

# 小桐子开花生物学习性

杨清<sup>1,2</sup>, 彭代平<sup>1</sup>, 段柱标<sup>1</sup>, 王正良<sup>1</sup>, 孙启祥<sup>3</sup>, 彭镇华<sup>3</sup>

(1 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303

2 中国林业科学研究院国际竹藤网络中心研究生院, 北京 100091;

3 中国林业科学研究院林业科学研究所国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

**摘要:** 选择云南南部 4 个试验点, 对不同光照及不同空间小桐子的开花习性、花序数量、雌雄比例与结实率进行观察。结果表明: 小桐子在云南南部地区的单花花期 2-3 d, 一个花序花期 10-25 d, 一个居群的花期可长达半年。一般雄花比雌花晚开放 2-3 d, 但在同一个花序盛花时, 雌花和雄花同时开放, 不存在雄花与雌花花期不遇的情况, 并认为雄花与雌花的空间隔离, 加上传粉昆虫 (蜂类、蝶类、蝇类) 活动范围与活动频率较大, 才是促进小桐子异交授粉的主要因素。在不同地域、不同光照条件及不同空间的花序数量、雌雄比例、结实率都存在明显的差异, 说明小桐子是一种极向阳的植物, 栽培时应尽量选择光照充足的土地, 并进行适当修剪, 促进分枝和顶生花序的数量、雌雄比例与结实率, 提高种子产量。

**关键词:** 小桐子; 开花动态; 雌雄比例; 结实率

中图分类号: Q944.41 文献标识码: A 文章编号: 1001-389X (2008) 01-0052-04

## Floral biology of *Jatropha curcas*

YANG Qing<sup>1,2</sup>, PENG Daiping<sup>1</sup>, DUAN Zhubiao<sup>1</sup>, WANG Zhengliang<sup>1</sup>, SUN Qixiang<sup>3</sup>, PENG Zhenhua<sup>3</sup>

(1 Xishuangbanna Tropical Botanic Gardens, CAS, Mengla, Yunnan 666303, China; 2 Graduate School of International

Centre for Bamboo and Rattan, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3 Key Laboratory of Forest

Cultivation, State Forestry Administration, Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract** The floral biology, numbers of inflorescence, ratios of female flower and ratios of seed in different zone, different light supply and different space of *Jatropha curcas* were studied in this paper. The results showed that the individual flower lasted 2-3 d, the inflorescence flowering lasted 10-25 d, and the florescence of a population could be more than six months in the south Yunnan, China. The flower opened at around 8:00 and closed at around 19:00 everyday, and it could re-open on the next morning. The open date of male flowers was generally 2-3 d later than that of female flower. For the whole inflorescence, however, the male and female flower was the same opening in the full bloom, and the reason of cross-pollination were that the male and female flower distributing was different space, the activity space and frequency of visiting insects were very big. The number of inflorescence, ratios of female flower and ratios of seed of *J. curcas* have distinct difference in different zone, different sunlight and different space, it shows that *J. curcas* was turnsole, we should select soil of full sunlight and prune the plants properly when we cultivated it for accelerate divaricator, the number of top inflorescence of stem or branch, ratios of female flower and ratios of seed to improve the seed yield.

**Key words** *Jatropha curcas*; flowering phonology; ratios of female flower; ratios of seed

小桐子 (*Jatropha curcas* L.) 又名膏桐、麻疯树、黑皂树、木花生、油芦子、老胖果等, 属大戟科 (Euphorbiaceae) 麻疯树属 (*Jatropha*) 落叶灌木或小乔木, 原产热带美洲, 现在我国云南、海南、广东、广西、四川和贵州有栽培或逸野<sup>[1]</sup>。小桐子种仁含油可达 61.5%, 该种子含有多种活性成分, 具有重要的农药和医药价值, 是一种极具综合开发价值的生物质能材料<sup>[2-9]</sup>。小桐子花为雌雄同株, 主要传粉者为意大利蜂 (*Apis mellifera*)、中华蜜蜂 (*Apis cerana*) 和迁粉蝶 (*Catopsilia pomona*)<sup>[10]</sup>, 可自我授粉。Heller<sup>[11]</sup>在塞内加尔 (西非国家) 观察到同一个花序, 雄花比雌花晚开放, 并认为这种机制促进了异交授粉, 但 Kiefer<sup>[12]</sup>在塞内加尔西部佛得角 (非洲最西端的岬角) 没有观察到这种现象, 认为这种机制有可能受环境的影响。从报道的文献来看, 有关小桐子开花生物学方面的研究报道不多, 且存在很多争议, 研究不

