

生命科学专论

现代植物育种学

刘忠松 罗赫荣 等著



科学出版社
www.sciencep.com

生命科学专论

现代植物育种学

刘忠松 罗赫荣 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以育种方法的发展历程为经线,以育种方法在各类植物改良上的应用为纬线,按照育种的基本环节将全书分为四篇。育种基础篇包括植物育种的繁殖生物学基础、遗传学基础和分子生物学基础;创造变异篇囊括基因资源发掘、有性杂交、体细胞杂交、诱发突变和转基因等各种发现、创造变异的方法;鉴定选择篇介绍了育种选择的一般原理、植物形态发育、产量、品质、抗性等各种性状的鉴定选择方法以及细胞水平、染色体水平和分子标记水平的选择方法;育种综合篇包括育种目标和育种平台、育种程序、品种审定和保护、种子生产等章节。本书对植物育种学相关的研究成果进行了全面系统地分析、归纳和整理,充分反映了现代植物育种学鲜明的时代特色和丰富的科学内涵。

本书不仅适合农林、医药、能源等植物育种研究人员、研究生阅读,也可供植物遗传学、基因组学研究人员参考。

图书在版编目(CIP) 数据

现代植物育种学/刘忠松等著. —北京:科学出版社, 2010

(生命科学专论)

ISBN 978-7-03-027864-7

I. ①现… II. ①刘… III. ①植物育种 IV. ①S33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 104821 号

责任编辑:夏 梁 孙 青/责任校对:李奕莹

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 6 月第一次印刷 印张:35 3/4 插页:4

印数:1—2 500 字数:848 000

定价:90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《现代植物育种学》作者名单

(按姓氏汉语拼音排序)

陈烈臣	研究员	湖南农业大学
陈信波	博士/教授	湖南农业大学
龚浩如	高级实验师	湖南省水稻研究所
李先信	博士/研究员	湖南省园艺研究所
李新奇	博士/研究员	国家杂交水稻工程技术研究中心
梁志怀	博士/副研究员	湖南省植物保护研究所
刘淑艳	实验师	湖南农业大学
刘忠松	博士/教授	湖南农业大学
卢以群	副研究员	湖南省农业科学院/中南大学研究生院隆平分院
罗赫荣	博士/研究员	湖南省农业科学院
罗泽宇	博士	国家杂交水稻工程技术研究中心
田森林	副研究员	湖南农业大学
王建龙	博士/研究员	湖南农业大学
王幼平	博士/教授	扬州大学
王子平	研究员	湖南省水稻研究所
魏 林	博士/副研究员	湖南省植物保护研究所
夏胜平	研究员	湖南省水稻研究所
张孝岳	研究员	湖南省园艺研究所
赵政文	研究员	湖南省农业科学院/中南大学研究生院隆平分院

序 言

植物的栽培、驯化创造了人类的第一次产业革命。据考证，一万多年前人类已在新月沃地开始植物驯化。与此同时，植物育种工作也愈来愈受到人们的重视。相对而言，植物育种学却是一门十分年轻的学科。1886 年建立起全世界第一家植物育种研究机构——瑞典 Svalof 研究所，1900 年 Mendel 遗传试验被重新发现后，科学理论指导下的植物育种才真正开始，C. Fruwirth 和 T. Roemer 撰写的第一本植物改良著作 *Einführung in Die Landwirtschaftliche Pflanzenzüchtung* 于 1921 年出版，标志着植物育种学的建立。

植物作为第一性的生产，进入 21 世纪以后对人类的作用和贡献愈加显现。传统改良的植物主要是食用作物、饲用作物、纤维作物、经济林木，为人类的衣、食、住提供更多、更好的原料。近年来，观赏园林植物、药用植物乃至能源植物的育种日益受到重视，成为新的研究热点，将为满足人类衣、食、住、行、康、乐的目标提供功能食品、保健药品、再生能源和优美环境。

遗传改良植物范围的扩大为植物育种学的快速发展提供了强大拉力。与此同时，遗传学、分子生物学、生物技术和基因组学等生物科技、生物统计学、仪器分析技术、计算机和信息技术等相关基础学科的进步为植物育种学的快速发展提供了强大推力，基因组学和信息技术的有机结合催生了植物分子设计育种这一新的育种理念。现代植物育种学不仅应用范围更加广阔，而且研究内容、研究方法、研究工具更加丰富多彩，正在朝着更好、更快、更高的方向迅猛发展。

