



植物生物**关键****技****术** 及资源的保护与利用

丁烽 著



中国纺织出版社

植物生物关键技术

及资源的保护与利用

丁 烽 著



中国纺织出版社

内 容 提 要

植物生物技术是一个发展迅速的领域。本书吸收了近年来国内外关于该领域的许多最新成果,系统地论述了植物生物中的关键技术,并对植物资源的保护与利用进行了探讨。全书主要内容包括植物生物技术总论、植物脱毒与离体快繁技术、植物单倍体细胞培养技术、植物原生质体培养和体细胞杂交、植物基因的克隆原理与技术、植物转基因技术、植物分子标记、植物资源的利用与保护等。

图书在版编目(CIP)数据

植物生物关键技术及资源的保护与利用 / 丁烽著

— 北京 : 中国纺织出版社, 2017.3

ISBN 978-7-5180-1938-0

I. ①植… II. ①丁… III. ①植物—生物技术②植物资源—资源保护③植物资源—资源利用 IV. ①Q94—33
②Q949.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 209297 号

责任编辑:汤 浩

责任印制:储志伟

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124

销售电话:010-67004422 传真:010-87155801

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@e-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 <http://www.weibo.com/2119887771>

虎彩印艺股份有限公司印制 各地新华书店经销

2017 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开本:710×1000 1/16 印张:14.75

字数:269 千字 定价:50.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前 言

植物生物技术是一门以植物组织和细胞的离体操作为基础的实验性学科。它是以植物组织细胞为基本单位,在离体条件下进行培养、繁殖或人为的精细操作,使细胞的某些生物学特性按人们的意愿发生改变,从而改良品种或创造新物种、或加速繁殖植物个体、或获得有用物质的过程统称为植物生物技术。植物生物技术作为一个由多学科渗透融合而形成的综合技术体系,其发展既依赖于分子生物学、细胞生物学、遗传学和生理学等相关学科理论和技术的进步,同时也能作为这些学科发展的桥梁和载体,促进整个生命科学的发展与进步。目前,利用植物生物技术使得人们可以从细胞组织水平、染色体水平和基因水平对药用植物的遗传基础进行改造和改良,为植物品种改良提供新的强有力的手段。

21 世纪是生命科学的世纪,生物技术是目前生命科学研究中最具活力的领域。为了全面总结近年来生物技术在植物上的最新研究进展与成果,结合作者的实践经验,撰写了这本书。在撰写过程中着重考虑了两个方面的内容:一是生物技术的现状与前瞻性的协调统一;二是基础理论与实际操作的协调统一。在章节安排与取舍时,考虑了我国植物生物技术的发展现状与潜力。因此本书具有以下特点:一是结构清晰、内容丰富,突出了综合性、科学性;二是内容新颖,查阅了大量文献资料,总结了近年来园艺植物生物技术新的研究动向和成果,尽量为读者进一步进行科学研究提供参考;三是技术先进实用,强调在园艺植物研究上的应用,促使读者用新的思维方式开展研究;四是可操作性强,强调分子操作中的一些新的关键步骤及需要注意的事项,确保实验工作不走弯路。

本书完成的过程中,得到了业内专家和同事们的大力支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。另外,该专著的完成参考了大量学者的研究成果,尽最大可能一一做了标注,如有遗漏敬请谅解。

需要指出的是,一方面药用植物生物技术领域的研究成果日新月异,另一方面作者的水平有限,所以内容上可能尚不尽如人意。此外,尽管在文

字、图表等方面已十分仔细认真,但难免会有一些不足,敬请读者谅解。

作者 丁烽
齐鲁工业大学
2015 年 7 月

目 录

第 1 章 植物生物技术总论	1
1.1 生物技术及其应用	1
1.2 植物生物技术的基本理论依据	3
1.3 植物生物技术的农业应用	7
1.4 植物生物技术的发展与展望	10
第 2 章 植物脱毒与离体快繁技术	14
2.1 植物脱毒的原理、意义及应用	14
2.2 植物脱毒操作技术	15
2.3 离体快繁的意义、方法及应用	22
2.4 离体快速繁殖中存在的一些问题	33
第 3 章 植物单倍体细胞培养技术	42
3.1 单倍体的起源和遗传行为	42
3.2 单倍体植株的诱导	45
3.3 单倍体植株的染色体加倍和鉴定	52
3.4 单倍体细胞培养的应用	58
3.5 植物染色体工程技术	64
第 4 章 植物原生质体培养和体细胞杂交	84
4.1 植物原生质体培养	84
4.2 植物体细胞杂交	89
第 5 章 植物基因的克隆原理与技术	106
5.1 基因克隆的主要载体	106

