

Plant Propagation by Tissue Culture

Volume 1. The Background

植物组培快繁

第1卷 背景 (原著第3版)

[英] E. F. 乔治 (Edwin F. George)

[英] M. A. 阿尔 (Michael A. Hall)

主编

[荷] G. J. De 克勒克 (Geert-Jan De Klerk)

莽克强 译



化学工业出版社

Plant Propagation by Tissue Culture

Volume 1. The Background

植物组培快繁

第1卷 背景 (原著第3版)

[英] E. F. 乔治 (Edwin F. George)

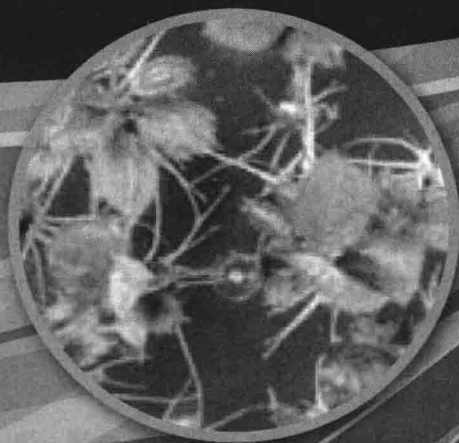
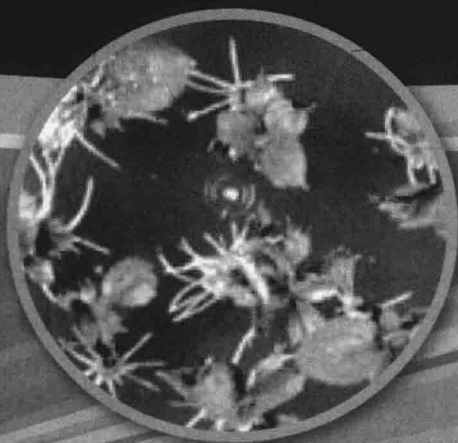
[英] M. A. 阿尔 (Michael A. Hall)

[荷] G. J. De 克勒克 (Geert-Jan De Klerk)

莽克强 译

主编

藏书



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

植物组培快繁/[英]乔治(George,E.F.),[英]阿尔(Hall,M.A.),[荷]克勒克(Klerk,G-J.D.)主编;莽克强译.
北京:化学工业出版社,2014.8

书名原文:Plant Propagation by Tissue Culture

ISBN 978-7-122-17924-1

I. ①植… II. ①乔… ②阿… ③克… ④莽… III. ①植物组织—组织培养 IV. ①Q943.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 150922 号

Translation from the English language edition:

Plant Propagation by Tissue Culture, 3rd Edition

by Edwin F. George, Michael A. Hall and Geert-Jan De Klerk

Copyright © 2008 Springer Netherlands

Springer Netherlands is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved.

本书中文简体字版由 Springer 公司授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分,违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2013-1607

责任编辑:傅四周

文字编辑:张春娥

责任校对:顾淑云

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张31½ 字数800千字 2015年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:149.00 元

版权所有 违者必究

译 序

植物组织培养作为一种植物生物学研究的基本方法，已广泛应用于植物发育生物学、生理学、植物生物技术等各个领域的研究中，而且已经在作物育种、无病原体植物的产生、优质种苗的快速繁殖、植物次生代谢产物的生产和植物种质保存等各种生产实践中发挥越来越大的作用。

改革开放以来，以此项技术为主要基础的试管苗产业在我国得到了长足的发展，已有一大批企业涉及试管苗工厂的各种设备（包括超净台、培养架、高压灭菌锅、培养容器、培养基分装设备、光源等）、化学试剂和植物生长调节物质的生产销售。生产的试管苗种类除香蕉、马铃薯无病毒种苗外，还包括了各种花卉、果树、经济林木、中草药等。

我国从第六个五年计划开始，植物生物技术一直是科研攻关的重要项目，经科研工作者多年的努力已积累了大量成果，但真正被用于生产的还只是一小部分。在试管苗产业化的过程中也还存在着各种各样的问题，这固然有科研体制上的原因，也有教学和科学知识普及上的问题。

