

DOI: 10.11929/j.swfu.201808006

引文格式: 黄猛, 丁国昌, 赵苗菲, 等. 台湾相思开花结实生物学特性研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2019, 39(1): 80-87.

## 台湾相思开花结实生物学特性研究

黄 猛 丁国昌 赵苗菲 阮少宁 李树斌 黄玉梅

(福建农林大学林学院, 艺术园林学院(合署), 福建福州 350002)

**摘要:** 通过实地观测, 于2017—2018年连续2年对20~23年生台湾相思的开花结实性状进行调查, 研究其生物学特性, 掌握其生殖特性。结果表明: 台湾相思的花蕾形成时间约在3月下旬末期, 4月中旬中后期进入初花阶段; 4月下旬末期达到盛花高峰期, 5月下旬群体开花结束, 整个花期持续时间约40 d。群体开花结束后, 进入为期约40 d的零星小花期; 幼果于4月下旬中后期初现, 7月下旬果实全熟, 整个果实生长期约90 d; 花序一般在夜间开放, 开花时雌蕊先于雄蕊伸展并成熟, 为雌蕊先熟。开花当天14:00—16:00的柱头具有较高的活性, 建议采用该时间段进行授粉; 开花当天的花粉活力高达97.64%, 花药在晴天时的散粉量明显高于其他天气, 散粉高峰期后仍以较高水平(80%以上)持续, 建议授粉时在晴天收集当天的花粉; 台湾相思的自然花序结荚率较低, 连续2年的自然结荚率皆不足25%, 荚果含种量以6粒为主, 7~8粒次之, 稀2~3粒; 瘪种数目随荚果含种量的增加而增加。

**关键词:** 台湾相思; 开花; 结实; 柱头; 花粉活力; 结荚率

中图分类号: S792.99.01

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2019)01-0080-08

## The Biological Characteristics of Flowering and Fruiting in *Acacia confusa*

Huang Meng, Ding Guochang, Zhao Miaofei, Ruan Shaoning, Li Shubin, Huang Yumei

(College of Forestry, College of Arts and Landscape Architecture,  
Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002, China)

**Abstract:** The flowering and fruiting conditions of 20–23 a *Acacia confusa* were investigated in 2017–2018 for consecutive 2 years by field observation. The biological and reproductive characteristics were studied. The results show that: The flower bud of *A. confusa* formed in late March, the middle and late period of mid-April came into the first flower stage, and the peak period was reached in the end of April. The flowering period of the colony was over in late May, the duration of the whole flowering period was about 40 d. After the end of colony flowering, the floret period entered into a sporadic floret period of about 40 d. The young fruit appeared early in late April. In late July, the fruit was ripe and the whole fruit growth period was about 90 d. Inflorescence usually opens at night. When pistil begins to expand and mature before stamen, pistil is pre-matured. The stigma of flowering is highly active at 14:00 to 16:00 on the day. It is recommended that pollination be done in this time period. The pollen viability of flowering on the day was as high as 97.64%, the amount of pollen dispersed in sunny days was significantly higher than that in other weather, and it continued at a high level (above 80%) after the peak. There-

收稿日期: 2018-08-05; 修回日期: 2018-08-21

基金项目: 福建省科技重大专项项目(2018NZ0001-1)资助; 福建省种苗科技攻关(5)期资助。

第1作者: 黄猛(1990—), 男, 硕士研究生。研究方向: 森林培育理论与技术。Email: [fjnl333@163.com](mailto:fjnl333@163.com)。

通信作者: 丁国昌(1970—), 男, 博士, 副教授。研究方向: 森林培育与理论与技术。Email: [fjdc@fafu.edu.cn](mailto:fjdc@fafu.edu.cn)。

fore, it is recommended to collect pollen on a sunny day during pollination. The natural pod rate of *A. confusa* is relatively low, and the natural pods rate for 2 consecutive years is less than 25%. The seed quantity of pod is mainly 6 grains, followed by 7–8 grains, and rarely 2–3 grains; The number of shrivelled seeds increased with the number of seeds contained in the pod.