收稿日期: 2007-08-17 修回日期: 2007-10-10

基金项目: 中国科学院方向性科学基金资助项目 (KSCX2-YW-G-027); 中国科学院“西部之光”人才培养基金资助项目。

作者简介: 杨清 (1969-), 男, 重庆忠县人, 副研究员, 博士研究生, 从事林木育种与森林培育研究。通讯作者孙启祥 (1964-), 男, 研究员, 从事林木育种与森林培育研究。E-mail: sunqixiang@263.net

系统。文中对小桐子在不同地域、不同自然条件的开花习性、花序空间分布、雌雄比例、结实率等进行系统研究, 并从开花形式与传粉方式和花部特征与传粉机制进行了探讨, 以期为提高小桐子种子产量和遗传品质, 进一步完善小桐子的开花生物学理论提供依据。

## 1 研究地概况与研究方法

### 1.1 研究地概况

研究地分别设在干热河谷地区的玉溪元江 (420 m)、热带低海拔湿热地区的西双版纳勐仑 (570 m)、热带高海拔湿热地区的西双版纳易武 (1 200 m)、亚热带中海拔湿热地区的思茅南岛河 (1 000 m), 基本情况见表 1。观测不同光照条件下 (全光照、半荫蔽、全隐蔽) 小桐子的开花习性, 其试验样点设在中国科学院西双版纳热带植物

表 1 不同试验地的基本情况  
Table 1 Physical information of the different sites

地点	气候类型	海拔 m	年均温 ℃	年降雨量 mm
玉溪元江	热带干旱气候	400	23.8	790
西双版纳勐仑	热带干湿季气候	570	21.8	1 557
西双版纳易武	亚热带半干季气候	1 320	20.4	1 800
思茅南岛河	亚热带季风气候	1 000	17.8	1 524

园小桐子栽培试验地内。不同空间开花习性 (顶端、腋生、枝干) 的试验观察样株为中国科学院西双版纳热带植物园内约 20 年生的人工栽培后逸野的小桐子。

### 1.2 研究方法

2006 年 3–10 月在各个试验点定位观察开花物候, 同时在盛花期统计花序、雌雄比例、自然结果数量, 计算雌雄比例与结实率。盛花期选择 3 个花序从 7:00 (花未打开) 观察植物一天的开花单花行为, 记录各个开花行为 (开花、花药打开、闭花) 的时间。每个点调查 5 株树, 3 次重复。

## 2 结果与分析

### 2.1 花期物候

小桐子在低海拔湿热地区 (西双版纳勐仑) 3 月中旬开始抽新芽、发新叶, 当新叶出 4–5 片时 (3 月下旬) 开始有花序出序, 并在 1 周后 (4 月初或上旬) 始花, 一直到 11 月下旬陆续都有开花。小桐子物候开花期的主要特点: (1) 从花序出现到开花, 一般 15 d 左右, 到果实成熟一般 100 d 左右 (表 2); (2) 1 a 有 2 次比较集中的盛花期 (4 月中旬和 9 月上旬) 和果实成熟期 (7 月上旬和 11 月上旬), 第 1 次的果实产量明显高于第 2 次; (3) 不同居群之间, 开花期相差 5–20 d, 一个花序的花期 5–8 d; (4) 一般雄花 8:00 花瓣开放, 18:00 花瓣闭合, 到第 2 天又重新开放, 多数雄花 2–3 d 脱落。雌花从开花到花瓣自然闭合 (不授粉) 2–3 d, 若授粉后, 一般 4–5 h 后柱头变色, 花瓣开始闭合。