莽克强先生多年来作为国家生物技术科研攻关项目的负责人和大型试管苗工厂的领导者，深知植物组织培养基础知识的重要性。选择这套国际上有名的有关植物快速繁殖工具书的第一卷翻译出版有一定的道理，因为此卷作为整套书的总论，介绍了植物组织培养的背景，并详述了从基本培养基、植物生长调节物质、培养条件到形态发生途径等最基础的知识，它的每一章节均由国际上有关的知名专家撰写并不断充实，具有先进性和权威性。本书原版书价格昂贵，在国内只有少数科研机构拥有，相信莽先生费心将它译成中文一定会使更多人了解和掌握有关知识，从而有助于我国的植物生物学的教学科研和生物技术产业的发展。

陈维伦

2014年10月

译者的话

1992年4、5月间，也正是邓小平同志南巡讲话不久，我毅然接受香港企业家赖雁浪先生的盛情邀请，主持中美合资的德星（Agristar）无菌培养植物有限公司，即植物组培公司的经营管理工作。我之所以决心离开在中国科学院微生物研究所艰苦奋斗35年而创造的国家重点实验室的原因是复杂的。一方面是年龄已近退休；另一方面，多年的工作实践证明自己的个性和某些观点不适于参与当时的科研管理工作。自己并非植物组培出身，更非专家，不过仅在转基因植物工作下游，即基因转化后的植物培育和筛选过程中涉及组培工作。但南巡讲话给了我力量和勇气。

20年来，从合资企业的德星到2003年转制为集体所有制的农星生物工程公司，无论产品种类、数量和出口额在国内的同行产业中均为首屈一指，在国际同行中也是名列前茅。我一直负责公司生产、技术开发和技术培训工作，主要从生产实践及其有关试验中总结工艺技术。有幸于1993年购进了此书：“Plant Propagation by Tissue Culture”第二版（1993）。我翻译了第1卷的全部和第2卷小部分用作培训资料，从中获益匪浅。2009年又看到该书第三版（2008年）的第1卷，但至今未见第2卷问世。据说仍在审慎编辑中。新版与第1版和第2版分别相隔24年和15年，新版相较于第2版内容有如下特点：

（1）较系统地充实、增添了很多植物组培快繁在分子生物学、遗传学、发育和解剖学方面的新进展。所涉及学科如此广泛，因此邀请以欧美为主专家18位，和南非、以色列各一位分别执笔，较全面地介绍了组培快繁技术基本原理、步骤和方法，并对一些工艺技术作用机理有所阐述。从而使长期以来知其然不知所以然的工艺技术部分得到解释。但对同一工艺在不同植物种甚至同种的不同品种或栽培种上，何以得出截然不同结果的常见现象仍处于茫然无知。无论如何，从总体评价，这是一本既有基础理论，又有实际应用技术，比较全面而实用的书。

（2）本书主编在序言中提出要将此书编辑成百科全书类型。因此在介绍工艺方法或对所提假说或学说，或所涉及的植物种都是较简明扼要的，但大都列出有关文献备查。因此，本书所引文献几乎涵盖了从快繁初始期的20世纪70年代直至21世纪初。本书提供主题索引，便于读者查寻。

（3）我国现有的农学院校、有关研究所和植物快繁产业单位有不少课程和工作涉及植物组培，相信此书会给他们提供有价值的参考资料。

基于上述原因，趁我虽已入耄耋之年行列，但智力、思路和书写能力尚未进入退行性改变之际，翻译此书，但愿能有助于教学、科研和生产。在化学工业出版社建议之下，又蒙荷兰希蕊公司和东莞石龙农星生物工程公司（莽锐，梁煜光）慷慨惠允资助，本译著得以顺利出版。再者，承蒙我国著名植物组培专家、中国科学院植物研究所陈维伦研究员百忙中惠许撰写序言，叶绍明、李宜生、莽钢纲在翻译中提供了大量协助，在此一并致以诚挚、衷心的感谢。

本书篇幅较大，又是译文，难免有不当、错误之处，敬请读者坦诚指正。

莽克强

2014年10月

序 言

自本书第一版问世至今已二十余载，与第二版也相隔近十五年。在此期间，这两个版本的大部分资料是经得起考验的，但不可避免的是，由于研究工作的快速进展，新版本的出现显然是适时的。