5.2	植物基因组文库的构建	124
5.3	基因克隆的方法	129
5.4	基因工程的工具酶	149
第 6 章	植物转基因技术	163
6.1	植物基因转化的受体系统	163
6.2	农杆菌介导的基因转移	166
6.3	植物转基因的方法	171
6.4	转基因植物的研究与应用	179
第 7 章	植物分子标记	187
7.1	分子标记概述	187
7.2	分子标记技术及其应用	188
7.3	分子标记辅助选择	217
第 8 章	植物资源的利用与保护	221
8.1	我国植物资源利用与保护现状	221
8.2	植物资源的合理开发和利用	224
8.3	植物资源保护的途径及意义	228

第 1 章 植物生物技术总论

21 世纪是生命科学与生物技术的世纪,生物技术被世界各国视为高新技术并作为优先发展的领域。生物技术已广泛应用于农业、工业、医药卫生、食品、化工、能源等各个领域,对人类社会的发展正在产生并且还将产生深远影响。现在所称植物生物技术指的是以现代分子生物学和基因工程为核心内容的生物技术。

1.1 生物技术及其应用

1.1.1 生物技术概述

生物技术是人类对生物资源(包括动物、植物、微生物)的利用、改造并为人类提供服务的各种技术体系的总称。

生物技术的历史相当悠久,可以简单的将其发展的历程分为三个阶段:

①第一代生物技术,是指从 19 世纪末到 20 世纪 30 年代以发酵产品为主干的工业微生物技术体系,发展研究最多的是微生物发酵技术。

②第二代生物技术,是以 20 世纪 40 年代抗菌素提取技术、50 年代氨基酸发酵及 60 年代酶制剂工程技术为标志,核心特征是微生物制品的初级分离与提纯。

③第三代生物技术,是由多种技术相互渗透而形成的综合性技术体系,是以基因工程为核心的技术群,包括重组 DNA 技术、分子标记技术、核酸杂交技术、基因克隆技术、转基因技术、DNA 合成技术和测序技术等。

由于第一代生物技术和第二代生物技术还不具备高新技术的诸要素,故只能被视为传统生物技术,而第三代生物技术则被称为现代生物技术。

植物生物技术是既古老又现代的应用技术。说它古老是因为最早的传统生物技术可以追溯到远古时期的酿酒技术;说它年轻是因为植物生物技术的迅猛发展只有 100 多年,在 20 世纪 50 年代以后才有植物生物技术的

产生。

21 世纪是生命科学的世纪,现代生物技术已在能源、化工、海洋等领域广泛应用,形成了新兴产业,并成为全球新的经济增长点。

根据生物技术操作对象及操作技术的不同,生物技术又可分为以下五项技术工程:发酵工程,酶工程,细胞工程,基因工程和蛋白质工程。

发酵工程是指采用现代工程技术手段,利用微生物的某些特定功能或直接把微生物应用于工业生产过程的一系列技术。

酶工程是利用酶、细胞器或细胞所具有的特异催化功能,或通过对酶进行修饰改造,并借助生物反应器和工艺过程来生产人类所需产品的一系列技术。

细胞工程是指在细胞水平上研究改造生物遗传特性,以获得具有目标性状的细胞系或生物体的一种技术体系。

基因工程是以分子生物学和分子遗传学为基础,是按照人类的需要把某种生物的某个“基因”与另外一种生物的某个“基因”重新“加工”“组装”成新的基因组合,创造出新的生物。

蛋白质工程是指在基因工程的基础上,结合蛋白质结晶学、计算机辅助设计和蛋白质化学等多学科的基础知识,通过对基因的人工定向改造等手段,对蛋白质进行修饰、改造和拼接以生产出能满足人类需要的新型蛋白质的技术。

