

园林植物的 遗传改良

主编 鲍平秋
副主编 黄丛林 胡鸢雷



科学出版社

内 容 简 介

本书是月季、菊花等北京市市花,以及四季秋海棠、草坪草等常用园林植物遗传改良和新品种培育方面的专著。全书共分6章,包括月季、菊花、秋海棠、草坪草、立体绿化植物、水体绿化与修复植物的遗传改良等内容。本书较为全面地阐述园林植物遗传改良技术方面的基本理论和技术实践,包含诸多编者多年来的研究成果和经验总结。

本书既适用于从事园林植物遗传改良技术研究的广大科研人员和教学工作者,又可作为园林、园艺及相关学科专业的本科生、研究生相关教材的参考书,也适用于从事园林植物生产的公司和个人。

图书在版编目(CIP)数据

园林植物的遗传改良 / 鲍平秋主编. —北京: 科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-032307-1

I. ①园… II. ①鲍… III. ①园林植物—遗传育种 IV. ①S680.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 183212 号

责任编辑: 李 悦 景艳霞 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年9月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2011年9月第一次印刷 印张: 16 插页: 6

印数: 1—1 500 字数 305 000

定价: 65.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《园林植物的遗传改良》

编辑委员会名单

主 编：鲍平秋

副主编：黄丛林 胡鸢雷

参 编：张 雷 丁艳丽 陶 滔

罗 昌 程 曦 张秀海

吴忠义 杜 娟

主 审：林忠平

序 言

我国地域辽阔，自然条件差异很大，植物资源十分丰富。在全球已知的 30 万种高等植物中，中国就有 3 万余种。中国也是世界园林植物资源最丰富的国家，据不完全统计，我国现有观赏植物种类达 7000 多种，被称为“世界园林之母”。同时，中国有着悠久的花卉栽培历史，栽培 1000 年以上的花卉有 100 多种，是世界栽培千年以上花卉种类最多的国家。古老的中华文明孕育了灿烂的中国花卉文化。但相比花卉资源与花卉文化，中国的花卉科研水平和商品化的生产却是大大落后于发达国家。中国的花卉资源绝大多数还处于野生状态，目前我国主要商品切花和盆花生产的品种多数都来自于国外。近 20 年来，我国花卉产业快速发展，但主要商品花卉品种仍受制于人，特别是中国加入 WTO 以后，缺乏自主知识产权的品种与花卉快速发展的矛盾日益突出。因此，加快新品种的培育和提高育种技术水平就显得非常紧迫和必要。

《园林植物的遗传与改良》恰是关于月季、菊花、四季秋海棠、草坪草、立体绿化植物、水体环境绿化与修复植物等园林植物遗传改良技术的专著。该书是由北京联合大学鲍平秋教授主编，并组织了北京农林科学院及北京大学等著名专家与学者参加编写团队。编著者从具体园林植物入手，分章介绍了植物种质资源研究概况、植物繁殖特性与遗传改良方式、遗传改良技术的进步与发展，以及生物技术在园林植物遗传改良方面的应用（如分子标记辅助育种，植物组织培养与转基因技术等），重点论述了园林植物遗传改良的基本理论与技术，很多内容都是编著者多年研究成果和实践的结晶。如植物再生体系建立技术和一些典型的园林植物遗传改良的内容是作者多年研究工作的经验总结，在理论与技术方面有一定的创新，其内容会比以往的有关著述更具实用性。特别是关于环境净化和水体净化方面的特殊植物的应用，屋顶绿化植物的选择和新的种植方式等具有新颖性。书稿以应用研究为背景，除重点对遗传改良技术进行了论述外，还介绍了国际最新研究进展，阐述了植物生物学、分子遗传学等基本理论。全书凝聚了多位生物学、园林园艺学专家的心血。该论著文字表述科学严谨，内容简明扼