不能否认的事实是：不仅因为更大量的植物种已是组培快繁的对象，更因为该领域——正是涉及本卷的领域——的资料背景已变得几乎面目皆非了，特别是现有关于植物发育、遗传学、生理学、生物化学和分子生物学的知识已呈指数扩增——多是利用拟南芥 (*Arabidopsis*) 突变株的工作——为植物繁殖者的探索开拓了很多新途径。同样地，植物组培的商业意义也已大大提高，举一例子：本书第二版仅有一章是关于植物生长调节剂 (PGR) 的，但本版中竟增至 3 章，这反映了现有关于 PGR 的资料比我们 1993 年所确认的不仅要多而且还有些新种类。同样地，15 年前，对植物发育如花和茎枝发育的分子基础了解得很少，而本版却需整整一章来描述，其中的大量工作与近十年的发现有关。

基于这些因素，深感需要一种不同的方式方法来编写第三版。第二版是由 Edwin George 独自调研编写的，但现在单独一位作者难有如此广泛的专业知识来涵盖如此多的方方面面的主题。因此采取多个作者，每章由该领域专家编著的方法。这样就以第二版的全面而合理的框架为基础来组织编著本版书。前一版的很多部分仍保留，但不可避免的是，除最新的参考文献目录外，很多领域的正文都做了较大的修改。

与第二版一样，本版仍为两卷，但覆盖范围扩展了，而且主题顺序也有变动，可能原来在部分 I 的主题，现改在部分 II。编著本版的精神特点与以前一样：要编出一本百科全书样的版本。

首先倡议对《植物组培快繁》一书进行新的修订工作的是 A.C.Cassells 教授，主编对他的较早指导表示谢意。如没有撰稿人如此丰厚的善意和辛勤的劳动，不可能成功地完成这本巨著，为此，我们向他们表示深深的感谢。我们也向所有允许使用他们的资料、图表和图解的教授和学者们表示诚挚的谢意。非常感谢爱尔兰国立科克大学 (University College Cork) Dr. Susan Rafferty-McArdle 对该书版式的总体设计所付出的辛苦劳动以及 Springer 公司 Dr. Jacco Flipsen 对我们的支持！

Edwin George
Mike Hall
Geert-Jan De Klerk

编者简介

第1章

Edwin F. George 在伦敦皇家学院培训成为植物学家并获博士学位。之后在毛里求斯甘蔗工业研究所从事甘蔗选育种工作。在 ICI 公司和植物保护公司研究植物生长调节化合物和进行公司的一些研究课题。最后他成为一名有独立见解的顾问，在植物基因工程特别是在植物组织培养方面进行了广泛的研究。因此而使得《植物培养基》卷 1 和卷 2 (1987) 以及《植物组培快繁》第 1 版 (1984) 的出版。之后经大量修订并扩大为两卷的第 2 版《植物组培快繁》于 1993 年和 1996 年问世，现在本书是在第 2 版的第 1 卷基础上修改并补充新资料完成的。George 博士虽已退休但仍为目前修订版准备图表。

第2章

Pierre C. Debergh 自 2004 年即为比利时 Gent 大学荣誉退休教授。自 1968 年以来专攻快繁 (micropropagation)。他的专业兴趣是组培和园艺在西方和发展中国家 (亚洲、非洲和加勒比海诸国) 的应用。他是《Plant Cell Reports》、《Plant Cell Tissue and Organ Culture》以及《South African Journal of Botany》杂志编辑，发表过近百篇文章。是 35 位 PhD 的论文和 250 多位 MSc 的论文的导师。

第3章

Geert-Jan de Klerk 自 1986 年以来即为植物组培方面的高级研究员。首先在荷兰丽兹 (Lisse) 的植物组培研究中心，现在荷兰瓦赫宁根 (Wageningen) 大学国际植物研究所工作。他的主要研究兴趣是植物发育生物学。他是《Plant Cell Tissue and Organ Culture》的主编和《Propagation of Ornamental Plants》的编辑。

