

悬铃木的果毛 供图 / 曾商春



没有硝烟的战场 ——与悬铃木果毛的艰苦斗争

撰文 沈卓民 张佳琪

为了减少悬铃木果毛的产生，人们可是煞费了苦心。虽然赢得这场与果毛的斗争远比想象中困难，但是一代又一代的园林人不惧艰苦，前赴后继，迎难而上，最终取得了一些突破性的成果，下面列举一些除果毛飞絮最具代表性的方法。

换掉悬铃木，选择其他行道树

将悬铃木换成其他行道树的确是解决悬铃木果毛造成的飞絮影响的最有效途径，但是综合来看，这并不是提升城市绿化质量的好方法，主要有以下原因。

首先，悬铃木具有非常强的不可替代性。从

功能来看，夏季悬铃木具有非常好的遮阴效果，冬季落叶后也有较好的透光效果；从适应力来看，悬铃木能够适应城市的贫瘠土壤等不良环境；从日常养护来看，悬铃木病虫害少，非常耐修剪；从对空气的净化效果来看，悬铃木的杀菌与吸附空气中颗粒物的效果要好于许多树种。

其次，悬铃木的栽种规模相当大，如果一定要更换成其他行道树，还将面对新树木高昂的购置成本，这还没有计算移栽老树和栽种新树的人工费用。此外从短期来看，新栽的行道树，无论在景观效果还是生态效果上，都无法及时弥补老行道树留下的空缺。

最后，悬铃木通常是城市历史文化的见证

者，绝大多数人不会轻易允许它们被移走，更不会允许它们被就地砍伐。

到目前为止，还没有发现综合能力比悬铃木更适合作为行道树的树种。悬铃木毕竟是多年来通过反复试验和根据实际栽种效果“优胜劣汰”后得出的理想行道树，虽然它会飘絮，但是其功远远大于过。

人工修剪

目前，最行之有效的办法依然是修剪控果，即冬季修剪和夏季抹芽，其原理是利用植物的生殖生长与营养生长的矛盾关系，减少果毛的产生。研究表明，通过合理修剪可以减少90%果毛的产生。

悬铃木修剪一般在每年12月到次年3月，将容易产生果球的二年生以上老枝修剪掉，让悬铃木长出新枝条，能很好地抑制春天果球产生的数量，进而控制飞絮，同时还能较好地保持树形树冠。此外，抹芽工作是养护管理中的一个重要措施。悬铃

木花芽主要集中在一年生新枝上，因此主要是抹去一年生新枝上的芽。抹芽工作主要集中在5—7月，根据实际生长情况，一般要抹3~5次芽，在抹芽的同时要结合各分枝的留取与更换工作。然而，修剪抹芽具有以下缺点：任务繁重，成本高，影响道路交通，具有一定危险性，对工人技术要求高等。

此外，去顶修剪也可以在短期内使悬铃木不结果。去顶修剪即去掉乔木和灌木的顶枝，降低树木的高度。由于悬铃木萌芽力强，剪口附近容易产生新的枝条，这些枝条在剪后的几年内保持营养生长状态，这段时间内悬铃木不会开花结果。

然而，去顶修剪的同时，悬铃木失去了集观赏性和功能性于一体的树冠；伤口较大很容易导致锯端枝、干的严重腐朽，雨水积累在剪口处容易形成树洞；还可能因为枝干失去遮阴，使树皮突然暴露在直射光下而发生日灼伤；同时潜伏芽容易萌发，进一步破坏树形。因此，采用去顶修剪来防止果毛的产生得不偿失。日常生活中悬铃木可以去顶修剪，但一般



左：人工修剪 供图 / 张佳琪 右：人工修剪 供图 / 沈海滨

是树顶有障碍物、防止树冠过大发生危险时才采用此方法。

乙烯利

乙烯利是一种化学药剂，该药剂可以抑制悬铃木果实的发育，从而减少果毛的产生。研究表明，乙烯利对幼果的抑制作用主要有以下三个方面。

第一，乙烯利进入幼果组织后释放乙烯，使细胞膜和细胞分室机能遭到破坏，破坏了细胞内的离子平衡。

第二，由于细胞膜透性增加，气体交换速率加快，幼果呼吸速率上升，使幼果养分消耗过多，供不应求；之后呼吸速率迅速下降，代谢失调，幼果内积累大量的有毒物质，使幼果生长受到严重伤害，直到幼果枯萎死亡。

