

中南林业科技大学学报

Journal of Central South University of Forestry & Technology

ISSN 1673-923X，CN 43-1470/S

《中南林业科技大学学报》2026年第9期

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923X.2026.09.019

论文标题：慈竹不同无性系开花生物学特性研究

作　　者：沈之琳，赵丹丹，袁金玲，等

收稿日期：2025-08-23

引文格式：沈之琳,赵丹丹,袁金玲,等.慈竹不同无性系开花生物学特性研究[J].中南林业科技大学学报,2026,46(9):209-218.

Shen Z L, Zhao D D, Yuan J L, et al. Research on the flowering biological characteristics of different clones of *Bambusa emeiensis*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(9):209-218.

相关论文推荐

Recommended articles

4种气候变化情景下梁山慈竹在中国的潜在适生区预测

Spatial shifts in potential habitats of *Dendrocalamus farinosus* in China under four climate change scenarios

基于响应面法研究梁山慈竹材梯度结构理化性能的相关性

Study on the correlation of physical and chemical properties of *Dendrocalcamus farinosus* gradient structure based on response surface methodology

紫竹开花营养动态及其土壤环境变化分析

Study on flowering nutrient dynamics and soil environment changes of *Phyllostachys nigra*

江西10个主栽油茶品种的开花及授粉生物学特性

Flowering and pollination biology of 10 main *Camellia oleifera* cultivars in Jiangxi Province

7种樱属植物杂交授粉生物学特性

The pollination biological characteristics of hybridization in seven *Prunus* species

西伯利亚杏花芽分化及开花生物学特性

Flower bud differentiation and flowering biological characteristics of *Armeniaca sibirica*

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923x.2026.09.019
http: //qks.csuft.edu.cn

慈竹不同无性系开花生物学特性研究

沈之琳[1, 2]，赵丹丹[3]，袁金玲[1]，杨力帆[1]，赵　雅[1]，温碧霞[1, 2]，王继业[1]，马婧瑕[3]，岳晋军[1]

（1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所 全省林木育种重点实验室，浙江 杭州 311400；
2. 黑龙江八一农垦大学，黑龙江 大庆 163319；3. 安吉竹子博览园有限责任公司，浙江 安吉 313300）

摘　要：【目的】通过对慈竹开花生物学特性开展系统性研究，明确竹类植物在人工栽培条件下的开花规律，为有效开展慈竹杂交育种工作提供科学依据。【方法】以移栽于杭州的 2 个慈竹 *Bambusa emeiensis* 无性系 DTW 和 JJS 为研究对象，采用野外观测法观察 2 个慈竹无性系的开花林相及开花物候；通过解剖小穗，观察并记录花器官形态结构；采用碘 - 碘化钾法与离体萌发测定法检测花粉活力，利用联苯胺 - 过氧化氢法检测柱头可授性；通过估算花粉胚珠比（P/O），分析 2 个无性系的繁育特征。【结果】1）2 个慈竹无性系的花期相同，盛花期均为 5 月中旬至 8 月初，之后 2 周仍有部分小花开放。2）DTW 无性系的小穗呈紫褐色；JJS 无性系的小穗呈紫褐色，略带绿色。DTW 无性系花药长度为（5.48±0.55）mm，颜色呈黄褐色；JJS 无性系花药长度为（4.51±0.32）mm，呈鲜红色。3）慈竹 DTW 和 JJS 无性系的花粉活力和萌发率在花药完全露出时达到峰值，在 5 月和 7 月可达最佳花粉活力，花粉活力占比分别为 75.2% 和 79.2%；在 6 月和 7 月可达最佳萌发率，萌发良好率分别为 5.1% 和 4.9%。4）2 个无性系均表现为在花药散粉时柱头可授性最强。5）人工授粉后 DTW 无性系结实率可达 4.00%，JJS 无性系可达 2.67%，自然授粉条件下原产地和移栽地均未发现结实现象。【结论】2 个慈竹无性系的开花特性存在差异，在相同环境条件下开花不同步。DTW 无性系适宜在 6 月进行授粉，JJS 无性系适宜在 7 月进行授粉，但 2 个无性系均具有一定育性。2 个慈竹无性系的整体育性较低，但可作为育种材料。

关键词：慈竹；开花生物学；繁育系统；结实率

中图分类号：S795.5　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1673-923X(2026)09-0209-10

Research on the flowering biological characteristics of different clones of *Bambusa emeiensis*

Shen Zhilin[1,2], Zhao Dandan[3], Yuan Jinling[1], Yang Lifan[1], Zhao Ya[1], Wen Bixia[1,2], Wang Jiye[1], Ma Jingxia[3], Yue Jinjun[1]

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Zhejiang Key Laboratory of Forest Genetics and Breeding, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, Heilongjiang, China; 3. Anji Bamboo Expo Park Co., Ltd., Anji 313300, Zhejiang, China)

Abstract:【Objective】A systematic study was conducted on the flowering biological characteristics of *Bambusa emeiensis* L. C. Chia & H. L. Fung to clarify the flowering rhythm of bamboo species under artificial cultivation conditions, so as to provide a scientific basis for the effective implementation of cross-breeding of *Bambusa emeiensis*.【Method】Two clonal lines of *Bambusa emeiensis*, DTW and JJS, transplanted in Hangzhou were used as research materials. The forest appearance and flowering phenology of the two clones were observed via field investigation. The morphological structure of floral organs was observed and recorded by dissecting spikelets. Pollen viability was detected using the iodine-potassium iodide (I_2 - KI) staining method and in vitro germination assay, while stigma receptivity was examined with the benzidine-hydrogen peroxide method. The breeding characteristics of the two clones were analyzed by estimating the pollen-ovule ratio (P/O).【Result】1) The two clones of *B. emeiensis* L. C. Chia & H. L. Fung exhibited identical flowering periods, with full bloom from mid-May to early August, and a few florets continued to open for another two weeks thereafter; 2) The spikelets of the DTW clone are purple - brown overall, while those of the JJS clone are purple-brown with a slight green tint. The anthers of the DTW clone are 5.48±0.55 mm long and yellowish-brown, while those of the JJS clone are 4.51 ± 0.32 mm long and bright red; 3) The pollen viability and germination rate of both the DTW and JJS clones reach their peaks when the anthers are completely exposed. The optimal pollen viability is achieved in May and July, with the proportions of strong pollen viability being 75.2% and 79.2%

收稿日期（Received）：2025-08-23　　**修订日期**（Revised）：2025-12-22
基金项目：国家重点研发计划项目（2023YFD2201901）。
第一作者：沈之琳（3226571035@qq.com），硕士研究生。　　**通信作者：**岳晋军（yuejinjun@163.com），副研究员，博士。
引文格式：沈之琳 , 赵丹丹 , 袁金玲 , 等 . 慈竹不同无性系开花生物学特性研究 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2026,46(9):209-218.
Shen Z L, Zhao D D, Yuan J L, et al. Research on the flowering biological characteristics of different clones of *Bambusa emeiensis*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(9):209-218.

respectively. The optimal germination rates are achieved in June and July, with the proportions of good germination being 4.3% and 4.9% respectively; 4) Both clones exhibited the strongest stigma receptivity during anther dehiscence; 5) Under artificial pollination, the seed-setting rate reached 4.00% for DTW and 2.67% for JJS, while no seed-setting was observed under natural pollination conditions in either their original habitats or transplanted habitats.【Conclusion】 The flowering characteristics of the two clones of *B. emeiensis* L. C. Chia & H. L. Fung are different, and their flowering is not synchronized under the same environmental conditions. The DTW clone is suitable for pollination in June, while the JJS clone is suitable for pollination in July, but both clones possess a certain degree of fertility. Although the overall fertility of the two clones is relatively low, they can still serve as breeding materials.

