

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



E46255

REPRODUCTIVE ECOLOGY AND PROPAGATION OF FIG TREES (*FIGUS* spp.)
AS FRAMEWORK TREES FOR FOREST RESTORATION

CHEERDSAK KUABAKSA

DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN ENVIRONMENTAL SCIENCE

THE GRADUATE SCHOOL
CHULANG MAI UNIVERSITY
FEBRUARY 2012

600256973

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



E46255

**REPRODUCTIVE ECOLOGY AND PROPAGATION OF FIG TREES (*FICUS* SPP.)
AS FRAMEWORK TREES FOR FOREST RESTORATION**



CHERDSAK KUARAKSA

**A THESIS SUBMITTED TO THE GRADUATE SCHOOL IN
PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN ENVIRONMENTAL SCIENCE**

**THE GRADUATE SCHOOL
CHIANG MAI UNIVERSITY**


FEBRUARY 2012

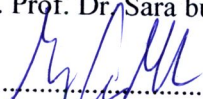
**REPRODUCTIVE ECOLOGY AND PROPAGATION OF FIG TREES (*FICUS* SPP.)
AS FRAMEWORK TREES FOR FOREST RESTORATION**

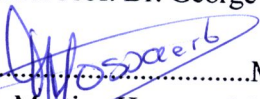
CHERDSAK KUARAKSA

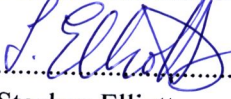
THIS THESIS HAS BEEN APPROVED
TO BE A PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN ENVIRONMENTAL SCIENCE

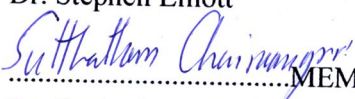
EXAMINING COMMITTEE



.....CHAIRPERSON
Asst. Prof. Dr. Sara bumrungsri


.....MEMBER
Assoc. Prof. Dr. George Andrew Gale

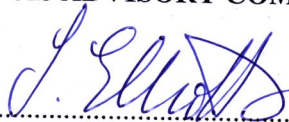

.....MEMBER
Dr. Martine Hossaert-Mckey

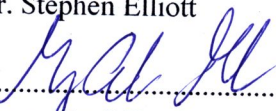

.....MEMBER
Dr. Stephen Elliott

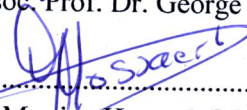

.....MEMBER
Dr. Sutthathorn Chairuangrui

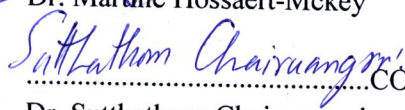

.....MEMBER
Dr. Arunothai Jampeetong

THESIS ADVISORY COMMITTEE


.....ADVISOR
Dr. Stephen Elliott


.....CO-ADVISOR
Assoc. Prof. Dr. George Andrew Gale


.....CO-ADVISOR
Dr. Martine Hossaert-Mckey


.....CO-ADVISOR
Dr. Sutthathorn Chairuangrui

17 February 2012

© Copyright by Chiang Mai University

ACKNOWLEDGEMENT

Firstly, I thank my thesis supervisor, Dr. Stephen Elliott, for initially interesting me in the genus *Ficus* and for his guidance throughout this thesis work, especially during the write-up period. I am also grateful to all FORRU-CMU staff, who assisted with data collection and care of the *Ficus* seedlings both in the nursery and field trials including: Neng Thanomworakul, Panitnard Tunjai, Somkit Kungotha, Thonglao Srithong and Thongyod Chianguntha.

The study of figs and their associated wasps was completed in collaboration with my French co-advisor, Dr. Martine Hossaert-McKey and her team. I am grateful for the ideas and valuable discussion from Finn Kjellberg (Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, France). I am also extremely grateful to Jean-Yves Rasplus (Centre de Biologie et de Gestion des Populations, France) for providing advice on fig-wasp identification and for the use of laboratory facilities.

