

大叶相思花部形态与开花生物学研究

李 军, 黄烈健*, 陈祖旭, 曾 杰, 易 敏

(中国林业科学院热带林业研究所, 广州 510520)

摘要: 对大叶相思(*Acacia auriculiformis*)栽培植株进行观察,用光学显微镜和扫描电子显微镜(SEM)对其花部形态和开花生物学特征进行研究。结果表明,大叶相思开花期为8~12月,穗状花序由 114.9 ± 11.9 朵花组成,每朵花含 124.1 ± 16.5 枚雄蕊,每雄蕊含有8粒16合花粉,单花花粉量为15885粒;雌蕊1枚,具 14.4 ± 1.8 个胚珠,柱头凹陷,属于湿柱头类型。P/O值为1103.1;大叶相思花在夜间开放,开花可分为5个阶段。开花期间观察到雌蕊先于雄蕊伸出花冠和雄蕊先于雌蕊伸出花冠并存的现象,推测雌雄基本同熟。SEM观察花药在开花的第2阶段形成开裂线,第4阶段完全开裂并开始散粉。雄蕊于开花第1天的9:00~12:00大量散粉;雌蕊柱头在开花第1天上午出现分泌物,随后逐渐减少。开花后3~4d柱头开始凋零,柱头可授期约为3d,以开花第1天10:00之后的可授性最佳。

关键词: 大叶相思; 开花生物学; 花部形态; 雌蕊接受力; 复合花粉

中图分类号: Q944.58

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)04-0379-07

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.04.006

Floral Morphology, Anthesis and Pistil Receptivity of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.

LI Jun, HUANG Lie-jian*, CHEN Zu-xu, ZENG Jie, YI Min

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: The floral biology of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. was investigated in a seed orchard at Shadui Town, Jiangmen City, Guangdong Province with the flower morphology observed under light microscopy and scanning electron microscopy (SEM). *A. auriculiformis* flowered from August to December. Its spike inflorescence consisted of 114.9 ± 11.9 flowers, bearing 124.1 ± 16.5 anthers in each flower. Within each anther existed eight pollen sacs, and eight polyads were produced with 16 pollen grains in each. It thus accounted of 15885 grains per flower. The pistil contained an average of 14.4 ± 1.8 ovules with a smooth, wet stigma and a solid style. Pollen to ovule ratio (P/O) was 1103.1. Anthesis normally began at night and the whole process of flowering could be divided into 5 stages. The phenomena that style emerged from flower bud before stamen and that stamen emerged firstly were all observed during anthesis at different trees, which was inferred that *A. auriculiformis* was homogamous. As observed under SEM, anther began to dehisce along dehiscent line at stage 2, and completely opened at stage 4. Abundant polyads were released between 9:00 and 12:00. The stigma exudate emerged apparently during the first half-day after anthesis and then decreased gradually. Stigmas started to wilt at 3~4 days after anthesis. The stigma receptivity lasted about 3 days and the peak of receptivity began after 10:00 at the first day.

Key words: *Acacia auriculiformis*; Anthesis; Floral morphology; Pistil receptivity; Polyad

收稿日期: 2009-08-19 接受日期: 2010-01-27

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD01A15-5; 2006BAD32B0103)资助

作者简介: 李军(1984~), 女, 陕西商洛人, 硕士研究生, 主要从事传粉生物学与细胞生物学研究, email: evelijun@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, email: hlj@ritf.ac.cn

大叶相思 (*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.) 是含羞草科 (Mimosaceae) 金合欢属的热带速生树种, 原产澳大利亚昆士兰、巴布亚新几内亚南部和西部、伊里安岛、印度尼西亚基岛^[1]。大叶相思生物量大, 材质优良, 可用于造纸浆材、建筑材、家具用材等; 具固氮作用, 可用于改良土壤、荒山绿化等, 其经济价值和生态效应被普遍关注, 在热带国家广泛引种。大叶相思 1961 年引入我国, 在桂、粤、闽、琼 4 省区大面积推广。然而金合欢属树种普遍存在结实率低的现象, 是制约其种植业进一步发展的关键问题之一^[2]。马大天然杂种 (*A. mangium* × *A. auriculiformis*) 在生长和适应性等方面颇具优势^[3], 且日益受到我国林业科技工作者和林农的重视, 但有关其人工杂交育种研究一直未见报道。