Keywords: *Bambusa emeiensis* L. C. Chia & H. L. Fung; flowering biology; breeding system; seed setting rate

竹类植物是禾本科竹亚科植物的总称，具有速生、无性繁殖能力强等生物学特性，且开花习性特殊。自然条件下，大多数竹种开花周期极长，需经过数十年甚至上百年的营养生长，方可进入生殖生长并开花，部分种类花后可结实；多数竹种的开花期难以预测，结实率差异较大。若发生集群同步开花，常导致开花后植株成片死亡，加之开花材料相对稀缺，一定程度上限制了其生殖器官的形态结构解剖、开花周期、繁育系统等方面的研究[1-2]。花粉是植物重要的生殖器官，竹类花粉特性是揭示其开花结实特征和开展育种研究的重要依据[3]。林树燕等[4]对孝顺竹 *Bambusa multiplex* 的开花生物学特性进行观测，发现不同地区的孝顺竹花芽分化时期略有差异。钟远标[5]对麻竹 *Dendrocalamus latiflorus* 和梁山慈竹 *Dendrocalamus farinosus* 的生殖生物学进行对比，发现麻竹和梁山慈竹的花粉均具有活力，新鲜花粉的萌发率最高分别可达 54.6% 和 46.5%。姚文静等[6]对黄条金刚竹 *Sasaella kongosanensis* ‘Aureostriatus’在不同质量浓度培养基组分条件下的花粉萌发率进行对比，发现在硼酸质量浓度一定的条件下，随着蔗糖质量浓度的增加，萌发率呈先升高后降低的变化趋势。上述研究均未从无性系的角度开展系统比较。本团队经多年试验观察发现，不同年份从不同地区收集的同一开花竹种，其育性存在较大差异，比如孝顺竹在浙江安吉竹博园罕见结实，移栽到浙江省杭州市富阳区试验苗圃后结实率较高，可以完成杂交工作[7]；富阳区儿童公园的孝顺竹结实率高，移栽到试验苗圃后结实率几乎为零；四川泸州地区和福建华安地区的孝顺竹均未发现结实现象，移栽到试验苗圃也未曾收获种子；江苏南京地区孝顺竹的结实率较低[8]，浙江临安地区的孝顺竹育性差[9]。这种结实特性的差异，既可能源于遗传背景不同，也可能受环境条件影响。

慈竹 *Bambusa emeiensis* 隶属于禾本科竹亚科簕竹属单竹亚属[10]，多分布于我国南部地区，以四川盆地最为丰富[11-12]。慈竹用途极广，资源丰富且生长快，是重要的经济竹种，常用于园林栽培、生态营建、四旁绿化、制浆造纸等多个领域[13]。关于慈竹的生物量、栽培技术、物理力学性能、制浆性能、纤维特性等方面已有较多研究[14-18]，但对其开花生物学特性研究未见相关报道。单竹亚属的竹种在制浆、编织等领域具有重要的应用价值，以慈竹为材料开展该亚属物种的开花生物学特性研究，对于充分利用其优良特性开展定向改良具有重要意义。因此，本研究通过对 2 个慈竹无性系的花器官进行观测，测定其花粉活力及萌发率，检测柱头可授性等与杂交育种相关的关键指标并进行对比，为慈竹遗传育种工作提供参考依据，同时也为其他竹种的相关研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料来源与试验地概况

2 个慈竹无性系分别引种自四川省宜宾市兴文县古宋镇大田湾村（105°12′E，28°15′N）和金鸡山村（104°52′E，28°04′N）。这 2 个无性系的生长习性、生物量积累、竹材特性等均存在较大差异，根据产地分别将其命名为 DTW 无性系（大田湾村来源）、JJS 无性系（金鸡山村来源）。2025 年 2 月 24 日，当 2 个无性系出现开花迹象时，分别将其移栽到浙江省杭州市富阳区中国林业科学院亚热带林业研究所试验苗圃（119°56′E，30°03′N）的温室大棚内，所有观测工作均在统一环境条件下完成，保障试验条件一致。

四川省宜宾市兴文县属亚热带湿润型气候，雨水充沛，无霜期长，四季分明，年平均气温 17.4 ～ 19.2 ℃，夏季平均气温 25 ～ 28 ℃，冬季极端低温可达 −1.7 ℃，年降水量 1 070.1 ～ 1 432.6 mm，主要集中在夏季，日照时数 1 010.3 ～ 1 303 h。土壤类型为山地黄棕壤，该土壤质地疏松、肥力中等，适宜慈竹生长。

试验苗圃地属亚热带季风气候，四季分明，气候温和，光照充足，雨水充沛；夏季平均气温 26.5 ℃，冬季平均气温 6.4 ℃，年平均气温 16.1 ℃，极端最高气温 40.2 ℃，极端最低气温 −14.4 ℃，平均年降水量 1 457.8 mm，土壤类型为山地黄壤。

1.2　试验方法

1.2.1　开花物候观察

采用野外观察法，观察并记录样地内移栽慈竹的开花时间、开花状况和从小花出现到凋零的时间。

1.2.2　花形态观察

在慈竹盛花期内，每日 7:00—8:00 采集 2 个无性系的新鲜小穗，将其放入自封袋中并做好保湿处理，随后迅速带回实验室进行解剖操作。试验中依次剥离小花并解剖各花部结构，对其子房、柱头、花药等关键生殖部位进行拍照记录与形态指标测量。

1.2.3　花粉活力检测

花粉活力采用碘 - 碘化钾法测定 [19]。首先，随机选取处于不同发育阶段（花药未露出、花药半露出和花药完全露出）的小花各 4 朵，迅速带回实验室，取出小花中的花药，置于实验室干燥器中干燥散粉，待花粉充分散出后均匀混合。取适量花粉均匀铺于载玻片上，滴加 1 ～ 2 滴碘 - 碘化钾染色液，置于 10 倍显微镜下进行观察记录。每个处理重复 3 次，每次随机选取 5 个视野进行观察，且确保每个视野的花粉数量不少于 50 粒。被充分染为蓝色的花粉活力强，部分染为蓝色或染为黄褐色的花粉活力弱，无法染色的花粉无活力。

1.2.4　花粉萌发率检测

花粉萌发率采用离体萌发试验测定 [20]，取样方法同花粉活力检测。随机选取不同发育阶段的小花各 6 朵，散粉后取混合花粉置于载玻片上，分别滴加 1 ～ 2 滴营养液，营养液成分为 5% 蔗糖 +0.001% 硼酸 +0.001% 无水氯化钙、10% 蔗糖 +0.001% 硼酸 +0.001% 无水氯化钙、15% 蔗糖 +0.001% 硼酸 +0.001% 无水氯化钙、20% 蔗糖 +0.001% 硼酸 +0.001% 无水氯化钙。在 26 ℃条件下静置 30 min 后，利用 10 倍光学显微镜观察花粉萌发的数量并计数。每个处理重复 3 次，每次观察 5 个视野，且确保每个视野的花粉数量不少于 50 粒。当花粉管长度达到或超过花粉直径时记为萌发良好，当花粉管长度明显短于花粉直径时记为萌发不良，花粉管未见伸长则记为未萌发。