This study was funded by The Thailand Research Fund through The Royal Golden Jubilee Ph.D. Program (Grant No. PHD/0033/2550). I also acknowledge Chiang Mai University and Doi Suthep-Pui National Park for supporting this study and for permission to conduct fieldwork. Sincerest thanks to all of living *Ficus* trees on the Doi Suthep-Pui National Park, which always provide incredible knowledge all the time, we regard you all. Finally, I thank my parents for their love and support during the difficult years in the process of creating this thesis.

Cherdsak Kuaraksa

Thesis Title Reproductive Ecology and Propagation of Fig Trees (*Ficus* spp.) as Framework Trees for Forest Restoration

Author Mr. Cherdasak Kuaraksa

Degree Doctor of Philosophy (Environmental Science)

Thesis Advisory Committee

Dr. Stephen Elliott	Advisor
Assoc. Prof. Dr. George Andrew Gale	Co-advisor
Dr. Martine Hossaert-Mckey	Co-advisor
Dr. Sutthathorn Chairuangsi	Co-advisor

ABSTRACT

E46255

Fig (*Ficus* spp.) trees have been promoted as framework species for tropical forest restoration, because they are considered to be keystone species. This thesis presents on a study of the reproductive ecology, propagation and planting techniques for seven Asian dioecious *Ficus* species, which will enable their inclusion in forest restoration plantings. Study consisted of *Ficus auriculata*, *F. fulva*, *F. hispida*, *F. oligodon*, *F. semicordata*, *F. triloba* and *F. variegata*.

At the population-level, most species produced figs all year round, but fig abundance varied seasonally. Maximum production of ripe figs by female trees of

most species occurred in the rainy season (May-August, except for *F. triloba*), whilst the main fig crop of male trees peaked 1-3 months before female trees. Four species *F. auriculata*, *F. fulva*, *F. oligodon* and *F. variegata* had critical bottleneck periods for wasp survival, especially during the rainy season, when the wasp-producing figs of male trees were least abundant. At the level of individual trees, considerable variation in phenology was evident among species. Only *F. hispida* and *F. semicordata* had completely within-tree asynchronous phenologies (receptive- and releasing/ripening-phases present simultaneously within individual tree crowns).

Most pollinators and non-pollinators found in this study were specific to single host fig species. However, *F. hispida* was pollinated by two pollinator species, whilst *F. auriculata* and *F. oligodon* shared the same pollinator. The effects of habitat fragmentation on the numbers of foundresses and seeds of most selected *Ficus* species was unclear, because pollinator wasps were highly efficient at locating their host *Ficus* spp., even isolated trees, in highly disturbed habitats and transported pollen to them over much longer distances than anticipated.

The most efficient method of producing *Ficus* spp. planting stock for forest restoration projects was from seed. Propagation from cuttings was much less successful. Seedlings produced from seed had the highest rates of growth and survival both in the nursery and in field trials. In field trials, use of planting stock from seed was also more cost-effective than direct seeding and vegetative propagation.

The study generated scientifically-based recommendations that will be useful for development of efficient forest restoration programs that maintain keystone resources in tropical forest ecosystems such as i) optimum time/place for seed collection, and

optimum planting sites for each species ii) recommendations on the propagation and planting of dioecious fig species, and iii) forest restoration plans to sustain the obligate ecological relationships between fig-trees and their pollinators.

Most tested *Ficus* tree species acted as excellent framework species, thus they should be grown and planted in broad-scale restoration activities across the Asia-Pacific region.

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์

นิเวศวิทยาการสืบพันธุ์และการขยายพันธุ์ไม้ยืนต้นใน
สกุล มะเดื่อ ไทร (*Ficus* spp.) เพื่อเป็นพรรณไม้
โครงสร้างสำหรับการฟื้นฟูป่า

ผู้เขียน

นายเชดศักดิ์ เกียรติรักษ์

ปริญญา

วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร. สตีเฟ่น เอลเลียต

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

รศ.ดร. จอร์จ แอนดริว เกล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร. มาร์ติน ออสเสท แมกกี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร. สุทธาธร ไชยเรืองศรี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