开展大叶相思花期物候、花部形态、开花生物学等的研究有助于揭示其结实率低的原因, 是杂交育种工作的基础。国外已开展金合欢属树种生殖生物学研究。Newman^[4-5] 对贝利氏相思 (*A. baileyana*) 的花粉发育进行了研究。Tybirk^[6], Tandon^[7] 等对阿拉伯金合欢 (*A. nilotica*)、阿拉伯胶树 (*A. senegal*) 等 10 多种植物的花期物候、花部形态及开花生物学进行了研究, 报道了其传粉生物学规律。Sedgley^[8], Ibrahim^[9] 和 Moncur^[10] 等研究了大叶相思、马占相思 (*A. mangium*) 及黑荆相思 (*A. mearnsii*) 的雄性花比例; Sornsathapornkul^[11]、Bernhardt^[12] 等对马大杂交相思、树胶相思 (*A. retinodes*) 等的雌蕊先熟和雌蕊可授性进行研究。Kenrick 等研究了柱头的超显微形态以及组织化学成分^[13]。Kenrick^[14] 还对金合欢属开花生物学进行了评述。而我国的相关研究尚未见报道, 本文对大叶相思花部形态和开花生物学特征进行研究, 了解花部形态特征, 揭示雄蕊和雌蕊在开花过程中的阶段性变化, 探讨最佳授粉期和目前生产上结实率低的可能原因, 为高效开展杂交育种工作提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

大叶相思 (*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.) 种子园位于广东省江门市新会区沙堆镇南坑林场良种繁育基地内 (113°08'E, 22°18'N), 属亚热带海洋性气候, 年均气温 21.8℃, 年降雨量

1789.2 mm, 雨量集中在 4 ~ 9 月。该种子园为 1998 年 1 月通过嫁接建立的无性系种子园, 面积 2 hm², 造林株行距为 5 m × 8 m。

1.2 开花物候及花部形态特征观察

2008 年 9 ~ 11 月对大叶相思种子园内所有正常生长的植株进行开花物候观察。记录开花时间和林分内植株的开花特征。随机选取 3 株, 分别在树冠的不同高度和方向各选取 15 ~ 30 个花序, 每天于 8:00、11:00、14:00、17:00 观察记录花序和单花的开花特征, 包括花序及单花的开放时间、凋谢时间以及座果时间、荚果成熟后开裂时间。

随机选取 6 ~ 8 株, 每株分别在不同方向和高度摘取 9 ~ 12 个花序或单花, 测量花序长度, 计数每个花序的单花数目, 测量单花大小 (长 × 宽)、雄蕊长度、雌蕊长度, 借助放大镜计数单花的雄蕊数目。

1.3 单花花粉量、胚珠数和花粉/胚珠比率 (P/O) 的测定

随机抽取 7 株大叶相思, 每株随机选取 15 ~ 25 朵花, 剥离雌蕊, 用 FAA 溶液 (50% 乙醇 90 mL + 冰醋酸 5 mL + 福尔马林 5 mL) 固定后带回实验室。采用 Tandon 和 Shivanna^[7] 的方法检测胚珠数量, 首先用 1 mol/L NaOH 于 60℃ 浸泡样品 15 min, 然后用醋酸洋红染色, 轻压玻片使胚珠全部挤出子房外, 在 Olympus BH-2 显微镜下观察计数。

单花花粉量 = 每朵花雄蕊数 × 每雄蕊所含花粉数。

$P/O = \text{单花花粉量} \times \text{复合花粉所含单粒花粉数目} / \text{单花胚珠数目}$ ^[7]。

1.4 开花生物学观察

开花前对黄色花苞跟踪观察, 记录开花时各花部器官的变化, 用 Canon EOS 450D 拍摄开花进程。

采集开放至不同阶段的单花, 经 2.5% 戊二醛前固定过夜, 用磷酸缓冲液 (pH 7.2) 漂洗, 用 1% 的锇酸后固定 1 h, 乙醇梯度脱水至 100%, 临界点干燥后将样品粘台, 离子溅射镀膜后用 PHILIPS SEM XL-30 电子显微镜于 20 kV 下观察花药的开裂情况及雌蕊柱头的分泌物。

1.5 柱头可授性测定

为了解雌蕊的可授期和可授性特征, 以 3 d 花期为 1 个周期, 对开放至不同程度的柱头进行连续取样测量。具体方法为: 自开花第 1 天起, 于 8:00、

10:00、12:00、14:00、16:00、18:00 分别剖取雌蕊花柱上部,用联苯胺-过氧化氢反应液(1%联苯胺:3%过氧化氢:水=4:11:22,v/v)测定柱头的可授性^[15]。若柱头进入最佳可授期,则柱头周围呈现深蓝色并伴有大量气泡出现。每次测定50个柱头,共测定3个周期。