**Key words:** *Acacia confusa*; flowering; fruiting; stigma; pollen viability; pod rate

台湾相思 (*Acacia confusa*) 系含羞草科金合欢属常绿乔木, 是我国台湾特有树种。在我国福建、广东、海南、广西等省区的热带和亚热带地区广泛分布, 对土壤要求不严, 适应性强, 极耐旱瘠土壤、亦耐短期水淹, 在土壤冲刷严重的酸性粗骨土、砂质土均能生长, 其生长量、制浆性能和纤维质量表现出较高的优异性<sup>[1-6]</sup>。同时, 在我国华南地区荒山造林、水土保持、火烧迹地恢复以及沿海防护等方面发挥着重要的作用<sup>[7-10]</sup>。

台湾相思树冠苍翠绿荫, 耐修剪易维护, 树冠婆婆多姿, 盛花期一片金黄, 给人以赏心悦目之感, 是很好的园林绿化观赏树种。目前国内有关该树种的研究, 多集中在树种适应性、育种造林、混交改良、生态学特性、优树选择等方面<sup>[11-17]</sup>。然而, 针对台湾相思开花结实等方面研究缺乏, 目前尚未见到与之相关的文献报道。本研究通过对台湾相思开花结实生物学特性方面的研究, 目的在于掌握其生殖特性, 以期为相思类树种的遗传改良、新品种选育提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

研究地位于福建农林大学金山水土保持科教园内, 该园占地面积 34 hm<sup>2</sup>, 为低海拔山地, 属典型的亚热带季风气候, 全年温暖湿润, 四季常青, 阳光充足, 雨量充沛; 年均日照数 1 700 ~ 1 980 h, 年均降水量 900 ~ 2 100 mm, 年均相对湿度 77%; 年极端最高气温 42.3 °C, 极端最低气温 -2.5 °C; 年均气温 20 ~ 25 °C, 最冷月 1—2 月, 平均气温达 6 ~ 10 °C。最热月 7—8 月, 平均气温达 33 ~ 37 °C, 此时常以晴热高温天气为主, 是出现局地热雷雨天气、热带风暴、台风活动最为集中的时期; 主导风向为东北风, 夏季以偏南风为主。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 观测目标选定

选定造林时间 20 ~ 23 a 的台湾相思为观测对象, 树体要求发育正常、生长健壮、无病虫害、

人为影响小、个体大小基本一致等。

#### 1.2.2 开花结实物候观察

实验调查分别于 2017、2018 年的 3—7 月进行, 从花蕾初现至果实成熟期间实地观察记录台湾相思的开花结实状况。实验采取定株观察, 即在相同坡面选取 30 株进行编号标记, 作为观测对象。

观测项目及标准: 花期参照 Dafni<sup>[18]</sup> 的方法, 显蕾期 (叶腋内开始出现花蕾或花序), 初花期 (5% 的植株开花), 盛花期 (50% 以上的植株开花), 末花期 (95% 的植株开花结束)。初果期 (观测树上有果荚出现), 果初熟期 (植株上有少数果荚成熟变色), 果全熟期 (50% 以上植株果荚变成成熟颜色)。一般 1 ~ 2 d 观察 1 次, 但遇特殊天气 (高温、干旱、暴雨、台风等) 随时观察。

#### 1.2.3 花序物候及动态观察

从已编号的样株中选择 5 株, 再从每株选取 5 个具有代表性的蕾状花序挂牌标记, 连续观察记录花枝上的花序开放顺序、开花动态、持续时间以及柱头伸长、萎蔫和持续时间。每天观察 3 次, 直至花序脱落或结实。

#### 1.2.4 不同时间及天气状况下雄蕊散粉概况

盛花时期选择 5 株台湾相思, 于当日 18: 00, 每株上随机标记 40 个蕾期膨大的花序, 次日于 6: 00—18: 00 每隔 1 h 随机采取 2 个盛开花序, 将花序样本在透明胶带粘性面轻轻滚动一周, 从而可以粘得花药和花粉。以此方法在不同的天气 (晴天、阴天、雨天) 情况下取样。若花药开裂, 就会有花粉粘在胶带上。若花药未开裂, 则反之。采样之后, 将每一时间段的样本置于生物显微镜下观察。每一样本取 3 个视野, 统计花粉数目和花药数目。根据花粉和花药的比值大小来确定雄蕊在不同时间及天气状况下的散粉情况。

#### 1.2.5 花粉活力及柱头可授性

花粉活力测定。1) I<sub>2</sub>-KI 染色法<sup>[19]</sup>。将 2 g KI 溶于 10 mL 蒸馏水中, 加入 1 g I<sub>2</sub> 待其全部溶解后, 加蒸馏水至 300 mL, 配好试剂后, 贮于棕色瓶中备用。取收集好待用的台湾相思花粉置于

凹形载玻片上,滴加1~2滴配好的I<sub>2</sub>-KI溶液,5 min后,在显微镜下观察统计。每个载玻片分别取3个视野,被染成蓝紫色的为活力较强的花粉,呈褐色及无色为发育不良或无活力花粉。2) 过氧化物酶染色法<sup>[20]</sup>。取0.5 g 联苯胺溶于100 mL 50%乙醇中,配成0.5%联苯胺溶液;取0.5 g α-萘酚溶于100 mL 50%乙醇中,配成0.5% α-萘酚溶液;取0.25 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶于100 mL蒸馏水中,配0.25% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液;将上述溶液各取10 mL混合移入棕色试剂瓶中。用毛笔蘸取适量花粉弹入凹形载玻片上,将配好的混合试剂和0.3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>各1滴,放入30℃恒温箱20~30 min,在显微镜下观察统计。每个载玻片分别取3个视野,花粉为红色表示有活力,无色则表示已失去活力。