第4章

Trevor A. Thorpe 曾是 Toshio Murashige (美加州大学 Riverside 分校) 的博士生，也曾是 Faculty Professor。现为加拿大 Alberta 省卡尔加里大学 (Univ. of Calgary) 生物科学系荣誉退休教授，1997 年退休但仍是位活跃的研究员，感兴趣领域：植物发育生理，植物实验性形态发生和快繁，主要是关于木本植物的，前国际植物组培协会主席，《In Vitro Cellular and Developmental Biology—Plant》的前主编。

Edward C. Yeung 是耶鲁大学 I. Sussex 的博士生，现为加拿大 Manitoba 大学 (Manitoba 省) 植物科学系助理教授。研究兴趣：植物胚发生的结构，生理、生化的个体发育以及兰花的花生物学。

Claudio Stassolla 是 Edward Yeung 教授的博士生，主要研究体外培养植物体细胞胚的发生。Andy V. Roberts 是英国东伦敦大学 (Univ. of East London) 健康和生物科学院荣誉退休教授。研究兴趣：利用体外培养法繁殖木本植物及其遗传性状的改良，重点在玫瑰。

Geert-Jan de Klerk，参阅上述第 3 章。

第5章

Ivana Machackova 是布拉格捷克共和国科学院实验植物研究所教授，植物形态发生实验室

主任和该所所长，同时在布拉格 Charles 大学植物生理系授课。研究领域是植物生长物质 [生长素、乙烯、脱落酸和褪黑激素 (melatonin)] 的作用方式和代谢以及调控它们的水平与植物发育和电生理的关系。

Eva Zazimalova 是布拉格捷克共和国科学院实验植物所副教授，植物激素调控实验室主任，该所副所长，也在 Charles 大学植物生理系教课。研究领域：生长素和细胞分裂素的作用方式，生长素结合位点，调控生长素和细胞分裂素水平与细胞分裂和伸长以及生长素极性运输的关系。

第 6 章

Johannes van Staden 1970 年获植物学 PhD 学位后一直在此领域授课至 2003 年，是南非夸祖鲁 - 纳塔尔大学 (Univ. of KwaZulu-Natal) 的生物学和自然保护科学院、植物生长发育研究所所长、教授。主要研究领域：植物生长和种子发芽的激素调控、植物组培和民族植物学或人种植物学 (ethnobotany) / 药用植物 (medicine)。

Eva Zazimalova 参阅上述第 5 章。

第 7 章

Igor E. Moshkov 是莫斯科俄国科学院 Timiryazev 植物生理所副所长，植物生理和生化方面的首席研究员 (Leading Researcher)。研究工作集中在乙烯信号感受 (perception) 和转导方面；在感受水平条件下，乙烯和细胞分裂素与信号转导途径间的互作，以及植物激素信号转导中的 GTP- 结合蛋白。

Galina V. Novikova 是莫斯科俄国科学院 Timiryazev 植物生理研究所植物生理、生化方面首席研究员。研究工作：细胞分裂素和乙烯的作用方式及其互作；蛋白磷酸化 / 脱磷酸化与植物激素信号感受和转导的关系，以及植物激素信号转导过程中 MAPK 的串联反应。

Michael A. Hall 自 1981 年即为英国 Wales 大学 (Aberystwyth) 植物学教授。研究工作涉及植物激素信号感受和转导机制，特别是乙烯的，以及激素在植物对环境逆境反应中的作用。

第 8 章

Dominique Chriqui 是法国巴黎 Pierre 和 Marie 居里大学植物发育实验室主任、教授。多年来研究体外培养和自然环境下形态发生如生根和茎枝再生的细胞和分子基础特点。她现在特别感兴趣的是再生过程中早期发生的事件以及激素、细胞周期和发育相关基因之间的互作。已发表近百篇有关植物形态发生的论文。

第 9 章

Sara von Arnold 1979 年获瑞典 Uppsala 大学 PhD 学位，1988 年成为瑞典农业大学 (Uppsala) 森林树木细胞生物学正教授。她的研究工作集中在针叶树发育过程，特别是体细胞胚的发生。