近 10 年来，植物育种学教材、专著出版如雨后春笋般日益增多，既有论述植物育种学一般原理和方法的，如 *Principles of Plant Breeding* (第二版) (Allard, 1999)、*Principles of Crop Improvement* (第二版) (Simmonds and Smartt, 1999)、*Principles of Plant Genetics and Breeding* (Acquaah, 2007) 等，也有论述某类植物或某种植物的，如 *Handbook of Plant Breeding* (Prohens-Tomás et al., 2008)、*Genetic improvement of Bioenergy Crops* (Vermerris, 2008)、*Flower Breeding and Genetics* (Anderson, 2006)，甚至有论述某个性状或某种育种方法的，如 *Selection Methods in Plant Breeding* (第二版) (Bos and Caligari, 2008)、*Genomics-Assisted Crop Improvement* (Varshney and Tuberosa, 2007) 等，充分反映了当前植物育种学的快速发展和市场需求。

该书在博采众长的基础上，论述植物育种的生物学基础、一般原理和基本途径、方法和手段。与已出版的同类著作相比，该书除具有新颖性、科学性和实践性外，还具有以下几个显著特色。

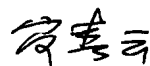
(1) 体例新颖。该书按照植物育种的基本环节，把全书分为育种基础、创造变异、鉴定选择和育种综合四篇。育种基础篇包括植物育种的繁殖生物学基础、遗传学基础和分子生物学基础；创造变异篇囊括基因资源发掘、有性杂交、体细胞杂交、诱发突变和

转基因等各种发现、创造变异的方法；鉴定选择篇介绍了育种选择的一般原理、植物形态发育、产量、品质、抗性等各种性状的鉴定选择方法以及细胞水平、染色体水平和分子标记水平的选择方法；育种综合篇分育种目标和育种平台、育种程序、品种审定和保护、种子生产等章节。

(2) 内容丰富。该书以育种方法的发展历程为经线，以育种方法在各类植物改良上的应用为纬线，对植物育种学相关的研究成果进行了全面系统地分析、归纳和整理，在介绍植物育种的一般原理和基本方法的同时，也简要介绍了其生物学基础，并专设一篇介绍植物育种所涉及的各种性状的鉴定选择方法，对转基因、分子标记辅助选择、育种平台建设、育种社会经济价值等现代植物育种采用的方法、面临的问题进行了详细介绍，这些内容充分反映了现代植物育种学鲜明的时代特色和丰富的科学内涵。

(3) 表达直观。该书不仅知识新颖、信息丰富，而且语言通俗、图文并茂，不仅引用了书刊上的一些图表，而且制作了许多新的图表，适应了读图时代的发展趋势，有助于读者在阅读时增进理解、加深记忆。该书易学易懂，可读性强。

是为序。



中国工程院院士

湖南农业大学教授

国际油菜咨询 (GCIRC) 委员会委员

2009 年 10 月 20 日

前 言

植物是人类赖以生存和发展的物质基础。人类对植物的开发利用是从野生植物上采摘可利用部分开始的。人类定居后,由于野生植物的数量不能满足人类的需求,人类就对有利用价值的野生植物进行栽培。此时的栽培只是利用野生植物的部分资源,而且栽培过程中人类只是根据自身的需要对栽培的植物进行选择,这就是植物育种的起始——驯化。驯化只利用自然变异,但随着人类对植物认识的深化,发现植物也有雌雄性别分化。选择不同类型的植物做父母本进行人工杂交,后代将会产生什么样的结果?这个问题引起了人们的好奇,并且最终导致了一门全新的科学——遗传学的诞生。从此植物育种不再仅仅是一门艺术,而是在遗传学理论指导下的一门技术科学,遗传学的诞生标志着科学育种时代的到来。遗传学所说的基因仅是一个抽象的概念,分子生物学的逐步发展使得人们认识到基因就是一段 DNA 序列,因而可以对基因进行测序、分析和操作,比较同一基因的不同形式(等位基因)的结构、功能异同,对等位基因进行有效鉴别,将基因按照人们的意愿进行任意剪切、拼接,实现基因的跨界大转移,最终明了调控性状形成的基因网络,从而使育种进入在基因组学指导下的分子育种新纪元。分子育种时代,育种策略显著改变,育种可资利用的基因来源范围显著扩大,育种方法和手段显著增加,育种精确性、准确性、预见性和育种效率显著提高。

