

文章编号: 1001-1498(2007)06-0775-07

# 小桐子繁育系统与传粉生态学研究

李 昆<sup>1,2</sup>, 尹伟伦<sup>1\*</sup>, 罗长维<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学生命科学与技术学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

**摘要:**在野外定位观测小桐子花朵的功能形态特征、开花动态、传粉方式,用杂交指数(OCI)、花粉/胚珠比(P/O)、去雄、套袋、人工授粉等方法分别测定小桐子的繁育系统。结果显示:(1)小桐子是单性花,雌雄同株同序。雄花单花期2 d,雌花单花期5~8 d,雌花直径略大于雄花。(2)雄花开花后9 h内花粉活力较高,24 h后花粉活力明显降低,48 h后花粉基本散失活力;雌花柱头可授性在开花后4 d内最强,5~8 d可授性开始降低,第9天基本失去可授性。(3)传粉方式以虫媒传粉为主,为虫媒植物。(4)繁育系统检测结果为部分自交亲和异交,需要传粉者活动才能完成授粉过程。

**关键词:**小桐子;繁育系统;传粉生态;开花特性;杂交指数;花粉/胚珠比

中图分类号: S722.3

文献标识码: A

## Breeding System and Pollination Ecology in *Jatropha curcas*

LI Kun<sup>1,2</sup>, YIN Wei-lun<sup>1\*</sup>, LUO Chang-wei<sup>2</sup>

(1. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Insect Resources, CAF, Kunming 650224, Yunnan, China)

**Abstract:** Plant flowering and breeding characteristics are important to understand reproduction of plant population. Flowering characteristics and pollination ecology of *Jatropha curcas* were investigated in Yuanjiang County, Yunnan Province. The breeding system, pollen-ovule ratio (P/O) and pollen viability were determined. The results were as follows: (1) *Jatropha curcas* was monoecious. The plant produced flowers in dichasial inflorescences. Normally, the flowers were unisexual, and male and female flowers were produced in the same inflorescence. In a few, only male flowers were produced in an inflorescence, and fruit were produced only through pollination between different flowers from the same or different plant. The life span of the male flower was about 2 days. The life span of the female flower was about 5~12 days. The diameter of female flower was bigger than that of the male flower slightly. (2) The pollen viability of male flower was relatively high in 9 hours after blooming and get low 33 hours later. The pollen hardly had any viability after 48 hours. The stigmatic receptivity of female flower was strong during 1<sup>st</sup>-4<sup>th</sup> day and began to decline on 5<sup>th</sup> day. On 9<sup>th</sup> day, stigma completely lost its receptivity. (3) The effective pollination way of *J. curcas* was insect pollination. (4) *J. curcas* was out-crossing, partly self-compatible, requiring pollinator.

**Key words:** *Jatropha curcas*; breeding system; pollination ecology; flowering characteristics; out-crossing index (OCI); pollen/ovule (P/O)

收稿日期: 2007-05-05

基金项目: 国家科技部“十一五”科技支撑专题“干热河谷植被恢复抗逆植物材料筛选与快繁技术研究”(2006BAD03A0101)、国家科技支撑计划“生物质资源高效培育技术研究”(2006BAD07A04)子课题“生物质资源麻疯树高效培育技术研究”

作者简介: 李昆(1958—),男,云南墨江人,研究员,在职博士研究生,主要从事森林培育与植被恢复方向的研究。

\*通讯作者。

小桐子 (*Jatropha curcas* Linn) 为大戟科 (Euphorbiaceae) 麻疯树属 (*Jatropha* L.), 落叶灌木, 又名麻风树、小桐子、树花生等, 原产南美洲, 在我国主要分布于云南、四川、广西、贵州等地, 是西南干热河谷的常见树种, 也是目前我国最具开发潜力的生物柴油树种, 其种子富含不干性油脂, 是生产优良生物柴油的上好原料。该树种花小, 淡绿色, 单性, 雌雄同株, 在西南干热河谷地带大量分布并取得优势地位, 其生殖成功是结实产籽的先决条件。近年来国内外对小桐子的研究日趋系统深入, 在化学成分、毒理药理研究<sup>[1-4]</sup>、核型<sup>[5]</sup>和花粉形态<sup>[6]</sup>、胚胎学<sup>[7]</sup>等方面做了大量工作, 而有关其开花特性及传粉生态学的研究则未见报道。因此, 本研究对小桐子的开花、传粉等生殖生态学特性进行了数年定位观测, 以期对小桐子生物柴油原料林培育与利用及其资源保护提供科学依据。