第 10 章

Peter B. Gahan 是英国伦敦 King's 学院细胞生物学荣誉退休教授。有 50 年在植物生物学方面的科研和教学经验。他的科研兴趣在植物细胞能或不能再生的机理和 DNA 作为一个信使在细胞与组织间的作用。

第 11 章

John Preece 是美国伊利诺斯大学 (Southern Illinois Univ.) (Carbondale) 植物、土壤和农业系统系的园艺学教授。他所授课程有普通园艺学、植物繁殖和植物生长与发育。他的研究课题

是木本植物繁殖有关的各个方面。博士后期间首次发表多种木本植物快繁方案，第一次成功地使美国白蜡 (*Fraxinus americana*, white ash) 和黑胡桃 (*Juglans nigra*) 体细胞胚发生和茎枝形态发生。

第 12 章

William (Bill) Davies 现任英国兰卡斯特大学 (Lancaster Univ.) 植物环境生物学教授和 Lancaster 环境中心主任。该中心是欧洲环境研究人员最多的组织之一。他获得第一个园艺学学位是在英国雷丁大学 (Reading Univ.)。之后在美国威斯康辛大学 (Univ. of Wisconsin, Madison) 获得森林学和植物学博士学位。他的研究主题有：植物在环境逆境中对生长和功能的调控；气孔生理学，植物体内根与茎沟通的化学信号；作物和本地植物种的环境生理；抗缺水环境的作物改良，用新的管理技术进行科学灌溉、加强作物用水效率。已在国际植物科学杂志上发表 200 多篇论文，编辑 17 本书。他是 ISI 数据库中在植物和动物方面“文献引用最多研究者”成员 (member of the ISI database of “Highly Cited Researchers”)，又是英国政府 Defra 部 (环境、食品和农村事务部) 有关园艺规划管理委员会成员，也是 “J. of Exp. Botany” 主编。

第 13 章

Meira Ziv 是以色列 Hebrew 大学植物科学和遗传学 Robert H. Smith 研究所教授。研究兴趣在大规模液体培养的植物器官发生和体细胞胚发生的生理学和形态发生，茎枝畸形玻璃化，活性氧分子过多 (氧化逆境) 在控制生物反应器培养的植物发育的作用，从而达到容器外植物 (*ex vitro*) 有效驯化和存活；液体培养地下芽植物 (geophytes) 鳞茎和球茎发育与碳水化合物代谢关系。

Jianxin Chen 是加拿大安大略省 (Ontario) Brock 大学生物系研究员。主要研究：药用植物的大规模快繁、代谢途径和克隆以及植物育种。

目 录

第 1 章 植物组培程序：背景	1
1.1 引言	1
1.1.1 有组织结构生长	1
1.1.2 无组织结构生长	1
1.2 组织培养	2
1.2.1 有组织结构的培养物	2
1.2.2 无组织结构的培养	2
1.2.3 利用组培进行植物繁殖	2
1.2.4 组培的起始	3
1.2.5 建立培养物的问题	6
1.2.6 生长和分化的方式	7
1.2.7 继代培养	8
1.2.8 继代的危险	8
1.3 组培类型	8
1.3.1 器官培养	8
1.3.2 无组织结构细胞的培养	14
1.3.3 单个细胞起源的培养物	17
1.4 细胞分化	21
1.4.1 愈伤内和细胞培养物内的分化细胞	22
1.5 形态发生	23
1.5.1 性质和诱导	23
1.6 单倍体植物	23
1.6.1 花药和花粉的培养	23
1.6.2 单雌生殖或雌核发育	24
参考文献	24
第 2 章 快繁：应用和方法	29
2.1 种子和体细胞两种不同的选择	29
2.1.1 用种子繁殖	29
2.1.2 营养繁殖	30
2.2 体外培养的快繁	30
2.2.1 优点	30
2.2.2 缺点	31
2.2.3 技术	31
2.2.4 快繁的各阶段	32
2.3 快繁方法	35
2.3.1 用腋芽或茎枝繁殖植物	35