世界上大约有 25 万种植物,其中栽培植物约有 3.5 万种,约占世界植物种类的 14%。人类最先驯化的是禾谷类作物,然后是根类作物和豆类作物,接着是蔬菜、油料作物、纤维作物和果树,饲料、花卉和药用植物的驯化较迟,而林木和能源植物育种才刚刚开始。目前,人类已对大约 200 种植物进行了遗传改良,涉及食用(粮油、果蔬等)、纤维(棉麻等)、饲用、药用、观赏用、能源用、林木七大用途以及自花授粉、异花授粉、常异花授粉和无性繁殖 4 种繁殖类型的植物。通过对这些植物的遗传改良已为人类的衣、食、住、行、康、乐提供了更多更好的食品、药品、加工原料、再生能源和生活环境。

为了系统总结植物育种学理论与方法的纵深发展及其在不同类型植物上的广泛应用,科学探讨植物育种学的发展趋势,我们在充分吸收国内外植物育种研究成果的基础上,编著了本书。

发现、创造新的遗传变异并将这种遗传变异加以选择和稳定是育种的两个基本环节,有人将其称为育种学的“中心法则”。本书率先创造性地按照育种学“中心法则”原理,将全书归纳为育种基础、创造变异、鉴定选择和育种综合四篇。育种基础篇简要介绍与植物育种有关的植物繁殖、遗传和分子生物学方面的基础知识,为成功开展育种研究提供基础、做好准备;创造变异篇首先介绍植物遗传变异的主要来源,然后从有利性状、有利基因和最佳等位基因三个层次,对基因资源发掘、有性杂交、体细胞杂交、诱变突变和转基因等各种发现、创造变异的方法进行一一介绍,旨在使读者对各种创造遗传变异的方法的发展历程、作用原理、操作步骤和优缺点有全面系统的了解,有利于

在育种中正确选用；鉴定选择篇介绍了育种选择的一般原理以及离体水平、染色体水平和分子标记水平的鉴定选择方法，也试图介绍各类甚至各种植物形态、发育、产量、品质、抗性等各种性状的鉴定选择方法，但由于不同植物、同一植物的不同用途乃至不同的育种家，对性状的鉴定选择都不相同，因此这里所介绍的鉴定选择方法主要还停留在原理层面，对操作层面的具体步骤未能一一论及；育种综合篇也可称为品种选育篇，从介绍育种目标入手，然后介绍四类品种的育种程序、品种审定和保护以及与品种应用有关的种子生产等。由于育种的规模化、企业化日趋明显，我们对育种平台的建设这一新问题进行了初步分析，以期将前述各篇内容进行有机整合，为新品种选育提供一个合理架构。

本书在编著过程中突出了以下特点：一是体例创新。上述结构体例将创造变异和鉴定选择分别论述，是一次大胆尝试，突出生物学知识在育种中的基础地位，同时也有利于相关学科的读者学习植物育种学知识。二是时代特点。以分子水平的基因转移、基因型选择为标志的分子育种是育种发展的趋势，本书用较多篇幅介绍了植物分子育种，即使对传统育种的内容，也尽量在分子水平上加以阐述，使得本书现代感强，时代性明显。三是图文并茂。近年来，国内外各类植物育种学著作出版颇多，但不少著作更注重内容，图表很少，表达不太直观。本书力图克服这一缺点，在引用、借鉴的同时，绘制一批内涵丰富、简洁明了的图表，试图给读者以视觉冲击，有助于读者更好地理解和记忆。

本书 2006 年 5 月开始策划，由刘忠松、罗赫荣拟定提纲。同年 7 月召开第一次作者会议，进行了讨论，并明确了章节分工，之后召开了两次作者会议进行了一些调整，最后各章作者如下：第一、三、五、十一、十三、十九、二十章刘忠松；第二章卢以群；第四、十章陈信波；第六章赵政文、刘忠松；第七、二十二章赵政文；第八章李新奇；第九章李先信、张孝岳、陈信波；第十二章刘淑艳、刘忠松；第十四章夏胜平、王子平、龚浩如；第十五、十六章罗赫荣、梁志怀、罗泽宇、魏林；第十七章田森林；第十八章王幼平；第二十一章刘忠松、李新奇；第二十三章陈烈臣；第二十四章王建龙。2009 年 4 月完成初稿，2009 年 8 月由刘忠松、陈烈臣、赵政文对全书初稿进行审阅、编辑和修改，再返回作者修改，最后由刘忠松定稿。尽管进行了反复修改，错误、疏漏也在所难免，恳请读者批评指正。此外，由于作者较多，各章之间在内容、格式和写作风格上存在一些差异，这应该说是本书的一点点遗憾。

