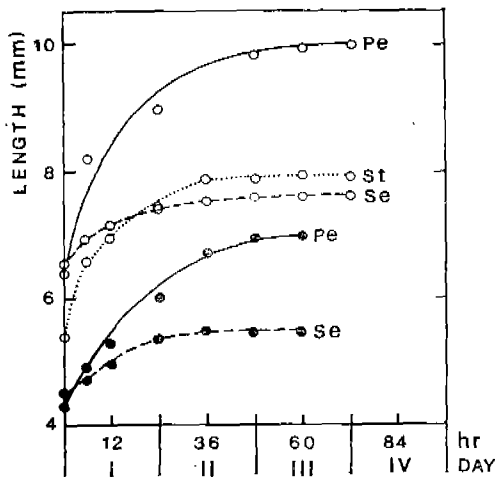


Fig. 2. Growth curves of flower parts. The X-axis is for the time of flowering after synchronization. Pe=Petal(—), Se=Sepal(---), and St=Staminode(···). ●: Averages of measurements from *Tilia amurensis*, *T. taquetii*, *T. insularis* and *T. rufa* in section *Anastraea*. ○: Averages of measurements from *T. manshurica*, *T. megaphylla* and *T. miqueliana* in section *Astrophilyra*.

Sect *Astrophilyra*에만 있는擬雄蕊는開花時 길이가  $5.4 \pm 0.9$ mm였으며 생장이 끝나는 36시간 후에는  $7.4 \pm 1.1$ mm였다. 꽃받침 꽃잎 및 의용예의 폭 생장은 거의 없었으며 길이 생장은種, 地域, 高度에 따라서 약간의變異가 있었으나 section간의 差異에 비하면 극히 적었다.

수술의 生長 및 機能的 變化. 꽃받침이 열릴때 수술은 암술의 花柱 주위에 모여 있으며 花絲는 약간 굵어 있고, 그 길이는 sect *Anastraea*에서  $3.2 \pm 0.2$ mm, sect *Astrophilyra*에서  $3.5 \pm 0.4$ mm였다. 꽃이 열리면 굵었던 花絲가 곧게 되면서 급속히 길이가 身長되어 24~36시간 후이면 멈추는데 이때 sect *Anastraea*는  $6.9 \pm 1.1$ mm, sect *Astrophilyra*는  $4.8 \pm 0.4$ mm로 진자의 生長이 매우 빨랐다 (Fig. 3). 따라서 sect *Anastraea*에서는 수술의 길이가 꽃받침, 꽃잎 보다 길어서 밖으로 突出되며 sect *Astrophilyra*에서는 수술이 꽃받침, 꽃잎 길이의 3/2 이하로 안쪽에 안겨 있게 된다 (Fig. 15, 16).

藥은 주로 黃色이지만 *T. taquetii*의 경우 智異山 1,400m이상, 靑所山 1,500m이상, 五臺山 1,400m이상에서는 붉은 빛을 띠었다. 藥은 체로로 길게 터지며 이때 花絲는 계속 生長하고 있다. sect *Anastraea*는 꽃이 열릴때 부터 극히 일부의 藥이 터지지만 12시간이 經過할때까지는 큰 변화가 없다. 開花 제 1일째 낮인 12시간 후에 藥이 花粉을 갖는 비율은  $88.3 \pm 6.2\%$ 이며 24시간 후에는  $36.0 \pm 8.3\%$ 로 이 시간대에 가장 많은 花粉이 급격히 放出됨을 알 수 있다. Sect *Astrophilyra*에서는 제 1일이 끝나는 24시간까지는 큰 변화가 없으나 제 2일째 밝은 24~36시간 사이에  $83.7 \pm 7.2\%$ 에서  $34.3 \pm 9.6\%$ 로 급격히 花粉을

다. 時間에 따른 꽃받침, 꽃잎, 擬雄蕊, 수술 암술의 變化는 Fig. 1, 11~16등과 같다. 모든 種에서 藥이 먼저 터지고 12~24시간이 경과된 후 柱頭가 열리는 protoandrous type이었다.

꽃받침, 꽃잎, 擬雄蕊의 生長. 開花時 꽃받침의 길이는 sect *Anastraea*에서  $4.5 \pm 0.6$ mm, sect *Astrophilyra*에서  $6.4 \pm 0.5$ mm 이었고 모두 開花時작 후 24시간 동안에 급속히 身長하였으며 24~36시간이 경과하면 生長이 끝났다. 이때 그 길이는 전자에서  $5.4 \pm 0.5$ mm, 후자에서  $7.6 \pm 0.5$ mm이었다 (Fig. 2). 꽃받침이 급속히 生長하는 12~24시간에 sect *Anastraea*에서는 꽃받침이 꽃잎과 함께 서서히 뒤로 젖혀지기 시작한다 (Fig. 12).

꽃잎의 길이는 開花時에는 꽃받침보다 약간 짧았으나 生長速度가 더 빨랐으며 꽃받침의 生長이 끝난 후에도 24시간 더 身長하였다. 身長이 끝난후 꽃잎의 길이는 sect *Anastraea*에서  $7.2 \pm 0.8$ mm였고, sect *Astrophilyra*에서는  $10.3 \pm 0.2$ mm였다 (Fig. 2).

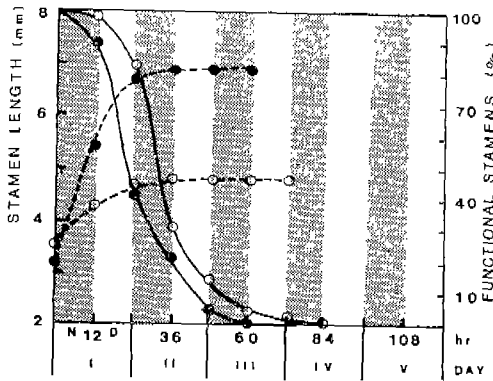


Fig. 3. Growth curve of stamen length(---) and the rate of functional stamens(—). The X-axis is for the time of flowering after synchronization (N: night time, D: day time). ● = Averages of measurements from *Tilia amurensis*, *T. taquetii*, *T. insularis* and *T. rufa* in section *Anaestraea*. ○ = Averages of measurements from *T. megaphylla* and *T. miqueliana* in section *Astrophilyra*.

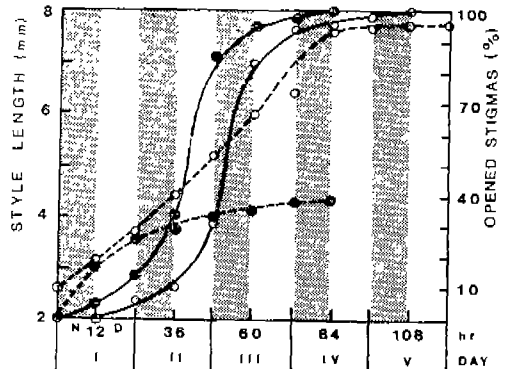


Fig. 4. Growth curve of style length(---) and the rate of opened stigmas(—). ● = section *Anaestraea*, ○ = section *Astrophilyra* (cf. Fig. 3).