2.3.2 通过直接的器官发生来繁殖	42
2.3.3 用间接器官发生来繁殖	48
2.4 储存器官的形成	54
2.4.1 小鳞茎和小球茎的生产	54
2.5 微型嫁接	55
参考文献	57
第3章 植物组培培养基组成成分 I：大量和微量营养物	64
3.1 培养基的无机组分	64
3.1.1 无机营养物的摄取	65
3.1.2 非有意的改变	67
3.2 大量营养物	68
3.2.1 氮	68
3.2.2 磷酸盐	84
3.2.3 钾	85
3.2.4 钠	86
3.2.5 镁	86
3.2.6 硫	87
3.2.7 钙	87
3.2.8 氯化物	89
3.3 微量营养物	89
3.3.1 植物组培培养基中的早期应用	89
3.3.2 来自微量不纯物的微量营养物	90
3.3.3 最适微量元素浓度	90
3.3.4 细胞的分化和形态发生	90
3.3.5 微量营养物的作用	91
参考文献	101
第4章 植物组培培养基成分 II：有机添加物、渗透势和 pH 效应以及支撑系统	111
4.1 有机添加物	111
4.1.1 维生素	111
4.1.2 维生素混合物的开发	111
4.1.3 一些特种化合物	112
4.1.4 其他维生素	115
4.1.5 不规范（成分未确定）的补充物	115
4.1.6 酵母提取液	116
4.1.7 马铃薯提取液	116
4.1.8 麦芽提取液	117
4.1.9 香蕉匀浆液	117
4.1.10 滋养胚的汁液	117
4.1.11 椰乳汁 / 水	117
4.2 有机酸	119
4.2.1 作缓冲剂用	120
4.3 糖类——营养和调控效应	121

4.3.1	糖是能源	121
4.3.2	蔗糖的替代物	121
4.3.3	蔗糖的水解	124
4.3.4	吸取	126
4.3.5	有效浓度	126
4.3.6	淀粉的积累和形态发生	128
4.4	培养基组成成分的渗透效应	129
4.4.1	渗透和水势概论	129
4.4.2	植物组培培养基的渗透势	131
4.4.3	组培培养基中渗透剂的使用和效应	133
4.5	组培培养基的 pH	140
4.5.1	培养基的 pH	140
4.5.2	植物体内 pH 的调控	146
4.5.3	pH 对植物培养物的效应	147
4.6	液体培养基和支撑系统	150
4.6.1	液体培养基	150
4.6.2	用半固相基质支撑	151
4.6.3	有孔的支撑物	154
4.6.4	固定化细胞	155
	参考文献	156
第 5 章	植物生长调节剂 I: 生长素及其类似物和抑制剂	171
5.1	激素、生长物质和生长调节剂	171
5.2	生长素	172
5.2.1	自然存在和人工合成的生长素	172
5.2.2	生长素的物理和化学性质	174
5.3	生长素的代谢	174
5.3.1	IAA 的自然水平	174
5.3.2	生长素的生物合成	175
5.3.3	生长素的缀合和降解	177
5.3.4	合成的生长素对 IAA 水平的影响	177
5.3.5	在培养基中的稳定性	178
5.4	生长素的运输	178
5.5	生长素的作用方式	179
5.5.1	生长素的信号感知	180
5.5.2	生长素信号传导途径	180
5.5.3	生长素调控基因表达	180
5.6	生长素的生理效应	182
5.6.1	在细胞水平上的效应	182
5.6.2	在组织和整株植物水平上的效应	182
5.7	生长素在组培方面的影响	183
5.7.1	诱发愈伤生长	183
5.7.2	器官培养物	183