## 1 研究材料和方法

### 1.1 试验地自然概况

2005—2006年, 试验在中国林业科学研究院资源昆虫研究所元江试验站进行 (101°00' E, 23°36' N)。试验区海拔 400 m, 年均温 23.8℃, 1月均温 16.8℃, 最热月 6月均温 28.8℃, 10年积温 8700℃, 无霜期 364 d, 年均降水量 796.3 mm; 燥红土, 植被为稀树灌草丛。试验对象为野生状态居群, 其居群位于元江干热河谷坝区, 居群周围有芒果 (*Mangifera indica* Linn)、香蕉 (*Musa nana* Lour)、茉莉 (*Jasminum sambac* (L.) Aiton)、玉米 (*Zea mays* Linn)、甘蔗 (*Saccharum sinense* Roxb) 等作物。所选样树高 3~4 m, 地径 8~12 cm, 为开花结实盛期的成年植株。

### 1.2 开花生物学特性的观察

4月下旬选择标准植株及花序进行标记, 每株选择 5个花序, 观察 6株, 并测定花口径、花柱长度及柱头直径等。每天选取 3个即将开花的花序, 对整个总状花序的开花动态进行连续观察, 重复 3次。

### 1.3 花粉活力与柱头可授性检测

6:30—18:00每隔 3 h, 分别随机采集不同发育时期的新鲜花备用。花粉活性采用 TTC法测定 (将新鲜花粉置于载玻片上, 同时用火加热致死的花粉作对照)。将 1~2滴 0.5% TTC (2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride) 溶液置于花粉样品中, 充分混匀后盖上盖玻片, 置于湿润培养皿中, 37℃下置 20 min,

在显微镜下观察, 若花粉变红则表明有活力, 若红色很浅或无变化或变黑色则表明为无活性。统计全部观察花粉中红色花粉所占比例 (每片花粉数 > 500粒, 重复 10朵花)。

用联苯胺-过氧化氢法测定柱头可授性<sup>[8]</sup>: 将开花后不同天数的柱头完全浸泡在联苯胺-过氧化氢反应液中 (1%联苯胺 3%过氧化氢 水 = 4:11:22, 体积比)。若柱头具有可授性则周围的反应液呈现蓝色并伴有大量气泡出现, 否则无气泡产生且不变蓝, 对比确定自然条件下柱头颜色的变化与柱头可授性的相关规律。

### 1.4 传粉方式调查

在盛花期选取孤立单株观察其传粉媒介。在四周 8个方位每隔 0.5 m 布置涂布凡士林的载玻片各 10~16枚, 凡士林涂布面积为 2.5 cm × 5 cm, 露置 1 d后收回, 镜检以风为媒介散布花粉的数量。小桐子花粉的鉴定以其花粉的大小和形状与单独采制的标准花粉对比计数。

在野外选择相隔一定距离地块内的 4个花序开展访花昆虫调查。于开花后从早上 6:30起连续数日 (7 d) 观察访花者的种类及访花行为。采集访花者制成标本, 鉴定其科、属和种, 并用体视显微镜观察其携带花粉的情况。

### 1.5 有性繁育系统检测

1.5.1 杂交指数 (out-crossing index, OCI) 估算 按照 Dafni<sup>[8]</sup>的标准进行花序直径、花朵大小和开花行为的测量及繁育系统的评判。具体方法: (1) 花朵或花序直径 < 1 mm 记为 0, 1~2 mm 记为 1, 2~6 mm 记为 2, > 6 mm 记为 3; (2) 花药开裂时间与柱头可授期之间的时间间隔, 同时或雌蕊先熟记为 0, 雄蕊先熟记为 1; (3) 柱头与花药的空间位置, 同一高度记为 0, 空间分离记为 1。三者之和为 OCI值。评判标准为: OCI为 0时, 繁育系统为闭花受精; OCI = 1时, 繁育系统为专性自交; OCI为 2时, 繁育系统为兼性自交; OCI为 3时, 繁育系统为自交亲和, 有时需要传粉者; OCI为 4时, 繁育系统为部分自交亲和, 异交, 需要传粉者。