1.1.2 生物技术的应用

生物技术作为高新技术的重要组成部分,具有如图 1-1 所示的基本特征。

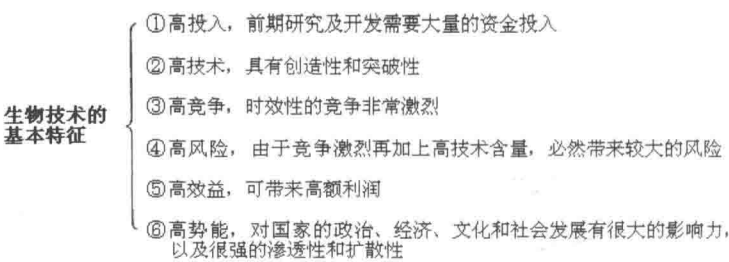


图 1-1 生物技术的基本特征

生物技术的应用领域非常广泛,包括医药卫生、农林牧渔、食品、化工、环境保护、材料能源等(表 1-1)。生物技术的广泛应用必然带来经济上的

巨大利益,所以各种与生物技术相关的企业如雨后春笋般地涌现出来。

表 1-1 常见的生物技术应用的领域

行业种类	经营范围
设备	由生物技术生产的金属、生物反应器、计算机芯片及生物技术使用的设备等
环境	废物处理、生物净化、环境治理
能源	能源的开采、新能源的开发
农业、林业与园艺	新的农作物或动物、肥料与生物农药
食品	扩大食品、饮料及营养素的来源
化学品	酶、DNA/RNA 及特殊化学品
检测与诊断	临床检测与诊断,食品、环境与农业检测
疾病治疗	用于控制人类疾病的医药产品及技术,包括抗生素、生物药品、基因治疗、干细胞利用等

1.2 植物生物技术的基本理论依据

1.2.1 植物细胞全能性与细胞分化

德国科学家 Haberlandt 就曾预言,植物体的任何一个细胞,都具有该物种的全部遗传信息和发育成完整个体的潜在能力,这种潜在能力就叫做植物细胞的全能性(totipotency)。为了证实这个预言,长期以来,无数科学家坚持不懈地试验,历经的主要事件如图 1-2 所示。至此,植物细胞的全能性得到了证实,随后,植物组织培养技术也取得了迅速发展。

一个完整的植株个体是由一个受精卵经有丝分裂发育而成,不管是植株的哪一部分,所属体细胞内的遗传信息完全一致。在外部环境之所以会呈现出不同的形态或者拥有不同的功能是因为内在的环境对其进行诱导,只对外表现出一部分的功能形态。一旦脱离了内部环境的诱导,在一定的营养条件及植物激素的诱导下,细胞的全能性就能够表现出来。