本书定稿后，送请我的业师、著名油菜专家、中国工程院院士官春云教授审阅，并承蒙其欣然作序褒奖，老师对我的栽培、关怀和爱护之情，我无以言表，将铭记终生。

同时，感谢科学出版社夏梁先生在本书的编著、出版过程中给予的精心策划、细心指导、热心帮助和耐心等待，最终使得本书高质量地付梓出版。

刘忠松 谨识

2009 年 11 月 18 日

于湖南农业大学水上斋

目 录

序言

前言

第一章 绪论	1
第一节 植物育种及其特点	1
第二节 植物育种的作用	2
第三节 植物育种学及其性质	10
第四节 植物育种学的发展	11
主要参考文献	14

第一篇 育 种 基 础

第二章 植物育种的繁殖基础	19
第一节 植物的繁殖方式	19
一、无性繁殖	19
二、有性繁殖	20
三、植物有性繁殖变异	27
第二节 不同繁殖方式植物的遗传特点及其与育种的关系	34
一、自花授粉植物	34
二、异花授粉植物	35
三、常异花授粉植物	36
四、无性繁殖植物	36
第三节 植物品种的类型及育种特点	37
一、纯系品种	37
二、杂种品种	38
三、群体品种	39
四、无性系品种	40
主要参考文献	41
第三章 植物育种的遗传学基础	42
第一节 质量性状遗传	43
一、遗传分离和自由组合	43
二、基因互作	44
三、连锁遗传	46
四、重组频率及其测定	47
五、遗传作图	49
第二节 数量性状遗传	55

一、数量遗传性状研究方法	56
二、数量遗传性状分析	60
第三节 细胞质遗传	65
一、细胞质遗传	65
二、细胞质基因与细胞核基因的互作	65
第四节 群体的遗传平衡	66
一、基因频率和基因型频率的关系	66
二、遗传平衡定律	67
三、复等位基因频率计算	68
四、平衡群体的特征	68
五、群体遗传平衡的改变	69
第五节 性状的遗传结构	72
一、从基因到性状	72
二、性状的遗传结构	73
三、同源多倍体的遗传	73
主要参考文献	74
第四章 植物育种的分子生物学基础	75
第一节 核酸的结构和理化性质	75
一、核酸的化学结构	75
二、核酸的物理结构	76
三、核酸的理化性质	77
第二节 基因及其表达	78
一、基因的基本结构	78
二、中心法则	78
三、RNA 的生物合成	79
四、蛋白质的生物合成	81
第三节 植物基因表达调控	84
一、植物基因表达调控的特点	84
二、植物基因转录水平的调控	85
三、植物基因转录后水平的调控	86
四、植物基因翻译后的蛋白质修饰	87
第四节 DNA 复制与损伤修复	88
一、DNA 的复制	88
二、DNA 损伤与修复	92
第五节 植物基因组学	93
一、基因组与基因组学	93
二、基因组的结构与功能	94
三、功能基因组学	96
四、植物基因组学	96

第六节 植物分子生物学基本技术	97
一、常用核酸分析方法	97
二、电泳技术	98
三、PCR 技术	99
四、核酸分子杂交	102
五、微阵列技术	104
六、生物信息学方法	105
主要参考文献	106

第二篇 创造变异

第五章 植物遗传变异的主要来源	111
第一节 基因突变	111
第二节 基因重组	113
第三节 基因转移	118
一、细胞内基因转移	118
二、细胞间基因转移	121
主要参考文献	126
第六章 植物基因资源发掘	128
第一节 植物的驯化	128
一、驯化的意义和作用	129
二、驯化的方法	131
三、植物驯化中心	135
第二节 植物的引种	135
一、引种的意义	135
二、引种的原理	139
三、植物引种方法	140
第三节 作物的起源	141
第四节 种质资源收集和保存	144
一、种质资源的搜集与整理	146
二、种质资源的保存	148
第五节 种质资源鉴定和有利基因发掘	152
一、核心种质	152
二、基因库	153
三、基因发掘	155
四、种质创新	156
主要参考文献	157
第七章 植物有性杂交	160
第一节 杂交的遗传效应	160
一、杂交的直接效应（在杂种 F_1 代表现的效应）	160