1.5.2 花粉—胚珠比 (pollen-ovule ratio, P/O) 的估算 随机选取小桐子即将开放的雄花 (花药尚未开裂) 共 20个, 每株采 1朵, 然后细心地解剖花药, 将花粉全部移入一个有刻度的离心管, 用蒸馏水定容至 1 mL。在振荡器下震荡 60 s, 用移液枪吸取 10 μL的花粉液于载玻片上, 每朵雄花重复 8次, 在显

显微镜下观察并统计花粉数。取 20 朵雌花,用刀片纵剖子房,取心皮在体视显微镜下用解剖针划开后,记数单个心皮的胚珠数目,每朵花重复 5 次,所得平均数乘以平均心皮数得单花胚珠数。居群的 P/O 比以单花的花粉量乘以居群雄雌性比,再除以胚珠数目得到 P/O 值。按 Cruden<sup>[9]</sup>的标准,P/O 为 2.7~5.4 时,其繁育系统为闭花受精;P/O 为 18.1~39.0 时,繁育系统为专性自交;P/O 为 31.9~396.0 时,繁育系统为兼性自交;P/O 为 244.7~2 588.0 时,繁育系统为兼性异交;P/O 为 2 108.0~195 525.0 时,繁育系统为专性异交。

1.5.3 套袋、去雄及人工授粉试验 依 Dafni<sup>[8]</sup>描述的方法进行下述处理:对照:不套袋(硫酸纸,下同),不去雄,自由传粉,用于检测自然条件下的传粉情况;同株异花授粉:去雄套袋,同株异花之间人工授粉,检测是否受精;异株异花授粉:套袋、去雄,用不同植株的花粉进行异花授粉,检测杂交是否亲和;自然条件下异花传粉:不套袋、去雄、自由传粉,与和的结果比较,检测座果状况是否受采粉者限制;去雄,套网袋(60 目,下同;喷撒杀虫剂),检测风媒传粉的效果;去雄,套袋,检测是否有融合生殖。

试验花序除自然授粉外,均在花瓣闭合,花药未开裂,柱头表面干净无花粉时去掉雄花,保留雌花。试验结束后将硫酸纸袋去掉。人工授粉时间参照同居群未套袋雌花中柱头授粉的时间。同样,参照同居群未套袋雌花的花瓣已经枯萎,心皮明显增大时去掉硫酸纸袋结束试验。在试验期间,对套袋的花朵经常进行检查,并揭袋换气,防止花朵霉坏,揭袋时严格防止昆虫在花序内活动。

## 2 试验结果

### 2.1 开花特性和花朵数量性状

2.1.1 开花特性 小桐子花单性,雌雄同株同花序,并有单独雄花序;二歧分叉处的雄花常常最先开放,随后雌花开放,顶生雌花比其它雌花先开。每天均有雄花开放,雌花开放完毕后仍有部分雄花尚未开放。少数花序雌花先开,雄花随后开放。雄花单花期 2 d,在雨天常不到 1 d。初为一球形萼筒,绿色,萼片紧包萼筒。随着萼筒体积的增大,萼筒从萼片中露出来,当萼筒露出约 2 mm 时,花瓣逐渐裂开。当花瓣裂开至反卷时,花药由白变黄,并开始散粉。第 2 天,药室开始由黄变红,傍晚枯落,但二歧

分叉处的雄花晚 1 d 枯落。雌花单花期 5~8 d,初为一火焰形萼筒,绿色,花萼长于萼筒,不紧贴;随着萼筒体积的增大,萼片张开,萼筒尖角逐渐露出,花瓣逐渐开裂。随后花瓣逐渐反卷,柱头露出花冠。柱头授粉 2~4 d 后开始枯萎,6 d 后花瓣枯萎脱落;而未授粉柱头开始部分变黑,5~12 d 后全部柱头均变黑。

2.1.2 花朵数量性状 以往资料均未对小桐子的花部结构及其数量特征作详细介绍<sup>[10]</sup>,本研究对小桐子花的数量特征的观察结果为(表 1):