表 2 小桐子不同自然条件的开花物候期

Table 2 Flowering phenology of *J. caraus* at different site

地点	花序出现	现蕾	始花	盛花	初果	熟果
玉溪元江	4 月 2 日	4 月 5 日	4 月 15 日	5 月 5 日	5 月 10 日	7 月 1 日
西双版纳勐仑	3 月 28 日	4 月 2 日	4 月 12 日	4 月 25 日 9 月 10 日	4 月 30 日 9 月 15 日	7 月 1 日 11 月 10 日
西双版纳易武	4 月 15 日	4 月 20 日	5 月 1 日	5 月 10 日	5 月 15 日	7 月 15 日
思茅南岛河	4 月 16 日	4 月 22 日	5 月 2 日	5 月 10 日	5 月 18 日	7 月 18 日

### 2.2 单花开放习性

小桐子每个花序具花 10–250 朵, 一般 60–90 朵, 花细小, 直径约 0.5 cm, 黄绿色。总花梗长, 无毛或稍被白色短柔毛; 萼瓣均 5 裂, 披针状椭圆形; 雄蕊 8–12 枚, 二轮, 内轮花丝合生; 花盘腺体 5。雌花花梗无节, 花柱合生成柱状, 长 0.1 cm, 其基部周围具散生的蜜腺。在云南南部地区, 小桐子花序开放顺序一般是新叶长出 4–5 片后, 在顶端萌生花序, 从旁边侧生新的枝条或新叶, 再萌生新的花序, 也有的是在叶腋处萌生花序, 其花序开放的顺序与花序萌生的时间基本一致。小桐子雄花开放分为花瓣张开、雄蕊散开、花药开裂和花瓣闭合 4 个阶段, 历时 2 d 左右。雌花开放分为花瓣张开、柱头伸出、柱头授粉和花瓣闭合 4 个阶段, 历时 2–3 d。同一个花序从第 1 朵到最后一朵开放历时 7–15 d, 开放顺序大

致是从边缘到中央。但开花初期雌雄花不同时开放,绝大多数花序是雌花先开,2-3 d后雄花才开放;但也有少部分花序是雄花先开,然后再开雌花;一个花序的盛花期一般出现在第 1 朵花开放后的 3-5 d 盛花期时雌花、雄花几乎都同时开放。小桐子的幼果脱落现象很少。

### 2.3 开花结果习性的地域差异

小桐子在云南南部地区的不同地域下,其开花物候的差异较大(表 2)。开花结果最早的是低海拔湿热地区的勐仑,花序出现在 3 月下旬,比其它 3 个地区要早 5-20 d 现蕾、始花、盛花期、果熟期等提前 10 d 左右。同时,在低海拔湿热地区 1 a 可出现 2 次盛花期和 2 次盛果期。此外,不同地域的花序数、雌雄花比例、自然结果率与结实率的差异也较大(表 3)。从西双版纳易武和思茅南岛河的小桐子开花物候期、开花结果习性来看,存在一定的差异,但不明显,说明两地的开花结果习性基本一致,这与两地的气候条件相似有关。

表 3 不同自然条件下花序数、雌雄比例与结果率<sup>1)</sup>

Table 3 The ratios and amount of male and female flowers and ratios of native fruiting at different site

地点	花序数 (个) 枝长 (100 cm)	雌雄比例 %	自然结果率 %	结实率 %
玉溪元江	3.63±0.783a	6.59±1.46a	65.08±6.982c	73.80±25.542c
西双版纳勐仑	3.58±0.672a	7.25±1.25a	80.83±3.670a	87.67±20.385a
西双版纳易武	2.77±0.689b	5.54±1.31b	69.44±5.326b	84.35±21.176b
思茅南岛河	2.85±0.635b	5.67±1.39b	71.25±4.785b	85.26±19.937b

