

## 毛白杨雄花发育特征及少粉型种质选择与成因分析

刘春鹏<sup>1</sup>, 张晓华<sup>2</sup>, 徐振华<sup>1</sup>, 杜克久<sup>3</sup>, 李计达<sup>3</sup>, 李向军<sup>1</sup>, 李新利<sup>1</sup>

(1. 河北省林业和草原科学研究院, 河北省林木良种技术创新中心, 河北 石家庄 050061; 2. 武安市林业局, 河北 武安 056300;  
3. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

**摘要:** 为了避免或减少由于毛白杨 *Populus tomentosa* 种植造成的花粉危害, 本研究以初选的 1601、1602、1603、15 号、5 号、7 号、11 号、14 号、LE01 九份毛白杨雄株优良种质为研究对象, 以毛白杨 1316 为对照, 监测了其雄花花序的发育进程, 调查了其花序形状及散粉情况, 并对各发育时期的花药进行了解剖观察。结果表明: (1) 毛白杨雄株花序于 2 月中旬开始膨大、伸长, 3 月上中旬, 花药开裂并开始散粉, 散粉时间为 5 d 左右; 毛白杨雄株花序从花芽膨大、伸出到干枯脱落持续 30 d 左右。(2) 11 号、1603、1601、7 号种质的花序体积较大; 1603、15 号、1602、5 号以及 7 号种质花序的散粉鲜质量和干质量较低, 其中以 1603 和 15 号种质的最低。(3) 少粉型毛白杨种质的花药一般在中后期发育迟滞, 干瘪, 花粉粒粘连, 而且花药的开裂率低, 导致其无法正常散粉。综上所述, 本研究初步筛选出了少粉型毛白杨种质 5 份, 并初步探究了其产粉少的原因, 为无花粉或少粉型雄株毛白杨的选育提供理论依据和技术支持。

**关键词:** 毛白杨; 雄株; 少粉型; 种质筛选

中图分类号: S792.117 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2021)04-0010-05

## Characteristic of Inflorescence Development and Selection of Less Pollen of Male *Populus tomentosa*

LIU Chun-peng<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-hua<sup>2</sup>, XU Zhen-hua<sup>1</sup>, DU Ke-jiu<sup>3</sup>, LI Ji-da<sup>3</sup>, LI Xiang-jun<sup>1</sup>, LI Xin-li<sup>1</sup>

(1. Hebei Academy of Forestry and Grassland Sciences, Hebei Technical Innovation Center for Forest Improved Variety, Shijiazhuang 050061, China; 2. Wu'an Forestry Bureau of Hebei, Wu'an 056300, China; 3. College of Forestry, Agriculture University of Hebei, Baoding 071000, China)

**Abstract:** During 2018 and 2019, 9 germplasm of male *Populus tomentosa* with less pollen were selected from 15 ones in Hebei province. From February to March, observation was carried out on male inflorescence development and morphology, pollen production and anther development. The result showed that male inflorescence began to expand and elongate in mid-February, anthers cracked and pollen disseminated in early or mid-March. The inflorescence development of male poplar lasted for about 30d. The inflorescence of *P. tomentosa* 'No. 11', *P. tomentosa* '1603', *P. tomentosa* '1601' and *P. tomentosa* 'No. 7' was larger in volume. The fresh and dry weight of pollen from *P. tomentosa* '1603', *P. tomentosa* 'No. 15', *P. tomentosa* '1602', *P. tomentosa* 'No. 5' and *P. tomentosa* 'No. 7' was lower, especially the first two cultivars. The experiment demonstrated that the anthers of tested *P. tomentosa* had development retardation in the middle and late stage, pollen grain adhesion and lower anther cracking rate, leading to the failure of normal pollen dissemination.

**Key words:** *Populus tomentosa*; male plant; less pollen; germplasm selection

收稿日期: 2021-01-16; 修回日期: 2021-05-29

基金项目: 河北省省级科技计划资助(21326347D); 河北省财政基本科研经费项目资助(ZXZD2018001); 河北省林业科学技术研究项目资助(1602477)

作者简介: 刘春鹏, 高级工程师, 硕士, 从事林木良种选育及栽培方面的研究; E-mail: lcp-1984@163.com。通信作者: 徐振华, 正高级工程师, 从事林木遗传育种及森林培育研究; E-mail: hblky303@126.com。