雄花:花冠黄绿色,萼瓣均 5 裂。萼片椭圆形,基部稍连合,紧贴花瓣,不反卷,长约 5 mm;花瓣长圆形,反卷,长约 7 mm,花瓣基部至连合处高约 3 mm,形成一个浅的花冠筒,花瓣从反卷处至基部皆长满白色绒毛;花药高出反卷的花瓣约 1.5 mm;花盘底有白色长绒毛,具椭圆形腺体 5 枚,黄色,长约 0.03 mm,宽约 0.02 mm。雄蕊二型,10 枚,内轮 5 枚合生,外轮 5 枚分离,围绕内轮花丝而生。花药黄色,长约 2 mm,外向背着药,纵裂。单花期常 2 d,具轻微的花香。

雌花:花冠黄绿色,萼瓣均 5 裂;萼片菱形,大小不一,长约 3.7~6.0 mm,基部不连合,不紧贴花瓣且不反卷;花瓣覆瓦状排列,反卷,基部不连合,长约 7 mm;心皮 3,子房上位,子房花柱均连合,柱头分离,二裂,绿色,较花瓣与子房颜色稍深;花盘底具白色长绒毛,具扁方形腺体 5 枚,黄色,长约 0.02 mm,套袋的雌花花盘基部淡黄色的蜜滴清晰可见。单花期 5~8 d,花香较雄花浓。

中性花:位于花序的边缘,花瓣较正常花瓣颜色淡,较小,覆瓦状排列;花萼很小,极端退化,颜色较花瓣更淡;无退化雌雄蕊;中性花比同花序其它雌花先开,3~5 d 后花瓣颜色变为褐色,枯干,不能结实。约 400 个花序中只发现两朵中性花,可能为发育畸形的雌花。

表 1 小桐子花朵的数量性状

| 项目        | 雌花            | 雄花            |
|-----------|---------------|---------------|
| 花冠直径/mm   | 9.811 ± 3.356 | 8.000 ± 0.245 |
| 花药长度/mm   | -             | 1.999 ± 0.208 |
| 花丝长度/mm   | -             | 3.780 ± 0.166 |
| 柱头高度/mm   | 1.999 ± 0.208 | -             |
| 柱头展开直径/mm | 1.00~1.62     | -             |

### 2.2 花粉活力与柱头可授性检测

花粉活力与花粉数量均为雄性适合度的重要组

成部分,并进一步影响繁殖成功率。花粉寿命只有 2 d,花药刚散粉时花粉活力最高,为 54.35% (表 2)。此时为蜂类、蝇类、蝶类等访花昆虫的活动高峰期,利于花粉的传播。随后开始缓慢下降,散粉 9 h 后花粉活力降为 45.15%。夜间花粉活力降低较快,散粉 24 h 后花药由黄色变为黄红色,花粉活力下降至 21.13%;散粉 33 h 时花粉活力为 12.59%,散粉 48 h 后(第 3 天)时,花药由黄红色变成红褐色,几乎全部花粉丧失活力。但若遇降雨(5~8 mm·d<sup>-1</sup>),花粉活力大幅度降低,寿命缩短(不到 1 d),花后 9 h 花粉活力即降到 15%,24 h 后大部分雄花即开始脱落,其余花朵的花粉也失去活力。有效花粉数量是异花授粉成功与否的关键,尽管小桐子的花粉活力不高,寿命也短,但由于花粉量较大(P/O 比为 13015),因此在总体上还是能保证小桐子成功繁殖。

小桐子花粉从雄花传播到雌花柱头上,成熟柱头对花粉的接受能力持续时间为 5~8 d(表 2)。柱头在雌花开放后 1~4 d 可授性最强,具强过氧化物酶活性。从第 5 天开始有极少量柱头部分变黑,过氧化物酶活性减弱,可授性降低。随着开花日数的增加,过氧化物酶活性更低,到开花后第 9 天,几乎全部柱头变黑变干,完全检测不到过氧化物酶活性,此时柱头失去可授性。柱头可授性的降低与柱头颜色的变化密切相关,即开花 1~4 d 柱头全部呈绿色,可授性最强,5~8 d 绿色衰减,可授性降低,9 d 后柱头几乎全部失绿,柱头失去可授性。因此,可用柱头颜色来指示其可授性。同时,授粉后的柱头过氧化物酶活性也明显降低,表明其授粉过程已经完成。