방출하였다 (Fig. 3).

따라서 藥이 터지면서 集中的으로 花粉이 放出되는 시간은 sect *Anaestraea*에서는 제 1 일째 낮 (개화후 12~24시간) 이며, sect *Astrophilyra*에서는 제 2 일째 밤 (개화후 24~36시간) 임을 알 수 있다.

암술의 生長 및 機能의 變化 : 開花時 花柱의 길이는 sect *Anaestraea*에서  $2.1 \pm 0.3\text{mm}$ , sect *Astrophilyra*에서  $2.6 \pm 0.3\text{mm}$ 였다. 生長은 72~84시간 후에 끝났으며 이때 길이는 각각  $4.3 \pm 0.7\text{mm}$ ,  $7.9 \pm 1.4\text{mm}$ 였다 (Fig. 4).

花柱가 生長하면서 柱頭에는 連續的인 變化가 일어난다. Sect *Anaestraea*에서는 (Fig. 5-A) 開花時 柱頭가 花柱와 거의 같은 굵기이며 약간의 골이 있다 (a). 花粉이 급격히 放出되는 開花後 12~24시간 동안에는 b와 같은 상태에 있으나 아직 柱頭가 열리지 않았고, 粘液質도 分泌되지 않아서 花粉을 받아들일 준비가 되지 않는 상태이다. 36~48시간 즉 제 2 일째 낮 시간에는 c와 같은 상태에 있으며 粘液質도 豊富하여 效果的으로 花粉을 받아 들일 수 있는

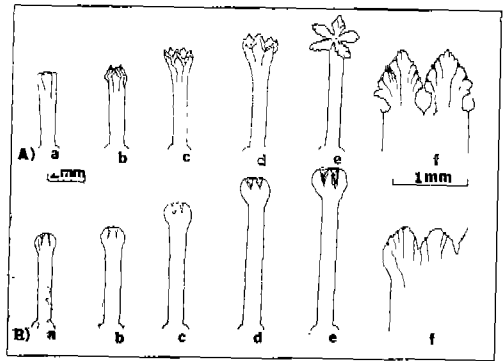


Fig. 5. Stigma and style of *Tilia* of five different developmental stages (A: sect *Anaestraea*, B: sect *Astrophilyra*).

(a) when the flower opens.

(b) stage of anther open (12-24 hr. after flower opening in A, 24-36 hr. after flower opening in B).

(c) early stage of stigma opening with the stigma receptive (36-48 hr. after flower opening in A, 48-60 hr. after flower opening in B).

(d) medium stage of stigma opens (60-84 hr. after flower opening in A, 84-108 hr. after flower opening in B).

(e) when the stigma discoloration.

(f) 3 days after opening, showing arrested pollen-tubes.

단계이며 70~84시간 까지 (d) 그 기능이 유지되는 것으로 보이나 d단계 말기부터 柱頭의 粘性이 急激히 減小하고 柱頭는 더욱 벌어져서 (e) 끝이 150° 정도 뒤로 젖혀진다 (Fig. 13).

Sect *Astrophilyra*에서는 (Fig. 5-B) 開花時 柱頭부분이 花柱보다 짧으며 (a), 花粉이 放出되는 24~36시간에는 b狀態에 머물러 있다. 제 3일째 밤인 48~60시간에는 柱頭に 홈이 넓어지고 粘液質도 다량 分泌되어 花粉을 效果의으로 받아들이는 段階이며 4일째는 d段階에 있으나 점점 柱頭表面에 粘液質이 없어져 花粉을 받아들이기 어려워진다. 제 7일째에는 e段階에 있으며 柱頭끝은 홈만 있을 뿐 뒤로 젖혀지지는 않으나, 압력을 주면 벌어질 수 있다. 두 section 모두 花粉은 주로 柱頭的 周邊部 (f)에 附着되며 内部에는 粘液質이 없어서 效果의으로 附着되지 않는다. 또 柱頭的 홈 周邊部에는 많은 잔주름이 있어서 花粉을 效果의으로 머물게 한다.

Sect *Anastraea*에서 柱頭的 開列은 開花 24시간부터 서서히 進行되나 제 2일째 낮 시간인 36~48시간 사이에  $34.5 \pm 6.1\%$ 에서  $85.5 \pm 7.1\%$ 로 急激히 增加하였다. Sect *Astrophilyra*에서는 開花 36시간 후 부터 서서히 柱頭가 열리기 시작하여 제 3일째 밤시간인 48~60시간 사이에  $30.1 \pm 4.7\%$ 에서  $82.6 \pm 6.7\%$ 로 크게 增加하였다 (Fig. 4). 즉 sect *Anastraea*의 種들은 제 2일째 낮 시간인, sect *Astrophilyra*의 種들은 제 3일째 밤 시간이 效果의인 授粉可能 時間임을 알 수 있었다.

꿀 (蜜)의 分泌. 피나무類의 花內蜜腺은 5개의 꽃받침 基部에 發達되어 있는데 꿀의 分泌에는 木部和 節部가 동시에 參與한다 (Fahn, 1979). 꽃받침의 기부가 囊狀構造이므로 꿀이 고이게 되며, 꿀이 고이는 주변부는 긴 密綿毛가 뻗뻗하게 나있어서 꿀의 蒸發을 減小시키는 役割을 하는 것으로 보인다. 開花期間이 비교적 짧음에도 불구하고 피나무林 1ha당 약 0.1~5 t의 꿀을 生産하므로 (Shishkin, 1974) 貴重한 蜜原植物이다.

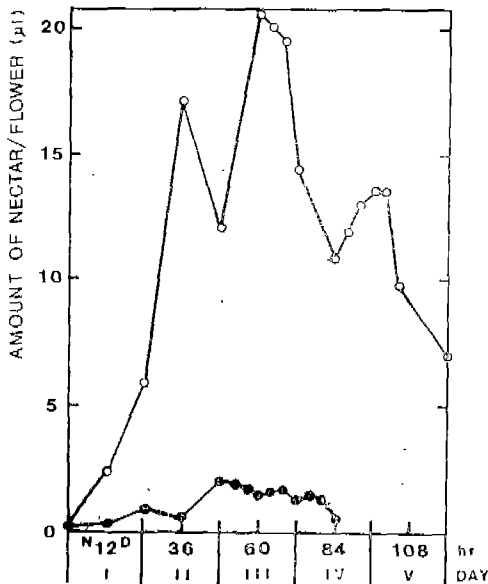


Fig. 6. Nectar amount in *Tilia* flower, in section *Anastraea*(—●—) and section *Astrophilyra*(-○-). Cf. Fig. 3.