5.7.3	胚发生	184
5.7.4	各种人工合成性生长素用于组培的实例	184
5.7.5	生长素混合物	185
5.7.6	生长素的吸取及其在组培过程中的代谢	185
5.7.7	生长素运输抑制剂对茎枝培养的影响	186
5.7.8	抗生长素和生长素运输抑制剂在不定器官形成方面的影响	187
5.7.9	抗生长素和生长素运输抑制剂对胚发生的影响	188
5.8	酚类的生长调节效应	188
5.8.1	与内源水平的相互关系	191
5.8.2	根的形成	191
5.8.3	间苯三酚的效果	191
5.8.4	儿茶酚的效能	192
5.8.5	其他酚类化合物	193
5.9	生长素 - 乙烯的互作	194
	参考文献	194
第 6 章	植物生长调节剂 II: 细胞分裂素及其类似物和拮抗物	201
6.1	生物学效应	201
6.2	细胞分裂素的性质及其发现	201
6.2.1	生物活性	201
6.2.2	发现	201
6.3	天然存在的细胞分裂素	202
6.3.1	生物合成	203
6.4	人工合成的细胞分裂素类似物	205
6.4.1	嘌呤替代物	205
6.4.2	苯脲	206
6.5	作用方式	207
6.5.1	抗生长素效应	208
6.5.2	碳水化合物的代谢	209
6.5.3	苯脲化合物	209
6.6	摄取和代谢	209
6.7	在组培和植物器官中的效能	210
6.7.1	刺激细胞分裂	210
6.7.2	不定枝的形成	211
6.7.3	胚的发生	211
6.7.4	应用于茎枝培养	212
6.7.5	作用的特异性	212
6.7.6	细胞分裂素在茎枝培养方面的特异性	212
6.7.7	苯脲	213
6.7.8	温度效应	213
6.8	腺嘌呤	213
6.8.1	胚发生和茎枝发生	214
6.8.2	茎枝培养	214

6.8.3	作用方式	214
6.8.4	抑制效应	215
6.9	细胞分裂素的拮抗剂	215
6.10	生长素 - 细胞分裂素的互作	216
6.10.1	轮廓图解又称等值图	217
6.10.2	预处理	217
6.10.3	生长调节剂和细胞周期	217
	参考文献	218
第7章	植物生长调节剂III: 赤霉素、乙烯、脱落酸, 它们的类似物和抑制剂及其他各种化合物	223
7.1	赤霉素	223
7.1.1	天然存在和生理活性	223
7.1.2	GA ₃ 对组培的效果	225
7.1.3	用于培养分生组织、茎枝和节	228
7.1.4	抗赤霉素和生长延缓剂	230
7.2	脱落酸	231
7.2.1	脱落酸的存在和活性	231
7.2.2	脱落酸在组培方面的应用	233
7.3	乙烯	235
7.3.1	乙烯的生物合成	235
7.3.2	生物合成的抑制剂	236
7.3.3	乙烯作用	237
7.3.4	乙烯溶解度和化学吸附	238
7.3.5	体外组培时乙烯的产生	238
7.3.6	乙烯对培养物的效应	240
7.3.7	其他挥发性物质	244
7.4	其他信息和信使	245
7.4.1	多胺类	245
7.5	类固醇	250
7.6	植物调节剂(素)和壳梭孢菌素	251
7.7	系统素	251
7.8	水杨酸	251
7.9	氧化氮	251
7.10	茉莉酮酸	252
7.11	肌醇	252
7.12	寡糖精和激发子	252
7.13	甾醇	254
7.14	难得的、不常见的调节剂	254
7.14.1	能禁锢茎尖生长的化合物	254
7.14.2	调味酸	255
7.14.3	肉桂酸甲酯和 OPE	255
7.14.4	草甘磷	255

7.14.5 活性炭	255
7.15 未被鉴定的生长因子	258
7.15.1 创伤反应	258
7.16 驯化或适应	258
7.16.1 依赖生长因子	259
7.16.2 适应性的诱导	259
7.16.3 产生适应性的原因和效应	259
7.16.4 遗传调控	260
7.16.5 适应性的影响	261
7.17 生长调节剂处理的时间和持续时间	261
7.17.1 用生长调节剂处理	261
7.17.2 脉冲处理	262
7.17.3 胚发生	263
7.18 用调节剂过分处理	263
参考文献	264
第8章 发育生物学	278
8.1 引言	278
8.2 营养茎枝的形态发生	278
8.2.1 营养枝顶端分生组织的结构组成	278
8.2.2 SAM的特性和结构的分子基础	283
8.2.3 叶序和叶发育模式	286
8.2.4 侧生和不定分生组织的发育	290
8.3 生殖的形态发生	293
8.3.1 生殖期 SAM 在结构上的重排	294
8.3.2 开花时间的控制	295
8.3.3 花和花序分生组织的定型	296
8.3.4 花器官的定型	296
8.4 合子胚的发生	298
8.4.1 从接合子(受精卵)至成熟胚的形成方式	298
8.4.2 控制胚发生的基因	299
8.4.3 植物激素与胚的形成	302
8.4.4 植物界的无性胚发生	302
8.5 根的形态发生	303
8.5.1 根尖分生组织的结构组成	303
8.5.2 与初生根特征和组织结构相关的基因	304
8.5.3 侧根和不定根的形成	306
8.5.4 根和茎定型的问题	308
8.6 次生分生组织和放射状生长	309
8.6.1 维管束形成层的起源和功能	309
8.6.2 木栓形成层的来源和周皮的形成	310
8.6.3 其他类型的径向生长	310
8.7 细胞周期	310