第三，由于细胞膜透性增加，幼果的水分代谢严重失调，细胞失水，膨压减少。当细胞失水超过细胞原生质的忍受程度时，果实将枯萎脱落。

1983年，该作用被首次发现。南京市园林单位在悬铃木幼果期喷洒乙烯利，结果发现对抑制果实生长和促使果实枯萎脱落有明显的效果。在此基础上，研究人员对喷洒乙烯利的悬铃木幼果生理活动进行了测定，结果发现喷药后的5天内，处理组幼果质量下降了10.6%，而对照组则上升了44.1%。此外，处理组幼果乙烯释放量远高于对照，首日呼吸强度急剧上升，细胞膜透性明显提高，过氧化物酶活性剧增。

在此之后，随着改良方法的不断出现，乙烯利的使用形式逐渐多样化。一方面，研究人员发现树干注射乙烯利也能达到相同的效果。由于树干注射较为简便，成本低，不受道路条件限制，树干注射逐渐被投入使用。另一方面，研究人员在不断的尝试中改进药剂配方，乙烯利与其余试剂混合而成的新型药剂层出不穷。

譬如，研究人员将对植物花、果有催熟、脱落作用的主要化合物如乙烯利、赤霉素（GA）、萘乙酸（NAA）、吲哚乙酸（IAA）等，与催熟剂、硫合剂等配置成除果灵1号、除果灵2号、

除果灵3号，用树干注射的方式单独使用或再与其余药剂混合使用。结果表明，这些药剂施用后除花、果率一般达85%~100%。

再如，研究人员使用了AL试剂（乙烯利、2-硫尿嘧啶、丁草胺）对80株悬铃木的树干进行注射。结果表明经AL处理后的悬铃木果球质量比对照低64.7%，TTC染色几乎不着色，电解质外渗率高于对照，过氧化氢酶活性比对照低83.3%，失水萎蔫也十分明显，50天后残存的球果僵化。

又如，研究人员对比了不同浓度的纯乙烯利药剂与不同浓度的乙烯利+草甘膦混合药剂对悬铃木幼果的抑制作用。结果表明，每株注射15毫升左右的乙烯利20%具有最佳的效果，球果数量相比对照下降了54%。虽然更高浓度的乙烯利具有更强的球果减灭效果，但是因其副作用较强，不宜推广使用。

研究表明，化学药剂施药的最佳时期为3月底至4月初。由于树干施药需通过树木内吸传导到花、果后方能显出药效，应比喷洒提前5~7天施药。

然而，这些化学药剂有明显的缺点：第一，药剂可能对悬铃木造成一定程度的药害，如落叶、枯干等；第二，喷洒受许多条件限制，无法面面俱到；第三，注射的药液在树体内经常分布不均匀；第四，每株悬铃木的规格、抗性、冠幅都不一样，最适使用剂量也会不同；第五，注射孔附近的树皮常有不同程度的伤害，影响树干的美观。

悬铃散

悬铃散是一种专门针对悬铃木飘絮的化学药剂。该药剂是一种花芽抑制剂，通过抑制花芽分化过程中雌雄蕊分化，减少小孢子母细胞分裂，抑制大孢子和胚囊的发育，致使花粉粒不能正常形成，胚珠变形，胚囊不能进行分化，从而导致花序球败育，减少或杜绝结球，最终达到减少或消除悬铃木果毛的目的。

2005年，悬铃散由南京某公司联合南京农业大学杂草研究室历时年研制而成。2006年该公司开始使用悬铃散，在南京农业大学内对悬铃

木进行毛絮治理。经过几年试验发现，悬铃散可以安全有效地抑制悬铃木花芽分化。2010年，悬铃散开始在南京投入使用。2010年至2014年，对南京市的玄武区、鼓楼区内多条道路的悬铃木进行了多次喷洒治理试验，这期间经过不断优化药剂配方和施药方式，综合治理后的悬铃木飘絮总体防效达到60%~70%，有效减少了飞絮。2015年，悬铃散正式推向全国市场，分别在上海、西安、杭州、淮安、镇江、淮南、淄博等地进行推广试验，并取得了显著成效。