采用联苯胺-过氧化氢法测定柱头活力<sup>[18]</sup>。采集开花前1 d至开花后第10天的花朵,将采集后的柱头置于凹形载玻片上,滴入含联苯胺-过氧化氢反应液(V(1%联苯胺):V(3%过氧化氢):V(蒸馏水)=4:11:22),在显微镜下观察。若柱头周围溶液变蓝并有大量气泡产生,则柱头有较强可授性,若只有少量气泡产生,则柱头的可授性较低,若无气泡产生则无可授性。

### 1.2.6 自然结荚率及含种量

统计自然条件下的坐果情况,于开花时期选择5单株,并于每株不同方位标记4个生殖枝,观察统计每一生殖枝的花序数目,以及荚果成熟

后统计每一生殖枝的荚果数目(每一花序结1个荚果或多个荚果均视为花序结荚)。

$$\text{自然结荚率} = \frac{\text{结荚花序数量}}{\text{花序总数}} \times 100\% \quad (1)$$

于2018年7月下旬荚果成熟时,随机选择20单株,再从每单株采集20个成熟未开裂的荚果,剥皮统计每荚果的种子数目和瘪种数目。

### 1.3 数据分析

数据整理分析采用Microsoft Excel 2016及Origin Pro 2016软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 开花结实物候观察

于2017—2018年对校区台湾相思作了开花结实物候观察(表1)。结果表明,连续2年的物候期观察结果基本吻合。台湾相思的花期较长,花蕾形成时间约在3月下旬末期,4月中旬中后期进入初花阶段,从花蕾初现至初花约20 d;4月下旬末期达到盛花高峰期,初花至盛花约10 d;5月下旬群体开花结束,整个花期持续时间约40 d;群体开花结束后,进入为期约40 d的零星小花期。4月下旬中后期有嫩红色幼果初现,5月上旬中期左右达到盛果高峰;7月上旬中后期已有荚果出现褐色,此时进入果初熟期;7月下旬果实全熟,大量深褐色荚果开裂,整个果实生长期约90 d。

表1 台湾相思开花结实物候观察

Table 1 Observation on the flowering and fruiting phenology of *A. confusa*

年份	初蕾期	初花期	盛花期	末花期	花期持续时间/d	小花期	花期持续时间/d	初果期	盛果期	果初熟期	果全熟期	果期持续时间/d
2017	03-27	04-15	04-27	05-22	38	05-28—07-04	38	04-23	05-05	07-06	07-21	90
2018	03-29	04-18	04-29	05-26	39	05-31—07-09	41	04-27	05-07	07-09	07-24	89