表 2 小桐子的花粉活力、柱头可授性

| 雄花开花后时间/h | 花粉活力/% | 雌花开花时间/d | 柱头可授性 |
|-----------|--------|----------|-------|
| 0         | 54.35  | 1        | ++++  |
| 3         | 53.61  | 2        | ++++  |
| 6         | 47.24  | 3        | ++++  |
| 9         | 45.15  | 4        | ++++  |
| 24        | 21.13  | 5        | +++/- |
| 27        | 17.48  | 6        | ++/-  |
| 30        | 13.73  | 7        | +/-   |
| 33        | 12.59  | 8        | +/-   |
| 48        | 0.62   | 9        | ----  |

注:++++:柱头具最强可授性;+++/-:部分柱头可授性较强,部分柱头可授性较弱;++/- -:部分柱头具可授性,部分柱头不具可授性;+/- -:少部分柱头具可授性,大部分柱头不具可授性;----:全部柱头失去可授性。

## 2.3 小桐子的传粉媒介

### 2.3.1 风媒传粉的观测

小桐子花粉粒近球形,直径约为 52.5~70 μm。第 1 天开花的雄蕊散发的花粉粘连在一起,悬挂在花朵中上部,轻摇树枝也不会使花粉散脱到柱头上;第 2 天或第 3 天的雄蕊花粉有时会因蝶类等昆虫的采蜜而振落,但此时花粉活力较低,并且柱头光滑,缺少分泌物,很难捕获和滞留花粉。因此,小桐子借助风力进行异花传粉的可能性很小。

用重力玻片法检测到小桐子的花粉粒能随风散布到离花粉源 4~5 m 处甚至更远(图 1),其花粉流传播距离和强度,随风速、空气湿度和障碍物之不同而有所差别。但是,由一开放雄花的植株所能提供的花粉流强度的最大值仅为 2.8 粒·cm<sup>-2</sup>,对于一个直径仅为 1.00~1.62 mm 的柱头而言,所起的授粉作用甚微,也说明小桐子风媒传粉的可能性很小。

### 2.3.2 虫媒传粉观测

小桐子雄花花药的鲜黄色非常显眼。在该居群中,一个花序平均具有雄花 184 ± 189 (88~238) 朵,平均每日开放 9.94 ± 29.58 (0.21~21.57) 朵。花展示更比较醒目,具有较大花展示的植株往往可以吸引更多的访花昆虫。雌雄花均有淡淡的香气,雌花香气更浓,增强了对传粉者的吸引。另外,雌花和雄花均具蜜腺,套袋的雌花产生的蜜滴可盖过子房,在蜜蜂传粉的过程中,花蜜可吸收紫外光谱而被蜜蜂敏锐地察觉。花形态没有特化,这一特征使其提供的酬物适合于不同的昆虫采食。此外,小桐子还具有虫媒植物的花部综合特征(Floral syndromes),即花粉粒较大(平均直径 52.5~70 μm),表面具形状和大小相似的瘤状突起,有粘性。可以肯定,虫媒传粉是小桐子主要传粉途径,只有虫媒传粉对花粉流的形成起着决定性作用。两年多的野外观察发现,小桐子访花昆虫类群较复杂,包括了双翅目(Diptera)、膜翅目(Hymenoptera)、半翅目(Hemiptera)、鞘翅目(Coleoptera)、鳞翅目(Lepidoptera) 5 个目,共 20 个科的 35 种访花昆虫。

尽管访花昆虫种类丰富,但传粉质量各不相同。膜翅目种类最多,尤其蜂类昆虫都具有飞行速度快、访花速率高、携粉量大的特点;蚁类是喜花昆虫,数量较多,但由于个体小,长时间停留于同一花序中,活动能力差,只能在自花授粉中发挥一定的传粉作用。双翅目昆虫访花速率也高,其体毛上黏附的花粉数量相对较多,但种类数量及个体数量相对

较少,能够有效传粉但作用不大;鞘翅目昆虫访花时常常栖息于花朵上,因其体壁光滑,不易携带花粉,加之访花时容易伤害花朵,不利于植物授粉;半翅目昆虫常常访花,但趋花性不显著,小型蜻类不正常进入花,而在花盘底部刺穿花瓣吸食花蜜,无传粉作

用;鳞翅目昆虫(蝶类和蛾类)体毛较多,访花吸蜜的同时,其身体携带花粉,特别是体型较小的南鹿蛾(*Amata sperbius* Fabricius),取食花蜜时常常全身黏附大量花粉,也具有较好的传粉作用。