要、深入浅出，可读性强；图文并茂，富有鲜明的时代特征；本书的编辑与出版对加快园林植物新品种的培育将有重要的指导作用，相们会给读者带来更多的启发。

张启翔
北京林业大学
2011.3

编者的话

本书是一本有关月季、菊花、秋海棠、草坪草等园林植物遗传改良技术方面的专著。结构体系从具体园林植物切入，涵盖了该类植物种质资源研究概况（如品种群的调查、收集、分类、分子标记技术应用，基因资源应用及评价等）、植物繁殖特性与遗传改良方式（如引种驯化、选择、杂交与远缘杂交等）、遗传改良技术的进步与发展（如人工诱变、染色体倍性改变等），以及生物技术在这些园林植物遗传改良方面的应用（如分子标记辅助育种、植物组织培养与基因转化技术及抗性基因工程等）。编著者以应用研究为背景，依托植物生物学、分子遗传学等基本理论，着力体现低碳经济理念下的高生态效益育种的最新潮流和指向；不仅融入了大量理论依据，还通过新研究、新成果的介绍突出技术操作环节，强调科学研究方法；集科学性、方法性于一体，应用性较强。全书凝聚了多位生物学、园林园艺学学者与专家的心血，文字表述科学严谨、简明扼要、深入浅出、可读性强、图文并茂，使读者的阅读更加轻松和便捷。

本书由北京联合大学鲍平秋教授担任主编，负责全书编写提纲的制定与统稿，以及部分章节内容的编写等。担任本书副主编的是北京市农林科学院北京农业生物技术研究中心研究员、北京市菊花育种研发创新团队首席专家黄丛林博士与北京大学生命科学学院农业分子生物学实验室胡鸢蕾博士，参加全书编写框架研讨，编写提纲修订及部分内容的编写等。绪论由北京联合大学鲍平秋执笔。第1章月季由北京联合大学丁艳丽、鲍平秋及北京众合诚成知识产权代理有限公司陶滔等执笔。第2章菊花由北京市农林科学院北京农业生物技术研究中心黄丛林、罗昌、程曦、张秀海、吴忠义等执笔。第3章秋海棠由北京联合大学张雷、鲍平秋等执笔。第4章草坪草由北京大学胡鸢蕾等执笔。第5章立体绿化植物由北京大学林忠平及北京联合大学张雷、鲍平秋等执笔。第6章水体绿化与修复植物由北京大学杜娟执笔。

感谢本书主审北京大学首席科学家林忠平教授在百忙中给予的指导与审定，感谢参与本书审定与推荐的中国科学院遗传与发育生物学研究所李文彬研究员和

中国科学院植物研究所景新明研究员，感谢北京林业大学副校长张启翔教授为本书作序，作者对他们所付出的辛勤劳动致以特别敬意！

限于我们的水平，书中难免有不妥之处，欢迎读者批评指正！

鲍平秋

2011.3

目 录

序言

编者的话

绪论	1
0.1 园林植物遗传改良目标的演进	1
0.2 园林植物遗传改良方法的选择与发展	3
0.3 园林植物遗传改良的分子生物学方法	6
参考文献	11
第1章 月季	15
1.1 月季遗传改良综述	15
1.1.1 月季种质资源研究概况	17
1.1.2 以选择和杂交为主的现代月季遗传改良	24
1.2 品种月季‘多特蒙德’的遗传改良	29
1.2.1 ‘多特蒙德’的性状特点及其遗传背景	29
1.2.2 ‘北林俏’、‘北林红’的性状特点及其遗传背景	31
1.2.3 杂交亲本的开花生物学特性	33
1.2.4 杂交试验与杂种发芽	37
1.2.5 杂交后代的筛选与鉴定	38
1.3 月季的分子生物学遗传改良	47
1.3.1 月季基因资源的研究	47
1.3.2 月季遗传转化体系的建立	53
1.3.3 月季转基因研究进展	60
1.3.4 月季分子研究展望	62
参考文献	63
第2章 菊花	72
2.1 菊花遗传改良综述	73
2.1.1 菊花种质资源调查与研究	73
2.1.2 以选择和杂交为主的菊花遗传改良	87
2.1.3 远缘杂交	90