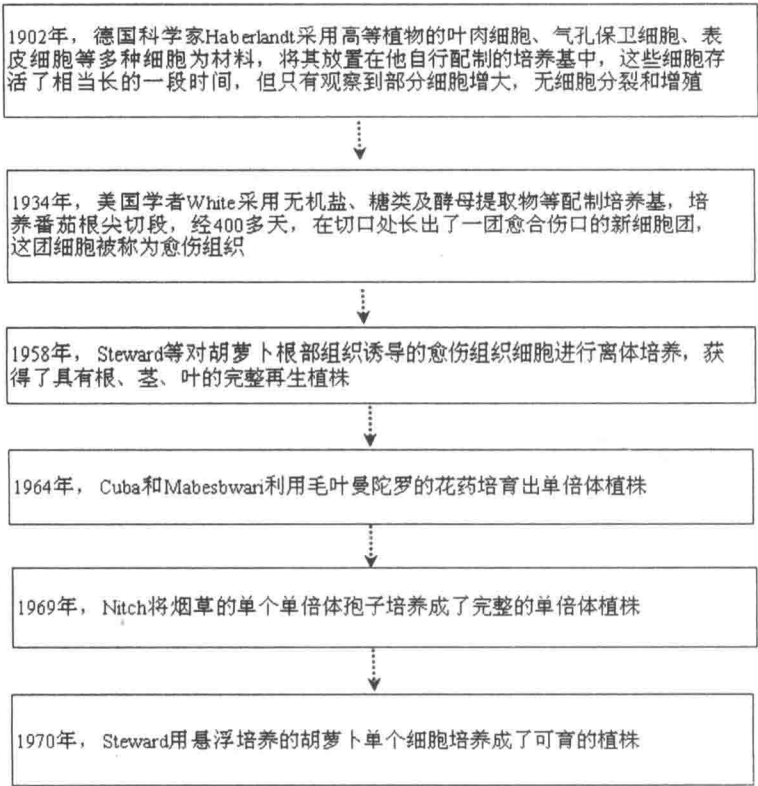


图 1-2 植物细胞全能性证明的事件历程

在条件适宜的情况下,任何一个植物细胞都具有发育成一个植株个体的能力,这既是植物细胞全能性的有力证据,也是植物组织培养的理论基础,并已被广泛地应用到植物细胞工程及植物基因工程的实践中。

多细胞生物体是由各种不同类型的细胞组成的,这些细胞最初都是由一个受精卵经增殖分裂及细胞分化而来的。在个体发育中,由同一种类型细胞经分裂后逐渐在形态、结构和功能上形成稳定性差异,由此产生不同细胞类群的过程被称为细胞分化(cell differentiation)。在种子植物中,由一个受精卵经历一系列的细胞分裂及细胞分化,形成一个具有根端和茎端的胚胎,然后形成种子。当种子萌发后,逐渐发育成新的植株。这一过程始终伴随着细胞的分化,从而形成植物的各种组织和器官。

1.2.2 植物离体条件下的器官发生与调控

植物的离体器官发生是指离体的组织或细胞在人工培养的条件下形成不定芽、根和茎等器官的过程。通过此方式,植物可以非常迅速地进行无性

繁殖,同时也是对植物基因工程研究的重要方法之一。

不管是在植物愈伤组织诱导过程还是植物离体器官发生过程,植物生长调节剂都扮演着一个重要的角色,因为植物调节剂的浓度的比例影响着植物的个体发育。其调控作用取决于生长素与细胞分裂素的浓度配比,细胞分裂素浓度高时促进芽的形成,生长素浓度高时促进根的形成,浓度比适中时形成愈伤组织。

离体条件下诱导器官的形成,在20世纪初就已经获得成功。1908年,Winkler通过培养长叶蝴蝶草的叶切段,从中观察到了花芽的直接再生。20世纪30至50年代,在许多植物中实现了根和营养芽等营养器官的直接再生。20世纪60至70年代,植物离体生殖器官的再生技术得到了快速发展。迄今为止,被子植物中,几乎所有的器官都能够实现在离体条件下的再生。

1.2.3 植物体细胞胚胎发生与调控

植物的有性繁殖是通过雌雄配子受精后形成合子,再经其固有的方式产生胚(通常称为合子胚)。因此,植物胚胎是从合子发育而来的。1958年,德国学者 Reinert 在固体培养基上培养胡萝卜的根,观察到愈伤组织中有些细胞能够发育成胚。同年,美国 Steward 等人采用悬浮培养的方法,培养胡萝卜的块根细胞,也出现了与合子胚相似的结构,其发育过程也同合子胚相似。由于这些胚的来源是体细胞,故称为体细胞胚(somatic embryo, SE)或胚状体。体细胞胚的发生是已分化的植物细胞经过植物生长调节剂诱导使其脱分化,脱分化细胞进行再分化的过程,最后生长发育成完整植株。通常,体细胞胚的发生方式可以概括为两种,一是不经过愈伤组织,从组织或细胞直接发生;另一种是先经过愈伤组织阶段再分化为体细胞胚。