### 2.2 花序物候及动态观察

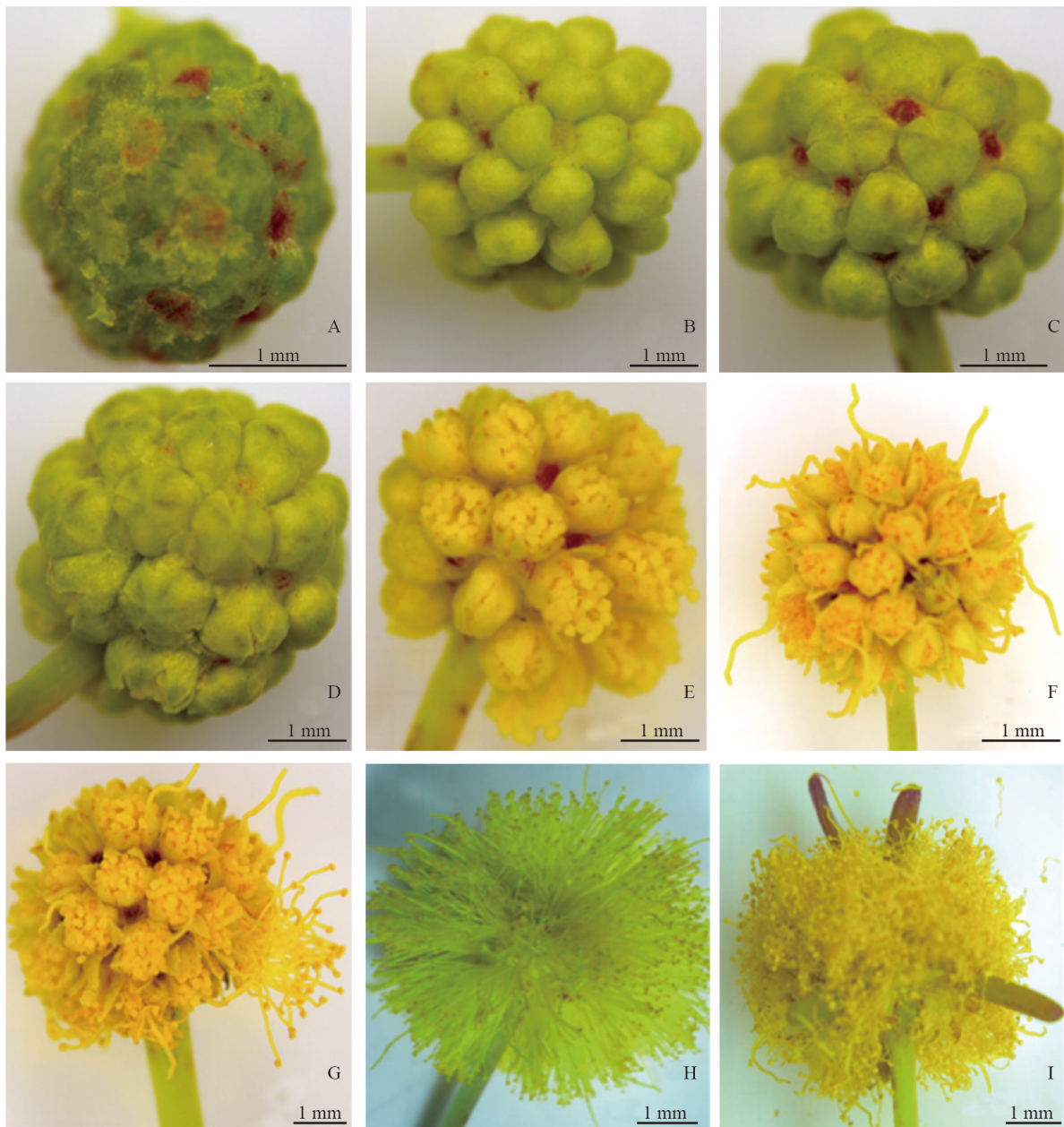
花芽分化是植物营养生长进入生殖生长的重要转折标志,也是植物生育生产的关键时刻。植物体经过营养生长阶段后,在其内部发育信号和外界因素的共同作用下,启动花芽分化的编程,开始分化花芽。台湾相思花芽分化前期,从外形上尚分辨不出叶芽或花芽,随后生长点细胞分裂较快,逐渐形成小的突起圆点——花序雏形基本形成(图1a)。花序为头状球形,从花序初现至开花需要25 d左右。花序一般在夜间开放,绝大多数花序中的花蕾发育具有较强的同步性(图1b),一般情况下从花蕾变黄膨大至花序完

全开放则需1夜,单花需要4~5 h即可开放。

花序开花时,花冠颜色渐变为黄色并开始出现裂纹,随后逐渐裂为5瓣,呈锯齿状展开(图1c-e)。花冠开裂后雌蕊中的柱头首先伸出花冠之外,伸出的花柱长达1~5 mm,该时期一般发生在夜间(图1f)。柱头是第1个伸出花冠的器官,使雌蕊先熟成为可能。随着花冠的展开和雌蕊的伸出,雄蕊也开始随之伸展。雄蕊从原始簇状弯曲中缓缓分散直立,此过程一般持续至次日清晨8:00。此时,每一单花雄蕊呈伞状展开,雄蕊低于雌蕊或略平齐,所有展开单花便围合成一个头状球形花序(图1g-h)。盛开的花序一般宿留花

枝 8~10 d, 若遇高温、暴雨、台风等特殊天气, 持续 3~5 d 便可凋落, 花序凋落时连同其基部着生的总花梗一起脱落。观察中发现, 花序在开花

3~4 d 后花丝开始萎蔫, 柱头萎蔫时间相对花丝要迟 1~2 d, 8~10 d 花序中初现嫩红色幼果 (图 1i)。



a. 花序雏形基本形成, 但尚未分化出花蕾; b. 发育中的花蕾, 具有同步性; c. 花冠开始出现裂纹; d-e. 花冠始裂, 逐渐裂为 5 瓣; f. 雌蕊首先伸出花冠之外, 伸出花柱 1~5 mm; g. 部分雄蕊伞状伸展, 直至单花完全开放; h. 由几十朵小花围合而成头状花序, 雄蕊低于雌蕊或略平齐; i. 花序开放 8 d 后, 嫩红色幼果初现。