2 结果和分析

2.1 开花物候及花部形态特征

大叶相思在无性系种子园内8~12月开花。群体花期具非持续性,由5~13 d的开花期和5~12 d的非开花期循环组成,整个花期有5~6个循环。花序上的花苞由绿变黄后2~3 d开花,花序上的单花开放基本同步,花期为3 d,第4天开始败花,如遇台风或降雨则第3天即开始凋谢。未授粉的单花脱落仅存花序梗,受精的单花则宿存,10~15 d便可肉眼观察到形成的荚果。

小花枝平均长 25.0 ± 7.4 cm,具20~30个花序,花部下部的花序发育成熟早于上部的花序,形成了大叶相思非持续性开花模式(图版 I:A)。穗状花序长7.12 cm,1~4个簇生于叶腋,以2个最常见;每花序由80~137朵花聚集而成(表1),略高于

昆士兰大叶相思(43~118朵)^[8]。花橙黄色,杂性,同一花序上通常具两性花和雄性花,但雄性花的比例很小,表现为缺少雌蕊或雌蕊短小无花柱。小花顺时针螺旋状排列于花序轴上,每螺旋5~8朵小花。小花长不及5 mm(表1),花萼5裂,乳白色,长1 mm;花瓣5片,基部联合,黄色,长约2 mm;每朵花有 124.1 ± 16.5 枚雄蕊,花药垂直位于花丝顶端,背部与花丝连接,花药外壁有冠状疣突,两室,由8个花粉囊组成,每个花粉囊有1粒复合花粉,复合花粉由16颗单粒花粉牢固结合为一体,即为16合花粉粒。16合花粉粒直径30~40 μm ,圆饼状,排列方式为中间8个,分上下两层,每层各4粒,形状规则,周围8个围绕中心排列,形状不规则(图版 I:B)。雌蕊1枚,偶见两枚;平均长4.42 mm;子房梭形,密被长绒毛(图版 I:C),具9~19粒胚珠;花柱细长,具引导组织;柱头呈凹杯状,直径65~70 μm ,成熟时具分泌物,以便接受花粉。

2.2 单花花粉量、胚珠数和花粉/胚珠比率(P/O)

大叶相思每枚雄蕊含8粒复合花粉,每朵花可生产992粒16合花粉,即16885粒花粉,每枚雌蕊平均含胚珠 14.4 ± 1.8 (表1),P/O值为1103.1(表2)。

表1 大叶相思花部器官的数量特征

Table 1 Quantitative characters of floral parts of *A. auriculiformis*

花部器官 Floral parts	样本数目 Number of samples	范围 Range	均值 \pm 标准差 Mean \pm SD
花序长度 Length of inflorescence (cm)*	70	4.2~9.2	7.12 \pm 1.04
花数/花序 Number of flowers per inflorescence	72	80~137	114.9 \pm 11.9
花大小(长 \times 宽) Size of flower (length \times width) (mm)	60	3.9~5.8 \times 3.14~5.46	4.72 \pm 0.35 \times 4.24 \pm 0.66
雌蕊长度 Length of pistil (mm)	60	3.0~5.08	4.42 \pm 0.33
雄蕊长度 Length of stamens (mm)*	60	3.10~4.44	3.74 \pm 0.33
雄蕊数目/花 Number of stamens*	54	95~157	124.1 \pm 16.5
胚珠数目/子房 Number of ovules per ovary*	98	9~19	14.4 \pm 1.8

* $P < 0.01$

表2 几种金合欢属植物P/O值的比较

Table 2 Comparison of P/O of some species in *Acacia*

植物 Species	种群 Population	花药/花 Anther/flower	胚珠/子房 Ovules/ovary	P/O	ISI	文献 References
树胶相思 <i>A. retinodes</i>	Victoria (Australia)	63.5	12.6	645.1	0.03	[12]
阿拉伯胶树 <i>A. senegal</i>	Delhi (India)	119.65	10.15	1508.89	0.22	[7]
	Khania (India)	101	10.23	1263.73	0.19	
	Indroka (India)	112.73	10.18	1417.43	0.19	
顶生金合欢 <i>A. terminalis</i>	Montane (Australia)	123.5	10.7	1477.4	0.13	[16]
	Valley (Australia)	131.8	11.2	1506.3		
大叶相思 <i>A. auriculiformis</i>	Malaysia	109	12~14	1073.2	-	[9]
大叶相思 <i>A. auriculiformis</i>	Jiangmen (China)	124.5	14.4	1103.1	-	This paper

ISI: 自交不亲和指数 Index of self-incompatibility.