๒46255

ไม้ในกลุ่มมะเดื่อ ไทร ได้รับการส่งเสริมเป็นพรรณไม้โครงสร้างสำหรับปลูกเพื่อฟื้นฟูสภาพป่าในเขตร้อน เนื่องจากมีความสำคัญในระบบนิเวศโดยเฉพาะในแง่ของการเป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์ป่า วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอผลการศึกษาด้านนิเวศวิทยาการสืบพันธุ์ การขยายพันธุ์ และกรรมวิธีการปลูก ในมะเดื่อแบบแยกเพศแยกต้นจำนวน 7 ชนิด เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้ในโครงการฟื้นฟูป่าประกอบด้วย มะเดื่อใบใหญ่ ไทรใบขน มะเดื่อปล้อง มะเดื่อเกลี้ยง มะเดื่อปล้องหิน มะเดื่อขนทองและมะเดื่อผูก

ในระดับประชากรมะเดื่อเกือบทุกชนิดติดผลตลอดปีแต่ปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับฤดูกาล ต้นเพศเมียส่วนใหญ่ให้ผลผลิตในช่วงฤดูฝน ขณะที่พัฒนาการของช่อดอกในต้นเพศผู้ส่วนใหญ่เกิดในช่วงหน้าแล้งก่อนหน้าต้นเพศเมียประมาณ 1-3 เดือน เนื่องจากมีต้นเพศผู้ของมะเดื่อใบใหญ่ ไทรใบขน มะเดื่อเกลี้ยงและมะเดื่อผูกติดผลในปริมาณน้อยในช่วงฤดูฝนทำให้การกระจายตัวของตัวผสมเกสรอาจถูกจำกัด เมื่อพิจารณาระดับภายในต้นพบว่ารูปแบบพัฒนาการของผลมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในมะเดื่อแต่ละชนิดแต่ส่วนใหญ่เป็นไปโดยพร้อมเพรียง มีเฉพาะมะเดื่อ

ปล้องและมะเดื่อปล้องหินที่พัฒนาการของผลภายในต้นเดียวกันมีหลากหลายระยะในช่วงเวลาเดียวกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างมะเดื่อกับแตนมะเดื่อส่วนใหญ่เป็นแบบเฉพาะเจาะจงคือมีแตนเพียงหนึ่งชนิดที่ทำหน้าที่เป็นแมลงพาหะถ่ายเรณู อย่างไรก็ตามพบแตนผสมเกสร 2 ชนิดในมะเดื่อปล้อง ในขณะที่มะเดื่อใบใหญ่และมะเดื่อเกลี้ยงใช้แตนผสมเกสรชนิดเดียวกัน นอกจากนี้เราพบว่าแตนผสมเกสรมีศักยภาพสูงในการผสมเกสรและค้นหาต้นมะเดื่อเพื่อวางไข่ไม่ว่าต้นมะเดื่อนั้นจะอยู่ห่างไกลจากต้นอื่นหรืออยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมที่โดนรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์

วิธีที่เหมาะสมในการขยายพันธุ์มะเดื่อเพื่อใช้ปลูกฟื้นฟูสภาพป่าคือการเพาะจากเมล็ดเพราะต้นกล้ามีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายสูงทั้งในเรือนเพาะชำและแปลงทดลอง นอกจากนี้การเพาะจากเมล็ดยังเป็นวิธีที่สะดวก ง่ายและประหยัดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น

ผลที่ได้จากการศึกษาไม่เพียงแต่ทำให้เราทราบถึงช่วงเวลาในการเก็บเมล็ด การขยายพันธุ์ เทคนิควิธีและสถานที่ที่เหมาะสมในการปลูกมะเดื่อแต่ละชนิด องค์ความรู้ที่ได้ยังสามารถนำไปประกอบใช้วางแผนการจัดการในโครงการฟื้นฟูป่าเพื่ออนุรักษ์ไว้ทั้งมะเดื่อและแตนมะเดื่อที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศ

มะเดื่อที่ศึกษาส่วนใหญ่มีคุณสมบัติเป็นพรรณไม้โครงสร้างที่ดีสมควรนำไปใช้อย่างแพร่หลายในโครงการฟื้นฟูป่า

TABLE OF CONTENTS

	Page
ACKNOWLEDGEMENT	iii
ABSTRACT (IN ENGLISH)	iv
ABSTRACT (IN THAI)	vii
TABLE OF CONTENTS	ix
LIST OF TABLES	xiv
LIST OF FIGURES	xvi
ABBREVIATIONS	xix
CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
CHAPTER 2 LITERATURE REVIEWS	8
2.1 Deforestation in the tropics	8
2.2 Summary of main forest restoration methods	10
2.3 Deforestation and reforestation in Thailand	12
2.4 The genus <i>Ficus</i>	14
2.4.1 Monoecious <i>Ficus</i>	15
2.4.2 Dioecious <i>Ficus</i>	16
2.5 The diversity of figs in Thailand	17
2.6 What species use figs?	19
2.6.1 Seed dispersers of figs	20
2.6.2 Why are there so many fig-eaters?	23

TABLE OF CONTENTS (continued)

	Page
2.7 Importance and significance of figs	24
2.8 <i>Ficus</i> phenology	26
2.9 Fig wasps	28
2.9.1 Pollinator wasps	29
2.9.2 Non-pollinating fig wasps	33
2.10 Pollination modes	35
2.10.1 Passive pollination	35
2.10.2 Active pollination	36
2.11 Dispersal of fig wasps	36
2.12 <i>Ficus</i> propagation and planting	38
CHAPTER 3 METHODOLOGY	41
3.1 Study site	41
3.2 Study species	42
3.3 Methods	48
3.3.1 <i>Ficus</i> phenology	48
3.3.2 Fig wasp collection	51
3.3.3 Seed/foundress collection	52
3.3.4 <i>Ficus</i> propagations	53
3.3.5 <i>Ficus</i> plantings	57
3.4 Data analysis	58
CHAPTER 4 RESULTS	61
4.1 Distribution in the park	61

TABLE OF CONTENTS (continued)

	Page
4.2 <i>Ficus</i> phenology	61
4.2.1 General phenology	61
4.2.2 Phenology of each species	68
4.3 <i>Ficus</i> and their associated wasps	81
4.3.1 General	81
4.3.2 Effect of fragmentation	82
4.4 <i>Ficus</i> propagation	89
4.4.1 Propagation from seed	89
4.4.2 Propagation from cuttings	99
4.4.3 Propagation type comparison	101
4.5 <i>Ficus</i> plantings	102
4.5.1 Direct seeding	102
4.5.2 Planting stock-raised in nursery from cuttings	103
4.5.3 Planting stock-raised in nursery from seed	103
4.5.4 Planting stock type comparison	104
4.5.5 Cost comparison	108
CHAPTER 5 DISCUSSION	109
5.1 <i>Ficus</i> phenology	109
5.1.1 General leaf and fig phenology	109
5.1.2 Implications for forest restoration plans	113
5.2 Interaction between fig trees and their associated wasps	116
5.2.1 General interactions	116

TABLE OF CONTENTS (continued)

	Page
5.2.2 Pollinators	117
5.2.3 Non-pollinators	120
5.2.4 Effect of different habitats	126
5.2.5 Implications for forest restoration	128
5.3 <i>Ficus</i> propagation	129
5.3.1 Propagation from seed	129
5.3.2 Propagation from cuttings	130
5.4 <i>Ficus</i> planting	131
5.4.1 Direct seeding	131
5.4.2 Planting stock-raised in nursery from cuttings	132
5.4.3 Planting stock-raised in nursery from seed	133
CHAPTER 6 CONCLUSIONS	135
6.1 <i>Ficus</i> phenology	135
6.2 <i>Ficus</i> and their associated wasps	138
6.3 <i>Ficus</i> propagation	139
6.4 <i>Ficus</i> planting	144
6.5 Implications for management and conservation the rare figs	145
6.6 Implications for other uses of figs	146
6.7 Overall conclusion	147
REFERENCES	149
APPENDICES	195