之后的实验表明，悬铃散能减少悬铃木果球数量、直径、含水率与果毛产量，增加其电导率、SOD（超氧化物歧化酶）活性与POD（过氧化物酶）活性。研究人员使用悬铃散对四条道路上的悬铃木进行喷洒实验，实验期限两年，每年喷洒两次，结果表明悬铃木的果球直径、果球数量、含水率、果毛产量分别较喷洒前平均下降了58.59%、61.98%、28.30%、63.37%。还有研究人员对三个样地的悬铃木进行喷洒实验，其中悬铃散质量分数为0.1%，使用量约为5.5升/株，每个地区各喷洒两次，结果表明悬铃木的果球直径、果球数量、含水率分别较喷洒前平均下降了39.99%、59.89%、17.18%。

悬铃散只需喷洒，无须注射。喷洒需要注意以下事项：第一，须在2月底至3月初悬铃木枝条刚萌芽时喷洒，最好在夜间喷洒；第二，喷洒时要尽可能覆盖所有的枝条；第三，下雨时不宜喷洒；第四，目前多采用大型喷雾机喷洒，其可喷洒高度达30米，此前也尝试过无人机喷洒，但比不上大型喷雾机效果好。

相比乙烯利等药剂而言，悬铃散不会对树木造成伤害，因此应用也非常广泛。其缺点是喷洒药剂受树高、风力、气温、建筑物等环境影响，且不能完全除去果毛飞絮。

物理冲刷

简单来说，物理冲刷技术的整个作业操作流程包括：风吹——水雾裹——枯枝烂头清除——机械冲洗和清扫——人行道人工清扫。

首先，引路车观察道路及两侧情况；风炮车（高射程风力机车）紧随其后，两侧风筒摆动吹风，把已成熟欲脱落的果球吹散；紧接着雾炮车（抑尘车）喷洒水雾，水雾与果毛结合后，快速降至地面；接着高压洒水车将果毛集中冲到路边，然后由机动清扫车将果毛收集清扫，整体车队作业速度控制在5千米/小时；最后由环卫作业人员尾车检查路面情况并处理收尾工作。

物理冲刷时间一般在悬铃木果毛飘絮期间（4—5月）的夜间操作，一般每周冲刷1次，可根据天气和果球散裂程度适当增减频率。

2020年4月7日，上海市绿化管理部门首次采取物理冲刷法，对悬铃木果毛进行防控，首次试点工作在徐汇区展开。绿化管理部门在徐汇区、黄浦区、杨浦区建立了专业冲洗队伍，对中心城区部分道路进行每周一次的物理冲刷进行防控，使果毛飞絮的数量比往年明显下降。

培育少果悬铃木

可以通过实生选育、诱变育种等方法，培育少果悬铃木。其中，实生选育是从自然界中选育不育或少果性状的悬铃木变异株系，是悬铃木育种的一条重要途径。而诱变育种主要是通过辐射诱变或者化学诱变的方法，获得一系列突变株系，从中筛选开花结实性状发生变异的植株。

由于悬铃木具有5~8年的童期，而性状稳定性的鉴定，特别是结果性状方面又需要多年连续观测，其育种周期之漫长可想而知，这也极大地阻碍了悬铃木的新品种培育工作。其中，华中农业大学包满珠教授课题组从20世纪90年代便开始了悬铃木特异种质资源的收集、保存、创制、扩繁和选育工作。通过野外实地调查，先后从河南、湖北等多个省地收集到悬铃木特异种质资源500余份，其中包括多个晚花少果优良株系，在试验圃地通过嫁接、扦插等手段繁育后经过多年观测，性状稳定。同时，以二倍体悬铃木种子为试材，通过辐射诱变和秋水仙素处理等方法，人工创制出一批悬铃木优良特异种质，首次在国内外获得了四倍体悬铃木。目前该课题组已经审定