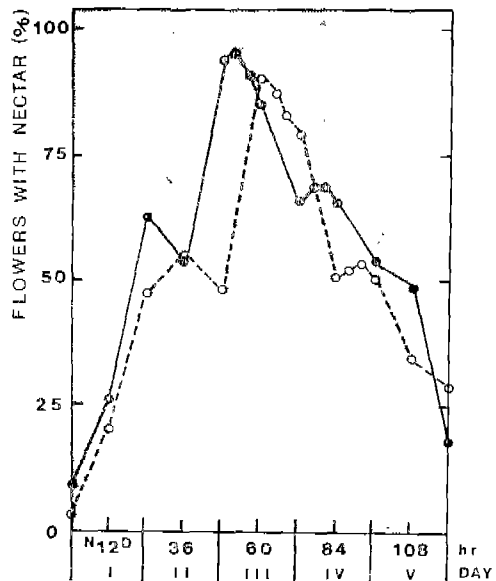


Fig. 7. The rate of flowers with nectar in section *Anastraea*(—●—) and section *Astrophilyra*(-○-). Cf. Fig. 3.



Sect *Anastraea*에서 한 꽃 당 꿀의 分泌量은 花粉이 放出되는 12~24시간의 낮시간에  $0.4 \pm 0.0 \mu\text{l}$ 에서  $0.8 \pm 0.1 \mu\text{l}$ 로 약간 增加하였으나 24~36시간의 밤에는 약간 減小하였다가 柱頭가 열리는 제 2일째의 낮에  $0.5 \pm 0.0 \mu\text{l}$ 에서 最大量인  $1.9 \pm 0.1 \mu\text{l}$ 로 增加하였으며 60~84시간에도 약간의 증가를 볼 수 있었다 (Fig. 6).

Sect *Astrophilyra*에서는 花粉이 放出되는 제 2일째 밤 시간에  $5.8 \pm 0.1 \mu\text{l}$ 에서  $17.0 \pm 0.8 \mu\text{l}$ 로 急激히 增加 하였으며, 낮 시간에는 감소하였다가 柱頭가 열려 花粉을 받아들일 수 있는 제 3일째 밤 시간에  $12.1 \pm 1.0 \mu\text{l}$ 에서  $20.6 \pm 1.0 \mu\text{l}$ 로 增加하여 最大量을 기록하였다. 이때 부터 제 4일째 밤까지는 急激히 減小하였고 제 4일~제 5일 사이에 다시 한번 꿀의 分泌가 있는 것으로 나타났다 (Fig. 6).

두 section 모두 花粉의 放出時, 柱頭의 開列時 꿀의 分泌가 있었다. 꿀을 갖는 꽃과 갖지 않는 꽃의 비율도 꿀의 量 변화 곡선과 같은 樣相으로 變化하였으며 花粉이 放出될 때, 柱頭가 열릴 때 最大의 비를 나타냈고, 같이 세번째 分泌될 때 꿀을 갖는 꽃의 비도 약간 增加하였다 (Fig. 7).

꿀의 糖 含量은 sect *Anastraea*에서는 최초 分泌에서  $14.2 \pm 3.1\%$ , 두번째 分泌에서  $28.3 \pm 6.1\%$ , 세번째 分泌에서  $35.2 \pm 4.7\%$ 로 점차 增加 하였으며 sect *Astrophilyra*에서는 각각  $8.8 \pm 1.8\%$ ,  $17.6 \pm 3.7\%$ ,  $27.5 \pm 4.2\%$ 로 增加하였다. 꿀의 量은 Sect *Astrophilyra*가 sect *Anastraea*에 비하여 10배정도 많았지만 糖의 含量은 낮았다. 開花期間동안, 특히 밤시간에는 더욱 달콤한 꿀의 향기를 맡을 수 있었다.

## 2. 昆蟲의 誘引과 受粉

卷의 機能. 卷의 색깔은 연한 黃綠色에서 綠白色을 띄며 열매가 성숙하면서 黃褐色으로 變한다. 卷의 길이는 sect *Anastraea*에서  $4.2 \pm 1.0\text{cm}$ , sect *Astrophilyra*에서는  $9.9 \pm 2.2\text{cm}$ 이었다. 開花時 卷은 花序를 위에서 덮어 주어 꽃에 빛물이 닿지 않도록 防禦하는 役割을 어느정도 遂行한다 (Jones, 1968).

현재까지 卷의 機能은 열매를 傳播시키는데 關與한다고 생각되었으나 (Jones, 1968; van der Pijl, 1969) 모두 直視的인 觀察에 根據를 둔 것이었다. 10월에 獨立的으로 生育하는 個體로부터 떨어진 열매의 分布를 調査한 결과 平均 樹冠의 길이인 4m 지점에 대부분의 열매가 떨어졌고 10m 이상 傳播된 열매는 거의 없었다. 12월에는 6~15m까지 傳播된 열매가 상당량 발견되었는데 (Fig. 8) 이는 일단 땅에 떨어진 열매가 바람에 의하여 다시 移動되었음을 意味한다. 열매가 나무가지에서 떨어질 때 浮力의 效果는 없으며 바람개비와 같이 열매를 중심으로 回轉하면서 垂直으로 下降하고, 卷은 나무가지에 남아있고 열매만 떨어지는 경우가 많은데 sect *Anastraea*에서는 그 비가  $16.4 \pm 2.8\%$ 이었고 卷과 열매가 큰 sect *Astrophilyra*에서는 이보다 높은  $34.7 \pm 1.2\%$ 이었다.

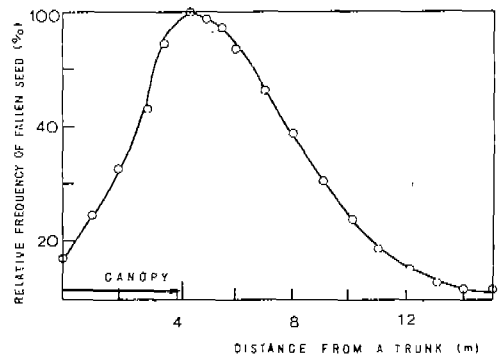


Fig. 8. Dispersal range in relative frequencies of seed measured from isolated individuals. All points are averages of measurements from *Tilia amurensis*, *T. taquetii*, *T. insularis*, *T. rufa*, *T. manshurica*, *T. megaphylla* and *T. miqueliana*.

Table 2. Rate of fertile fruit formation in the debracted test

Species Name	No. Tested Inflorescences	No. Flowers	No. Fruit formation	Rate of Fruit Formation(%)
Section Anastroaea				
Control				
<i>Tilia amurensis</i>	81	210	38	18.10
Tested				
<i>Tilia amurensis</i>	188	645	102	15.81
<i>Tilia taquetii</i>	151	198	31	15.66
<i>Tilia insularis</i>	40	94	13	18.00
Total	379	937	146	15.58
Section Astrophilyra				
Control				
<i>Tilia manshurica</i>	72	185	24	12.97
Tested				
<i>Tilia manshurica</i>	263	683	51	7.47
<i>Tilia megaphylla</i>	51	102	9	8.82
<i>Tilia miqueliana</i>	87	211	15	7.11
Total	401	996	75	7.53

Anderson (1976) 은苞가 제한된 열매의擴散 외에昆蟲을誘引하는것발의役割을 할 것이라고假定하였다. 이를確證하기 위하여獨立된 가지를 대상으로開花直前に苞를除去하여對照實驗과 열매形成比率를 조사한 결과,苞가 작은 sect Anastroaea에서는苞를 제거하지 않는 대조실험에서 18.10%의結實率을 보였으며苞를 제거한 경우는 15.58%로 약간減少하였을 뿐 큰變化가 없었다 (Table 2).苞가 큰 sect Astrophilyra에서는 대조실험에서 12.97%,苞除去實驗에서 7.53%로 약半이減少하였다. 따라서 밤에花粉을放出하고柱頭가 열리는 sect Astrophilyra에서는苞가受粉過程에 중요한 역할을 함을間接적으로確證할 수 있었다.