图 1 台湾相思花序水平物候及动态观察

Fig. 1 Horizontal phenology and flowering dynamics of *A. confusa* inflorescences

### 2.3 不同时间及天气条件下雄蕊散粉情况

采用 Stone 等<sup>[21]</sup>研究方法, 通过透明胶带粘取花药和花粉检测台湾相思的散粉情况。从图 2 可知, 早晨 6:00 已有花药开裂散粉, 之后

在 9:00—12:00 大量散粉, 其中 11:00 散粉量达到高峰; 晴天和阴天具有较高的散粉量, 散粉高峰期后仍以较高水平持续。雨天有较少的散粉量, 但散粉仍持续到 18:00 之后。通过不同天气

同一时间散粉量的对比发现,雨天散粉量远低于其他天气,从而不难推测是由于降雨过程中携带了大量花粉,导致最终所收集到花粉量偏少。

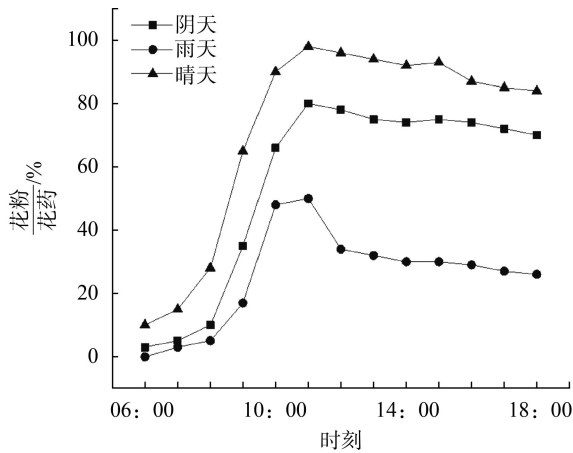


图2 不同时间及天气条件下雄蕊散粉概况

Fig. 2 The general situation of stamen powder in different time and weather conditions

## 2.4 花粉活力及柱头可授性

花粉活力和柱头可授性直接影响着植物受精成功与否,同时也对受精效率、种子发育以及品质等起到关键作用,选择花粉和柱头最佳活性时期进行授粉,可大大提高结实率。在采用2种方法检测当天收集的台湾相思花粉活力中, $I_2$ -KI法检测出开花当天的花粉活力97.64%,过氧化物酶法检测出开花当天的花粉活力96.95%,2种检测结果均显示花粉活力较强。台湾相思连续4d不同时间段柱头可授性的变化情况见表2。由表2可知,从柱头可授性强弱的变化时间来看,开花当天8:00柱头已具可授性,此后2~4h柱头可授性逐渐增强,14:00柱头可授性达到最佳;开花后第3天12:00柱头仍具有较强的可授性,随后逐渐降低;直至4d后12:00柱头已不具备可授性。

表2 台湾相思柱头可授性检测结果

Table 2 The results of the receptivity test of *A. confusa* stigma

染色时间	染色程度					
	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
开花当天	+	++	++	+++	+++	+++
开花2d	+++	+++	++	++	++	++
开花3d	++	++	++	+	+	+/-
开花4d	+/-	+/-	-	-	-	-

注:+++表示柱头可授性极强;++表示柱头可授性较强;+表示柱头有可授性;+/-表示柱头部分具可授性,部分不具可授性;-表示柱头无可授性。

## 2.5 自然结实率及含种量

由表3可知,从连续2年的统计数据来看,台湾相思的自然结实率较低,2017年的自然花序结实率为24.83%,2018年的自然花序结实率为23.46%。除此之外,同时也对2018年648个自然花序的单花序结实量进行了统计,其中112个自然花序结1个荚果,20个自然花序结2个荚果,16个自然花序结3个荚果,4个自然花序结4个荚果,其余496个自然花序脱落或无结实现象。由此可见花序的结实率极低,单花结实率更是微乎其微。

表3 2017和2018年台湾相思自然花序结实率

Table 3 Podding rate of natural inflorescence of *A. confusa* in 2017 and 2018

统计年份	花序总数	结实花序数	花序结实率/%
2017	576	143	24.83
2018	648	152	23.46

对20株台湾相思的400个成熟果荚含种量进行了统计分析(图3)。平均每果荚含6.65粒种子,最高含种量10,最低含种量2,变异范围2~10。其中含正常种子数约1.83粒,变异范围0~7,含干瘪种子数约4.82粒,变异范围0~10;从果荚内所含种子数目的频率来看,含5~8粒种子的相对频率较高,其中含6粒种子的频率最高(24.39%)。含2~3及10粒种子的频率较低,其中含2粒的频率不足1.2%。瘪种数目与果荚所含种子数目存在一定的相关性,瘪种数目随果荚所含种子数目的增加而增加。