与器官发生不同,体细胞胚胎发生具有如图 1-3 所示的几个特征。

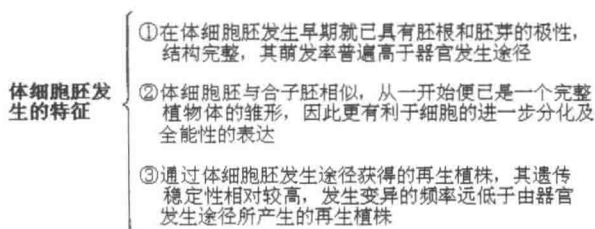


图 1-3 体细胞胚发生的特征

由体细胞转化为胚性细胞的一个重要前提是通过离体培养使这些细胞

脱离整体的束缚,但仅靠离体培养是不够的。细胞分化的过程中受到多种因素的影响,最为关键的因素就是植物生长调节剂的浓度,可以加快体细胞向胚性细胞转化的进程。

与器官发生途径的调控类似,外源的生长素和细胞分裂素是在体细胞胚胎发生过程中不可缺少的植物激素,两类激素不同浓度的比例能够有效控制细胞的分化。这些外源激素的种类有很多,不仅 2,4-D 及 NAA 对诱导体细胞胚胎发生有着重要的影响,细胞分裂素及赤霉素类在一定程度上也影响着体细胞胚的发生。需要注意的,在不同植物物种中影响的程度也是有大有小,不会是相同的。

植物体细胞胚胎发生与调控在植物生物技术中占有重要的基础地位。

1.2.4 植物重组 DNA 技术

重组 DNA 技术(recombinant DNA technique)又称为基因克隆技术或分子克隆技术,是基因工程的核心技术。即采用分子生物学操作方法,在体外将外源 DNA 与载体 DNA 构建成具有自我复制能力的 DNA 分子,通过转化或转染宿主细胞,筛选出含有该外源 DNA 的转化细胞,再进行增殖。植物重组 DNA 技术就是将这一技术应用到植物领域的一门技术。

H. Boyer 和 S. Copen 借助限制性核酸内切酶首次将基因连接到质粒载体上,标志着 DNA 重组技术的产生。随后,这一技术得到了快速的发展。随着一批新技术、新方法的不断出现,特别是限制性核酸内切酶、工具酶、克隆载体、PCR、分子杂交、DNA 测序、文库构建、分子标记以及转基因等技术的发展,使 DNA 重组技术日趋完善,并迅速应用到包括植物在内的各个领域。

重组 DNA 技术的原理并不复杂,不过是将一段外源 DNA 克隆到特定的载体中,然而, H. Boyer 和 S. Copen 在早期所做工作的意义却是极为深远的。通过众多科学家长期坚持不懈的努力,重组 DNA 技术正在不断走向成熟。现今,人们已经可以通过这些技术实现基因的克隆、扩增、测序、改造、调控,也可以寻找出与目的基因连锁的分子标记,还可以将控制优良遗传性状的目的基因转移到植物中。

利用植物重组 DNA 技术能够解决的问题是多方面的,在这里难以进行全面介绍。例如,可以通过构建基于分子标记的高密度遗传连锁图,并找出与目的基因紧密连锁的两侧分子标记,通过染色体步移(chromosome walking),克隆出目的基因;也可以通过同源序列设计引物,利用 PCR 扩增出该目的基因;还可以通过构建基因文库,然后,利用文库筛选方法克隆出

该目的基因,甚至可以根据基因已知序列按自己的构想重新合成新的基因。进一步,可以对该基因进行扩增、测序,也可以对基因进行修饰,加入能够提高基因转录及表达水平的增强子等,或连入两个甚至多个目的基因。最后,将含有目的基因的载体通过根癌农杆菌介导、基因枪、花粉管导入等方法转入到受体植物中。可以利用 Southern 等分子杂交方法验证目的基因是否已整合到染色体上,借助 Northern 分子杂交等手段证实目的基因的转录,通过 Western 杂交等方法确认目的基因的表达水平。获得高效表达目的基因产物的转基因植物后,最后的工作就是借助其他学科知识,进行优良品种的培育工作。如,分析转基因植物的遗传稳定性、目的基因表达后是否产生了目的基因相应的预期生物学效果(抗虫、抗病、品质改良等)、安全性评价、示范推广等。这些技术不但可以运用于作物的基因工程改良,也可以用于花卉(如改变花卉的颜色)、林草(如加快生长速度或耐旱),甚至与医学及动物基因工程技术结合,运用到医药等领域(利用转基因蔬菜、水果等作为生物反应器,生产基因工程药物等)。