毛白杨 *Populus tomentosa* 是我国特有的乡土树种<sup>[1]</sup>, 具有高大挺拔、速生、材质优良等特点, 是我国北方用材、防护、景观林营建的主要树种之一。近年来, 为了避免毛白杨雌株“飞絮”造成的环境污染, 在各种造林工程和林业生产过程中, 大多选择雄株替代雌株。然而, 雄株毛白杨却能产生大量花粉, 成为过敏人群的巨大隐患。花粉过敏已成为世界上普遍存在的季节性流行病<sup>[2]</sup>, 而且发病率呈现逐年上升的趋势, 预计将有 35% 左右的人患花粉症<sup>[3]</sup>。在我国, 花粉过敏的发病率为 0.5% ~ 1.0%, 高发病区的发病率甚至达 5%, 患者数量达到几千万之多<sup>[4-5]</sup>。为了避免或减少由于毛白杨种植造成的花粉危害, 本研究基于毛白杨优良雄株筛选的基础上, 监测了其花序的发育进程, 并对筛选的 10 份优良种质的花序形态、产粉量进行了测定, 初步筛选出了无花粉或少粉型优良种质; 同时, 利用显微技术, 从花药发育及花药开裂方面, 初步探索了毛白杨种质不产粉或少产粉的原因, 以期为无花粉或少粉型雄株毛白杨的选育提供技术和理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料采集于河北省林业和草原科学研究院内。该地地理坐标为 114°28' E, 38°08' N, 隶属于河北省石家庄市新华区, 北依滹沱河, 西临太行山。气候属于暖温带大陆性季风气候, 四季差异分明, 降水多集中于夏季, 分布不均, 年均降水量为 552.8 mm。年均气温为 12.9℃, 7 月气温最高, 最高气温为 41.5℃, 1 月气温最低, 最低气温为 -19.3℃, 无霜期约 200 d。土壤为砂壤土, pH 值约为 7.5, 富含有机质。

选择健壮、优良的成年毛白杨雄性单株种质(所选种质资源大多为 20 世纪 70—80 年代于河北省内各地市搜集而来的毛白杨优良种质), 以花粉散播量为指标, 于 2018—2019 年连续 2 年对毛白杨 1316、84K 杨、新疆杨、窄冠 1 号、窄冠 3 号、金白杨、1601、1602、1603、LE01、毛白杨雄株 1 ~ 15 号共 25 份种质进行了初步筛选, 筛选出了 9 份花粉散播量相对较少的种质, 分别为 1601、1602、1603、15 号、5 号、7 号、11 号、14 号、LE01(这 9 份毛白杨种质为编号)。2020 年, 本试验以这 9 份种质资源为试验材料, 毛白杨 1316 为对照(CK, 该种质于 2010 年通过了河北省良种审定, 良种编号: S-SC-PT-019-2010, 且为河北省范围内广泛种植的毛白杨良种, 具有一定的代表性和普遍性), 开展了相关试验研究。

### 1.2 试验方法

1.2.1 雄花花序发育进程观察 以毛白杨 1316 为观察对象, 利用 forsafe H805 定时相机高清 4K 延时摄影机, 于 2020 年 2 月 10 日至 4 月 10 日(2019 年 6 月花芽开始分化至 2020 年 4 月试验结束期间, 未出现极寒、极热等反常气候), 选取毛白杨 1316(树龄为 46 年, 胸径为 86 cm)树冠中部花枝上的 20 个花序, 对其发育情况进行定时监测, 设置每 24 h 拍照并记录一次, 于花序败落后取下摄影机, 导出照片, 并进行观察和分析, 依据花序发育的不同表现特征划分其物候期。结合室内水培, 选取典型花序照片记录物候期。

1.2.2 花序形状及散粉情况调查 在花药成熟未散粉前(2020 年 3 月 7 日), 利用升降梯在各种质的中部按照上、中、下位置分别选取 20 个花序, 将其中 10 个花序取下, 在实验室内测量其长度及中部的直径; 另外 10 个花序保留在树体上, 加装纸袋收集花粉, 待其散粉完全后, 取下纸袋, 收取花粉, 称其鲜质量, 105℃烘干后称其干质量, 并计算每个种质的每个花序的花粉鲜质量和干质量的平均值。

1.2.3 花药发育解剖观察 2020 年 2 月中旬, 集中采集各种质的花枝 10 个, 室内水培, 待其花序开始伸长后, 每隔 12 h 用镊子摘取花序中的花药, 去除苞片, 置于体式显微镜下进行观察, 观察花药的发育状态以及开裂情况。