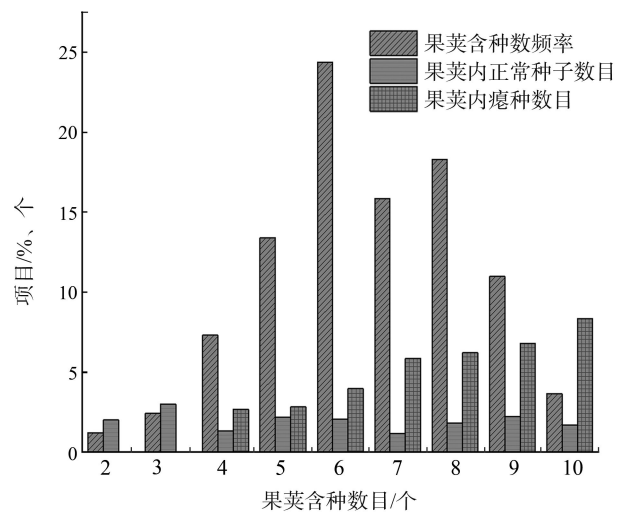


图3 台湾相思成熟果荚含种数及相对频率

Fig. 3 The seeds number and relative frequency of mature fruit pods in *A. confusa*

### 3 结论与讨论

台湾相思原产我国宝岛台湾, 遍布全岛平原、丘陵低山地区。该树种具有较强的适应性, 生长速度极快。在我国广东、福建、海南、广西等省区的热带和亚热带地区均有栽培。其水平分布, 在北纬 25°~26°以南的低纬度亚热带附近生长正常。福建省地处我国东南沿海, 与台湾一衣带水, 该省诸多地区与台湾所处纬度相同, 气候类型也基本相同。目前, 台湾相思已完全融于该省当地环境, 且长势喜人, 广泛用于水土保持、残次林改造、土性改良以及沿海防护。然而, 在本研究中发现, 台湾相思在自然状态下开花正常但结实率低, 连续 2 年的自然花序结实率不足 25%, 单花序结荚量也较低, 瘪种数目较高。但检测出的花粉活力及柱头可授性较高, 足以说明有足够的能力完成受精使命。通过在不同天气状况下取样发现 (图 2), 雨天收集到的散粉量偏低。有研究表明花药开裂是一个复杂的过程, 需要不同的调控机制<sup>[22-23]</sup>。植物开花后需要一定的条件保证花药正常开裂和散粉, 温度对花药的开裂影响较大, 高温促进花药组织脱水, 从而导致开裂、散粉<sup>[24]</sup>。Corbet 等<sup>[25]</sup>认为微环境对散粉影响较大, 尤其是相对湿度。在非洲有数种相思开花, 但却在不同的湿度下散粉, 同一天内表现出散粉时间上的错位<sup>[26]</sup>。而本研究发现湿度和温度对台湾相思的散粉存在一定的影响。清晨, 空气的湿度较高, 不利于花药开裂。随着太阳的升起, 温度上升, 湿度逐渐变小, 花药很快开裂。如图 2 所示, 花药在 8:00 以后大量开裂, 散粉量急剧上升, 11:00 散粉量达到高值。因此, 在晴朗无风天气收集花粉无疑是最好的选择, 适宜时间在 9:00—12:00。收集时用毛笔轻轻拨动花序, 大量花粉即会落在收集物上。

自然坐果率低, 是相思类树种普遍存在的现象<sup>[27]</sup>。相关研究表明, 阿拉伯金合欢 (*Acacia nilotica*) 的自然授粉率仅在 36%<sup>[28]</sup>; 阿拉伯胶树 (*Acacia senegal*) 自然授粉率不足 40%<sup>[29]</sup>; 黑荆 (*Acacia mearnsii*) 在自然授粉条件下, 仅 0.33% 雌花结果<sup>[30]</sup>; 马大杂种自然授粉结荚率低于 20%<sup>[31]</sup>; 引种马占相思 (*Acacia mangium*) 自然结荚率不足 1.3%<sup>[27, 32]</sup>。通过结合当地的气候概况并加以分析可知, 在 2017—2018 年开花初期至末期间, 在 4—5 月份有频繁的降雨现象, 降雨过程中导致大量的花序脱落, 以及携带大量的花粉, 从而导致

结实率偏低, 这亦是雨天收集到花粉量偏低的又一原因。究其原因, 詹妮等<sup>[33]</sup>认为自交不亲和性是导致马占相思结荚率低下下的决定性因素。Carr 等<sup>[34]</sup>表明低温是影响无脉相思开花和结果的主要原因。Beck-Pay<sup>[35]</sup>研究表明低温和相对湿度对黑荆的花粉活力以及花粉管萌发具有一定的影响。而至于台湾相思结实率偏低的综合原因, 还待进一步研究。