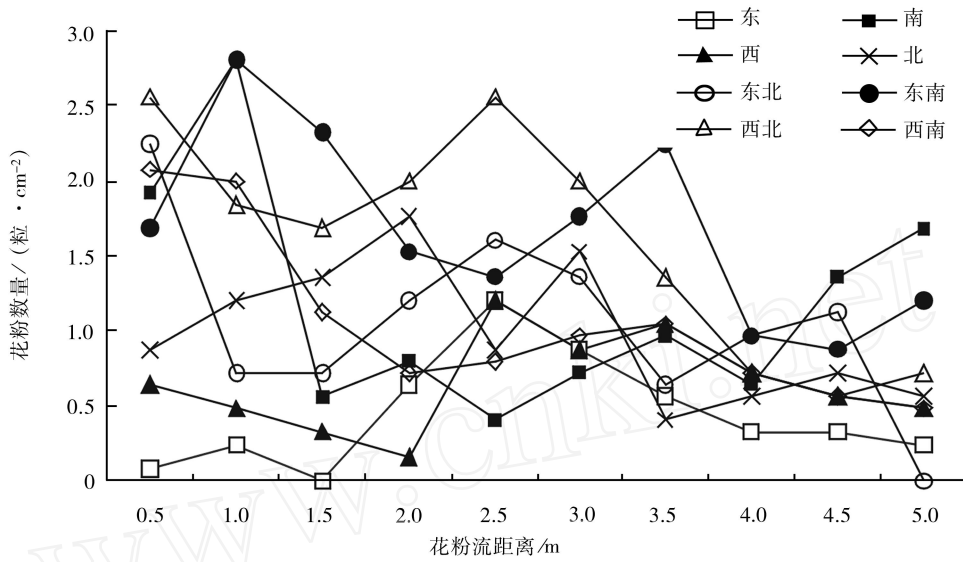


图 1 小桐子在不同方向的风媒花粉流

2.4 有性繁育系统

2.4.1 小桐子杂交指数 (OCI) 按照 Dafni<sup>[8]</sup>的方法进行小桐子杂交指数的测量(表 3)。小桐子雌花直径 0.88 ~ 1.20 cm,雄花直径 0.75 ~ 0.85 cm,总状花序直径 4.60 ~ 12.53 cm。小桐子植株可同时具雌雄两性花,虽然雄花比雌花先成熟,但在雌花柱头可授期均有雄花花药开裂散粉,雌雄器官虽然在空间上明显分离,但在时间上并没有暂时的分离,使得小桐子杂交指数达到 4。根据 Dafni 的标准,该树种的繁育系统为异交、部分自交亲和需要传粉者。

表 3 小桐子的 OCI 观测结果

| 项目       | 表现 | 繁育系统类型                |
|----------|----|-----------------------|
| 花冠直径     | 3  | 繁育系统为部分自交亲和,异交,需要传粉者。 |
| 雌雄时间分离   | 0  |                       |
| 雌雄空间分离   | 1  |                       |
| 杂交指数 3~4 | 4  |                       |

2.4.2 小桐子的花粉 - 胚珠比 (P/O) 小桐子雄花具雄蕊 10 个,内层 5 枚花丝基部合生,外层 5 枚分离,形成 (5) + 5 二体雄蕊。每朵雄花花粉量 1 597 ~ 5 763 粒,平均为 3 949 ± 1 337。每朵雌花胚珠数为 3,其种群花粉 - 胚珠比 (P/O) 均高于 2 500(表 4)。依据 Cruden<sup>[9]</sup>的标准,繁育系统属于专性异交。

表 4 小桐子花粉 - 胚珠比观测结果

| 项目        | 表现              | 繁育系统类型 |
|-----------|-----------------|--------|
| 花粉粒大小 /mm | 52 ~ 70         | 专性异交   |
| 每朵雄花的花粉数目 | 1 597 ~ 5 763   |        |
| 每朵雌花的胚珠数目 | 3               |        |
| 雄雌比       | 24.45           |        |
| 花粉 - 胚珠比  | 13 015 ~ 46 968 |        |