2.3 开花生物学观察

依据大叶相思开花形态特征可将开花过程分为 5 个阶段^[11](表 3)。

金合欢属很多树种均在夜间开花。Sornsathapornkul 等^[11]在泰国曼谷附近的沙拉普里观察到大叶相思在 24:00~1:00 开花。在种子园内,黄色花苞在 18:00~21:00 开放,开花时间因月份和单株而异。开花时,花冠首先沿着凹纹处裂开为 5 个花瓣,随即柱头或者部分雄蕊露出花冠。多数单株开花时柱头先伸出花冠(图版 I:F),但亦有雄蕊先伸出花冠或雌雄同时伸出花冠的现象(图版 I:G),这种现象可能为雌雄同熟提供了证据。雌蕊总是先于雄蕊完全伸展,高高直立于雄蕊之外(图版 I:H),雄蕊完全伸展后花才开放完全,单花从黄色花苞至完全开放需 3~12 h(图版 I:J~L)。清晨花序上的花完全开放,花丝直立将花药托举于最大高度,花药开裂并逐渐散粉。大量花粉在 9:00~12:00 散出,并伴有浓郁的芳香,午后散粉量逐渐减少。花粉粒逐个散出,光学显微镜下可见 3~4 粒粘于花药壁上,受到外力作用,如风、传粉

者将其带走。

同时,光学显微镜下观察到未伸展的雌蕊在花苞内形成 3~5 折弯曲,这种弯曲在本属其他植物中亦有报道,如密枝相思(*A. conferta*)有 2 折弯曲,*A. subulata* 为不规则弯曲^[13],这可能与雌蕊的伸展有关。

SEM 下看到在开花的 1~2 阶段,雄蕊还只是形成开裂线(图版 I:M),直到阶段 3,开裂口较大(图版 I:N)。光学显微镜观察,从 20:30~21:30 开放至阶段 3,平均每朵花有 28.6% ($n=21$) 的花药开裂,其余仅露出开裂线,到阶段 4 雄蕊大量开裂并开始散粉(图版 I:O)。

柱头分泌物的变化可以指示雌蕊可授性。SEM 观察到开花阶段 0 的柱头略微凹陷,形如杯状(图版 I:P),中午时分柱头开始出现分泌物(图版 I:Q),说明柱头可授。开花 3 d 左右的柱头在花粉粒周边开始凋零,呈中空状(图版 I:R)。凹陷的柱头刚好容纳 1 粒花粉,少见 2 粒以上的花粉落于柱头。雄蕊散粉后雌蕊仍可保持直立 3 d,直到落花。

表 3 大叶相思开花的时序特征

Table 3 The chronological flowering sequence of *A. auriculiformis* during anthesis

阶段 Stage	形态 Morphology	出现时间 Appearance time	图版 I Plate I
0	黄色花苞,花冠具 5 道凹纹 Yellow buds with five furrows on the corolla ($d=1.27$ mm)	3 d before anthesis	D
1	花冠从凹纹处裂开为 5 片花瓣,花瓣直立呈锯齿状,雌雄蕊未伸展 Petals split from furrows, petals stand erectly like sawtooth	18:30~21:00	E
2	花瓣未展或部分展开,雌蕊伸展于花冠外,或者仅雄蕊露出花冠 Petals not or partly spread, style stand outside the corolla or just stamens exposed	19:00~21:00	F,G
3	花瓣展开或翻卷,花柱直立于花冠外达 2.0~3.5 mm,雄蕊开始伸展 Petals spread or back scroll, style stand erectly outside the corolla up to 2.0~3.5 mm and stamens start to spread	21:00~23:00	H
4	花瓣翻卷,花丝直立,呈伞状展开;花柱直立并高于雄蕊 0.5~1 mm Petals back scroll, stamens fully elongated like umbrella; style 0.5~1 mm longer than stamens	8:00 at the second day	I

2.4 联苯胺法测定柱头可授性

从图 1 可以看出,大叶相思的可授期约为 3 d。开花第 2~3 天的柱头染色程度和染色柱头的比例明显高于第 1 天,说明开花 2~3 d 内柱头均保持较高的可授性。开花第 1 天的柱头活力表现出明显的动态变化:8:00 仅 30% 柱头可被染为蓝色,柱头活力微弱,而至中午则超过 60%,此时光学显微镜可观察到大量的柱头分泌物,预示最佳可授期的到来。开花后花柱可保持直立 3 d,散粉之后雄蕊开始凋谢但雌蕊仍可较长时间保持直立,说明雌蕊