1.2.5　柱头可授性检测

为评估慈竹柱头可授性的发育动态特征，采用联苯胺 - 过氧化氢显色反应体系进行检测分析 [21]。具体操作方法为：用无菌镊子分别夹取不同发育阶段（花药未露出、花药半露出和花药完全露出）的慈竹柱头样本，将其浸入预先配制好的联苯胺 - 过氧化氢显色反应液中，该反应液为 *m*（1% 的联苯胺）∶*m*（3% 过氧化氢）∶*m*（水）= 4∶11∶22。通过观察柱头颜色由无色转变为蓝色的程度以及反应过程中气泡产生的数量与速率，对柱头可授性强弱进行定量评价。

1.2.6　花粉胚珠比（P/O）的估算

随机取 5 朵小花，采用 1 mL 冻存管分别盛装单个小花的全部花药，将其置于硅胶干燥器内进行脱水处理，直至花药完全散粉。随后用移液枪向每支冻存管中加入 0.5 mL 的 50% 乙醇，充分振荡摇匀，使用微量移液枪取 1 μL 悬浊液滴加至载玻片表面，在 4 倍光学显微镜下完成花粉总量的计数测定，设置 3 次重复，每重复观察 3 次。单花花粉数的计算公式为：$P=N_{1\mu L}\times V_{总}/V_{取样}\div n$（$P$ 为单花花粉数量，$N_{1\mu L}$ 为 1 μL 悬浊液中的花粉数，$V_{总}$为加入的乙醇总体积，$V_{取样}$为镜检取样的悬浊液体积，n 为单组观测所用小花总数）。单花胚珠数的检测：采用常规石蜡切片法，随机检测 5 朵小花的胚珠数。花粉胚珠比计算公式见文献 [22]。

1.2.7　人工辅助授粉结实率统计

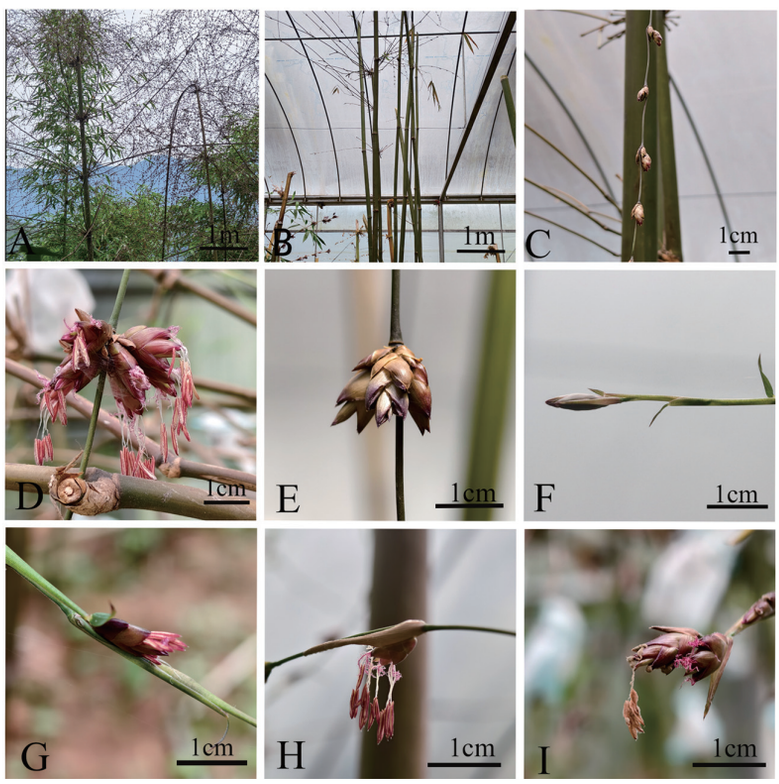
分别调查原产地和移栽苗圃地在自然授粉状况下的结实情况。每处理选取开花株向阳侧，于植株上、中、下 3 个部位各取 100 朵小花，剥开后检测结实情况，计算结实率，具体计算公式为 $R=N_S/N_f\times 100\%$（R 为结实率，N_S 为收获种子数，N_f 为剥开小花数）。对移栽苗圃地人工辅助授粉套袋的结实情况进行检测：每个无性系授粉 100 个，3 次重复，种子成熟后采收并进行结实率统计，结实率计算公式为 $R=N_S/N_b\times 100\%$（R 为结实率，N_S 为收获种子数，N_b 为人工授粉套袋数）。

2　结果与分析

2.1　开花过程

2 个慈竹无性系于 2025 年 2 月 24 日移栽至苗圃，经过约 1 个月的生长适应期，自 3 月底开始有部分小花开放，5 月中旬进入盛花期，至 8 月初盛花期结束，之后 2 周仍有部分小花开放。2 个无性系开花进程基本一致，开花主要集中在上午，盛花期开花高峰出现在 7:00—8:00；开花时间随日均温度的升高而提前，空气相对湿度增大时，

小花开放持续时间相应延长。开花顺序多以小穗基部小花先开，依次向上开放，而小穗顶端 1 ～ 2 朵小花常发育不完全，通常不开放。小花开放时，浆片吸水膨胀，外稃与内稃逐渐微张，羽毛状柱头伸出；柱头初为白色，随后自基部逐渐变紫，最终完全呈紫色并萎蔫，全过程 1 ～ 2 h。柱头伸出后，花药开始伸出，花丝迅速伸长将花药推出，并继续伸长使花药倒垂，从花药刚露出至完全倒垂需 3 ～ 4 h。此后花药顶端开裂散粉，历时 1 ～ 2 h；散粉后花药失水，颜色由鲜红色逐渐加深转为紫褐色。慈竹 JJS 无性系的开花林相见图 1。



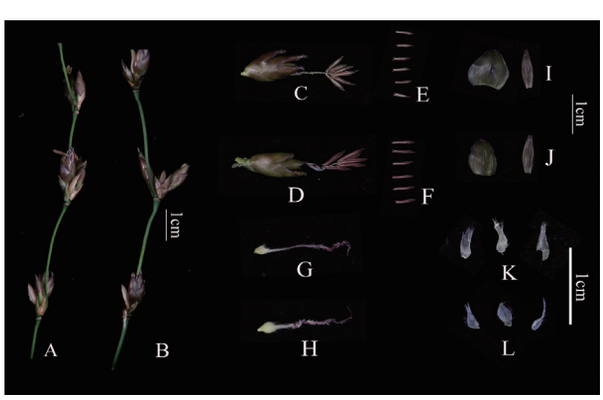
A. 原产地林相；B. 移栽后林相；C. 未开花枝条；D. 开花花序；E. 未开花花序；F. 新生小穗；G. 花药刚露出；H. 花药完全露出；I. 枯萎花药。
A. Bamboo forest in Sichuan; B. Bamboo forest in Hangzhou; C. Foliage branches; D. Flowering inflorescence; E. Non-flowering inflorescence; F. Immature spikelet; G. Early anthers ; H. Anthers fully exposed; I. Withered anthers.