2.4.3 套袋、去雄及人工授粉的试验结果 通过套袋和人工授粉对小桐子基本繁育系统的检测表明(表 5),套袋、套网试验显示,在开花前套硫酸纸袋隔离传粉者的条件下,小桐子能进行无融合生殖,但结实率很低(12%);套网袋与套硫酸纸袋结果差异不显著,表明可以排除风媒传粉的可能性。在自然条件下,小桐子结实率为 90.15%,去雄不套袋的结实率仍可达 70.67%,表明去雄对其结实率影响不大;人工自花传粉可获得较高结实率(83.33%),表明该树种具较强的自交亲和性。同时,人工自花传粉比人工异花传粉的结实率低,又反映出该树种较强的异花传粉倾向。异花传粉与自然传粉的结实率相近,说明在自然条件下,传粉者数量充足或传粉效率高,雌花柱头接受到了足够的花粉,柱头的授粉率及其居群的结实率较高。

表 5 小桐子基本繁育系统检测

| 处理方法               | 花序数目 | 处理花数 | 结果数 | 结实率 / % |
|--------------------|------|------|-----|---------|
| 不去雄,不套袋,自然条件下的自由传粉 | 16   | 132  | 119 | 90.15   |
| 去雄,不套袋,自然条件下的异花传粉  | 11   | 75   | 53  | 70.67   |
| 去雄,套袋,人工同株自花授粉     | 14   | 108  | 90  | 83.33   |
| 去雄,套袋,人工异株异花授粉     | 19   | 103  | 96  | 93.20   |
| 去雄,套网袋             | 13   | 113  | 14  | 12.39   |
| 去雄,套袋              | 12   | 100  | 12  | 12.00   |

### 3 讨论

#### 3.1 小桐子的繁育类型

小桐子繁育系统具有多样性,近交衰退,远交代价很高,受外界条件影响大。进化是折中的,权衡近交和远交利弊的途径是混合的交配系统。自然界绝对自交或杂交的植物类群很少,大多是两者兼而有之并采取混和交配的繁殖对策模式<sup>[11]</sup>。该树种杂交系数、花粉-胚珠比和去雄-套袋-人工授粉试验结果显示,其繁育系统不完全一致。P/O值测定具有快速简便等特点,但正确性相对较低,如有些自花授粉植物的P/O值明显高于Cruden标准<sup>[12]</sup>或与异花授粉种类的P/O值重叠。杂交系数检测是从植物的表观形态适应于虫媒传粉的角度入手<sup>[13]</sup>,因而一般以其测试数据为传粉结果的依据更为真实可靠。因此,小桐子的繁育系统为自交和异交并存的混合交配型。

#### 3.2 小桐子的传粉系统

传粉系统由3个部分组成,即花粉、柱头和传粉媒介<sup>[9]</sup>。对小桐子的传粉媒介检测结果表明,小桐子为虫媒植物,与传粉媒介的关系属泛化类型,小桐子花期长(3—11月),生境复杂,由于具有泛化关系的传粉媒介在缺少某些传粉者的条件下,其植物仍然可能依靠另一些传粉者而生存繁衍,访花者的高频率访问为这些植物传粉成功提供了可能性。花粉活力和柱头的可授性检测结果显示,小桐子柱头可授期长达5~8d,在花后4d内均具有较强的可授性,其后可授性降低。当由于降雨等因素导致花粉量不足和花粉很快丧失活力时,小桐子通过较长的柱头可授期,仍可提高结实率,即雌性生殖适合度(fitness)较高。花粉活力在第一天较高,第二天明显下降,至花朵枯萎时仅有少量花粉具有活力。小桐子大部分花期均在雨季,由于降雨的影响,花粉很容易失去活力,而且,由于访花昆虫种类与数量均较丰富,其花粉损失较多。但是,由于该树种P/O比

高达13.015,很高的P/O比可以弥补由于雨水的冲刷及蜂类、蝇类等昆虫访花引起的花粉损失。表明小桐子较高的P/O比、较长的柱头可授期及其丰富的传粉媒介,是保证传粉系统完善和提高结实率的主要原因。