8.7.1	细胞增生、多倍体和发育	310
8.7.2	细胞周期的分子调控	312
8.7.3	细胞周期的激素调控	315
8.8	结束语	315
	参考文献	316
第9章	体细胞胚的发生	326
9.1	引言	326
9.2	植物的胚发生	326
9.2.1	受精	327
9.2.2	胚发育的各阶段	328
9.2.3	接合子/原胚发育的不对称分裂	328
9.2.4	球形期/早期胚发育期中结构的形成	329
9.2.5	根和茎枝分生组织的建立	329
9.2.6	成熟	330
9.2.7	胚柄体系	330
9.3	胚发育的调控	331
9.3.1	胚中细胞命运和结局的确定	331
9.3.2	胚的突变体	332
9.3.3	胚发育期间基因的表达	333
9.4	体细胞胚发生的一般概况	334
9.4.1	胚性培养物的启动	335
9.4.2	胚性培养物的增生	336
9.4.3	成熟前的体细胞胚	336
9.4.4	体细胞胚的成熟	336
9.4.5	植株的再生	338
9.5	调控体细胞胚发生的环境因子	338
9.5.1	胞外蛋白质	338
9.5.2	阿拉伯半乳聚糖蛋白	338
9.5.3	脂几丁寡糖	339
9.6	跟踪体细胞胚发生与发展	340
9.6.1	遗传定型流程图的构造	340
9.6.2	被子植物	340
9.6.3	裸子植物	341
9.6.4	体细胞胚发生的模型	342
	参考文献	343
第10章	不定的再生	347
10.1	引言	347
10.1.1	感受态和定向(型)性	348
10.1.2	再生与细胞分化	348
10.1.3	定型的表观遗传学性质	349
10.2	创伤	351
10.2.1	分离过程中的创伤	351

10.2.2	额外受伤	352
10.2.3	根的形成	352
10.3	诱导定向(型)性	352
10.3.1	感受态	352
10.3.2	定向性	354
10.4	直接再生	355
10.4.1	不定芽的起源	356
10.5	间接再生	357
10.5.1	根和茎枝的形成是各自独立的	357
10.5.2	胚发生的出现	358
10.5.3	直接的体细胞胚发生	358
10.5.4	间接体细胞胚发生	359
10.5.5	体细胞胚的细胞起源	359
10.5.6	单个细胞起源	359
10.5.7	多胚现象	360
10.5.8	多细胞起源	361
10.5.9	胚发生的速率	361
10.5.10	假珠芽和原球茎	362
10.5.11	原-胚发生的定向细胞增殖	362
10.5.12	胚发育的各阶段	362
10.5.13	发芽	364
10.6	基因型的效应	364
10.6.1	基因型的显著效应	364
10.7	基因的调控	366
10.8	外植体	367
10.8.1	外植体组织的年龄	368
10.8.2	个体发育年龄	368
10.8.3	植物或器官的年龄	368
10.8.4	分化程度	370
10.8.5	外植体的年龄	371
10.8.6	培养周期	371
10.9	外植体的性质	374
10.9.1	类型和位置	375
10.10	培养方法	377
10.10.1	接种密度	377
10.10.2	需条件化因子的论据	377
10.10.3	营养供应	378
10.10.4	极性效应	378
10.10.5	外植体在 <i>in vitro</i> 条件下的位置效应	381
10.11	分生组织间的竞争	383
10.12	发育的调控	383
	参考文献	384