<sup>1)</sup>平均值 ±标准差, a b c 表示在  $F=0.005$  时的显著性差异。

### 2.4 开花结果习性的空间分布差异

小桐子为单性花,雌雄同株,虫媒,花序一般着生在当年的枝条上。花序的分布在空间上有极显著的差异(表 4),腋生花序占整个花序的 68% 以上,其次是顶端花序。从每个花序的花朵数、雌雄比例、自然结果率与结实率来看,顶端花序和腋生花序虽然有一定差异,但不显著。枝干上花序的花朵数明显少于顶端和腋生,且雌花比例为零。随树龄的增加,花序部位有纵向上移,横向外移的趋势,小桐子花序的这种分布特点,构成了结实功能有别的树冠层次,即以树干为轴心,由里向外划分为非结实区、结实区,并随年龄的增加,结实区逐渐向外扩张,而内膛非结实区不断扩大。

表 4 不同空间分布的花序数、雌雄比例与结果率 (20 年生)<sup>1)</sup>

Table 4 The ratios and amount of male and female flowers and ratios of native fruiting at different space

部位	花序数比例 %	花朵数 /朵	雌雄比例 %	自然结果率 %	结实率 %
顶端	66.67±12.429a	81.39±24.762a	7.13±1.655a	78.35±4.852a	85.05±20.476a
腋生	23.81±4.537b	84.15±22.725a	7.25±1.25a	80.83±3.670a	87.67±20.385a
枝干	9.52±6.342c	13.27±11.316b	0±0b	-	-

<sup>1)</sup>平均值 ±标准差, a b c 表示在  $F=0.005$  时的显著性差异。

### 2.5 开花结果习性的生态差异

小桐子的开花结果习性与生态(光照)条件有明显的相关性(表 5)。全光照下,其花序数与枝长比、雌雄比例、自然结果率与结实率都明显高于半荫蔽、全荫蔽,差异极为显著,说明小桐子是一种极向阳的植物。缺乏光照下,枝条会出现突长、枝条柔软、叶片嫩绿等现象,这些都不利于花芽的分化和形成。同时,也不利于昆虫拜访授粉,必然会导致自然结果率、结实率降低。影响小桐子开花时间、雌雄比例、雄花和雌花开放顺序除了光照因子外,水分和土壤也十分重要。

表 5 不同生态(光照)条件下花序数、雌雄比例与结果率<sup>1)</sup>

Table 5 The ratios and amount of male and female flowers and ratios of native fruiting with different light supply

地点	花序数 (个) 枝长 (100 cm)	雌雄比例 %	自然结果率 %	结实率 %
全光照	3.58±0.672a	7.25±1.25a	80.83±3.670a	87.67±20.385a
半荫蔽	1.17±0.624b	4.17±0.799b	68.67±5.153b	80.33±20.374b
全荫蔽	0.25±0.382c	2.83±0.624c	47.83±4.810c	71.50±16.999c

<sup>1)</sup>平均值 ±标准差, a b c 表示在  $F=0.005$  时的显著性差异。

## 3 结论

### 3.1 开花习性与传粉方式

Heller<sup>[11]</sup>认为, 小桐子同一个花序的雄花比雌花晚开放, 这种机制促进了异交授粉。本研究表明, 小桐子的绝大多数花序是雄花比雌花晚开放, 但也有少量花序是雄花比雌花早开放, 与 Heller 的观察结果不一致, 而与 Kiefer<sup>[12]</sup>观察结果一致。同一个花序的盛花期, 雄花和雌花同时开放的很多, 一个花序里面不存在雄花与雌花花期不遇的情况, 况且同一植株, 也有多个花序同时开放的现象。所以, 小桐子的同一个花序雄花和雌花开放顺序可能受环境的影响较大, 而雄花与雌花开放顺序的差异较小, 不应该是促进小桐子异交授粉的主要原因。认为雄花与雌花的空间隔离, 加上传粉昆虫(蜂类、蝶类、蝇类)活动范围和活动频率较大, 才是促进小桐子异交授粉的主要原因<sup>[10]</sup>。