2.1.4 选择与芽变	91
2.1.5 诱变育种	92
2.2 菊花的分子生物学遗传改良	96
2.2.1 菊花的基因转化方法	96
2.2.2 菊花基因转化受体系统的研究	96
2.2.3 菊花转基因研究	98
2.2.4 菊花遗传改良存在的问题和展望	100
参考文献	101
第3章 秋海棠	107
3.1 秋海棠遗传改良综述	107
3.1.1 秋海棠种质资源研究概况	107
3.1.2 以选择和杂交为主的秋海棠遗传改良	111
3.1.3 秋海棠的诱变及倍性育种	113
3.1.4 秋海棠新优品种的优良性状与不足	113
3.2 秋海棠的分子生物学遗传改良	114
3.2.1 细胞分裂素和 <i>ipt</i> 基因研究进展	114
3.2.2 四季海棠的遗传转化	119
3.2.3 转基因四季海棠的性状改变与抗旱性	129
参考文献	134
第4章 草坪草	138
4.1 草坪草遗传改良综述	139
4.1.1 草坪草种质资源研究	139
4.1.2 草坪草引种驯化、杂交及辐射育种研究	140
4.1.3 草坪草分子标记辅助育种	146
4.2 草坪草的分子生物学遗传改良	154
4.2.1 草坪草再生体系的建立	154
4.2.2 草坪草的遗传转化	162
4.2.3 草坪草抗逆性基因工程	168
4.2.4 结语与展望	188
参考文献	190
第5章 立体绿化植物	205
5.1 立体绿化适应植物的选择与应用	206
5.1.1 立体绿化环境特点及其对植物的要求	207
5.1.2 植物的生态适应类型与应用	208

5.2 立体绿化基质的选择与改良	209
5.2.1 栽培基质的类型与特点	209
5.2.2 立体栽培对于基质的特殊要求	211
5.2.3 基质改良的思路	211
5.3 立体绿化植物的遗传改良	212
5.3.1 植物抗旱遗传改良研究	212
5.3.2 植物抗寒遗传改良研究	218
5.4 结语与展望	219
参考文献	220
第6章 水体绿化与修复植物	224
6.1 水体绿化适应植物的选择与应用	224
6.1.1 水生植物的形态结构与生理特点	225
6.1.2 水生植物的生态类群	227
6.1.3 湿生植物	232
6.1.4 水体绿化植物的应用原则	233
6.2 植物修复技术在水体绿化中的应用	235
6.2.1 植物修复技术修复污染水体的技术特征	235
6.2.2 植物修复技术在水体绿化中的应用	236
6.2.3 植物修复技术的发展趋势	237
6.3 水体绿化与修复植物的遗传改良	237
参考文献	241

彩图

绪 论

物质世界是在不断的运动和变化中发展的，植物的变化和发展也不例外。现代达尔文主义认为，遗传、变异是进化的内因和基础，选择决定了进化和发展的方向。即基因突变和杂交导致的基因重组是植物进化的基本原料；差别繁殖造成种群内基因频率的改变，为选择奠定了基础；隔离则促进了新类型的形成。这种自然进化并无目的和计划可循，速度也异常缓慢。由自然进化创造一个新变种或种，平均需要几万年甚至几十万年的历史进程。在类型的多样化方面，往往只能产生有限的适应类型。而人工进化除了利用自然变异之外，还可人为地通过各种诱变手段提高突变频率，或按照人类需要促成如远缘杂交、超远缘杂交等各种在自然界很难，甚至不可能发生的基因重组，乃至通过转基因技术导入某些外源基因，丰富进化的原料。遗传改良可以超越由空间距离和山岳、沙漠、海洋、湖泊等形成的隔离条件；又可以创造各种人为的隔离环境，以促进新类型的形成。人工进化常具有明确的目的和计划。随着技术和方法的不断进步与改进，植物的人工遗传改良速度也不断加快，可以在短短几年、几十年中创造若干个新类型、新品种；还可以为满足人们对产品的多层次、多样化要求创造出极其丰富的类型。

0.1 园林植物遗传改良目标的演进

我国是古老的文明大国，园林的营建有着悠久而灿烂的历史。中国古典园林营造的“第二自然”源于自然而高于自然，在模仿自然的同时融汇了大量的人文精神和艺术内涵。园林植物则是绘制巨幅园林时空画卷不可或缺的“油彩”。长期以来，园林植物育种的主要目标性状多以观赏特性为主，如花形、花色、花期、株型、株高以及叶形、叶色变化等。像菊花（*Chrysanthemum morifolium*）已有1600多年的栽培历史（张莉俊和戴思兰，2009），宋代时就有了繁育纯合的重瓣、并蒂、大花菊花品种等经验。