图 1　慈竹 JJS 无性系的开花林相

Fig. 1　The flowering status of clone JJS from *B. emeiensis*

2.2　慈竹花序和小花结构

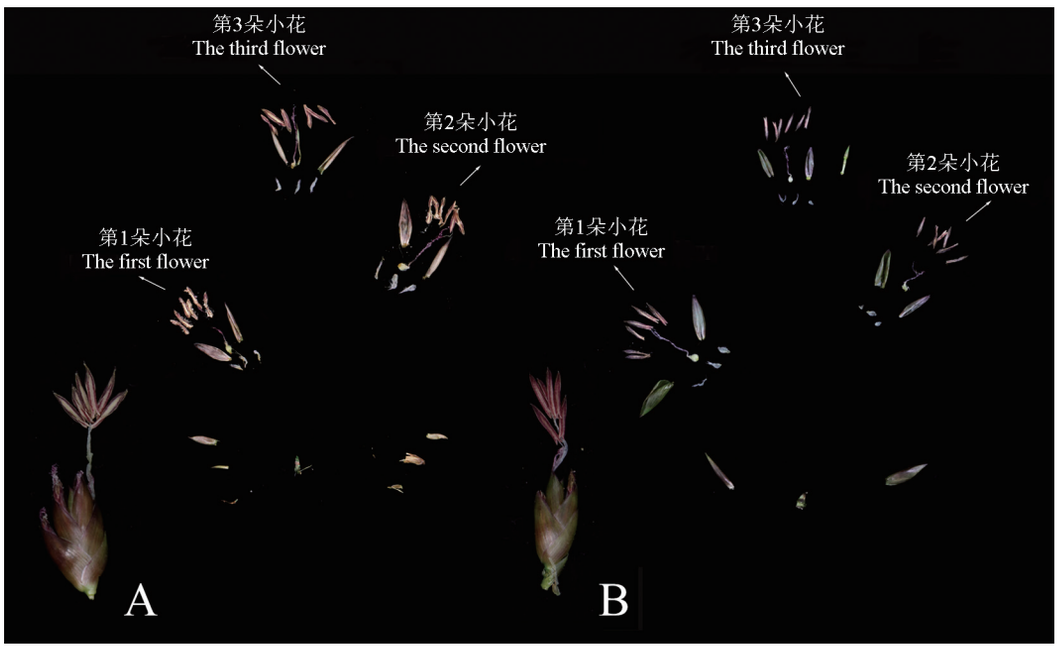
慈竹花枝细长，质地柔软，具有较强韧性，梢端呈弧形弯曲、钓丝状下垂，枝条各节部簇生假小穗。DTW 无性系的小穗呈紫褐色；JJS 无性系的小穗整体呈紫褐色，略带绿色。小花在开放过程中，浆片膨胀导致内外稃片微启，但不显著张开。每小穗常含 4 ～ 5 朵小花，中下部的 2 ～ 3 朵小花可发育完全，顶端 1 ～ 2 朵小花未充分发育（图 2、图 3）。小花由 1 片外稃、1 片内稃、6 枚雄蕊、3 ～ 4 枚浆片和 1 个雌蕊组成。2 个慈竹无性系的小花特征见表 1。DTW 无性系花药长（5.48±0.55）mm，呈黄褐色；JJS 无性系花药长（4.51±0.32）mm，呈鲜红色。两者子房均为黄绿色，呈椭圆形，表面光滑；柱头呈白色羽毛状，内部略带紫色。其中 DTW 无性系的子房长（1.52±0.31）mm，柱头长（8.51±1.23）mm；



A.DTW 的花枝；B.JJS 的花枝；C.DTW 的小穗；D.JJS 的小穗；E.DTW 的花药；F.JJS 的花药；G.DTW 的柱头；H.JJS 的柱头；I.DTW 的外稃、内稃；J.JJS 的外稃、内稃；K.DTW 的浆片；L.JJS 的浆片。
A. DTW flowering branch; B. JJS flowering branch; C. DTW spikelet; D. JJS spikelet; E. DTW anther; F. JJS anther; G. DTW stigma; H. JJS stigma; I. DTW lemma and palea; J.JJS lemma; and palea; K. DTW lodicules; L. JJS lodicules.

图 2　慈竹小花解剖形态

Fig. 2　The anatomical morphology of the florets from *B. emeiensis*



A.DTW 小穗结构；B.JJS 小穗结构。A. Spikelet dissection of DTW clone; B. Spikelet dissection of JJS clone.

图 3　慈竹小穗解剖结构

Fig. 3　Spikelet dissection of *B. emeiensis*

表 1　2 个慈竹无性系的小花特征

Table 1　The spikelet characteristics of the two clones from *B. emeiensis*　　mm

编号 Number	花药 Anther		子房 Ovary		柱头 Stigma	
	DTW	JJS	DTW	JJS	DTW	JJS
第 1 朵 The 1st flower	5.67±0.70	4.73±0.12	1.70±0.22	1.43±0.12	9.03±1.84	8.10±0.49
第 2 朵 The 2nd flower	5.67±0.37	4.47±0.21	1.70±0.08	1.30±0.14	8.40±0.73	8.03±0.42
第 3 朵 The 3rd flower	5.10±0.22	4.33±0.42	1.17±0.21	1.17±0.17	8.10±0.43	7.43±0.34
均值 Mean	5.48±0.55	4.51±0.32	1.52±0.31	1.30±0.18	8.51±1.23	7.86±0.52
编号 Number	内稃 Palea		外稃 Lemma		浆片 Lodicule	
	DTW	JJS	DTW	JJS	DTW	JJS
第 1 朵 The 1st flower	7.93±0.34	7.73±0.31	9.13±0.48	8.30±0.08	5.37±0.39	3.40±0.64
第 2 朵 The 2nd flower	7.97±0.33	7.00±0.16	9.23±0.39	8.27±0.05	4.00±0.96	3.30±0.50
第 3 朵 The 3rd flower	7.47±0.62	7.60±0.28	8.80±0.86	7.60±0.33	4.50±0.59	2.67±0.17
均值 Mean	7.79±0.50	7.44±0.41	9.06±0.64	8.06±0.38	4.62±0.89	3.12±0.58

JJS 无性系的子房长（1.30±0.18）mm，柱头长（7.86±0.52）mm。稃片呈披针形，内稃对生于外稃内侧，外稃包裹着内稃等其他小花结构。小穗基部小花的稃片最长，梢端最短，DTW 无性系的外稃长（9.06±0.64）mm，内稃长（7.79±0.50）mm；JJS 无性系外稃长（8.06±0.38）mm，内稃长（7.44±0.41）mm。浆片呈卵状披针形，DTW 无性系的浆片长（4.62±0.89）mm，呈淡黄色透明膜质；JJS 的浆片长（3.12±0.58）mm，呈白色透明膜质。对比 2 个无性系的花器官特征，发现 DTW 无性系小花各部位器官的长度均比慈竹 JJS 无性系长。对慈竹花器官的各个部位进行 T 检验，发现 DTW 无性系和 JJS 无性系在花器官形态特征方面呈现出明显差异（$P < 0.05$），具体体现为花药、外稃以及浆片的长度存在显著差异，其中花药的差异性最显著。