### 3.2 花部特征与授粉机制

花的颜色、形状、气味均可能是植物引诱昆虫传粉的因素, 花部诱物和报酬是传粉者访花的动力<sup>[12]</sup>。单花水平上, 小桐子花的花蜜和花粉可能在近距离对访花者有诱导作用, 但其萼片较小, 芳香气味不明显对访花者的诱导作用较小; 群体水平上, 由数十朵乃至百朵组成的花序和鲜艳的花瓣有助于访花者的识别和行为反应, 可增强对昆虫的吸引力。花蜜的分泌时间与昆虫访花活动和柱头可授期的时间一致。同时, 小桐子靠富含营养的花蜜、花粉和较大的花序和鲜艳的花瓣吸引传粉昆虫, 居群内长时间的花期又可保证花粉的供应, 花粉活力较高, 在昆虫重复拜访时也可增加柱头的授粉机会<sup>[13-14]</sup>, 这些均是其在生殖特征上形成一定的适应性, 这些花部特征适合于不同的昆虫采食、传粉。研究结果表明, 小桐子应属于多种不同昆虫访花的植物, 主要依靠花蜜吸引访花昆虫, 但与访花昆虫之间的相互适应关系还未形成恒定的组合。

### 3.3 开花习性与种子产量

植物的开花与结实特性是植物在一定的生境条件下经长期自然选择后的一种适应表现。了解植物的开花结实特性对合理利用栽培措施来提高种子产量和质量是十分必要的。小桐子在不同光照条件下, 其雌雄比例、结实率存在明显差异, 说明它是一种极向阳的植物, 因此, 栽培时应尽量选择光照充足的地方, 以提高其产量。同时, 小桐子开花习性在空间上有差异, 随树龄的增加, 花序部位有纵向上移, 横向外移的趋势, 结实区逐渐向外扩张, 而内膛非结实区不断扩大。因此, 要适当修剪控制枝条徒长, 促进分枝提高其顶生花序的数量、雌雄比例与结实率, 并形成较好的立体结实区, 提高种子产量。

## 参考文献

- [1] 丘华兴. 中国植物志 (44卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 148
- [2] 钟志权. 小桐子——一种大有希望的能源植物 [J]. 热带植物研究, 1984, 25: 62-65
- [3] Banerji R, Chowdhury A R, Misra G, et al. *Jatropha* seed oils for energy [J]. *Biomass* 1985, 8 (4): 277-282
- [4] Gubitz G M, Mittelbach M, Trabi M. Exploitation of the tropical oilseed plant *Jatropha curcas* L [J]. *Bioresource Technology* 1999, 67 (1): 73-82
- [5] Foidl N, Sanchez M, Sanchez M. *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua [J]. *Bioresource Technology* 1996, 58 (1): 77-82
- [6] 黄德如, 黄自强, 郭似旋, 等. 麻疯树毒素的分离及其某些性质 [J]. 生物化学与生物物理进展, 1991, 18 (2): 149-151
- [7] 杨忠, 殷关麟, 范崇正, 等. 麻疯树籽提取物杀灭钉螺的实验研究 [J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2003, 15 (5): 364-366
- [8] 杨燕, 程忠跃, 高竹琴, 等. 麻疯树素浸杀钉螺卵效果观察 [J]. 实用寄生虫病杂志, 2000, 8 (2): 59-60
- [9] 曾庆海, 程忠跃, 黄四喜, 等. 麻疯树素的灭螺效果研究 [J]. 华中医学杂志, 2000, 24 (3): 123-124
- [10] 杨清, 彭代平, 段柱标, 等. 小桐子传粉生物学研究 [J]. 华南农业大学学报, 2007, 28 (3): 62-68
- [11] Heller J. Studies on genotypic characteristics and propagation and cultivation methods for physic nuts (*Jatropha curcas* L.) [J]. *Indian Phytopathol* 1988, 41 (3): 505
- [12] Kiefer J. Die Purgiermilch (*Jatropha curcas* L.) -Ermittlung der Verwendungsalternativen, wirtschaftliche Überlegungen [D]. Stuttgart University Hohenheim, 1986
- [13] Bierzychudek P. Pollinator limitation of plant reproductive effort [J]. *Amer Nat* 1981, 117: 838-840
- [14] Cole E F, Fomage D H. The flora ecology of *paltanthera blephariglottis* [J]. *Amer Bot* 1983, 71: 700-710

(责任编辑: 江英)