昆蟲의誘引 및受粉. Anderson (1976) 은 protoandrous特徵과 비닐봉지로隔離시킨 꽃에서 열매형성이 0~8%인 것으로 보아自家受粉은 일어나기 힘들다고 결론을 내렸으나, Pigott 와 Huntley (1981) 는 *T. cordata*에서自家受粉이 열매형성에 10%정도 관여한다고主張하였다. 風媒의可能性에 있어서는 ① *Tilia* type의花粉이胚珠당  $44 \times 10^3$ 정도로多量生成되고 (Faegri and van der Pijl, 1979) ② 비속에서도 상당량檢出되며 (Hyde, 1950) ③花粉의落下速度는 3.24 cm/sec로 風媒花粉의 일반적인落下速度인 2~6 cm/sec (Gregory, 1973) 내에包含되지만,森林의樹冠이 완전히形成된 5월~7월에開花하므로花粉의移動이 크게制限된다는 점과花粉粒은 통과하지만昆蟲은 통과할 수 없는 screen bag의 실험에서 열매형성이 1%미만 (Anderson, 1976)인 것으로 보아 風媒의可能性은 거의 없다고 볼 수 있다. Pigott와 Huntley (1980)는 *T. cordata*의單獨個體로부터花粉粒의擴散分布를 조사한 결과 대부분의花粉粒이 50 m 이내에 떨어지지만 숲에서는樹冠의妨害效果 때문에 風媒의 가능성은 거의 없다고主張하였다. 따라서 본 실험에서는 주된受粉過程인昆蟲에 의한受粉만을 조사하였다.

飛行性昆蟲의 방문은 오전 5시 30분을 전후로 시작되어 저녁 7시 30분을 전후로夜行性昆蟲으로交替되었다.

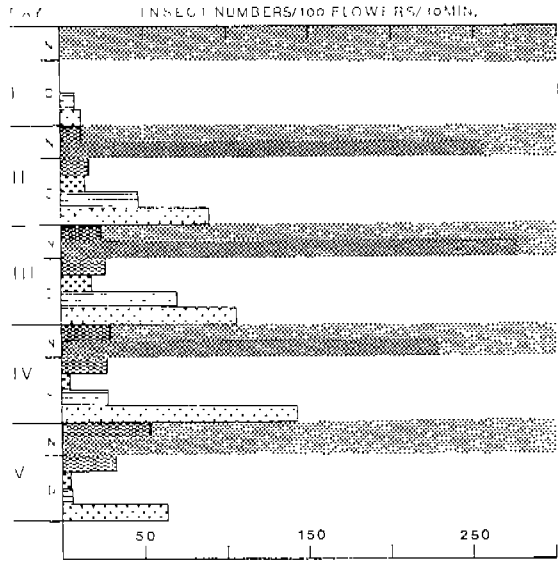
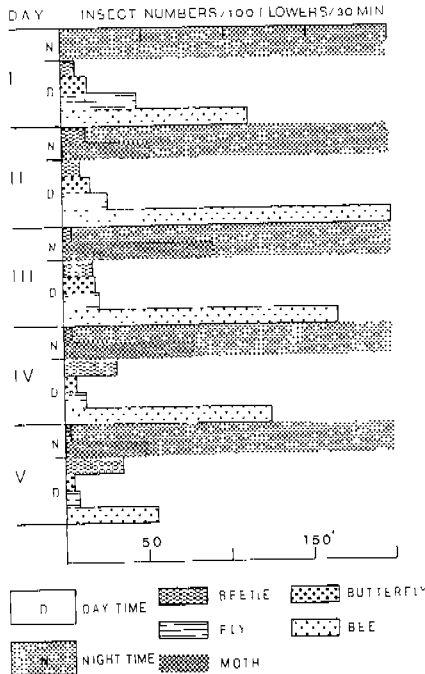


Fig. 9. Visiting numbers of insects investigated from isolated branch in section *Anastraea* (cf. Fig. 3).

Fig. 10. Visiting numbers of insects investigated from isolated branch in section *Astrophilyra* (cf. Fig. 3 and 9).

自然集團에서 100개의 同調化시킨 꽃에 30분 동안 날아오는 昆蟲의 誘引回數를 조사하였다. Sect *Anastraea*에서는 葯이 열려서 花粉이 放出되고 첫번째 꿀의 分泌가 일어나는 개화 12~24시간의 낮 시간에 164회의 昆蟲誘引이 있었으며 이 중 벌류가 68.9%이었다. 柱頭가 열리고 두번째 꿀의 分泌가 일어나는 개화 36~48시간 (제 2 일째 낮 시간)에는 昆蟲誘引이 256회로 最大이었으며 이 중 78.1%가 벌류이었고, 제 3~4일의 낮 시간에는 昆蟲의 誘引은 급격히 떨어졌으나 구성비는 벌류가 65~75%이었다. 파리류는 葯이 열릴때와 柱頭가 열릴 때 각각 16%, 11%의 誘引頻度를 나타내는 것으로 보아 受粉過程에 어느정도 寄與하는 것으로 보인다 (Fig. 9). 甲蟲類는 시간에 따라 증가하였는데 수분보다는 꽃의 기관 특히 子房을 갉아 먹기 위하여 오는 種類가 많았다. 夜間에 誘引되는 種類는 소수의 甲蟲類를 제외하고는 모두 나방류로 50~91회의 誘引頻度를 나타내었다.

Sect *Astrophilyra*에서는 花粉이 放出되면서 첫번째 꿀의 分泌가 일어나는 개화 24~36시간 (제 2 일째 밤 시간)에 나방류와 갑충류의 誘引回數가 267회 이었으며 이 중 나방류가 95%이었다. 柱頭가 열리면서 두번째 꿀의 分泌가 일어나는 개화 48~60시간 (제 3 일째 밤 시간)에 最大의 昆蟲誘引이 있었고 이 중 나방류가 92%이었다. 제 4,5일의 밤 시간에도 각각 228, 176회의 夜行性 昆蟲의 유인이 있었다. 夜行性 昆蟲類 중에서는 벌류가 가장 많았지만 파리류의 誘引도 벌류와 비슷한 정도였다. 甲蟲類는 sect *Anastraea*에서의 비슷한 양상으로 增加하였다 (Fig. 10).