1. 从追求观赏性状的新、奇、特，到追求品种的抗逆性

科学技术与社会经济的快速发展极大地促进了园林植物的遗传改良，大量园林植物新品种不断涌现。栽培设施的完善和栽培技术的提高，使人类可以人工模

拟很多植物的极端生活环境。人类对自然景观的欣赏和对新、奇、特植物的不懈追求,不仅使更多野生植物成为栽培植物,也使更多植物被纳入园林植物的行列。同时,园林植物遗传改良的目标也更多地强调了品种的抗逆性。例如,经选择、驯化及杂交等方法培育的耐寒梅花早已在北国安家落户(陈俊愉等,1995;陈俊愉,2002);由南京林业大学成功选育的中国马褂木(*Liriodendron chinense*)和北美鹅掌楸(*Liriodendron tulipifera*)的杂交种也广为栽培应用,并能适应北方气候。筛选和培育具有抗旱、耐高(低)温、抗病、抗除草剂和耐践踏特性的园林植物不仅可以节约资源、降低裁培养护成本,又可以大量减少农药或化肥的使用,从而减少环境污染。

2. 对品种生态效益的追求

科学技术的迅猛发展在创造世界经济奇迹的同时也使地球的资源 and 环境遭到了前所未有的破坏,如空气污染、噪声污染、水荒和水质污染、废弃物污染、生物资源减少等。生态安全已在全球部分地区亮起红灯,代表人类与环境关系的生态健康正在受到严重威胁。促进生态安全的回归、维系生态健康,以及建设低碳城市的理念,带来了生态园林建设之风。美国从20世纪60年代开始风景园林的“拟自然”探索,我国则在80年代中叶开始生态园林的研究。“风景园林”或“景观”的新概念使园林植物的生态功能受到空前的重视和发掘。随着生态园林建设理念的弘扬以及景观生态学、全球生态学等多学科的引入,植物造景不再仅仅是利用植物来营造视觉艺术效果的景观和文化上的景观,而更应该营造生态的景观和可持续的景观。园林植物遗传改良的目标不仅限于品种的观赏性和抗逆性,还包括在降低裁培养护的自然资源和人工成本的同时,提高综合生态效益。

对 C_3 、 C_4 植物二氧化碳固定效率的研究和经转基因技术改良的某些植物,能够提高光合效率,增加固碳释氧量,有助于降低温室效应和保证空气清新,提高环境绿化的生态效益。经筛选和改良的某些植物可在一定浓度范围内吸收某些有毒有害气体,使污染的空气得到净化。调查发现,闹市区空气里的细菌要比绿化区多7倍以上,这是因为一些植物可以分泌功能强大的植物杀菌素。香根草(*Vetiveria zizanioides*)等植物发达的根系和茂密的群体能有效地固持土壤和拦截地表径流,已在我国公路边坡防护领域迅速推广开来,并扩展到了铁路、水库、矿山、垃圾场等领域。香根草工程应用技术已成为目前治理公路塌方、水土流失、土地荒漠化、水源与大气污染、生活垃圾污染、采矿对环境的破坏等方面采用的生物措施之首选。近年来,利用植物修复污染环境的研究取得了不少成果。一些能够对土壤或水体污染物,特别是重金属污染物超积累的植物被筛选和培育出来,并应用于污染土壤或水体的修复及景观恢复。植物的兼用性或潜在功能也