### 1.3 数据处理

利用 Excel 和 DPS 数据处理软件进行作图和数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 毛白杨 1316 雄花序的发育进程

图 1A 至图 1D 为毛白杨 1316 雄花序不同发育阶段的照片，展现了其不同发育阶段的形态特征。表 1 统计了毛白杨 1316 雄花序不同发育阶段的具体时间。如图 1 和表 1 所示，毛白杨 1316 雄花序从花芽膨大、伸出到花序干枯脱落持续 30 d 左右。2 月中旬，花芽开始逐渐膨大，花序轴缓慢伸长，历时 11 d 左右，3 月初，花序开始伸长，花药由黄绿色渐变为红色，历时 7 d 左右；3 月上旬末或中旬初，花药开裂开展、散粉，散粉时间为 5 d 左右；3 月中下旬，花药失水收缩，变为褐色，体积缩小，逐渐干枯，历时 4 d。



图 1 不同时期毛白杨 1316 雄花序的发育状态

Figure 1 Inflorescence development of *P. tomentosa* ‘1316’

表 1 毛白杨 1316 雄花序发育进程及形态

Table 1 Date and description of development of inflorescence in *P. tomentosa* ‘1316’

日期/(月.日)	物候期	发育形态	持续时间/ d
2.18—2.29	花芽膨大期	苞片紧裹、花序轴缓慢伸长	11
3.01—3.07	花序伸长期	苞片展开、花序轴明显伸长，花药显露，由黄绿色变为红色	7
3.08—3.13	散粉期	苞片展开、花药开裂、散粉	5
3.14—3.17	干枯期	花药由红色变为褐色，逐渐干瘪、干枯	4

2.2 不同种质毛白杨雄花序的形态及散粉情况

对不同种质毛白杨雄花序的长度、直径以及散粉质量进行测定和统计分析，结果见表 2。由表 2 可知，就花序形态而言，毛白杨 1316、11 号、1603、1601、7 号种质的花序长度较长，LE01、1601、1603、11 号、7 号种质的花序直径较大，因此，总体而言，11 号、1603、1601、7 号种质的花序体积较大；毛白杨 1316、1602、11 号、7 号、1603 种质的花序的长度/直径值较大，说明其花序的形态发育比较完全，其余种质的花序较为短粗；就散粉量而言，1603、15 号、1602、5 号以及 7 号种质的散粉鲜质量和干质量较低，其中，以 1603 和 15 号种质的最低。

2.3 不同种质毛白杨雄株的花药发育进程

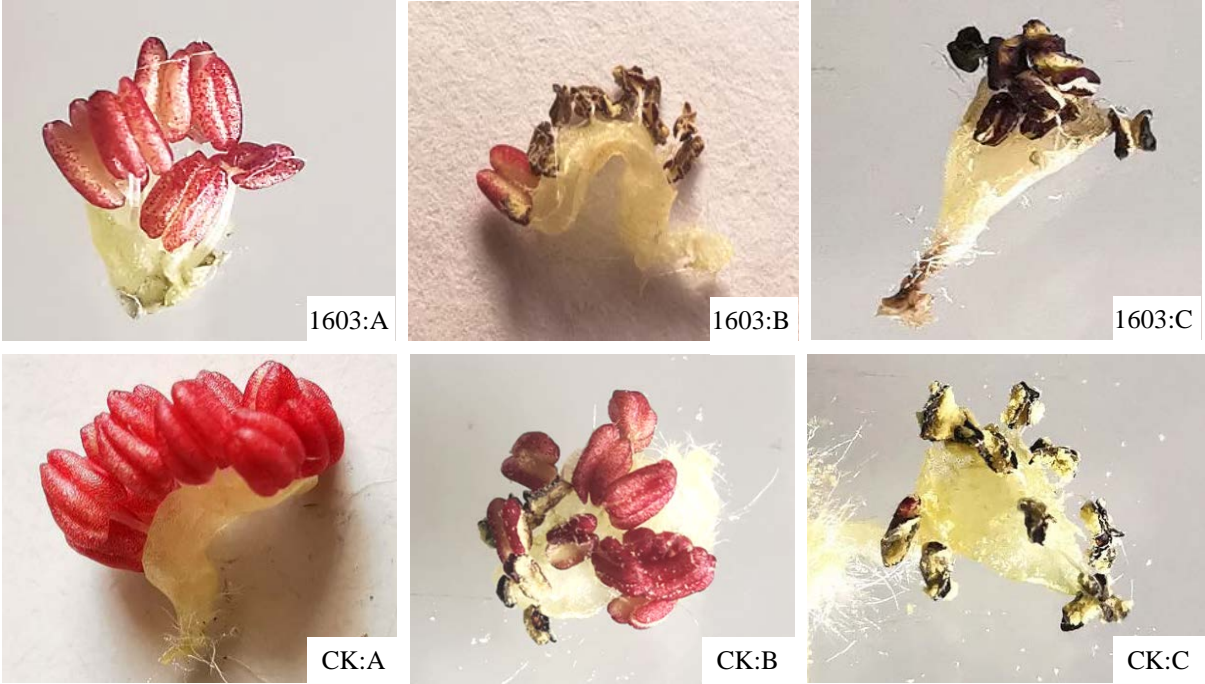
如图 2 所示，通过体式显微镜观察发现，无粉或少粉毛白杨单株（1603）的花序在前期正常伸长，发育正