定量的으로 採集한 昆蟲을 同定한 결과 8日 30科 37屬 53種 2,348個體가 分類되었다 (Table 3). 採集된 昆蟲은 나방류, 일부의 갑충류와 파리류를 제외하면 모두 夜行性 이었

Table 3. Identification list, behavior and pollination efficiency of insects on Genus *Tilia*

Insect species name* Order/Family/Species	** Behavior	No. of Insect Individuals***						Pollen grain location on insects	Pollen**** quantity
		Ta	Tt	Tn	Tg	Tq	Total		
Plecoptera									
Perlidae									
<i>Paragnetina tinctipennis</i>	D	2	3				5	—	—
Dermaptera—Earwigs									
Forficulidae									
<i>Forficula auricularia</i>	N	1	1	4	7	3	16	Hind legs	+
Hemiptera—Bugs									
Pentatomidae									
<i>Plantia crossata</i>	D	4	3	2	1		10	—	—
<i>Halyomorpha brevis</i>	D	1	5		4	1	11	—	—
Lygaeidae									
<i>Lygaeus</i> spp. (2 spp.)	D	4	2	3	6	2	17	Hind legs	+
Miridae									
<i>Neolygus</i> spp. (3 spp.)	D	3	6	4	2	1	16	Hind legs	+
Neuroptera									
Chrysopidae									
<i>Chrysopa septempunctata</i>	D	1	2	2			5	—	—
Coleoptera—Beetles									
Carabidae									
<i>Apotomopterus japonicus</i>	D	4					4	—	—
Scarabaeidae									
<i>Ectinohoplia rutipes</i>	D	1	1	11	6	1	20	Body	+
<i>Ectinohoplia obducta</i>	D				1		1	Hind legs	+
<i>Popillia japonica</i>	D	4	7				11	Legs & abdomen	+
<i>Protaetia exasperata</i>	D	1	2				3	—	—
Buprestidae									
<i>Agrilus</i> sp.	D	6	3				9	—	—
Coccinellidae									
<i>Adalia bipunctata</i>	D	7	6	5	1		19	Mouth parts	+
Cephaloidea									
<i>Cephaloon</i> spp. (2 spp.)	D, N			52	11	7	70	Front legs & body	+
Chrysomelidae									
<i>Oveina aurichalcea</i>	D	1					1	—	—
Lepidoptera—Butterflies, Moths									
Nymphalidae									
<i>Vanessa</i> sp.	D	7	8	12	2	3	32	Mouth parts	†
Geometridae									
<i>Arichanna melanaria</i>	N			281	144	78	503	Mouth parts	‡
Sphingidae									
<i>Hyles lineata</i>	N		1	29	14	7	51	Legs	‡
<i>Acherontia crathis</i>	N	4	7				11	Mouth parts	+
Arctiidae									
<i>Paraona staudingeri</i>	N	3	6				9	—	—
Noctidae									
<i>Agorotis</i> spp. (2 spp.)	N	152	130		6	4	292	Mouth parts & legs	‡
<i>Orthodes cynica</i>	N	8	21				29	Mouth parts & legs	+

(continued)

Table 3. Continued

Insect species name* Order/Family/Species	Behavior**	No. of Insect Individuals***						Pollen grain location on insects	Pollen**** quantity
		Ta	Tt	Tn	Tg	Tq	Total		
Diptera—Flies									
Tipulidae (4 spp.)	D, N	6	9	8	12	2	37	—	—
Chironomidae									
<i>Chironomus</i> spp. (3 spp.)	D, N			36	4	20	60	—	—
Tabanidae									
<i>Chrysops geminatus</i>	D	4	3	7	2	1	17	Mouth parts & hind legs	+
Syrphidae									
<i>Eristalis cerealis</i>	D	10	8	32	11	26	87	Hind legs & body	++
<i>Eristalis</i> sp.	D	2	1	19	24	2	48	Hind legs	+
Agromizidae									
<i>Phytobia nigripennis</i>	D	32	26	4	2	1	65	Hind legs	+
Tachinidae									
<i>Macrozenillia baranoff</i>	D			27	12	7	46	Hind legs	+
<i>Chrysosoma aurata</i>	D	4	1	3	7	1	16	—	—
Hymenoptera—Ants, Wasps, Bees									
Formicidae									
<i>Camponotus japonicus</i>	D	1	7				8	—	—
Vespidae									
<i>Symmorphus apiciorum</i>	D	11	10				21	Hind legs	++
<i>Polistea jadvigae</i>	D	10	21				31	Hind legs	++
Andrenidae									
<i>Andrena seneciorum</i>	D	2	3	58	21	12	96	Hind legs	##
<i>Andrena</i> sp.	D	4	2	8	4	2	20	Hind legs	++
Sphecidae									
<i>Nysson trimaculatus japonicus</i>	D	9	7				16	Hind legs	++
Colletidae									
<i>Hylaeus montida</i>	D	5	4				9	Hind legs	++
Halictidae									
<i>Halictus</i> sp.	D	10	5				15	Hind legs	++
Apidae									
<i>Bombus sapporensis</i>	D	11	23				34	Hind legs	++
<i>Bombus ardens</i>	D	187	111	32	13	12	355	Hind legs	##
<i>Bombus ignitus</i>	D	20	12	84	60	10	186	Hind legs	##
<i>Bombus</i> sp.	D	17	19				36	Hind legs	##

\* Borror system (1981) of insect identification was adapted.

\*\* Behavior; D: Diurnal visitors, N: Nocturnal visitors.

\*\*\* Ta: *Tilia amurensis*, Tt: *T. taquetii*, Tn: *T. manshurica*, Tg: *T. megaphylla*, Tq: *T. miqueliana*.

\*\*\*\* Carried pollen quantity; —: no pollen, +: little pollen, ++: some pollen, ##: abundant pollen.

으며 운반되는 花粉의 量과 방문빈도 및 채집된 개체 수로 볼때 우점매개자는 벌류, 나방류, 파리류의 순이었다.

나방류는 주로 입 주위 (mouth parts) 에 花粉을 附着하여 운반하며 각 section간에 誘引되는 種 構成이 달랐다. Sect Anastroa에서는 Noctidae의 *Agorotis*와 *Orthodes*, sect Astro-

philyra에서는 Geometridae의 *Arichanna*와 Sphingidae의 *Hyles*가 個體數, 운반하는 花粉量으로 보아 效果的인 花粉媒介者이었다. 나비類는 *Vanessa* (Fig. 21) 1種이 誘引되었지만 그 回數는 극히 낮았다. 파리 류에서는 section간에 뚜렷이 다른 媒介者는 없었고 Tabanidae의 *Chrysops* (Fig. 22), Syphidae의 *Eristalis*, Agromizidae의 *Phytobia*, Tachinidae의 *Macrozenillia*, *Chrysosoma* 등이 고르게 採集되었고, 花粉의 운반량은 적었다.