受到重视和发掘,如能源植物,药用、食用植物的园林应用等,都指明了园林植物遗传改良和应用的潮流和方向,即自然资源及人工成本的最小化和园林综合生态效益的最大化。

0.2 园林植物遗传改良方法的选择与发展

引种驯化是不断丰富园林植物种类和品种的源泉。我国国土面积巨大、地理和气候条件复杂、植物资源丰富,号称“世界园林之母”。除原产和主要栽培园林植物种质资源极为丰富多彩之外,几千年来的引种驯化也具有重大贡献。例如,原产美国的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)就是20世纪初自欧洲引入青岛,而后散布开的,是较耐干旱和瘠土的优良园林树种,尤其适宜在华北地区生长。种间杂种悬铃木(*Platanus acerifolia*)也是百余年前引入我国的优良园林树种,因树大浓荫、管理粗放,早已成为长江、黄河流域栽培极为普遍的行道树。此外,园林树木中的龙柏(*Sabina chinensis* ‘Kaizuca’)、黑松(*Pinus thunbergii*)等来自日本,池杉(*Taxodium ascendens*)、落叶松(*Larix gmelini*)等来自北美洲,桉(*Eucalyptus robusta*)、银桦(*Grevillea robusta*)等来自大洋洲。园林花卉中引种植物更多,如来自美洲的蒲包花(*Calceolaria herbeohybrida*)、波斯菊(秋英)(*Cosmos bipinnatus*)、千日红(*Gomphrena globosa*)、含羞草(*Mimosa pudica*)等;来自欧洲的金鱼草(*Antirrhinum majus*)、飞燕草(*Consolida ajacis*)、香豌豆(*Lathyrus odoratus*)、香石竹(*Dianthus caryophyllus*)、三色堇(*Viola tricolor*)等。近年来我国的引种力度更大,自20世纪80年代开始引进的花卉和观赏植物就有500多种近4000个品种。仅北京地区每年进口的花卉(不含草坪种子)就需花费2000万美元。简单引种虽然不能创造植物新品种,却是解决生产急需,充实园林植物育种的物质基础和丰富遗传资源的一条高效、快捷途径。

选择育种具有悠久的历史,也是当今应用较为广泛的一项园林植物遗传改良方法。选择的实质是差别繁殖,使优胜者更多繁殖,不够优秀的减少繁殖甚至停止繁殖。这是按照符合人类需要的方向和目标,通过连续选择变异逐渐积累、巩固和加强的一个过程。虽然不是创造变异,也没有创造新的基因和基因型,但却改变了种群内部某些基因或基因型的频率,从而创造了植物新品种。例如,原产于我国的菊花,栽培与改良历史极为悠久,利用无性生殖的方式实现菊花芽变选种的例子就很多,如传统名菊‘黄夔龙’变出宫粉色,称为‘南朝粉黛’、‘粉夔龙’。20世纪60年代北京曾培育出一花序半边红半边黄的‘鸳鸯荷’菊花嵌合体,几经芽变又培育出全红的‘朱荷’和全黄的‘金荷’。还有金黄色花瓣上嵌合红色斑点的‘血染征袍’、‘战地黄花’等,变异性状都很稳定(孙强,

2007)。

由于菊花是异花传粉植物,其天然授粉产生的种子常具有较为复杂的遗传背景,利用有性生殖进行实生苗选种也是遗传改良的重要方式之一。例如,20世纪80年代初北京市园林科学研究所曾引进美国小菊,并从实生苗中选育出矮生品种‘美矮粉’,花期较一般秋菊早,适合露地栽培。实生选种利用了植物的异花传粉特性和天然杂交,通过人工杂交与远缘杂交进行园林植物遗传改良的例子更多。例如,北京林业大学的陈俊愉院士,80年代初期通过引进小菊和野生菊花之间的杂交,培育出一批优良的地被小菊品种群,现有品种近100个,多为天然杂交和人工杂交所选育(张秀海等,2008)。又如,陈俊愉院士等曾于1957年从南京中山陵园梅花山和湖南沅江引入天然授粉梅花(*Prunus mume*)种子,在北京地区引种驯化,结合实生选种,从几千株实生苗中选出‘北京小梅’和‘北京玉蝶’,能耐-19℃低温。基于梅的自交不亲和特性,北京林业大学张启翔教授通过远缘杂交所育成‘燕杏梅’,即杏(*Prunus vulgaris*)与‘粉红梅’杂交获得,能耐-35℃低温。‘花蝴蝶’为山杏(*Prunus sibirica*)与‘粉红梅’杂交获得。引进品种‘美人梅’,是紫叶李(*Prunus cerasifera* f. *atropurpurea*)与‘宫粉梅’杂交而成,既有梅花的花型美观、花朵较大、重瓣、花色娇艳等特点,又有紫叶李开花稠密、叶色紫红的优势,且能忍耐-30℃的低温(陈俊愉等,1995)。现北京林业大学已从‘美人梅’中选育出花色更为鲜艳的品系,在杂交育种中也被用作亲本材料。