再如,我们还可以利用分子杂交、测序、PCR 等技术,寻找到与控制优良目的性状的单基因或数量性状基因位点(quantitative trait loci, QTL)紧密连锁的分子标记,进行分子标记辅助育种。利用植物重组 DNA 技术原理,进行科学研究及运用到植物改良的领域不胜枚举,事实上,利用这些植物重组 DNA 技术在生产上已取得了巨大的成功,相信植物重组 DNA 技术的发展必将对人类社会的发展带来一场新的变革。

1.3 植物生物技术的农业应用

植物生物技术是对植物品质和性状进行改造的技术,包括植物组织培养技术、细胞工程、基因工程等多种生物技术,主要是指植物基因工程和与之相关的植物组织细胞培养技术、分子标记育种技术等。

(1) 花药培养与单倍体育种

花药或花粉培养、未授粉子房以及胚珠培养等诱导形成单倍体植株,是获得纯合体植株的主要途径。通过单倍体培养后再染色体加倍的办法,加速后代纯合、快速组合多种性状、缩短育种进程、简化育种程序,已培育出一大批高产优质品种在生产上应用。我国在单倍体育种的研究和应用上一直处于国际先进水平,已建立 40 多种植物的单倍体培养成株技术,育成的水稻、小麦、玉米、烟草、甜椒等新品种已在生产上大面积推广。

(2) 植物脱毒及离体快速繁殖

通过植物微茎尖培养可以获得无病毒植株,因而可以用于植物脱毒,解决生产实践中植物病毒危害问题。这是植物组织培养应用得最早、最多、最广泛的一个方面。早在 1960 年,Morel 通过兰花茎尖培养,可以脱除病毒并能快速繁殖,很快用于生产,形成了利用组织培养法繁殖的“兰花工业”。在其高效益的刺激下,植物脱毒及离体快速繁殖技术得到迅速发展,现在已有多种经济植物的脱毒及快速繁殖技术应用于生产中,利用植物组织培养技术可快速繁殖某些花卉和园艺植物、经济植物以及药用植物。

(3) 原生质体培养及细胞杂交

自从 E. C. Cocking 用纤维素酶和果胶酶处理番茄幼苗根,降解细胞壁获得原生质体以来,至今已有 250 多种高等植物原生质体培养得到再生植株。

原生质体培养可以克隆再生植株群中表现出来的有益变异,筛选出优良品种或通过原生质体融合等方法实现远缘杂交和外缘基因的导入,从而创造新种或育成优良品种。自从 P. S. Carlson 获得烟草种间原生质体融合的体细胞杂种植株成功以来,到目前已有数十种属间体细胞杂种和几例科间体细胞杂交成功的报道。

(4) 利用植物组织培养生产有用次生代谢产物

利用组织或细胞大规模培养,以合成人们需要的天然有机化合物,已取得令人振奋的进展。利用组织培养法生产微生物以及人工不能合成的药物及有效成分、香料、工业原料等有机物的研究越来越多。利用细胞培养生产这些次生物质,不仅可以克服天然资源的不足,并且不需要占用农田,不受自然条件限制,还可以通过筛选高产细胞株、改进培养技术及调控代谢途径等方法,大大提高生产率。在生物反应器设计、细胞培养阶段、诱发子和生物转化研究的基础上,国内外开始研究工厂化培养细胞生产有用化合物。例如,日本三井石油化学工业公司使用 750L 植物细胞反应器培养紫草细胞生产紫草宁;还培养长春花细胞生产吲哚碱,培养烟草细胞生产烟碱,培养人参细胞生产人参皂苷,培养红豆杉细胞生产紫杉醇等。