벌류는 주로 뒷다리에 花粉을 多量附着하여 운반하며 *Bombus*와 *Andrena*가 많았다 (Fig. 18, 19, 20). 특히 *Bombus*는 4種이 採集되었는데 이중 個體의 크기가 큰 *Bombus ignitus* (Fig. 20)는 꽃이 큰 sect *Astrophilyra*에 주로 誘引되었고 Andrenidae의 *Andrena* 2種도 sect *Astrophilyra*에 주로 誘引되었다. Sect *Anastraea*에는 Vespidae의 *Symmorphus apiciormatus*, *Polistea jadvigae*와 Apidae의 *Bombus sapporensis*, *B. ardens*가 많이 誘引되었고 다른 8種의 벌들도 낮은 頻度로 誘引되었으며 section간에 유인되는 벌류의 構成 種이 뚜렷하게 다름을 알 수 있었다 (Table 3). 甲蟲類는 주로 *Ectinohoplia* (Fig. 17), *Cephaloon*이 있으나 개체 수가 적고 운반하는 花粉의 量도 적어 效果的인 花粉媒介者는 아니었다.

昆蟲으로 부터 수거한 花粉粒을 조사한 결과 *Tilia* type의 비는 벌류에서  $82 \pm 4\%$ , 나방류에서  $91 \pm 7\%$ , 파리류에서  $74 \pm 8\%$ , 갑충류에서  $85 \pm 6\%$ 이었다. 이들 수치로 볼때 이들 昆蟲들은 주로 *Tilia*만을 방문하는 것으로 생각되었다.

## 考 察

自然集團에서 피나무類는 最低氣溫이  $14^{\circ}\text{C}$  이상이 될때 開花하였는데 Pigott와 Huntley (1981)가 *T. cordata*를 재료로 유럽에서 調査한 결과와 대체로 일치하며 溫度의 要因이 水平分布의 北限界와 垂直分布의 高度를 결정짓는 것으로 思料된다.

種 間에 開花時期에 差異가 있었으며, 同所的集團에서는 sect *Astrophilyra*의 種들과 sect *Anastraea*의 *T. rufa*, *T. taquetii*가 sect *Anastraea*의 *T. amurensis*, *T. insularis*에 비하여 7~30일 일찍 開花하였다. 먼저 開花하는 group中에 *T. rufa*와 *T. taquetii*는 주로 900m 이상에, sect *Astrophilyra*의 種들은 700m 이하에 分布하므로 section간의 雜種形成 可能性은 稀薄하다. 그러나 sect *Astrophilyra*의 *T. manshurica*와 *T. megaphylla*, sect *Anastraea*의 *T. rufa*와 *T. taquetii* 사이에서는 雜種形成이 可能하며 *T. megaphylla*와 *T. rufa*의 分布領域이 극히 制限的이긴 하지만 이들이 同所的으로 存在할 때 (例, 雪岳山 수렴동 계곡, 백담사 주위)는 雜種形成 可能性이 높아진다. Sect *Anastraea*의 *T. taquetii*, *T. rufa*, *T. amurensis*는 뚜렷한 外部形態의 差異가 없는 group인데 (Chung and Kim, 1983), *T. taquetii*와 *T. rufa*는 *T. amurensis*보다 높은 高度에 分布하였고 開花時期도 일주일 정도 빨라 *T. amurensis*와 開花時期의 差異에 의하여 部分的으로 隔離되어 있었다. *T. insularis*는 鬱陵島에만 分布하고 開花時期도 가장 늦어 生殖的으로 잘 隔離되어 있음을 알 수 있었다. 同所的으로 여러 種을 재식하는 洪陵林業試驗場에서도 自然集團과 같은 傾向이었는데 이는 環境要因 이외에 種들 自體의 調節이 開花時期를 결정하는데 關係함을 시사하여 주고 있다.

Sect *Anastraea*에서는 開花 제 1일째의 낮 시간에 葯이 開裂되어 花粉을 放出하며 이때 첫번째 꿀의 分泌가 일어나고, 제 2일째 낮 시간에 柱頭가 열리면서 粘性을 갖으며 두번째 꿀의 分泌가 일어났다. Sect *Astrophilyra*에서는 開花 제 2일째 밤 시간과 제 3일째 밤 시간에 각각 花粉의 放出, 柱頭의 機能化가 있었고 이와 동시에 꿀의 分泌가 있었는데 이는

양 section에 속하는 종들이 밤과 낮이라는 다른 방향으로 꽃의 機能化가 誘導되었음을 의미한다. 제 4~6일에 세번째 꿀의 分泌가 檢證되었는데 이는 受粉이 안된 꽃에서 한번 더 分泌되는 것으로 생각되나 柱頭에 粘性이 없는 점으로 보아 柱頭의 機能과는 관계가 없는 것으로 생각된다. 糖 濃度는 꿀의 量과는 반대로 sect *Anaestraea*가 sect *Astrophilyra*에 비하여 높았으며 시간이 지날수록 糖 濃度는 增加하였다. 糖 濃度는 일반적으로 대기중의 濕度에 반비례 하는데 (Plowright, 1981) 측정 기간중 大氣中의 濕度는 큰 변화가 없는 점으로 보아 주로 蒸發에 의한 濃縮效果로 생각된다.

Anderson (1976) 은 種間에 꽃의 形能에 큰 差異가 없어서 花粉媒介者가 특정 種을 區別하지 못하므로 여러 種을 방문하는 주된 要因이라고 설명하였으나 定量的인 data는 提示하지 않았다. Sect *Anaestraea*에서는 擬雄蕊가 없으며 수술이 꽃잎, 꽃받침보다 길어서 밖으로 突出되고, 꽃잎과 꽃받침이 뒤로 젖혀져 꽃받침 내부의 꿀을 쉽게 露出시키는데 비하여, sect *Anaestraea*에서는 擬雄蕊가 꽃받침과 對生하고 수술이 꽃잎, 꽃받침 보다 짧아서 꽃잎에 안기며, 꽃이 젖혀지지 않아서 物理的인 힘을 가해야만 꿀을 수거할 수 있는 점과 같은 構造的 差異는 분명히 다른 花粉媒介者를 要求하게 되었음을 示唆하고 있다. 두 sections에서 受粉 補助器官으로써 꽃잎, 꽃받침, 擬雄蕊의 構造的 差異는 花粉의 放出, 柱頭의 機能, 꿀의 分泌와 같은 機能的 差異와 調和를 이루었다.

튤은 주로 열매의 擴散傳播 (Jones, 1968; van der Pijl, 1969) 와 昆蟲의 誘引 (Anderson, 1976) 에 관여하는 것으로 생각되어 왔다. 樹冠周圍에 대부분의 열매가 떨어지며, 열매와 튤가 큰 sect *Astrophilyra*에서는 튤없이 떨어지는 열매의 비가 높고, 浮力의 效果가 없는 점은 튤가 열매의 擴散에 미치는 영향이 적음을 의미한다. 開花前에 튤을 除去한 실험에서 튤가 작고 낮에 꽃의 機能化가 일어나 花粉媒介者를 誘引하는 sect *Anaestraea*에서는 튤을 除去하지 않는 對照區와 비교할때 結實率에 差異가 없었으나, 튤이 크고 밤에 꽃의 機能化가 일어나 花粉媒介者를 誘引하는 sect *Astrophilyra*에서는 對照區에 비하여 약 반 정도로 結實率이 떨어졌는데, 이는 튤이 夜行性 昆蟲의 誘引에 관여함을 間接적으로 나타내주는 結果이다. 또 캄캄한 밤에 꽃의 향기가 강하고, 육안으로 5~10m 밖에서도 튤이 눈에 띄일 정도이며 受精後 곧 색깔이 퇴색되는 점도 夜行性 昆蟲의 誘引과 연관되어 있음을 의미한다.