利用人工杂交与远缘杂交的方法进行遗传改良最多的是兰科植物。常见栽培的兰花中,如卡特兰、蝴蝶兰、石斛兰、文心兰等,很多是由2个或更多种属间杂交选育而成的。目前,兰科人工杂交属已达473个。例如,卡特兰属约有65种,因属间易杂交,已培育出大量杂交种,且可与近缘种进行2属、3属和4属间杂交,杂交品种已接近1000种,形成了庞大的卡特兰家族;*Buibuiara*即是由巴索拉兰×卡特兰×柱瓣兰×蕾丽兰×丑角兰杂交而得。又如兰属与安舌兰属(*Ansellia*)、双柄兰属(*Bifrenaria*)、克劳兰属(*Clowesetum*)、龙须兰属(*Catasetum*)、斑被兰属(*Grammatophyllum*)和鹤顶兰属(*Phaius*)6个属进行远缘杂交,已登录了23个杂交种。结合胚培养、无菌播种、离体培养等技术,新品种层出不穷。截至2006年,仅在(英国)皇家园艺学会网站的《国际山氏兰花杂种登记目录》(*Sander's List of Orchid Hybrids*)中正式登记的兰科人工杂交种已超过11万种,且每年还将以3000种的数目增加(郭丽霞和莫饶,2007)。

大自然中各种环境因子的骤然改变,常常引起植物遗传物质发生变异,从而导致遗传性状的改变。但自然变异的频率是非常低的,一般只有万分之几至十万分之几。人工诱变产生突变的频率则比自然突变高很多。⁶⁰Co γ 射线是花卉最常用

的辐射诱变源。我国的中国农业科学院、江苏农业科学院、河南农业科学院、四川农业科学院等单位先后用辐射育种的方法培育出月季 (*Rosa cvs*) 新品种近 40 个。北京林业大学、安徽农业大学以及河南、辽宁、浙江、四川等农业科学院培育了一批菊花新品种。上海农业科学院育成 6 个观赏性好、抗病性强的小苍兰 (*Fressia refracta*) 新品种。中国农业科学院还培育出蓝色和玫瑰红色花瓜叶菊 (*Senecio cruentus*) 的雄性不育系 5 个 (李倩中和李惠芬, 2002)。彭镇华 (1996) 利用辐射诱变选育出水仙 (*Narcissus tazetta* var. *chinensis*) 的浓香型矮化新品种。目前供试材料涉及 40 多种植物, 如月季、菊花、美人蕉 (*Canna indica*)、大丽花 (*Dahlia pinnata*)、叶子花 (*Bougainvillea spectabilis*)、莲 (*Nelumbo nucifera*) 等, 已育成新品种近百个。利用航天飞机或卫星搭载进行诱变育种, 被列入国家“863”项目; 迄今为止涉及全国 20 多个省 (自治区、直辖市) 70 多个单位, 完成了 500 多种植物的航天搭载试验。已育成万寿菊 (*Tagetes erecta*)、麦杆菊 (*Helichrysum bracteatum*)、一串红 (*Salvia splendens*) 等诸多园林观赏植物新品种 (季孔庶, 2004)。此外, 我国还首创了自主知识产权的离子束诱变育种新技术, 是利用离子注入机将低能重离子注入植物体内, 从而引发突变。其变异频率比自然变异高 1000 倍以上; 变异谱宽, 生理损伤小; 变异后稳定快, 可以缩短育种周期; 特别是具有一定的重复性和方向性, 与辐射诱变形成显著差别; 而且技术稳定可靠, 简便易行。经过离子注入诱变育种后, 可能出现多方面的显著变异。例如, 花形、花色等形态学变异。白莲经离子注入后出现单瓣、半重瓣和重瓣变异, 花色也由红色变为粉红色等。凤仙花 (*Impatiens balsamina*) 从原来的 4 种花色变为 7 种。月季由黄色花变为粉色花。鸡冠花 (*Celosia cristata*) 则出现了一朵花一半红色, 另一半黄色的嵌合体现象。鸡冠花的株高能达到 1.8m 左右, 花径达到 35cm。离子注入还可引起一些生理学性状改变, 如开花提早、花期延长以及抗逆性增强等。例如, 一串红和一串紫在北京栽培时, 10 月下旬就凋谢了, 而经离子注入后 11 月上旬仍然盛开。经离子注入的凤仙花、棕榈 (*Trachycarpus fortunei*) 苗和新疆奥斯曼草 (*Isatis* sp.) 等则具有抗旱和耐低温的优良抗性。随着科学技术的蓬勃发展, 更多新的诱变育种技术应运而生。激光辐射、电子束等诱变技术也呈现出良好应用前景。这些新技术已经成为园林植物遗传改良研究中极具开发前景的补充手段。化学诱变常与倍性育种紧密结合, 如武汉植物研究所培育的四倍体荷花品系, 花瓣宽厚、花朵增大、花色鲜艳、开花时花朵不完全开放, 别具姿色。通过秋水仙素诱导产生的多倍体新品种还有金鱼草 (*Antirrhinum majus*)、春兰 (*Cymbidium goeringii*)、重瓣大岩桐 (*Sinningia* sp.)、菊花脑 (*Chrysanthemum nanjingense*)、君子兰 (*Clivia miniata*)、三色堇、虞美人 (*Papaver rhoeas*)、花叶绿萝 (*Scindapsus aureus* var. *wilcoxii*)、香