2.3　花粉活力

对不同时期慈竹花粉活力进行检测，结果如表 2 所示。由表 2 可以看出，在不同时期，2 个无性系的花粉均存在强活力、弱活力、无活力 3 种类型。DTW 无性系花粉的强活力占比在 5 月和 6 月显著高于 JJS 无性系，而 JJS 无性系花粉的强活力占比则在 7 月和 8 月显著高于 DTW 无性系。表明若以慈竹作为杂交授粉的父本，则 5 月、6 月选择 DTW 无性系为好，而 7 月和 8 月授粉则选择 JJS 无性系为佳。部分花粉染色结果如图 4 所示。由图 4 可知，强活力花粉染色饱满，弱活力花粉染色较差，而无活力花粉难以染色。

表 2 不同时期的慈竹花粉活力

Table 2 The pollen vitality of *B. emeiensis* at different stages %

月份 Month	慈竹无性系 Clones of *B. emeiensis*	强活力花粉占比 Vigorous pollen	弱活力花粉占比 Weak vitality pollen	无活力花粉占比 Inactive pollen
5	DTW	75.2	10.6	14.2
	JJS	9.8	73.4	16.8
6	DTW	70.6	6.7	22.7
	JJS	14.0	70.0	16.0
7	DTW	14.1	32.9	53.0
	JJS	79.2	13.4	7.4
8	DTW	14.7	79.5	5.8
	JJS	60.2	17.0	22.8

2.4 花粉萌发率

慈竹花粉具有单个萌发孔，在不同质量分数的蔗糖（5%、10%、15%、20%）+0.001% 硼酸 +0.001% 无水氯化钙溶液的液体培养基上培养后，花粉管从其萌发孔部位萌发并持续伸长。从图 5 中可以看出，花粉可分为萌发良好、萌发不良、未萌发 3 种类型。

2.4.1 蔗糖质量分数与花粉萌发率的关系

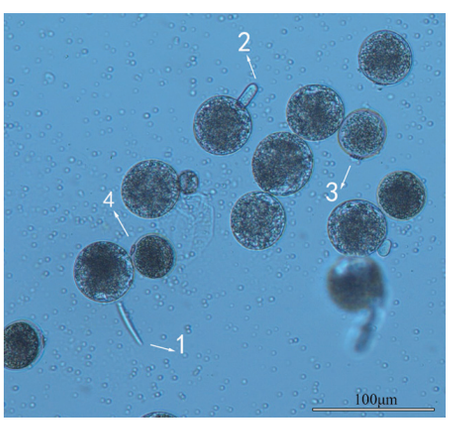
以 5 月份的 DTW 无性系花粉为材料，研究不同蔗糖质量分数条件下的花粉萌发情况。由表 3 可知，DTW 无性系在花药完全露出时，其在 5% 蔗糖培养基上的萌发率最高，达 4.3%，表明花药完全露出时花粉发育好，且 5% 蔗糖 +0.001% 硼酸 +0.001% 无水氯化钙溶液适合慈竹花粉的萌发。



1. 强活力花粉；2. 弱活力花粉；3 无活力花粉。
1. Vigorous pollen; 2. Weak vitality pollen; 3. Inactive pollen.

图 4 慈竹花粉的染色

Fig. 4 The pollen staining of *B. emeiensis*



1. 萌发良好花粉；2. 萌发不良花粉；3. 未萌发花粉；4. 花粉萌发孔。
1. Well-germinated pollen; 2. Poorly-germinated pollen; 3. Ungerminated pollen; 4. Pollen germination aperture.

图 5 慈竹花粉萌发形态

Fig. 5 The pollen germination morphology of *B. emeiensis*

表 3 不同质量分数的蔗糖对慈竹 DTW 无性系花粉萌发的影响

Table 3 Effects of different sucrose concentrations on pollen germination of *B. emeiensis* DTW clone

蔗糖质量分数 Sucrose concentrations /%	发育阶段 Development stage	萌发良好 Good germination		萌发较差 Poor germination		未萌发 No germination	
		粒数 Number	占比 Proportion /%	粒数 Number	占比 Proportion /%	粒数 Number	占比 Proportion /%
1	花药完全露出	1	0.2	2	0.5	400	99.3
	花药刚露出	0	0	2	0.8	240	99.2
	花药未露出	0	0	0	0	97	100.0
5	花药完全露出	23	4.3	15	2.8	498	92.9
	花药刚露出	12	4.1	6	2.1	274	93.8
	花药未露出	1	0.5	2	1.0	190	98.5
10	花药完全露出	2	0.8	4	1.5	260	97.7
	花药刚露出	1	0.4	2	0.7	274	98.9
	花药未露出	0	0	1	2.6	37	97.4
15	花药完全露出	0	0	0	0	396	100.0
	花药刚露出	0	0	0	0	307	100.0
	花药未露出	0	0	0	0	48	100.0
30	花药完全露出	0	0	0	0	400	100.0
	花药刚露出	0	0	0	0	240	100.0
	花药未露出	0	0	0	0	93	100.0

2.4.2　不同时期的花粉萌发率

以不同时期花药完全开裂散出的花粉为材料，置于 5% 蔗糖的培养基上萌发培养，检测结果如表 4 所示。由表 4 可知，5—8 月，DTW 无性系花粉的良好萌发率呈先升后降的趋势，于 6 月达到最高值，为 5.1%；而 JJS 无性系花粉的良好萌发率则在 7 月达到最高，为 4.9%，表明 2 个无性系的花粉萌发不同步。

表 4　慈竹不同时期的花粉萌发率
Table 4　The pollen germination rate of *B. emeiensis* at different stages

月份 Month	无性系 Clones	萌发良好 Good germination		萌发较差 Poor germination		未萌发 No germination	
		粒数 Number	占比 Proportion /%	粒数 Number	占比 Proportion /%	粒数 Number	占比 Proportion /%
5	DTW	23	4.3	15	2.8	498	92.9
	JJS	0	0	0	0	396	100.0
6	DTW	29	5.1	21	3.7	524	91.2
	JJS	0	0.0	0	0	359	100.0
7	DTW	11	2.3	6	1.3	460	96.4
	JJS	26	4.9	13	2.5	488	92.6
8	DTW	0	0	0	0	398	100.0
	JJS	0	0	0	0	402	100.0

2.5　柱头可授性

由表 5 可知，5 月慈竹 DTW 无性系在花药未露出时柱头可授性极弱，随着花药的发育，柱头可授性逐渐增强，至花药散粉时柱头可授性最强；散粉后，柱头可授性逐渐降低。JJS 无性系的柱头可授性较 DTW 无性系弱，但同样在花药散粉时柱头可授性最强。6—8 月的测定结果均显示，慈竹 JJS 无性系的柱头可授性均较慈竹 DTW 无性系弱，且均在花药散粉时柱头可授性最强。

表 5　慈竹不同发育阶段的柱头可授性（5 月）†
Table 5　Stigma receptivity of *B. emeiensis* at different developmental stages（May）

慈竹无性系 Clones of *B. emeiensis*	发育阶段 Developmental stage	气泡 Bubble	溶液颜色 Color of solution	柱头可授性强度 Stigma receptivity strength
DTW	花药未露出	少量	变蓝	+
	花药半露出	少量	变蓝	++
	花药完全露出	中量	变蓝	+++
	花药散粉	大量	变蓝	++++
JJS	花药未露出	少量	变蓝	+
	花药半露出	少量	变蓝	++
	花药完全露出	少量	变蓝	++
	花药散粉	中量	变蓝	+++

† “+”表示可授性极弱；“++”表示可授性弱；“+++”表示可授性强；“++++”表示可授性极强。

“+” indicates extremely weak receptivity; “++” indicates weak receptivity; “+++” indicates strong receptivity; “++++” indicates extremely strong receptivity.