TABLE OF CONTENTS (continued)

	Page
Appendix A The illustrations of the seven selected dioecious <i>Ficus</i> species	196
Appendix B The illustrations of the fig wasps developing in figs of <i>F. auriculata</i>	199
Appendix C The illustrations of the fig wasps developing in figs of <i>F. fulva</i>	201
Appendix D The illustrations of the fig wasps developing in figs of <i>F. hispida</i>	203
Appendix E The illustrations of the fig wasps developing in figs of <i>F. oligodon</i>	207
Appendix F The illustrations of the fig wasps developing in figs of <i>F. semicordata</i>	211
Appendix G The illustrations of the fig wasps developing in figs of <i>F. triloba</i>	214
Appendix H The illustrations of the fig wasps developing in figs of <i>F. variegata</i>	216
Appendix I Larva ecology of non-pollinating fig wasps	218
Appendix J Establishment and maintenance costs of three planting stock types	221
Appendix K Type of syconia developments within male trees of seven selected fig species	225
CURRICULUM VITAE	228

LIST OF TABLES

Table		Page
1	Different features of male and female pollinator wasps at the mature stages	32
2	Overview of distribution, habitat and abundance of the seven selected dioecious <i>Ficus</i> species	46
3	The scoring system on figging and leafing phenology	51
4	The three sampling sites were selected on basis of the distribution of fig trees and the degree of human disturbance	53
5	Experimental design on seed germination trials	54
6	Experimental design on cutting trials	56
7	Experimental design on seedling growth trials	57
8	Details of selected trees were found along the phenology trails and sexual specialization of the study figs in Doi Suthep-Pui National Park, northern, Thailand	65
9	Results of Pearson's correlation test between weather conditions with leaf and reproductive phenologies of seven selected fig species	67
10	Sexual specialization of the selected <i>Ficus</i> species in different phases	83
11	Fig wasps reared from seven <i>Ficus</i> species in Doi Suthep-Pui National Park, during March 2008 - February 2009	84
12	The mean number of foundresses per fig was collected from the different collection sites	86

LIST OF TABLES (continued)

Table	Page
13 Mean seeds per fig by different sample sites	87
14 Seasonal effects on seed production (per fig)	88
15 Results of germination and seedling growth trials on <i>Ficus</i> spp.	94
16 Details of seedlings propagated by cutting at the first planting season, averaged across all treatments	95
17 Seedling growth comparison between the planting stock types for each species, which attained at the end of the second rainy season	106
18 Establishment and maintenance costs (per plant)	108
19 Results of Pearson's correlation test between the proportions of ripe female figs and the number of the other tree/treelet species producing ripe fruits in each month	114
20 The association between <i>Ficus</i> and Agaonidae morphological classification	117
21 Production schedule for <i>Ficus</i> species in northern Thailand	141
22 Summary of the selected <i>Ficus</i> species classification	142
23 Parameter values may affected on the abundance of the selected <i>Ficus</i> species in Doi Suthep - Pui National Park	143

LIST OF FIGURES

Figure	Page
1 Percent forest cover of the country's area after the commercial logging has been banned since 1989	12
2 Seedling production reports of all RFD nurseries from 2006-2009	14
3 The type of study on <i>Ficus</i> species in Thailand (from 2001-present)	18
4 Average monthly rainfall (mm), maximum and minimum temperature (°C) at the Northern Meteorological Center, about 3 km from the National Park (from March 2008 - October 2010)	42
5 Map of the main part of Doi Suthep - Pui National Park and two phenology trails (A and B) along the park	48
6 Stages of fig development of <i>Ficus oligodon</i>	50
7 Number of trees per kilometer of phenology trail in each elevation type	62
8 An example of fig production rhythms of <i>F. triloba</i> at the individual-level	64
9 Leaf and fig production rhythms of <i>F. auriculata</i> at the population-level	71
10 Leaf and fig production rhythms of <i>F. oligodon</i> at the population-level	72
11 Leaf and fig production rhythms of <i>F. variegata</i> at the population-level	73
12 Leaf and fig production rhythms of <i>F. hispida</i> at the population-level	77
13 Leaf and fig production rhythms of <i>F. semicordata</i> at the population-level	78
14 Leaf and fig production rhythms of <i>F. fulva</i> at the population-level	79
15 Leaf and fig production rhythms of <i>F. triloba</i> at the population-level	80