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着重要意义<sup>[36]</sup>。Knuth<sup>[37]</sup>首次提出了雌雄异熟现象。风媒传粉的植物大多存在雌蕊先熟现象<sup>[38]</sup>。Bertin 等<sup>[39]</sup>调查发现, 88.5% 的风媒植物是雌蕊先熟, 而其他方式传粉的植物仅有 34.8% 雌蕊先熟。金合欢属植物中大多数存在雌蕊先熟现象<sup>[31]</sup>。Kenrick 等<sup>[40]</sup>认为在雌蕊先熟的相思树种中, 花柱弯曲于未开花的花蕾内, 雌蕊受到花冠包裹的阻力, 一旦突破花冠, 很容易成为第一个露出者, 使得雌蕊先熟成为可能。树胶相思 (*Acacia retinodes*) 表现出明显的雌蕊先熟性, 柱头在花药开裂前 1 d 即具有可授性<sup>[41]</sup>。Sedgley 等<sup>[42]</sup>认为鼠刺相思 (*Acacia iteaphylla*)、大叶相思 (*Acacia acuriculaeformis*)、马占相思为雌蕊先熟, 柱头在花药开裂前可授。继后的国内李军等<sup>[36]</sup>和黄烈健等<sup>[43]</sup>也认为大叶相思及马占相思为雌蕊先熟。本研究发现, 台湾相思在开花期间几乎无虫媒访花现象, 自然花序套袋结荚率和结荚量低, 因此不难发现为风媒传粉。再者, 开花时雌蕊率先突破花冠露出, 从而可知台湾相思为雌蕊先熟。

本研究对台湾相思开花物候、自然结实率、花药散粉概况、花粉活力及柱头可授性进行了研究。以至于其繁育系统类型, 自然授粉传播途径的主要障碍, 提高自然结实的关键技术和手段, 自然结实率与开花时间、花期长度、开花始期、开花末期等的相关关系, 有待进一步深入研究分析。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王金祥, 万小荣, 李玲, 等. 台湾相思的组织培养 [J]. 华南师范大学学报 (自然科学版), 2001(3): 45-48, 54.
- [2] 张炜银, 王伯荪, 李鸣光, 等. 台湾相思林和芒草草丛中薇甘菊枝构件的分枝格局及其生物量 [J]. 植物生