2.6　花粉胚珠比（P/O）的估算

DTW 无性系的单花花粉数量为 13 700 ～ 33 500 个，胚珠数量为 1 个，P/O 估算值为 13 700 ～ 33 500；JJS 无性系的单花花粉数量为 10 500 ～ 26 700 个，胚珠数量为 1 个，P/O 估算值为 10 500 ～ 26 700。根据 Cruden（1977）[23] 的评价标准，慈竹繁育系统属于专性异交，需要传粉媒介。

2.7　人工控制授粉结实率统计

调查结果（表 6）显示，2 个慈竹无性系在原产地自然条件下无结实；移栽到试验苗圃后，在自然状况下也没有发现结实现象。对试验苗圃的 2 个无性系分别进行人工辅助授粉和套袋保护，结果发现人工授粉后慈竹有少量结实，结实率具体表现为先提高后降低的趋势，且 DTW 无性系和 JJS 无性系分别在 6 月和 7 月达到最高值，分别为 4.00% 和 2.67%。

表 6　不同时段人工辅助授粉后慈竹的结实率
Table 6　The seed setting rate of *B. emeiensis* at different periods　%

月份 Month	DTW		JJS	
	自然授粉 Natural pollination	人工授粉 Artificial pollination	自然授粉 Natural pollination	人工授粉 Artificial pollination
5	0	2.67	0	0
6	0	4.00	0	2.00
7	0	1.33	0	2.67
8	0	0	0	0.67

3　讨论与结论

3.1　花器官与传粉

《中国植物志》记载慈竹的花期为 7—9 月。本研究将原产四川的 2 个慈竹无性系移栽至浙江

观测，发现其盛花期均为 5 月中旬至 8 月初，盛花期结束后 2 周仍有部分小花开放，出现这种花期差异，可能受试验苗圃温室较高温度的影响，也可能与不同年份的气候因子有关。慈竹花序的假小穗固定着生于不同级次的营养轴上，其基部的潜伏芽可继续发育形成新小穗，每小穗含 3 ～ 5 朵小花，顶端的 1 ～ 2 朵小花未充分发育。DTW 无性系的小穗呈紫褐色，而 JJS 无性系的小穗整体呈紫褐色，略带绿色。慈竹小花由 1 片外稃、1 片内稃、6 枚雄蕊、3 ～ 4 枚浆片和 1 个雌蕊组成。竹类植物单花通常有花药 3 或 6 枚，金佛山方竹 *Chimonobambusa utilis*[24] 每朵小花含 3 个雄蕊，花药颜色为紫色；雷竹 *Phyllostachys violascens* ‘Prevernalis’ [25] 每朵小花含 3 个雄蕊，成熟时花药为淡黄色。慈竹具有雄蕊 6 枚，与硬头黄竹 *B. rigida*[26]、麻竹和青秆竹 *B. tuldoides*[27] 的花药数量一致。DTW 无性系的花药颜色呈黄褐色，而 JJS 无性系的花药颜色呈鲜红色。慈竹的浆片呈卵状披针形，与茶竿竹 *Pseudosasa amabilis*[28]、雷竹 [29] 和花竹 *Bambusa albolineata*[30] 的浆片形状相似。DTW 无性系的浆片呈淡黄色透明膜质，而 JJS 无性系的浆片呈白色透明膜质，两者具有一定区别。

3.2 花粉活力与柱头可授性

花粉活力和柱头可授性是影响授粉质量和结实率的关键因素 [31]。本研究利用碘 - 碘化钾法与离体萌发法检测 2 个慈竹无性系的花粉活力与花粉萌发率，结果表明，两者均在花药完全露出时花粉活力最高，但是 DTW 无性系在 5 月花粉活力最高（75.2%），JJS 无性系在 7 月花粉活力最高（79.2%）。慈竹花粉萌发率与花药发育状态密切相关，在花药完全外露时花粉萌发率达到峰值。在花粉离体萌发体系中，蔗糖与硼酸是培养基的核心成分，不同蔗糖、硼酸配比的培养基组合会对慈竹花粉萌发效果产生影响。林树燕等 [19] 对月月竹 *Chimonobambusa sichuanensis* 的研究表明，在 20% 蔗糖 +0.001% 硼酸培养基条件下，花粉萌发率最高，达 35.67%。本研究慈竹完全露出的花粉在 5% 蔗糖 +0.001% 硼酸 +0.001% 无水氯化钙溶液的培养基上萌发率最高，与梁山慈竹 [5]、红竹 *Phyllostachys iridescens*[32]、斑箨苦竹 *Pseudosasa notata*[32] 等达到最佳条件所需蔗糖质量分数一致。本研究发现，添加 0.001% 硼酸有利于慈竹花粉萌发和花粉管生长，这与林树燕等 [19]、王青等 [33] 的研究结果一致。慈竹 DTW 无性系的萌发率呈先增加后减少的趋势，在 6 月达到最佳萌发率，萌发良好率为 5.1%；JJS 无性系起初不萌发，7 月达到最佳萌发率，萌发良好率为 4.9%。表明在相同环境条件下，不同慈竹无性系花粉的萌发率存在明显差异。

慈竹 DTW 无性系和 JJS 无性系在花药未露出时，柱头可授性极弱，在花药散粉时柱头可授性最强。散粉后，柱头可授性逐渐降低。王继业等 [28] 发现茶竿竹在花药散粉时柱头可授性最好，赵婉琪等 [31] 也发现笔竹 *Pseudosasa viridula* 在成熟期（散粉时期）柱头可授性最强。慈竹无性系的柱头可授期与大多数竹种相同，但是慈竹 JJS 无性系的柱头可授性始终较慈竹 DTW 无性系弱。自然授粉情况下没有发现慈竹结实，这与王小红 [34] 对慈竹的研究结果相同。本试验发现，人工控制授粉可在一定程度上提高慈竹结实率，且结实率随时间的变化呈先增加后减少的趋势，DTW 无性系最高结实率在 6 月达到 4.00%，而 JJS 无性系最高结实率在 7 月达到 2.67%，这可能与慈竹 JJS 无性系的柱头可授性始终较慈竹 DTW 无性系弱有关，总体来说，慈竹 2 个无性系的结实率均较低。同一物种不同品种或种源之间的生殖能力差异较大，如不同品种安酷杜鹃的花粉活力存在显著差异 [35]，不同种源红松的结实率也表现出明显分化 [36]。本研究表明，慈竹不同无性系之间育性差异大，可依据花粉活力、萌发能力及结实特性筛选育性高的无性系用于杂交育种，JJS 无性系在 5 月和 6 月花粉无萌发能力，这个时期的 JJS 无性系材料可以作为杂交母本，进一步解析其不育机理，为竹子生殖生物学研究提供理论依据。