具有较长的可授期。

3 讨论

花的生物学特征与植物的繁育关系密切。大叶相思花色鲜艳,芳香浓郁,80~137 朵花聚集于花序上,20~30 个花序聚集于花枝上,能够有效地吸引访花昆虫。大叶相思花粉为 16 合花粉,这种复合花粉结构不利于风媒传粉,尽管空气中可以检测到其花粉,但主要靠昆虫传粉^[14]。开花期间,大量花粉露出于花药,粘于花序表面,有利于昆虫转移

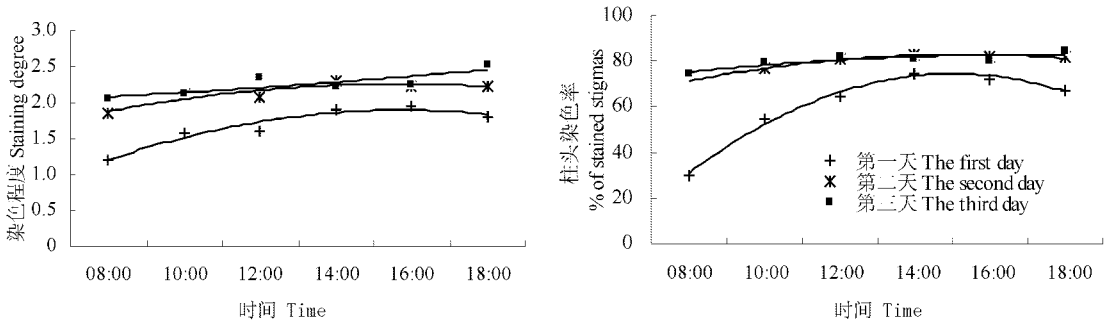


图1 联苯胺法测定柱头可授性

Fig. 1 Detection of stigma receptivity by benzidine method

花粉。所有柱头伸出雄蕊外 1 mm,有利于花粉在柱头的落置。大叶相思单花只有 5 mm 长,不足以支持蜜蜂等昆虫的重量,与之相比,花序能够提供昆虫着陆和活动的空间。每个花序可产生愈 114000 粒复合花粉,这样丰厚的食物可能延长昆虫在同一花序上的停留时间或者增加造访昆虫数量。我们的观察印证了 Arroyo 的观点,即含羞草科的基本生殖单位是花序而不是单花^[17]。同时还观察到大叶相思具有少量雄性花,或许能够为访花昆虫提供更多花粉以增强其对传粉者的竞争力度^[18]。

胚珠数目往往因植株所处生境或群体不同而发生变化^[19]。本研究观察到大叶相思的平均胚珠数目为 14.4 个,而昆士兰的大叶相思为 16^[8]。胚珠数目决定每个果荚的最大种子数目,从而影响种子园的种子产量。在 16 合花粉的相思树种中,其 16 合花粉和胚珠数目比值多为 16/12 或者 16/14^[20]。在本研究中,若 16 个单粒花粉均长出花粉管并进入子房使所有胚珠受精,则平均每个果荚发育成 14.4 粒种子。然而实际上受子房内胚珠数目和花粉活力的限制,仅部分胚珠受精形成种子。P/O 和植物繁育系统关系密切,Cruden^[21]对 P/O 和繁育系统的相关性研究表明:从自交到异交 P/O 逐渐增加,P/O 能反映物种的交配系统。其中 P/O 位于区间 (244.7, 2588.0) 时对应兼性异交,位于区间 (2108.0, 195 525.0) 时对应专性异交。本实验中大叶相思 P/O 值为 1103,与本属其他树种相差不大(表 2),按照此标准大叶相思属于兼性异交。用 P/O 值检测植物繁育体系虽然简单快速,但准确性较低。若与同属另一高度自交不亲和性树种树胶相思 P/O(645.1)比较,大叶相思也有可能为自交不亲和性^[22]。因此大叶相思是兼性异交还是专性异交尚待深入研究。