- 态学报, 2002, 26(3): 346-350.
- [3] 彭剑华, 詹潮安, 肖泽鑫, 等. 汕头地区台湾相思人工次生林下木本植物的物种多样性分布研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(3): 87-93.
- [4] 陈志斌. 台湾相思次生林胸径与竞争指数关系 [J]. 绿色科技, 2018(9): 121-122.
- [5] 曾少玲, 陈斌, 罗建华, 等. 9个耐旱树种在沿海困难立地的生长表现 [J]. 热带林业, 2017, 45(2): 19-21, 18.
- [6] 陈志锋, 陈统泉, 黄伟毅. 台湾相思水源涵养林土壤物理性质研究 [J]. 安徽农学通报, 2016, 22(14): 122-123.
- [7] Chou C H, Fu C Y, Li S Y, et al. Allelopathic potential of *Acacia confusa* and related species in Taiwan [J]. Journal of Chemical Ecology, 1998, 24(12): 2131-2150.
- [8] Chang S T, Wu J H, Wang S Y, et al. Antioxidant activity of extracts from *Acacia confusa* bark and heartwood [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(7): 3420-3424.
- [9] Wu J H, Tung Y T, Wang S Y, et al. Phenolic antioxidants from the heartwood of *Acacia confusa* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(15): 5917-5921.
- [10] 黄伟毅, 陈统泉, 陈志锋. 火烧迹地木荷、台湾相思、香樟3种树种造林效果初步研究 [J]. 绿色科技, 2016(15): 36-37.
- [11] 张成典. 闽南沿海山地相思树造林试验初报 [J]. 防护林科技, 2015(10): 12-14, 43.
- [12] 林锦森, 陈真泉. 台湾相思树特征特性及育苗造林技术 [J]. 现代农业科技, 2010(23): 211, 216.
- [13] 姚晓彬. 木麻黄台湾相思混交造林技术研究 [J]. 安徽农学通报, 2013, 19(11): 91-92, 105.
- [14] 谢鹏虎. 马尾松台湾相思混交造林技术研究 [J]. 绿色科技, 2013(3): 32-35.
- [15] 余友坤. 台湾相思生态学特性及其在黄歧半岛的应用 [J]. 亚热带水土保持, 2008(3): 59-60, 63.
- [16] 肖泽鑫, 彭剑华, 詹潮安, 等. 主成分分析在台湾相思优树选择标准和方法中的应用研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(5): 54-58.
- [17] 肖泽鑫, 柳泽鑫, 邹桂逢, 等. 广东省台湾相思优树选择技术分析 [J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(5): 22-27.
- [18] Dafni A. Pollination ecology: a practical approach [M]. New York: Oxford University Press, 1992: 1-57.
- [19] 高兴颖, 崔世茂, 付崇毅, 等. 温室栽培砂糖橘花粉活力测定方法比较研究 [J]. 北方园艺, 2014(3): 39-41.
- [20] 詹妮, 黄烈健. 厚荚相思花粉活力测定及贮藏研究 [J]. 种子, 2015, 34(11): 1-4.
- [21] Stone G N, Willmer P, Nee S. Daily Partitioning of pollinators in an African Acacia Community [J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 1996, 263(1375): 1389-1393.
- [22] Matsui T, Omasa K, Horie T. Mechanism of anther dehiscence in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Annals of Botany, 1999, 84(4): 501-506.
- [23] Iwano M, Entani T, Shiba H, et al. Calcium crystals in the anther of petunia: the existence and biological significance in the pollination process [J]. Plant and Cell Physiology, 2004, 45(1): 40-47.
- [24] 华水金, 孟华兵, 王学德, 等. 植物花药开裂的细胞学和分子生物学机制 [J]. 细胞生物学杂志, 2007, 29(3): 389-393.
- [25] Corbet S A, Chapman H, Saville N. Vibratory pollen collection and flower form: bumble bees on *Actinidia*, *Symphytum*, *Borago* and *Polygonatum* [J]. Functional Ecology, 1988, 2: 147-155.
- [26] Stone G N, Raine N E, Prescott M, et al. Pollination ecology of *Acacia* (Fabaceae, Mimosoideae) [J]. Australian Systematic Botany, 2003, 16: 103-118.
- [27] 李军. 马占相思和大叶相思的传粉生物学 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- [28] Tybirk K. Flowering, pollination and seed production of *Acacia nilotica* [J]. Nordic Journal of Botany, 1989, 9: 375-381.
- [29] Tandon R, Shivanna K R, Ram H Y M. Pollination biology and breeding system of *Acacia senegal* [J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2001, 135(3): 251-262.
- [30] Moncur M W, Moran G F, Grant J E. Factors limiting seed production in *Acacia mearnsii* [J]. Advances in tropical acacia research, 1991, 35: 64-66.
- [31] Sornsathapornkul P, Owens J N. Pollination biology in a tropical acacia hybrid (*A. mangium* Willd × *A. auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.) [J]. Annals of Botany, 1998, 81(5): 631-645.
- [32] 曹艳云. 马占与大叶相思人工授粉技术研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.
- [33] 詹妮, 黄烈健, 李军. 马占相思种子园结实率低的原因探析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(9): 46-52.
- [34] Carr D J, Burden J J. Temperature and leaf shape in seedlings of *Acacia aneura* [J]. Biochemie und Physiologie der Pflanzen, 1975, 168: 307-318.

- [35] Beck-Pay S L. The effect of temperature and relative humidity on *Acacia mearnsii* polyad viability and pollen tube development [J]. South African Journal of Botany, 2012, 83(83): 165–171.
- [36] 李军, 黄烈健, 陈祖旭, 等. 大叶相思花部形态与开花生物学研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(4): 379–385.
- [37] Knuth P. Handbook of flower pollination: English translation: 3 volumes [M]. Oxford: Clarendon Press, 1906.
- [38] Cruden R W. Temporal dioecism: Systematic breadth, associated traits and temporal patterns [J]. Botanical Gazette, 1988, 149: 1–15.
- [39] Bertin R I, Newman C M. Dichogamy in Angiosperms [J]. The Botanical Review, 1993, 59: 112–152.
- [40] Kenrick J, Knox R B. Structure and histochemistry of the stigma and style of some Australian species of *Acacia* [J]. Australian Journal of Botany, 1981, 29: 733–745.
- [41] Bernhardt P, Kenrick J, Knox R B. Pollination biology and the breeding system of *Acacia retinodes* [J]. Annals of the Missouri Botanical Garden, 1984, 71: 17–29.
- [42] Sedgley M, Harbard J, Smith R M, et al. Reproductive biology and interspecific hybridization of *Acacia mangium* and *A. auriculiformis* A.Cunn.ex Benth [J]. Australian Journal of Botany, 1992, 40: 37–48.
- [43] 黄烈健, 詹妮, 李军. 马占相思开花生物学特征研究 [J]. 林业科学研究, 2014, 27(1): 45–52.

(责任编辑 张 坤)