二、杂交的后续效应（在 F_2 代及以后世代表现的效应）	160
第二节 杂交亲本的选择和选配	162
一、杂交亲本的选择	162
二、杂交亲本的选配	163
第三节 杂交方式	163
一、单交	164
二、复交	164
第四节 人工杂交技术	167
一、开花生物学	167
二、杂交技术	168
三、克服有性杂交不亲和性的方法	172
第五节 促进遗传重组	176
主要参考文献	178
第八章 植物体细胞杂交	180
第一节 植物体细胞杂交的意义	180
一、体细胞杂交的概念	180
二、体细胞杂交的意义	180
第二节 体细胞杂交的步骤及方法	182
一、原生质体的分离与选择	183
二、原生质体融合	186
三、杂种细胞的筛选	188
四、融合体的培养和发育	188
五、再生杂种植株的鉴定	190
第三节 植物胞质杂种培育	191
主要参考文献	194
第九章 植物诱发突变	195
第一节 诱发突变的意义	195
一、增加突变率，扩大变异谱	195
二、打破基因连锁，提高重组率	196
三、利用诱发突变体分离克隆植物重要性状基因	196
四、有利于简化育种程序，加速育种进程	196
第二节 常用物理诱变剂及其处理方法	196
一、物理诱变剂的种类及特性	196
二、辐射诱变的机制	198
三、植物辐射敏感性的测定指标	200
四、植物对辐射的敏感性	200
五、适宜诱变剂量和剂量率的选择	202
六、辐射诱变的主要处理方法	203
第三节 常用化学诱变剂及处理方法	205

一、化学诱变剂的种类、特性和作用机制	205
二、化学诱变的处理方法	207
三、影响化学诱变效应的因素	209
四、化学诱变的特点	210
第四节 DNA 插入突变	210
一、DNA 插入突变的种类、特性和作用机制	211
二、DNA 插入突变产生方法	213
三、DNA 插入突变的特点	216
第五节 诱发突变体的鉴定	216
一、诱变处理效果的评价指标	216
二、基于表型的突变体鉴定方法	217
三、基于基因型的突变体鉴定方法	218
第六节 提高诱变效率的方法	223
一、影响诱变成功的因素	223
二、诱变材料的选择	224
三、诱变处理群体大小	225
主要参考文献	227
第十章 植物基因工程	228
第一节 概述	228
一、基因工程的意义	228
二、植物基因工程的发展过程	228
三、植物基因工程的基本程序	230
第二节 目的基因的获得和植物基因启动子的分离	231
一、植物目的基因的克隆	233
二、植物基因启动子的分离	240
第三节 植物遗传转化	243
一、植物遗传转化系统	243
二、植物表达载体的构建	249
三、植物遗传转化方法	253
第四节 转基因植物的筛选和鉴定	255
一、抗性选择标记基因筛选	255
二、生物安全标记基因和报告基因筛选	257
三、目的基因分子检测筛选	259
四、选择标记基因清除技术	261
第五节 转基因植物外源基因的表达与遗传	262
一、外源基因的整合位点和拷贝数	262
二、转基因植物外源基因沉默	263
三、转基因植物外源基因的遗传稳定性	265
第六节 植物转基因育种策略	266

主要参考文献	269
--------------	-----

第三篇 鉴定选择

第十一章 植物育种选择的一般原理	273
第一节 选择的作用和意义	273
第二节 选择的基本原理	274
第三节 选择的基本方法	279
主要参考文献	283
第十二章 植物形态发育性状的鉴定与选择	284
第一节 植物发育性状的鉴定与选择	284
一、植物发育特性的调控	284
二、植物发育特性的鉴定和选择	287
第二节 植物形态性状的鉴定和选择	290
一、植物形态性状鉴定选择概述	290
二、几个主要形态性状鉴定选择的方法	291
第三节 植物繁殖性状的鉴定与选择	301
一、植物授粉习性鉴定	301
二、植物雄性不育和花粉活力鉴定	301
三、植物 $2n$ 配子的鉴定	304
四、植物无融合生殖的鉴定	304
五、植物自交不亲和性测定	305
主要参考文献	306
第十三章 植物产量性状的鉴定和选择	308
第一节 植物产量形成分析	308
一、生物学家的植物产量形成分析	308
二、农学家的植物产量构成分析	312
第二节 植物产量及产量性状鉴定选择方法	315
一、对产量本身进行选择	315
二、根据产量构成因素进行综合性状选择（理想株型育种）	316
三、根据形态生理指标进行产量间接选择（高光效育种）	318
主要参考文献	325
第十四章 植物品质性状的鉴定与选择	327
第一节 植物产品品质及其类型	327
一、品质及其类型	327
二、各类植物产品的品质要求	328
第二节 植物品质性状的鉴定和选择方法	328
一、目测法	329
二、品尝法	330
三、化学分析	330