LIST OF FIGURES (continued)

Figure		Page
16	Fig seed germination from control treatment (T1) of each species in the nursery trials	90
17	Seed germination trials, averaged across all species	91
18	Interactions between the germination medium composition and fungicide application on germination and survival rate, averaged across all species	92
19	Overall successes (proportion germinated x proportion survival) of the germination treatments by transplanting time, averaged across all species	93
20	Seedling growth trials, averaged across all species by planting time	96
21	Mean relative growth rates and mean health scores of the most effective treatment by species for each propagation types after 1 year in the nursery	97
22	Overall successes (proportion germinated/rooted x proportion survival) of each species by planting time	98
23	Cutting trials, averaged across all species	99
24	Overall successes (proportion shooted x proportion survival) of each treatment by transplanting time	100
25	Mean germination and median length of dormancy (MLD) of the direct seeding trials	102
26	Mean relative growth rate and mean survival by species for each planting stock types after 1.5 years of planting out in disturbed habitats	105
27	Relationship summarizing of the fig wasps associated with the <i>Ficus</i> species studied, in the Doi Suthep-Pui National Park, Thailand	121

LIST OF FIGURES (continued)

Figure		Page
28	Model of crop distributions and minimum number of trees are necessary to sustain pollinator wasps over the year	137

ABBREVIATIONS

ANR	Accelerated Natural Regeneration
AFTSC	ASEAN Forest Tree Seed Centre; Muak-Lek, Saraburi, Thailand
BA	Bare Branches, Leaf Fall
BB/DF	Degraded Teak and Bamboo + Deciduous Forest
CBGP	Centre de Biologie et de Gestion des Populations, Montpellier, France
CRGR	Relative Canopy Width Growth Rate
DA	Disturbed Areas
DBH	Diameter at Breast Height
DOF	Deciduous Dipterocarp - Oak Forest
DSNP	Doi Suthep - Pui National Park
DVP	Developing Phase
EGF	Primary Evergreen Forest
EG/PINE	Evergreen Forest with Pine
FAO	Food and Agriculture Organization
FIAU	<i>Ficus auriculata</i> Lour.
FIFU	<i>Ficus fulva</i> Reinw. ex Blume
FIHI	<i>Ficus hispida</i> L.f.
FIO	Forest Industry Organization
FIOL	<i>Ficus oligodon</i> Miquel

FISE	<i>Ficus semicordata</i> Buch.-Ham. ex Sm.
FITR	<i>Ficus triloba</i> Buch.-Ham. ex Voigt
FIVA	<i>Ficus variegata</i> Blume
FORRU-CMU	Forest Restoration Research Unit of Chiang Mai University
FS	Fig Size
HMDS	Hexamethyldisilazene
HRGR	Relative Height Growth Rate
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IBA	Indole Butyric Acid
IMP	Immature Phase
LMC	Local Mate Competition
ML	Mature Leaves
MLD	Median Length of Dormancy
NPFWs	Non Pollinating Fig Wasps
PAS	Periodic Acid-Schiff Stain
RA	Monthly Mean Rainfall
RCD	Root Collar Diameter
RCP	Receptive Phase
RFD	Royal Forest Department
RGR	Relative Growth Rate
RLP	Releasing Phase (male trees)
RPP	Ripening Phase (female trees)
RRGR	Relative Root Collar Diameter Growth Rate
SCB	Siam Commercial Bank

SE	Seed Number
SG	Secondary Growth
SL	Senescence Leaves
TE	Monthly Mean Temperature
YL	Young Leaves