王继业等 [28] 研究发现，茶竿竹花粉萌发率较低，可能是导致结实率极低的原因之一。周丽等 [37] 发现，紫竹小花雄蕊在发育过程中出现多种发育异常情况，导致其结实率过低。遗传因素和环境因素均会影响植物的育性。本试验慈竹无性系结实率低可能是遗传因素导致花粉生活力低下，也可能是温度、湿度等环境条件不适所致。下一步将研究施肥和外源激素对竹子育性的影响，提高竹子的育性，从而为杂交育种提供材料。

3.3 结 论

本研究系统比较了 2 个慈竹无性系的开花生物学特性，发现在相同的环境条件下，2 个慈竹无性系的花粉活力和柱头可授性相差较大，导致达到最佳育性的条件有所不同。DTW 无性系适宜在

6 月授粉，JJS 无性系适宜在 7 月授粉，需结合人工辅助以提高结实率，但 2 个慈竹无性系均具有育性，可作为杂交育种的母本材料。

参考文献：

[1] 赵婉琪 , 国春策 , 王燕 , 等 . 笔竹大小孢子发生及雌雄配子体发育研究 [J]. 广西植物 ,2022(1):143-151.
Zhao W Q, Guo C C, Wang Y, et al. Sporogenesis and gametogenesis of *Pseudosasa viridula*[J]. Guihaia,2022(1): 143-151.

[2] 林树燕 , 石文文 , 缪彬彬 , 等 . 竹类植物生殖生物学研究进展 [J]. 世界竹藤通讯 ,2010,8(2):1-6.
Lin S Y, Shi W W, Miao B B, et al. Research advances in reproduction biology of bamboos[J]. World Bamboo and Rattan,2010,8(2):1-6.

[3] 刘倩倩 , 徐一帆 , 林新春 , 等 . 雷竹花粉萌发率及贮藏方法研究 [J]. 福建林学院学报 ,2012,32(2):146-150.
Liu Q Q, Xu Y F, Lin X C, et al. Pollen germination and storage of *Phyllostachys violascens*[J]. Journal of Fujian College of Forestry,2012,32(2):146-150.

[4] 林树燕 , 李洁 , 赵荣 , 等 . 南京地区孝顺竹的开花生物学特性研究 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版),2015,39(2):52-56.
Lin S Y, Li J, Zhao R, et al. A research on the flowering biological characteristics of *Bambusa multiplex* in Nanjing City[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2015, 39(2): 52-56.

[5] 钟远标 . 麻竹和梁山慈竹的生殖生物学研究 [D]. 南京 : 南京林业大学 ,2016:5-9.
Zhong Y B. Studies on the reproductive biology of *Dendrocalamus latiflorus* and *Dendrocalamus farinosus*[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University,2016:5-9.

[6] 姚文静 , 姜明云 , 王星 , 等 . 黄条金刚竹开花生物学特性及花粉萌发力 [J]. 东北林业大学学报 ,2020,48(3):13-18.
Yao W J, Jiang M Y, Wang X, et al. Biological analysis of flowering and pollen germination in *Sasaella kongosanensis* 'Aureostriatus'[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020,48(3):13-18.

[7] 袁金玲 . 孝顺竹遗传多样性、再生体系构建及杂交育种研究 [D]. 北京 : 中国林业科学研究院 ,2010.
Yuan J L. Study on genetic diversity, regeneration system and cross breeding of *Bambusa multiplex*[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry,2010.

[8] 李洁 . 孝顺竹的生殖生物学研究 [D]. 南京 : 南京林业大学 , 2013:12.
Li J. Studies on the reproductive biology of *Bambusa multiplex*[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University,2013:12.

[9] 徐川梅 , 高欣 , 汤定钦 . 利用激光共聚焦显微镜研究孝顺竹花粉粒发育 [J]. 林业科学 ,2010,46(11):158-161,195.
Xu C M, Gao X, Tang D Q. Observation of pollen development in *Bambusa multiplex* with laser scan confocal microscope[J]. Scientia Silvae Sinicae,2010,46(11):158-161,195.

[10] 陈文波 , 蒋瑶 , 董玘鑫 . 慈竹愈伤组织的诱导及增殖培养 [J]. 凯里学院学报 ,2018,36(3):53-57.
Chen W B, Jiang Y, Dong Q X. Study on callus induction and proliferation of *Neosinocalamus affinis*[J]. Journal of Kaili University,2018,36(3):53-57.

[11] 杨家军 , 余英 , 张艳丽 , 等 . 川南纸浆竹林土壤养分特征及其影响因子 [J]. 世界竹藤通讯 ,2024,22(4):15-23.
Yang J J, Yu Y, Zhang Y L, et al. Characteristics of soil nutrients in pulp-producing bamboo forest in south Sichuan and their impact factors[J]. World Bamboo and Rattan,2024,22(4): 15-23.

[12] 苏智先 , 蒋晓明 , 左玉芬 . 慈竹无性系种群光合生态的初步研究 [J]. 四川师范学院学报 ,1991,12(4):352-357.
Su Z X, Jiang X M, Zuo Y F. A primary study on the photosynthetic ecology in *Neosinocalamus affinis* clone population[J]. Journal of Sichuan Normal College,1991,12(4): 352-357.

[13] 史军义 , 马丽莎 , 张玉霄 , 等 . 世界慈竹属栽培品种整理 [J]. 世界竹藤通讯 ,2018,16(1):45-48.
Shi J Y, Ma L S, Zhang Y X, et al. Review on *Neosinocalamus* cultivars in the world[J]. World Bamboo and Rattan,2018,16(1): 45-48.

[14] 李红艳 , 陈丽洁 , 黄建波 , 等 . 竹废弃物基质栽培对大球盖菇农艺性状及品质的影响 [J]. 安徽农业科学 ,2026,54(4):33-36,58.
Li H Y, Chen L J, Huang J B, et al. The effect of bamboo sawdust substrate cultivation on agronomic traits and nutritional quality of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2026,54(4):33-36,58.

[15] 王钧琦 , 陈君卓 , 王倩 , 等 . 阴生和阳生环境下慈竹叶片叶绿素荧光特性比较 [J]. 现代园艺 ,2024,47(23):32-34.
Wang J Q, Chen J Z, Wang Q, et al. Comparison of chlorophyll fluorescence characteristics of *Dendrocalamus affinis* leaves in shady and sunny environments[J]. Contemporary Horticulture, 2024,47(23):32-34.

[16] 李豪 , 马鑫茹 , 夏林 , 等 . 慈竹基重组竹材物理力学性能研究 [J]. 工业建筑 ,2025,55(2):1-9.
Li H, Ma X R, Xia L, et al. Research on physical and mechanical properties of *Bambusa emeiensis* bamboo scrimber[J]. Industrial Construction,2025,55(2):1-9.

[17] 周晓春 , 肖天湘 . 亚铵法慈竹浆生产牛皮纸 [J]. 四川造纸 , 1984(2):1-4.
Zhou X C, Xiao T X. Production of kraft paper from ammonium sulfite faci bamboo pulp[J]. Southwest Pulp and Paper,1984(2):1-4.