表 2 不同种质毛白杨的雄花序形态及散粉质量比较  
Table 2 Inflorescence morphology and pollen production from different germplasm of *P. tomentosa*

种质	花序		散粉量		
	长度/cm	直径/cm	长度/直径	鲜质量/(mg·个 <sup>-1</sup> )	干质量/(mg·个 <sup>-1</sup> )
1601	9.00	1.27	7.09	7.10	3.46
1602	7.85	0.90	8.72	1.25	0.61
1603	9.03	1.16	7.78	0.30	0.15
15 号	7.03	1.03	6.83	1.05	0.51
5 号	6.50	1.00	6.50	1.30	0.65
7 号	8.50	1.08	7.87	1.30	0.66
11 号	9.33	1.08	8.64	3.65	1.82
14 号	7.93	1.00	7.93	8.85	4.99
LE01	6.20	1.44	4.31	81.90	27.39
毛白杨 1316	10.07	0.90	11.19	29.80	14.54

注：表中的“鲜质量”和“干质量”为每个种质的每个花序花粉鲜质量和干质量的平均值。

常, 花药正常开裂, 在中后期发育迟滞, 花药干瘪, 花粉粒粘连, 导致无法正常散粉, 而 CK 的花序发育正常, 花药正常开裂、散粉。如图 3 所示, 除 1603、15 号以及 11 号 3 个种质外, 其他种质毛白杨花药的开裂率均为 100%, 而 1603、15 号以及 11 号种质的花药开裂率未达到 100%, 说明其有部分花药不开裂, 即有部分花药不散粉。



A – 发育初期; B – 发育中期; C – 发育后期; CK – 毛白杨1316。

图2 毛白杨雄株不同产粉类型种质花药发育进程比较

Figure 2 Anther development of male *P. tomentosa* germplasm with different pollen production

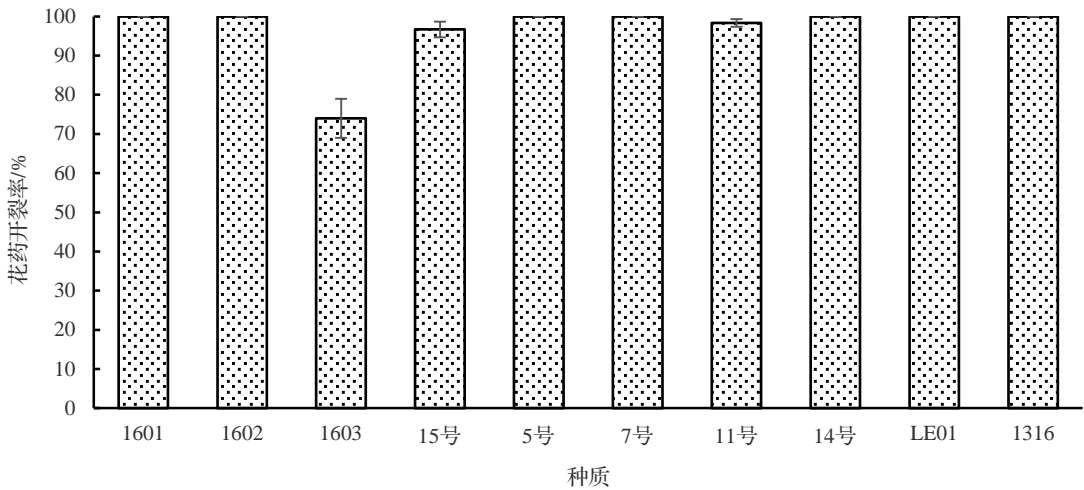


图 3 不同种质毛白杨雄株的花药开裂情况

Figure 3 Anther cracking rate of different male *P. tomentosa* germplasm

3 讨论

目前, 有关杨树 *Populus* sp.花粉发育的研究较多, 许东等<sup>[6]</sup>对辽宁杨 *Populus × liaoningensis* 的雄花序