花粉의 放出, 柱頭의 機能化, 꿀의 分泌 時期와 花粉媒介者의 높은 訪問頻도가 일치하는 것은 꿀을 媒介로 하여 꽃과 花粉媒介者가 서로 機能的으로 연결되어 있음을 뜻한다. 昆蟲의 꽃 訪問頻度, 定量的으로 採集한 個體數, 運搬하는 花粉量 등으로 보았을때 sect *Anaestraea*에서의 주된 花粉媒介者는 벌류, 나방류, 파리류의 순이지만 sect *Astrophilyra*에서는 나방류, 벌류, 파리류의 순 이었다. Brantjes (1978), Faegri와 van der Pijl (1979) 등은 夜行性 나방류에 의하여 受粉이 되는 꽃의 適應의 特徵으로 9가지 (밤에 開花 및 花粉放出, 밤에 柱頭開裂, 밤에 강한 향기, 꽃이 주로 흰색, 꽃이 매달려 있음, 꿀이 노출되지 않고 감추어져 있음, 꿀의 양이 많음, nectar guide가 없음) 를 들고 있는데, sect *Astrophilyra*는 이러한 特徵들을 모두 가지고 있으며 sect *Anaestraea*는 4가지 特徵을 가지고 있다. 또한 花粉이 昆蟲에 붙는 위치는 나방류는 주로 입 주위 (mouth parts) 이고 벌류는 뒷다리 이었는데, 齧, 柱頭, 密腺의 位置, 昆蟲의 크기 및 꽃에 앉을 때의 狀態를 고려하여 볼 때 sect *Astrophilyra*는 夜行性 나방류에, sect *Anaestraea*는 日行性 벌류에 잘 適應된 狀態로 보인다.

異所的 또는 同所的 集團의 피나무類에 誘引되는 나방류와 벌류는 section에 따라 種 構成이 달랐는데, 이는 나방 또는 벌류의 種들이 두 section을 區別하여 選擇의으로 訪問함을 의미한다. 중요한 花粉媒介者는 Andrenidae의 *Andrena*, Apidae의 *Bombus*, Geometridae의 *Arichanna*, Noctidae의 *Agorotis*, *Orthodes*, Syrphidae의 *Eristalis* 등 이었는데 Anderson (1976) 이 미국산 *Tilia*에서 보고한 *Andrena*, *Apis*, *Bombus*, *Dialictus*, *Eristalis*, Pigott와 Huntley (1981) 가 유럽산 *T. cordata*에서 보고한 *Bombus*, *Apis*, Syrphidae등과 일치한다. 즉 *Tilia*의 3대륙 分布地域에서 (Jones, 1968; Hora, 1981) 모두 동일한 昆蟲類가 피나무類의 受粉過程에 參與한다.

이와같이 sections 간에는 受粉 vector가 달라서 雜種形成이 극히 稀薄하지만 section 내의 種 간에는 꽃의 構造 및 機能的 時間, 受粉過程등에 아무런 差異가 없었으며, 開花時期와 地理的 分布등을 고려하여 불매 制限의이기는 하지만 *T. manshurica*—*T. megaphylla*, *T. rufa*—*T. taquetii*—*T. amurensis*사이에서 雜種形成이 可能하였다.

### 摘 要

韓國産 피나무屬 植物 6種과 導入種 1種을 대상으로 開花形과 受粉機作에 관하여 調査하였다.

Section Anastroaea의 thrum型과 Astrophilyra의 pin型에 해당하는 花器的 差異는 花粉의 放出, 柱頭的 機能化, 꿀의 分泌와 같은 機能的 差異와 긴밀하게 聯關되어 각각 다른 受粉 vector를 유발하였다. Sect Anastroaea에서 주된 花粉媒介者는 晝行性 벌류이었고, 다음으로 나방류, 파리류 順이었다. 그러나 sect Astrophilyra에서는 夜行性 나방류가 주된 媒介者이었으며 벌류, 파리류는 補助的인 役割을 수행하였다. 나방류와 벌류의 種들은 두 section을 區別하여 選擇的으로 방분하였다. 菴는 열매의 傳播보다는 오히려 夜行性 昆蟲의 誘引에 중요한 役割을 하였다.

두 section간에는 受粉 vector가 달라서 雜種形成이 극히 稀薄하지만, section내의 種 간에는 꽃의 構造 및 機能的 時間, 受粉過程등에 아무런 差異가 없었으며, 開花時期와 地理的 分布등을 고려하여 불매 制限의이기는 하지만 同所的 集團에서 *T. manshurica*—*T. megaphylla*, *T. rufa*—*T. taquetii*—*T. amurensis* 사이에서 雜種形成이 可能하였다.

### 參 考 文 獻

- Anderson, G. J. 1976. The pollination biology of *Tilia*. *Amer. J. Bot.* 63:1203~1212.
- Andrew, R. 1971. Exine pattern in pollen of British species of *Tilia*. *New Phytol.* 70:683~686.
- Asahina, S., T. Ishihara and K. Yasumatsu. 1970. *Iconograpia Insectorum Japonicorum Colore naturali edita* Vol. III. Hokuryukan, Tokyo.
- Ashby, W.C. 1964. A note on basswood nomenclature. *Castanea* 29:109~116.
- Bailey, L. H. 1954. Tiliaceae. In *Manual of Cultivated plants*, 2nd ed., pp. 653~654. The Macmillan Co., New York.
- Borror, D. J. and D. M. DeLong. 1981. *An Introduction to the Study of Insects*, 3rd ed. Rinchart & Co., New York.
- Brantjes, N. B. M. 1978. Sensory responses to flowers in night-flying moths. In *The Pollination of Flowers by Insects*, A.J. Richard (Ed.), pp. 13~19. Academic Press, London.
- Cho, P. S. 1969. *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea*, Vol. 10, Insecta II. Minist. Educ., Seoul.