[18] 王博雅 , 姜勇 , 黄艳 , 等 . 慈竹纤维素合酶 BeCesA4 的克隆及功能分析 [J]. 生物技术通报 ,2022,38(11):185-193.
Wang B Y, Jiang Y, Huang Y, et al. Cloning and functional

analysis of BeCesA4 in *Bambusa emeiensis*[J]. Biotechnology Bulletin,2022,38(11):185-193.

[19] 林树燕 , 骆仁祥 , 丁雨龙 , 等 . 月月竹的花粉萌发力及贮藏力研究 [J]. 林业科技开发 ,2008(5):22-25.
Lin S Y, Luo R X, Ding Y L, et al. Studies on the pollen vitality and storage capacity in *Chimonobambusa szechuanensis*[J]. China Forestry Science and Technology,2008(5):22-25.

[20] 张文燕 , 马乃训 . 竹类植物花粉的生活力和自然授粉 [J]. 林业科学研究 ,1990,3(3):250-255.
Zhang W Y, Ma N X. Vitality of bamboo pollens and natural pollination in bamboo plants[J]. Forest Research,1990, 3(3):250-255.

[21] 刘林德 , 张洪军 , 祝宁 , 等 . 刺五加花粉活力和柱头可授性的研究 [J]. 植物研究 ,2001,21(3):375-379.
Liu L D, Zhang H J, Zhu N, et al. Pollen viability and stigma receptivity of *Eleutherococcus senticosus* (Araliaceae)[J]. Bulletin of Botanical Research,2001,21(3):375-379.

[22] 柳文 , 李凤娟 , 邓毅晖 , 等 . 珍稀濒危植物越峰杜鹃的开花及传粉生物学研究 [J]. 植物科学学报 ,2025,43(5):566-575.
Liu W, Li F J, Deng Y H, et al. Flowering and pollination biology of rare and endangered *Rhododendron yuefengense* G. Z. Li[J]. Plant Science Journal,2025,43(5):566-575.

[23] Cruden R W. Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants[J]. Evolution,1977,31(1):32-46.

[24] 杨蒙 , 张玉 , 丁雨龙 , 等 . 金佛山方竹开花特性及花器官发育特征 [J]. 东北林业大学学报 ,2022, 50(1):7-13,45.
Yang M, Zhang Y, Ding Y L, et al. Flowering characteristics and floral organ development characteristics of *Chimonobambusa utilis*[J]. Journal of Northeast Forestry University,2022,50(1): 7-13,45.

[25] 何奇江 , 汪奎宏 , 华锡奇 , 等 . 雷竹花穗和花器的观察研究 [J]. 浙江林业科技 ,2003,23(2):10-11,15.
He Q J, Wang K H, Hua X Q, et al. Study on inflorescence and floral organ of *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis*[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology,2003,23(2): 10-11,15.

[26] 李娟 , 王一方 , 初彩华 , 等 . 硬头黄竹花的形态与结构研究 [J]. 林业科学研究 ,2020,33(1):28-34.
Li J, Wang Y F, Chu C H, et al. Studies on flower morphology and structure of *Bambusa rigida*[J]. Forest Research,2020,33(1): 28-34.

[27] 龙昊 , 初彩华 , 金点坤 , 等 . 青秆竹花的解剖观察与分析 [J]. 广西植物 ,2022,42(1):174-182.
Long H, Chu C H, Jin D K, et al. Anatomical observation and analysis on floral of *Bambusa tuldoides*[J]. Guihaia, 2022,42(1):174-182.

[28] 王继业 , 岳晋军 , 袁金玲 , 等 . 杭州地区茶竿竹开花生物学特性与花粉活力研究 [J]. 广西植物 ,2025,45(5):943-952.
Wang J Y, Yue J J, Yuan J L, et al. Flowering biological characteristics and pollen vitality of *Pseudosasa amabilis* in Hangzhou region[J]. Guihaia,2025,45(5):943-952.

[29] 林新春 , 袁晓亮 , 林绕 , 等 . 雷竹开花生物学特性研究 [J]. 福建林学院学报 ,2010,30(4):333-337.
Lin X C, Yuan X L, Lin R, et al. Studies on floral biology of *Phyllostachys violascens*[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2010,30(4):333-337.

[30] 杨力帆 , 岳晋军 , 易为 , 等 . 杭州地区异常天气影响下花竹开花生物学特性研究 [J]. 竹子学报 ,2025,44(3):1-8.
Yang L F, Yue J J, Yi W, et al. Flowering biological characteristics of *Bambusa albolineata* under abnormal weather conditions in Hangzhou[J]. Journal of Bamboo Research,2025, 44(3):1-8.

[31] 赵婉琪 , 吴正春 , 肖姣 , 等 . 笔竹 (*Pseudosasa viridula*) 花粉活力及柱头可授性研究 [J]. 竹子学报 ,2019,38(3):28-33,46.
Zhao W Q, Wu Z C, Xiao J, et al. The pollen vitality and stigma receptivity of *Pseudosasa viridula*[J]. Journal of Bamboo Research,2019,38(3):28-33,46.

[32] 张文燕 , 马乃训 , 陈红星 . 竹类花粉形态及萌发试验 [J]. 林业科学研究 ,1989,2(1):67-70.
Zhang W Y, Ma N X, Chen H X. The shape of bamboo pollens and their germination test[J]. Forest Research,1989,2(1): 67-70.

[33] 王青 , 彭祚登 , 郭起荣 , 等 . 毛竹花粉活力测定及其适宜保存条件研究 [J]. 竹子研究汇刊 ,2012,31(1):23-26,32.
Wang Q, Peng Z D, Guo Q R, et al. Pollen vitality test and conservation methods of moso bamboo[J]. Journal of Bamboo Research, 2012,31(1):23-26,32.

[34] 王小红 . 水竹和慈竹开花研究 [D]. 雅安 : 四川农业大学 , 2007:17-19.
Wang X H. Studies on the flowering of *Phyllostachys heteroclada* olive and *Neosinocalamus affinis* Keng f[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University,2007:17-19.

[35] 郝梓瑶 , 宋杰 , 李叶芳 , 等 . 不同品种安酷杜鹃花粉活力测定及杂交亲和性分析 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2025,45(4): 76-86.
Hao Z Y, Song J, Li Y F, et al. Determination of pollen viability of different varieties of *Encore® azalea* and analysis of hybridization compatibility[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2025,45(4):76-86.

[36] 马晓雨 , 尚福强 , 潘丕克 , 等 . 不同种源红松生长、结实及光合生理特征 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2023,43(1):57-65.
Ma X Y, Shang F Q, Pan P K, et al. The growth, fruiting and photosynthetic physiology characteristics of *Pinus koraiensis* from different provenances[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2023,43(1):57-65.

[37] 周丽 , 闫瀛丹 , 刘佳欣 , 等 . 紫竹花形态结构与花药败育研究 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版),2025,49(1):210-216.
Zhou L, Yan Y D, Liu J X, et al. Study on the morphological structure and anther abortion of *Phyllostachys nigra* flowers[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2025,49(1):210-216.

[本文编校：谢荣秀]