及花粉萌发过程进行了研究,为更好地利用辽宁杨进行良种选育提供依据。郭英超等<sup>[7]</sup>、刘望舒等<sup>[8]</sup>以及常童洁等<sup>[9]</sup>、张文超等<sup>[10]</sup>分别从花粉败育的细胞学角度和淀粉、脂类、胼胝质等物质异常分布角度,对杨树雄株花粉败育的机理进行了研究。章小玲等<sup>[11]</sup>研究了不同杨树种质间花粉萌发和致敏蛋白的差异,为杨树低致敏新品种选育提供重要的参考。本研究从筛选少花粉型毛白杨雄株种质入手,并对其成因进行了初探,与其他研究角度均有所不同。

生物表型性状的表现一般是由基因与环境共同作用的结果。康向阳<sup>[1]</sup>认为毛白杨花粉败育是由异质性遗传基础与环境相互作用所造成的。本研究前期对败育毛白杨种质进行了广泛筛选,获得了5个少粉型毛白杨种质,尚需进行多年连续观测,进一步探讨其形成原因(遗传或者环境因素),进而确定其遗传性状的稳定性。

本研究结果显示,毛白杨雄株无粉或少粉的原因,主要在于其花药在中后期发育迟滞,花药干瘪,花粉粒粘连,而且花药的开裂率低。这与郭英超等<sup>[7]</sup>、张媛<sup>[12]</sup>、刘望舒等<sup>[8]</sup>的研究结果一致。但本研究所得结论仅是从花药发育层面阐释其无花粉或少花粉的原因,更深层次的细胞组织学以及基因组学研究有待进一步研究。

## 4 结论

本研究显示,2月中旬,毛白杨雄株的花序开始膨大、伸长,3月上中旬,花药开裂并开始散粉,散粉时间为5d左右;毛白杨雄株花序从花芽膨大、伸出到花序干枯脱落持续30d左右。就花序形态及散粉情况而言,毛白杨雄株11号、1603、1601、7号种质的花序体积较大;1603、15号、1602、5号以及7号种质的花序散粉鲜质量和干质量较低,其中以1603和15号种质的最低。就花药发育进程而言,无粉或少粉毛白杨种质的花药发育,在中后期出现迟滞,花药干瘪,花粉粒粘连,导致无法正常散粉。此外,花药开裂率低也是其少花粉的原因之一。

## 参考文献:

- [1] 康向阳. 关于林木无性系育种策略的思考[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(7): 1-9.
- [2] 欧阳昱晖, 张罗. 花粉过敏的防御和治疗[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2020, 27(04): 177-179.
- [3] D'AMATO G, SPIEKSMAN F T M, LICCARDI G, et al. Pollen-related allergy in Europe[J]. Allergy, 1998, 53(6): 567-578.
- [4] 张小利, 丁建云, 崔建臣, 等. 豚草花粉监测与花粉过敏的研究进展[J]. 植物检疫, 2020, 34(04): 47-52.
- [5] 杨琼梁, 欧阳婷, 颜红, 等. 花粉过敏的研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(24): 163-167.
- [6] 许东, 李际红, 谢兰禹, 等. 辽宁杨雄花序发育及花粉萌发特征[J]. 林业科学, 2016, 52(8): 38-45.
- [7] 郭英超, 朱美秋, 孟永红, 等. 毛白杨雄株-D花药败育的细胞学观察[J]. 东北林业大学学报, 2007(09): 33-35.
- [8] 刘望舒, 韩林芝, 朱崑, 等. 杨树雄性不育品种花粉发育过程的细胞学观察[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(01): 198-203.
- [9] 常童洁, 曹媛, 张文超, 等. 毛白杨花粉败育过程中淀粉和脂类的异常分布变化[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(06): 15-18.
- [10] 张文超, 曹媛, 常童洁, 等. 毛白杨花粉败育过程中胼胝质的异常分布变化[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(01): 68-71.
- [11] 章小玲, 王留强, 孙佩, 等. 杨树不同种质花粉萌发和致敏蛋白的差异[J]. 林业科学, 2017, 53(02): 54-64.
- [12] 张媛. '抱头毛白杨'花粉败育的细胞学机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.