上：悬铃木‘华农丽风’整株图 供图/张佳琪

下：悬铃木‘华农青龙’高接对比图（图中左侧树冠为悬铃木‘华农青龙’高位嫁接形成，基本无果；而右侧树冠为普通悬铃木的原生枝条形成，球果量大） 供图/张佳琪



悬铃木属国家新品种权7项，形成了风系列和龙系列两个系列品种；风系列之下已经有‘华农丽风’‘华农瑞风’‘华农清风’三个品种，龙系列之下已经有‘华农青龙’‘华农云龙’‘华农白龙’和‘华农游龙’四个品种。晚花少果是上述新品种的主要特点，除此以外，部分品种在叶形和株形方面各具特色，正在逐步推广。晚花少果悬铃木新优品系的应用将极大地改善悬铃木“落果飞毛”的问题。

果毛预防措施

法桐果毛飘絮预报系统

法桐果毛飘絮预报系统在2017年由南京市园林局与江苏省气象服务中心联合开发而成，旨在为南京市民出行避让果毛提供指导。从2017年到2020年，预报系统每年进行更新，预报的广泛性、精确性与便民性不断提高。截至2020年，该系统可对全市栽植悬铃木行道树数量较多的道路（共65条）进行24小时内逐小时精细化飘絮预报和72小时内的逐3小时趋势预报。该预报系统在南京市绿化园林局官网、官博、官微，江苏气象微博、微信以及“南京本地宝”公众号等平台同步发布更新，市民出行前可据此查看各个路段实时和未来三天的飘絮情况，从而提前预防果毛，平安出行。

全国首个悬铃木果毛防治规范

为缓解悬铃木果毛造成的飞絮影响，保护市民健康，持续改善城市生态环境质量，上海市绿化和市容管理局于2020年3月印发了《上海市行道树悬铃木果毛防控管理技术导则》（以下简称《导则》）。这是国内首个专门针对悬铃木果球防治方面的规范。该《导则》的制定，对未来几年上海开展悬铃木果毛防控具有重要的指导意义。

《导则》在开头明确提出，果毛防控的基本原则为“因地制宜，源头防控；分类处置，重点管控；统筹协调，联防联控”。紧接着，《导则》详述了悬铃木果毛防控措施（修剪控果、物理冲刷、药剂防控、环卫清扫）的具体实施方法，并将修

剪控果定为果毛防控的最主要措施。同时,《导则》还提出了减少悬铃木种植数量、增强树木长势的建议。最后,《导则》列举了果毛防控的管理要求。相信该《导则》的实施,会明显缓解上海市果毛飞絮带来的困扰。

预防果毛、花粉的方法

除了政府进行果毛防控工作,我们还需做好个人防护,从而进一步减少悬铃木果毛、花粉带来的烦恼。个人预防悬铃木果毛、花粉的方法如下:

1. 出门最好戴上口罩和墨镜,穿上长袖;开车、乘车的市民尽量把窗户关上,减少与毛絮的接触。
2. 遇到大风天尽量减少外出。
3. 若毛絮入眼,应做到不慌、不揉、不挠,可通过眨眼让眼泪流出,用干净凉水冲洗,用湿纸轻轻擦拭,或用湿毛巾冷敷。如果出现严重过敏情况,应及时到医院就诊。
4. 如果有果毛沾在脸上产生刺痛感,需用冷水洗脸和敷面。
5. 敏感皮肤要用清水洗脸,并减少使用化妆品和洗面奶的次数。
6. 对于花粉过敏体质者,出门前最好登录气象局官网查询花粉浓度指数,勿在室外久留。一旦出现了过敏症状,情况严重应及时到医院就诊;短期内症状较轻的患者可以免于治疗,自行服用抗过敏药物即可缓解症状。

结语

虽然在这场与果毛的艰苦斗争中,人们取得了许多突破性的胜利,然而这场

斗争还远没有结束。原因是上述方法中,大都费时费力,且有一定的使用条件限制。而这其中,少果悬铃木新优品系的推广与应用将是未来的发展趋势,但是由于目前已经栽种的悬铃木基数庞大,且形成了良好的冠幅和景观效果,对其进行少果悬铃木的高接换冠将是一项艰巨的任务,不可能在短期内完成。相信在未来很长一段时间内,悬铃木的果毛仍将是人们生活中时常讨论的一个话题。

(责编 桑新华)



满天飞絮的季节 供图 / 张佳琪