#### 3.3 小桐子的生殖补偿机制

为了保证种群的繁衍和后代的生存,生物往往发展出一整套必要的生殖补偿机制,以保证物种的延续。Bingham和Orthner<sup>[14]</sup>比较了高山与低山圆叶风铃草(*Campanula rotundifolia* L.)不同居群影响繁育系统的各种因素,发现高山居群长时间的柱头活力和高效率的传粉效果,完全可以抵消由于活动昆虫少和频率低造成的不利影响。五脉山黧豆(*Lathyrus quinquenervius* (Miq.) Litv.)是无性繁殖和有性繁殖并存的植物,作为一种生殖补偿机制,在有性繁殖受阻的情况下,以根茎进行旺盛的无性繁殖,保持了较高的种群繁衍能力。另外,五脉山黧豆在花瓣脱落后,柱头仍表现出较高的可授性,也体现了在有性繁殖方面的生殖补偿机制<sup>[15]</sup>。小桐子较高的P/O比和较长的柱头可授期能部分抵消河谷地带有效传粉昆虫少的不利影响,即是该树种在干热河谷环境下发展起来的生殖补偿机制和种群繁衍对策。反之,人工种植小桐子生物柴油原料林必须考虑选择适宜的立地环境,才能取得稳产高产和高效的结果。

#### 参考文献:

- [1] Nath L K, Dutta S K. Extraction and purification of curcumin, a protease from the latex of *Jatropha curcas* Linn. [J]. J Pharm Pharmacol, 1991, 43: 111 ~ 114
- [2] Van A, Horsten S, Kettenes J, et al. Curcacycline A—a novel cyclic octapeptide isolated from the latex of *Jatropha curcas* Linn. [J]. FEBS Letters, 1995, 358 (3): 215 ~ 218
- [3] Naengchomnong W, Thebtaramonh Y, Wiriyaichitra P, et al. Isolation and structure determination of two novel lathyrane from *Jatropha curcas* [J]. Ind J Chem, 1970, 8: 1 047

- [4] Fagbenro A F, Oyibo W A, Anufomo B C. Disinfectant/antiparasitic activities of *Jatropha curcas* L. [J]. East Afr Med J, 1998, 75 (9): 508 ~ 511
- [5] Puangpaka Soontomchainaksaeng, Thaya Jenjittikul. Karyology of *Jatropha* (Euphorbiaceae) in Thailand [J]. Thai For Bull, 2003, 31: 105 ~ 112
- [6] Bahadur B, Ramanujam C G K, Murthy G V S, et al. A representative analysis of LM and SEM studies of *Jatropha* L. Pollen (Euphorbiaceae) [J]. Geophytology, 1998, 28: 69 ~ 75
- [7] 刘焕芳, 廖景平, 吴国江. 麻疯树小孢子发育的超微结构研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15 (2): 107 ~ 114
- [8] Dafni A. Pollination Ecology [M]. New York: Oxford Univ Press, 1992, 59 ~ 89
- [9] Cruden R W. Pollen ovule ratios: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants [J]. Evolution, 1977, 31 (1): 32 ~ 46
- [10] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第四十四卷, 第二分册) [M]. 北京: 科学出版社, 1996
- [11] 何亚平, 刘健全. 植物繁育系统研究的最新进展和评述 [J]. 植物生态学报, 2003, 27 (2): 151 ~ 163
- [12] 刘祥君, 丁美美, 张桂香, 等. 东北地区野豌豆属植物花生物学和繁育系统研究 [J]. 植物研究, 1997, 17 (4): 421 ~ 429
- [13] 张大勇, 姜新华. 植物的交配系统的进化、资源分配对策与遗传多样性 [J]. 植物生态学报, 2001, 25 (2): 130 ~ 143
- [14] Bingham R A, Orthner A R. Efficient pollination of alpine plants [J]. Nature, 1998, 391: 238 ~ 239
- [15] 张丙林, 穆春生, 王颖, 等. 五脉山黧豆开花动态及有性繁育系统的研究 [J]. 草业学报, 2006, 15 (2): 68 ~ 73

## 欢迎订阅 2008年《北京农业》(旬刊)

**北京农业(上旬刊)——实用技术** 2008年将以不变的宗旨、不变的理念、不变的价格、全新的面貌,围绕农业·农村·农民主题,为您提供推广农业先进技术、获取农业科技知识、传播农业公共信息的良好平台。邮发代号:2-87,定价:每册4元,全年48元,全国各地邮电局(所)及杂志社均可订阅。

**北京农业(中旬刊)——种业动态** 为种子经营者提供决策参考、行业信息、产品供销服务。每册定价:4元,直接向杂志社发行部订阅。

**北京农业(下旬刊)——科技论文** 为广大农业科技工作者提供发表科研论文的平台。每册定价:4元,直接向杂志社发行部订阅。

地址:北京市西城区裕民中路6号 邮编:100029 电话:62044255 82078183

E-mail: bjny-mag@263.net