(5) 转基因植物

植物生物技术中的转基因技术突破了物种间的界限,转移有用的基因,使远缘植物之间可以进行基因交换,为创造新的植物开拓了无限广阔的前景。

自 1983 年世界上首次成功地获得第一株转基因植物以来,植物基因工程技术在作物品种改良、抗病、抗虫、抗除草剂、杂种优势的利用等方面广泛

应用,并得到迅速发展。据统计,2014 年全球转基因植物的种植面积就达到 181.5 万平方千米,种植面积大的国家依次为美国 73.1 万平方千米、巴西 44.2 万平方千米、阿根廷 24.9 万平方千米、加拿大 11.6 万平方千米、中国 3.9 万平方千米。主要转基因性状是抗除草剂、抗虫等。

(6)植物种质资源的保存

植物种质的保存引起各国的高度重视,但常规田间保存种质资源耗资巨大,且往往达不到万无一失的目的。利用组织和细胞培养法低温保存种质,可大大节约人力、物力和土地,同时也便于种质交换和转移,防止病虫害的人为传播,是一种效率高、可靠性大、消耗低的种质资源保存方法。

(7)分子标记辅助育种

分子标记技术在植物分类、植物多样性、种质资源保护、遗传图谱的建立、基因定位与辅助选择育种、品种鉴定等方面均取得较好的研究应用效果。传统的植物分类方法主要是形态标记分类法,可靠性差,许多物种之间的分离关系及亲缘关系仍需进一步研究。将分子标记应用于确定亲本之间的遗传差异和亲缘关系,可划分杂种优势群,提高杂交优势潜力。

分子图谱的建立一方面有助于追踪目标基因,另一方面对数量性状基因座定位研究也具有很大影响。它可将数量性状拆分,分别估计各个位点的表型效应,进而对其定位。

分子标记在种质资源研究中的主要用途之一,就是绘制品种的指纹图谱。这种图谱多态性丰富,具有高度的个体特异性和环境稳定性,甚至可以检测到一些基因组中的微小变异。因此,指纹图谱技术极其适合于品种鉴定和新品种登记、品种纯度和真实性检验等。

利用各品种指纹图谱的差异程度可判断品种间亲缘关系的远近,测量品种间遗传距离,进行系谱分析,并在指导杂种组合配制、杂种优势预测等方面具有重要作用。

总之,植物生物技术是一门年轻而富有生命力的科学,它已取得了举世瞩目的进展,随着科学技术的不断发展,植物生物技术研究也将不断向深度和广度发展,农业将成为其应用最广阔、最活跃、最富有挑战性的领域。

1.4 植物生物技术的发展与展望

1.4.1 植物生物技术的发展趋势

鉴于植物生物技术的巨大威力和它对种植业可能产生的重要影响,世界各国都非常重视植物生物技术的研究与开发。植物生物技术在解决人类所面临的粮食、能源和环境问题上将发挥重要作用。21 世纪植物生物技术的发展主要表现在以下几个方面。

1.4.1.1 植物应用范畴的多元化

随着植物生物技术的不断发展和应用,农业生产将会发生革命性的变化。植物基因工程将成为植物生物技术中发展最快的研究领域。转基因植物将呈现多元化的应用范畴,除了生产粮食还可生产疫苗、药物;除了解决人类温饱,还可防治疾病;除了防风治沙,还可净化环境、生产能源。转基因植物的产业化,尤其是转基因农作物的产业化,不仅可大幅度提高产量,而且可减少除草剂和杀虫剂等农药使用量,因此,既节约了大量劳力,又保护了环境,由此给人类社会带来了巨大的经济效益和社会效益。

未来转基因植物的研究将更加注重食物营养价值的提高,以及将植物作为生物反应器的应用。通过转基因技术培育富含黄酮醇的转基因番茄,增加植物油中的维生素 E 含量,减少食用油中有害的饱和脂肪,培育富含胡萝卜素的水稻等。通过转基因技术将食品转变成疫苗,如转基因土豆可含乙肝疫苗,转基因香蕉可含霍乱疫苗,转基因莴苣可含麻疹疫苗等,使植物成为可生产食用疫苗的生物工厂。

1.4.1.2 植物生物制品的多样化

植物是开发药品和工业化工产品所用蛋白质的一个重要来源。转基因植物研究,除了关注常规的性状改良外,还包括对人、畜疾病治疗有价值的药物蛋白的生产。利用植物产生的蛋白质与利用其他方法制造的蛋白质一样具有相同的纯度和活性。