石竹等。

伴随着技术进步,作为辅助手段的柱头切割与嫁接、花粉蒙导 (pollen mentor)、子房培养、胚珠培养、胚培养等技术,也逐步应用于园林植物的遗传改良,并且起到了较好的作用。

0.3 园林植物遗传改良的分子生物学方法

随着分子生物学技术的快速发展,深入到细胞水平和基因水平的园林植物遗传改良,已经成为研究热点。分子生物学技术的应用不仅可以提高植物遗传改良的目的性和可操作性,更可打破种间杂交障碍,扩展遗传物质的交流范围,是园林植物种质创新更为有力的措施和最有前途的新技术。

1. 园林花卉特异基因的功能分析与分离

近年来,与花的发育、花卉形态、花色及香味等有关基因的功能分析与分离等成为研究热点。在花的发育方面,Yu等(2001)利用石斛兰属品种“Madame Thongin”离体开花系统,通过 mRNA 差选方法 (mRNA differential method of dection) 找到 5 个可能与花转变有关的基因。此外他们还发现, *DOH1* 基因控制花芽的形成和提早开花; *DoMADS1*、*DoMADS2* 和 *DoMADS3* 基因与花器官形成有关。Bui 等发现 3 种乙烯类 *ACC* 合成酶基因在蝴蝶兰授粉后的子房发育中起重要作用。

花卉形态改良包括花器官形态、花枝着生状态、花序类型以及植株形态等的改良。Pellegrineshi 等 (1994) 用野生型 Ri 质粒转化柠檬天竺葵 (*Pelargonium graveolens* L.), 获得了节间缩短、分枝和叶片增加、植株形态优良的天竺葵新品种。Handa (1995) 等将 *Rol* 基因导入高山龙胆 (*Gentiana algida*), 使转基因植株矮小、叶皱,花冠呈杯形。Luo 等克隆了控制花形的基因 *cyc*, 发现金鱼草中一对 *cyc* 和 *dich* 基因对花的形状起关键作用。此类基因发挥作用时,金鱼草的花发育成不规则形,发生变异时金鱼草的花就发育成规则形 (何小玲和王金发, 1998)。