雌蕊可授性的时间与雄蕊成熟的时间是否同步对自然授粉成功有重要意义。雌蕊先熟在金合欢属中比较常见^[11]。树胶相思表现出明显的雌蕊先熟性,柱头在花药开裂前 1 d 即可授^[12]。大叶相思是否为雌蕊先熟有不同报道。在昆士兰和泰国的研究表明大叶相思略微表现出雌蕊先熟,雌蕊先于雄蕊伸出花冠^[11,8];而 Ibrahim^[9]认为它更倾向于雌雄同熟。在雌蕊先熟的金合欢属树种中,曾观察到花柱规则或不规则弯曲于未开放的花苞内,雌蕊受花冠包裹的阻力,一旦突破,很容易成为第一个露出花冠的器官,这使得雌蕊先熟成为可能^[21]。本研究也观察到花柱在花冠内的弯曲,呈 3~5 折规则弯曲,但这并不能说明大叶相思为雌蕊先熟型,因为亦观察到雄蕊也不规则压缩于花冠内,呈“之”型或波浪型,伸展时呈螺旋样,亦可能快速伸出花冠,因此,两者间可能存在竞争。本研究观察到雌蕊先露出花冠和雄蕊先露出花冠以及同时露出花冠的现象(图版 I: F, G),这给予此推断有力的支持。显微观察亦证明雄蕊大量散粉和雌蕊最佳可授时间是一致的,因此雌蕊和雄蕊基本同熟。雌雄异熟或同熟在不同生境的差异性表现可能是由环境因素诱导造成的,雌雄同熟在寒冷地区的发生率明显高于热带地区^[22],本研究地点的纬度比天然分布区纬度高 5°,温度比天然分布区低,这种气候差异有可能诱导促成物种雌雄同熟。

大叶相思雌雄同熟无疑增加了自花传粉的几率,然而有着较高异交率水平的大叶相思^[23],绝大多数的自花传粉将导致柱头的堵塞或者瘪种的形成,因此,自花授粉可能是自然条件下大叶相思座果率低下的原因之一。研究结果还为大叶相思的人工授粉或杂交育种提供了技术支持:(1)大叶相思种子园的花粉收集宜选择在晴天上午 8:00~9:30 进行,过早会因露水多不便收集花粉,过晚则

已散粉;(2)授粉宜选择在 10:00 之后进行,柱头活力在接近中午时分最高;(3)由于单花较小,去雄十分困难,人工授粉时可以在不去雄的条件下以花序为单位实施,考虑到其高异交性,必须进行大量授粉加以弥补,以获得预期数量的杂交种子,当然对雄性不育系的筛选和培育是解决这一问题的关键所在。