四、物理分析	331
第三节 主要品质性状分析方法	333
一、淀粉含量测定	333
二、可溶性糖含量测定	334
三、蛋白质和氨基酸含量测定	335
四、脂肪含量测定	337
五、油菜籽中芥酸含量测定(气相色谱法)	337
六、维生素含量测定	338
七、微量元素含量测定	339
八、高粱单宁含量测定	340
九、水稻外观品质鉴定	341
十、小麦物理品质鉴定	343
十一、玉米籽粒膨化倍数和爆花率测定	345
十二、棉花纤维品质测定	346
十三、淀粉糊化特性测定(RVA黏度仪法)	348
十四、稻米食味品质评定	349
主要参考文献	350
第十五章 植物生物胁迫抗性的鉴定与选择	351
第一节 植物的生物胁迫	351
一、植物病原生物及其类型	351
二、植物生物胁迫的影响因素	353
三、植物遭遇生物胁迫的表现	353
第二节 植物抗病性的鉴定	354
一、植物的抗病性	354
二、植物抗病性鉴定方法	355
第三节 植物抗虫性的鉴定	360
一、植物的抗虫性	360
二、植物抗虫性的鉴定方法	362
主要参考文献	364
第十六章 植物非生物胁迫抗性的鉴定与选择	366
第一节 植物非生物胁迫的类型	366
一、高温胁迫	366
二、低温胁迫	367
三、干旱胁迫	367
四、高盐胁迫	367
第二节 植物非生物胁迫抗性的鉴定与选择	368
一、非生物胁迫敏感性(S)测定	368
二、耐热性的鉴定与选择	368
三、抗寒性的鉴定与选择	371

四、抗旱性的鉴定与选择	372
五、耐湿性的鉴定与选择	375
六、耐盐性的鉴定与选择	375
七、耐铝性的鉴定与选择	377
八、抗倒伏性的鉴定与选择	377
主要参考文献	378
第十七章 植物离体选择和双单倍体育种	380
第一节 植物离体选择	380
一、植物细胞全能性	380
二、植物离体选择	380
第二节 双单倍体育种	382
一、单倍体植株的来源	383
二、单倍体植株鉴定方法	390
三、单倍体植株的染色体加倍	390
四、双单倍体的作用和意义	392
五、双单倍体育种的前提	393
第三节 小孢子离体诱变选择	393
主要参考文献	395
第十八章 植物染色体的鉴定方法	396
第一节 染色体形态、结构和核型分析	396
一、染色体的形态和结构	396
二、染色体的长度和数目	396
三、染色体核型分析	397
第二节 植物染色体的常规制片技术	399
一、取材	399
二、材料的预处理	399
三、材料的固定	401
四、材料的解离	401
五、染色体的染色	401
六、制片	402
七、镜检和永久封片	403
第三节 植物染色体显带技术	403
一、C 显带技术	404
二、G 显带技术	406
三、R 显带技术	407
四、Q 显带技术	407
五、银染技术	407
第四节 植物染色体原位杂交技术	408
一、原位杂交的原理和方法	409

二、原位杂交技术的发展	413
主要参考文献	416
第十九章 植物分子标记辅助选择	419
第一节 DNA 分子标记的类型	419
一、RFLP 标记	420
二、RAPD 标记	420
三、SCAR 标记	420
四、SSR 标记	421
五、AFLP 标记	421
六、CAPS 标记	421
七、SRAP 标记	422
八、TRAP 标记	422
九、SNP 标记	422
十、InDel 标记	426
十一、功能标记	427
第二节 重要性状基因定位	428
一、基因定位的步骤	428
二、标记连锁图构建	430
三、质量遗传性状基因定位捷径	436
四、数量性状基因位点 (QTL) 作图	438
五、关联作图	443
第三节 分子标记辅助选择	448
一、分子标记辅助选择的优势	448
二、影响分子标记辅助选择的因素	449
三、分子标记辅助选择方法	452
四、MAS 应用的主要限制因子及其解决办法	455
主要参考文献	457

第四篇 育种综合

第二十章 植物育种目标和育种平台	463
第一节 植物育种的总体目标	463
一、植物育种的总体目标	463
二、育种目标的决定主体	465
第二节 制订育种目标的依据和原则	466
一、制订育种目标的依据	466
二、制订育种目标的原则	469
第三节 植物育种平台	470
主要参考文献	472