对于植物花色基因的研究发现,查耳酮合成酶 (chalcone synthase, CHS) 是花青素生物合成的一个关键酶。Meyer 等 (1987) 将查耳酮合成酶基因以正义和反义方向导入月季,使暗红色花的 ‘Royalty’ 和 ‘Madame’ 栽培种花色改变。Elomaa 等 (1993) 利用反义技术将查耳酮合成酶基因导入非洲菊,得到由红色变成淡粉红色和奶白色花序的转基因植株。许华欣和黄鹏林 (1999) 探讨了蝴蝶兰花色控制机制,以 ‘白花红唇蝴蝶兰’ 和 ‘红花朵丽蝶兰’ 为材料,进行了

*CHS*cDNA 克隆和分析,发现‘白花红唇蝴蝶兰’约有 11 个 *CHS* 基因,而‘红花朵丽蝶兰’约含有 7 个 *CHS* 基因,蝴蝶兰 *CHS* 基因为多基因族。利用‘红花朵丽蝶兰’所得 cDNA 片段作探针,对‘粉红花蝴蝶兰’与‘白花蝴蝶兰’杂交选育的淡红花、晕红花和白花后代进行 Southern 杂交,发现来自‘白花红唇蝴蝶兰’的 *pOCHS01* 克隆系可能是负责控制红花或斑点花花色表达的基因,而白花亲本可能无 *pOCHS01* 基因的存在,或者由其他 *CHS* 基因负责控制。引入新基因的方法也可以增加某些品种缺乏某些颜色的能力。Meryer 等 (1987) 将编码二氢栎皮黄酮-4-还原酶的玉米 *Al* 基因导入白色花矮牵牛植株中,得到了砖红色花的矮牵牛 (姚庆荣和孙瑞芳, 2008)。澳大利亚 Calgene Pacific 公司与日本三得利公司合作,向蔷薇中导入合成蓝色色素的基因 *F3'5'H* 获得成功。三得利公司在白色花矮牵牛中导入 *F3'5'H* 基因,得到了蓝色花矮牵牛。美国的 DNAP 公司从矮牵牛中分离到编码蓝色的基因,并获得了世界上独一无二的蓝色月季。

王健等 (2006) 尝试以无香和有香共 16 种春兰为材料,提取基因组 DNA 后进行 RAPD 分析,以确定与香味成分连锁的相关基因。法国研究人员利用野生型发根农杆菌转化柠檬天竺葵,发现转基因植株香味增加,其芳香物质牻牛儿醇比对照株增加 3~4 倍,其他芳香物质如萜烯醇和桉树脑也有增加,为香味基因工程提供了一条途径 (孟永红等, 2007)。

2. 抗逆性基因的研究与利用

近年来,伴随城市热岛效应、干旱缺水以及大气、水体、土壤等环境污染问题的出现,植物遗传改良的另一研究热点是抗逆性基因的研究与利用。例如,我国花卉工作者成功获得提纯的香石竹叶脉斑驳病毒外壳蛋白基因的 cDNA (高俊平等, 1998)。荷兰的 CPRO-DLO 从 65 个唐菖蒲基因型中选育抗镰刀菌种类,成功地开发了唐菖蒲基因转化技术。王关林等 (2004) 利用从枯草芽孢杆菌中克隆的果聚糖合酶 (levansucrase) 基因 *sacB* 转化番茄,获得具有良好抗寒性状的转基因番茄。贾炜珑等 (2007) 将海藻糖合酶基因 (*TPS* 基因) 转入多年生黑麦草的胚性愈伤组织,使转基因黑麦草在干旱胁迫条件下保水能力增强,电解质渗出率明显低于对照,耐旱性提高。甄伟等 (2000) 从拟南芥 (*Arabidopsis thaliana*) 中扩增并克隆了冷诱导基因的转录因子 *CBF1* (C-repeat binding factor) 基因,分别转化了油菜和烟草,结果显示转基因油菜的抗寒性较未转基因油菜有明显提高,转基因烟草抗寒性也有一定的提高。因此,利用对转录因子的调控来提高植物的抗寒性可能会有很好的应用前景。林忠平等从几种生活在极端环境条件下的厚叶旋蒴苣苔、沙蒿 (*Artemisia desertorum*) 等耐旱植物中克隆了一批新的耐旱、耐寒功能基因,包括上游转录因子和下游对细胞起保护作用的基因,以及