参考文献

- [1] Turnbull J W, Martensz P N, Hall N. Notes on lesser-known Australian trees and shrubs with potential for fuelwood and agroforestry [C]// Turnbull J W. Multipurpose Australian Trees and Shrubs: Lesser-known Species for Fuelwood and Agroforestry. No. 14. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1986: 81-313.
- [2] Tybirk K. Reproductive biology and evolution of the genus *Acacia* [J]. Bull Int Group Study Mimosoideae, 1997, 20: 45-53.
- [3] Hu C H(胡焯海), Zeng H C(曾焕忱), Yang Y Z(杨运振). Growth performance of the hybrid (*Acacia mangium* × *A. auriculiformis*) in Dongguan City [J]. For Sci Techn Guangdong(广东林业科技), 1998, 14(4): 19-23.(in Chinese)
- [4] Newman I V. Studies in the Australian *Acacia* II. The life history of *Acacia baileyana* (F. V. M) Part 1. Some ecological and vegetative features, spore production and chromosome number [J]. Linn J Bot, 1933, 49: 145-171.
- [5] Newman I V. Studies in the Australian *Acacia* III. Supplementary observations on the habit, carpel, spore production and chromosome of *Acacia baileyana* F. V. M [J]. Proc Linn Soc New South Wales, 1934, 59: 237-251.
- [6] Tybirk K. Flowering, pollination and seed production of *Acacia nilotica* [J]. Nord J Bot, 1989, 9: 375-381.
- [7] Tandon R, Shivanna K R. Pollination biology and breeding system of *Acacia senegal* [J]. Biol J Linn Soc, 2000, 135: 251-262.
- [8] Sedgley M, Harbard J, Smith R M, et al. Reproductive biology and interspecific hybridization of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. (Leguminosae: Mimosoideae) [J]. Aust J Bot, 1992, 40: 37-48.
- [9] Ibrahim Z, Awang K. Comparison of floral morphology, flower production and pollen yield of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* [C]// Turnbull J W. Advances in Tropical *Acacia* Research Proceeding No. 35. Thailand: ACLAR (Australian Centre for International Agricultural Research), 1991: 26-29.
- [10] Moncur M W, Moran G F, Grant J E. Factors limiting seed production in *Acacia mearnsii* [C]// Turnbull J W. Advances in Tropical *Acacia* Research Proceeding No. 35. Thailand: ACLAR, 1991: 64-66.
- [11] Sornsathapornkul P, Owens J N. Pollination biology in a tropical *Acacia* hybrid (*A. mangium* × *A. auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.) [J]. Ann Bot, 1998, 81: 631-645.
- [12] Bernhardt P, Kenrick J, Knox R B. Pollination biology and the breeding system of *Acacia retinodes* (Leguminosae: Mimosoideae) [J]. Ann Miss Bot Gard, 1984, 71: 17-29.
- [13] Kenrick J, Knox R B. Structure and histochemistry of the stigma and style of some Australian species of *Acacia* [J]. Aust J Bot, 1981, 29: 733-745.
- [14] Kenrick J. Review of pollen-pistil interaction and their relevance to reproductive biology of *Acacia* [J]. Aust Syst Bot, 2003, 16: 119-130.
- [15] Li Y H(李艳华), Kang X Y(康向阳). Stigma receptivity and its detection method of white poplars [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin (西北植物学报), 2007, 27(5): 859-863.(in Chinese)
- [16] Kenrick J, Bernhardt P, Marginson R, et al. Pollination-related characteristics in the minosoid legume *Acacia terminalis* (Leguminosae) [J]. Plant Syst Evol, 1987, 157: 49-62.
- [17] Arroyo M T K. Breeding system and pollination biology in leguminosae [C]// Polhill R M, Raven P H. Advance in Legume Systematics. Richmond, Surrey, UK: Royal Botanic Gardens Kew, 1981: 723-769.
- [18] Wagner D. Pollen viability reduction as a potential cost of ant association for *Acacia constricta* (Fabaceae) [J]. Amer J Bot, 2000, 87(5): 711-715.
- [19] Cruden R W. Pollen grains: Why so many? [J] Plant Syst Evol, 2000, 222: 143-165.
- [20] Knox R B, Kenrick J. Polyad function in relation to the breeding system of *Acacia* [C]// Mulcahy D, Ottaviano E. Pollen Biology. Amsterdam: Elsevier-North Holland, 1983: 411-417.
- [21] Cruden R W. Pollen-ovule ratios: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants [J]. Evolution, 1977, 31: 32-46.
- [22] Bertin R I, Newman C M. Dichogamy and angiosperms [J]. Bot Rev, 1993, 59: 112-152.
- [23] Moran G F, Muona O, Bell J C. Breeding systems and genetic diversity in *Acacia auriculiformis* and *A. crassicaarpa* [J]. Biotropica, 1989, 21: 250-256.

图版说明

Pg: 单花粉 Pollen grain; ov: 胚珠 Ovule; ca: 花冠 Calyx; co: 花萼 Corolla; st: 花柱 Style; an: 花药 Anther.