- Chung, T. H. 1957. Tiliaceae. In Korean Flora, Vol. 1, pp. 338~344. Sinjisa, Seoul.
- Chung, Y. H. and K.-J. Kim. 1983. Monographic study of the endemic plants in Korea II. Taxonomy and interspecific relationships of the genus *Tilia*. *Proc. Coll. Natur. Sci. SNU* 8:121~160.
- and ———. 1984. Taxonomic implication of external pollen morphology to genus *Tilia* in Korea. *Kor. Jour. Electron Microscopy* 14:14~32.
- Cronquist, A. 1981. Tiliaceae. In An integrated System of Classification of Flowering Plants, pp. 350~352. Columbia Univ. Press, New York.
- de Nettancourt, D. 1977. Incompatibility in Angiosperms. Springer-Verlag, Berlin.
- Ehrlich, P. R. 1961. How to know the Butterflies and Moths. Wm. Brown & Co., Dubuque, Iowa.
- Engler, V. 1909. Monographie der Gattung *Tilia* (Cited in Jones, 1968).
- Esaki, T. and K. Takeuchi. 1955. Coloured Illustrations of the Insects of Japan II. Hoikusha, Osaka.
- Faegri, K. 1978. Trends in research in pollination ecology. In A.J. Richards (Ed.), The Pollination of Flowers by Insects, pp. 5~12. Academic Press, London.
- . and vander Pijl. 1979. The Principles of Pollination Ecology, 3rd ed. Pergamon Press, Oxford.
- Fahn, A. 1979. Secretory Tissue in Plants. Academic Press, London.
- Frankel, R. and E. Galun. 1977. Pollination Mechanisms, Reproduction and Breeding. Springer-Verlag, Berlin.
- Grant, V. 1981. Plant Speciation, 2nd ed. Columbia Univ. Press, New York.
- Gregory, P. H. 1973. The Microbiology of the Atmosphere. Leonard Hill Books, Aylesbury, England.
- Hickok, L. G. and J. C. Anway. 1972. A morphological and chemical analysis of geographical variation in *Tilia* L. of Eastern North America. *Brittonia*: 24:2~8.
- Hora, B. 1981. Tiliaceae. In The Oxford Encyclopedia of Trees of the World, pp. 148~149. Oxford Univ. Press, London.
- Hutchinson, J. 1967. *Tilia*. In Genera of Flowering Plants, Vol. 2, p. 485. Oxford Univ. Press, London.
- Hyde, H. A. 1950. Studies in atmospheric pollen IV. Pollen deposition in Great Britain, 1943. *New Phytol.* 49:398~420.
- Inoue, H., M. Okano, T. Shirôzu S. Sugi, and H. Yamamoto. 1970. Iconographia Insectorum Japonicorum Colore naturali edita Vol. I. Hokuryukan, Tokyo.
- Jacques, H. E. 1953. How to know the beetles. Wm. Brown & Co., Dubuque, Iowa.
- Jones, G. N. 1968. Taxonomy of American Species of Linden (*Tilia*). III. Biol. Monogr. 39. III. Univ. Press, Urbana.
- Kim, C.-W. 1970. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Vol. 11, Insecta III. Minist. Educ., Seoul.
- , S.-H. Nam and S.-M. Lee. 1982. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Vol. 26, Insecta VIII. Minist. Educ., Seoul.
- Lee, C.-E. 1979. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Vol. 23, Insecta VII. Minist. Educ., Seoul.
- , P.-S. Cho, K.-W. Lee, C.-W. Kim, S.-H. Park and T.-J. Lee. 1971. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, *ibid*, Vol. 12, Insecta IV. Minist. Educ., Seoul.

- Lee, T. B. 1979. *Tilia*. In Illustrated Flora of Korea, pp. 534~537. Hyangmunsa, Seoul.
- Macior, L. W. 1971. Co-evolution of plants and animals — systematic insights from plant-insect interactions. *Taxon* 20:17~28.
- Melchior, H. 1964. Tiliaceae. In A Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien, Band II, pp. 307~309. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Nakai, T. 1913. Index Plantarum Koreanarum ad Floram Koreanam Novarum, I. *Bot. Mag. Tokyo* 27:128~132.
- . 1917. Notulae ad Plantas Japoniae et Coreae, XIII. *Bot. Mag. Tokyo* 31:3~30.
- . 1921. Praecursores ad Florm Sylvaticam Koreanam, XI. *Bot. Mag. Tokyo* 35:1~18.
- . 1922. Tiliaceae. In Flora Sylvatica Koreana, XII. pp. 27~58, pl. 7~16. For. Exp. Sta. Govern. Chosen, Keijyo.
- . 1960. Coloured Illustrations of the Insects of Japan I. Hoikusha, Osaka.
- , K. Ohbayashi, S. Nomura and Y. Kurosawa. 1969. Iconographia Insectorum Japonicorum Colore naturali edita Vol. II (Coleoptera). Hokuryukan, Tokyo.
- Pigott, C. D. and J. P. Huntley. 1980. Factors controlling the distribution of *Tilia cordata* at the northern limits of its geographical range II: History in north-west England. *New Phytol.* 84:145~164.
- and ———. 1981. Factors controlling the distribution of *Tilia cordata* at the northern limits of its geographical range III: Nature and causes of seed sterility. *New Phytol.* 87:817~839.
- Plowright, R. C. 1981. Nectar production in the boreal forest lily *Clintonia borealis*. *Cad. J. Bot.* 59:156~160.
- Real, L. (Ed.) 1983. Pollination Biology. Academic Press, London.
- Shishkin, B. K. (Ed.) 1974. Tiliaceae. In Flora of the USSR, Vol. XV. (Trans. N. Landau), pp. 3~20. Keter Publ. House, Jerusalem.
- Stebbins, G. L. 1970. Adaptive radiation of reproductive characteristics in angiosperms, I: Pollination mechanisms. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1:307~326.
- . 1974. Flowering Plants, Evolution above the Species Level. Harvard Univ. Press, Massachusetts.
- . 1981. Plant speciation. In Mechanisms of Speciation, C. Barigozzi (Ed.), pp. 21~39. Alan R. Liss, Inc., New York.
- Tateoka, T. 1983. Plant Speciation and Taxonomy. Yokendo, Tokyo.
- van der Pijl, L. 1982. Principles of Dispersal in Higher Plants, 3rd ed. Springer-Verlag, Berlin.

(1984. 7. 27. 接受)

**Explanation of Figures (11~22)**

Fig. 11~13. Flowers of *Tilia amurensis* RUPR. in section *Anaetraea*.

Fig. 11. Flowers in different anthesis stages.

Fig. 12. Many functional stamens and receptive stigmas. The arrow indicate opened stigma.

Fig. 13. The perianth parts curved backward about 120° and shorter than stamens. Two flowers at the right were discolored into strong orange.

Fig. 14~16. Flowers of *Tilia manshurica* RUPR. et MAXIM. in section *Astrophilyra*.

Fig. 14. Flowers in different anthesis stages.

Fig. 15. Many functional stamens and receptive stigmas in cup-like flowers.

Fig. 16. The perianth parts longer than stamens. Flower parts were discolored into strong orange and fallen.

Fig. 17~22. Attracting pollinators on *Tilia*.

Fig. 17. Diurnal beetle (Bt), *Ectinohoplia rutipes*

Fig. 19. Bumblebee(B), *Bombus ardens*

Fig. 21. Butterfly (Bf), *Vanessa* sp.

Fig. 18. Andreninae Bee(B), *Andrena* sp.

Fig. 20. Bumblebee (B), *Bombus ignitus*

Fig. 22. Horsefly (Hf), *Chrysops geminatus*