图版 I

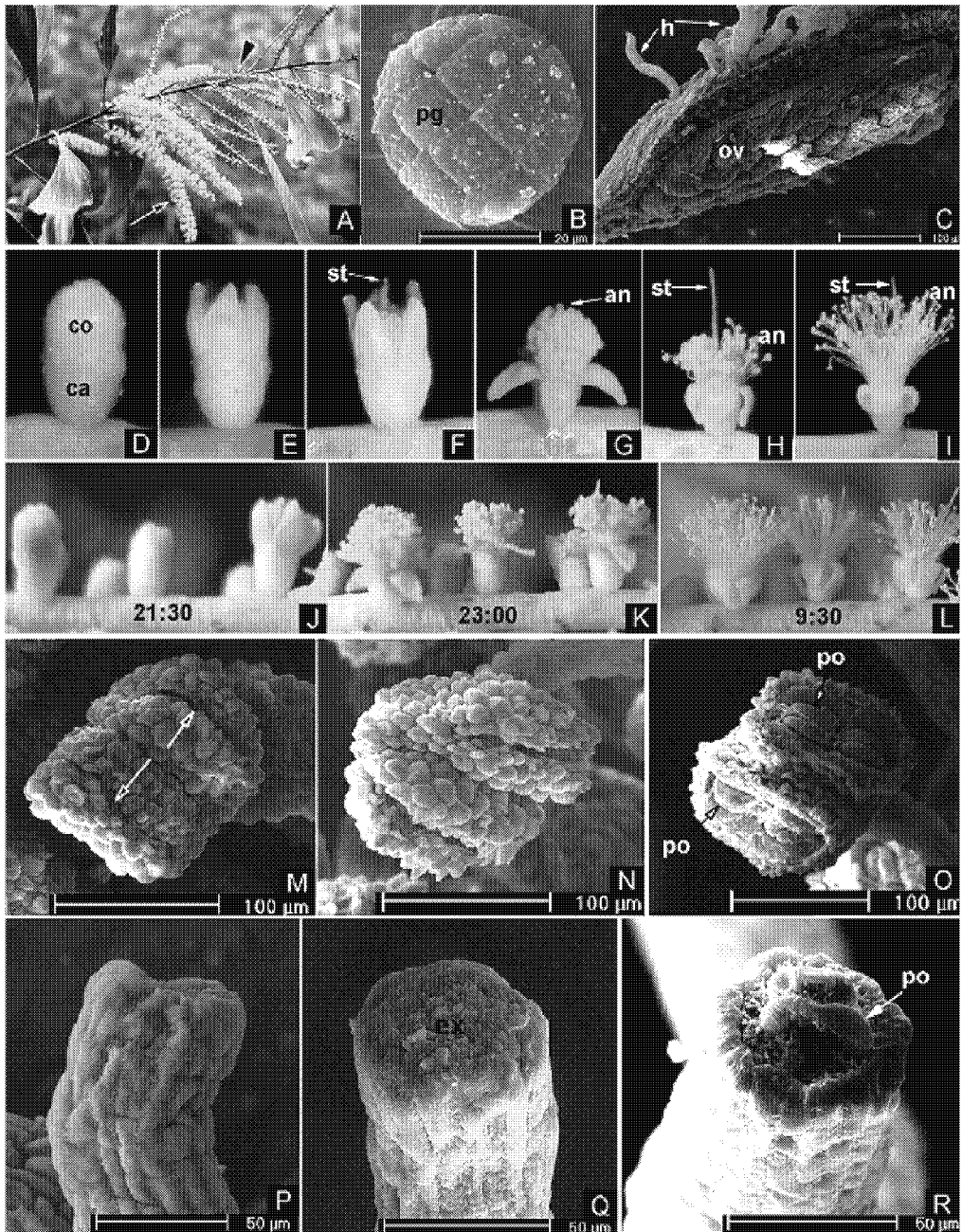
A. 大叶相思花序,下部的正在开花(↑),上部的未发育成熟(箭头); B. 16 合花粉; C. 子房含多数胚珠,密被长绒毛; D~I. 开花的各个阶段。D. 开花阶段 0,示黄色花苞; E. 开花阶段 1; F. 开花阶段 2,示雌蕊先露出花冠; G. 开花阶段 2,示雄蕊先露出花冠; H. 开花阶段 3; I. 开花阶段 4; J~L. 开花过程。J. 21:30 花开放至阶段 2; K. 23:00 花开到阶段 3; L. 9:30 花开放完全; M~O. SEM 下处于开花阶段 1~4 的花药开裂。M. 阶段 2 的花药,出现开裂缝(箭头); N. 阶段 3 的花药,开裂口已经很明显; O. 阶段 4 的花药,花药完全开裂并暴露出花粉; P~R. SEM 下的大叶相思柱头。P. 阶段 0 的雌蕊,示柱头凹陷; Q. 开花第 1 天的柱头,示柱头分泌物; R. 开花 3 d 的柱头,开始凋零,分解为中空。

Explanation of plate

Plate I

A. Spike inflorescences of *A. auriculiformis*, showing blooming (arrow) and immature (arrowhead) spikes; B. Polyad contained of 16 pollen grains (pg); C. Ovary with more ovules (ov) and hairy (h); D~I. Flowers at different stages. D. Yellow flower bud at stage 0; E. Flower at stage 1; F. Flower at stage 2, showing stigma stuck out firstly; G. Flower at stage 2, showing stamen stuck firstly; H. Flower at stage 3; I. Flower completely opened at stage 4; J~L. Anthesis processes. J.

Flower buds at 21:30; K. Flowers at 23:00; L. Flower fully blooming at 9:30 in the second day; M~O. Anther dehisce at Stage 1~4 under SEM. M. The mature anther excised from the flower at stage 2, showing two lobes, cone-shaped epidermal cell (ep) and the dehiscent line (arrows); N. Anther partly opened along the dehiscent line of anther at stage 3; O. Completely opened anther at stage 4, exposing the polyads (arrow); P~R. The stigma of *A. auriculiformis* under SEM. P. Style at stage 0, showing the cup-like stigma; Q. Showing exudates (ex) in the first day after anthesis; R. Stigma at 3 days after anthesis, showing collapsing stigmatic around the polyad (arrows).



李军等: 图版 I

LI Jun, et al.: Plate I