

133

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

现代植物生理学

李合生 主编

孟庆伟 夏凯 梁宗锁 宋克敏 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。

全书共分 5 篇 12 章,内容包括:细胞生理——植物细胞的亚显微结构与功能,代谢生理——植物的呼吸作用、植物的光合作用、植物的水分代谢、植物的矿质营养、植物生长物质,生长发育生理——植物的生长生理、植物的生殖生理、植物的成熟和衰老生理,环境生理——植物的逆境生理,植物生理学的分子基础和应用——植物生理学与分子生物学及基因工程、植物生理学与农业应用。

本书可供高等农林院校以及综合性大学、师范院校本科生使用,亦可供植物学科各领域的研究人员和科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代植物生理学/李合生主编. —北京:高等教育出版社,2002

ISBN 7-04-010319-2

I. 现... II. 李... III. 植物生理学—高等学校—教材 IV. Q945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 065283 号

现代植物生理学

李合生 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京民族印刷厂

开 本 787 × 960 1/16

版 次 2002 年 1 月第 1 版

印 张 32.75

印 次 2002 年 1 月第 1 次印刷

字 数 600 000

定 价 27.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

本书编审人员

- 主 编** 李合生 (华中农业大学教授)
- 副主编** 孟庆伟 (山东农业大学教授 理学博士)
夏 凯 (南京农业大学副教授 理学博士)
梁宗锁 (西北农林科技大学副教授 理学博士)
宋克敏 (华中农业大学副教授 理学博士)
- 参 编** 王晓峰 (华南农业大学副教授 理学博士)
陈大清 (湖北农学院副教授 理学博士)
王学奎 (华中农业大学副教授 理学博士)
- 主 审** 周 燮 (南京农业大学教授)
张继澍 (西北农林科技大学教授)

前 言

植物生理学是生物专业和植物生产类各专业的一门专业基础课,也是高等农林院校本科生物系列课程中的骨干课程。因而,植物生理学教材建设备受国内外同行的重视。近年来,国外新版植物生理学教材纷纷登场,像 Salisbury 和 Ross 主编的“Plant Physiology”(1992); Taiz 和 Zeiger 主编的“Plant Physiology-2nd ed”(1998); Hopkins 主编的“Introduction to Plant Physiology”(1999)等,这些教材的共同特点是将分子生物学及基因工程的新进展、新成果引入了植物生理学教材。国内近年来出版的植物生理学教材有十多本,其中影响较大的有师范院校潘瑞炽等主编的《植物生理学》(第三版)(1995);农业院校王忠主编的《植物生理学》(2000);综合性大学曹仪植、宋占午主编的《植物生理学》(1998)。这几本教材内容新,有特色,是一批能够反映近年来植物生理学发展水平的新教材。然而,随着分子生物学、基因工程及环境生态、信息转导研究的迅速发展,教学内容往往跟不上形势发展的要求,其教材需要不断充实、修改和翻新。1996—2000年期间,结合“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”中关于“高等农林院校本科生物系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”(04-10)项目研究,编写了这本《现代植物生理学》;并被教育部和高等教育出版社列入“面向21世纪课程教材”出版计划,期望能起到与国内已出版的植物生理学教材继承发扬、互补共勉的作用,以适应高等农业教育改革和本科人才培养的需要。

本教材是本项目组研究成员多年辛勤劳动的集体成果。它和其他教材一样,继承发扬了多本国内外传统教材的基本内容和特色,又根据国内外科学技术的新发展,编入了新概念、新技术、新理论及新成果。具体表现在以下几个方面:

1. 根据当今植物生理学研究发展趋势,在教材内容方面,宏观上加强生态、逆境生理;微观上能反映近年来细胞分子水平的研究成果,把分子生物学和基因工程内容渗透到教材的各个章节,并把有关植物生理学的分子生物学和基因工程的基本内容和技术方法、成果,单设一章,以引起读者的重视,并且采用小号字排出,不作为课堂讲授内容,仅供有兴趣者自学、参考之用。

2. 坚持理论联系实际,除了单设一章“植物生理学与应用”以外,对每章都加强了应用部分的内容,如节水灌溉的原理和技术,植物生长调节剂和植物组织培养技术的应用等。

3. 对植物生理学传统内容不面面俱到,不平均分配,而是突出重点,大胆取

舍,重新组合,如光合作用一章篇幅最大,而且与同化物的运输分配合为一章,有机结合在一起;糖、脂肪、蛋白质、核酸的合成和分解在生物化学教材中有详述,全部舍去;植物矿质营养一章与“植物营养与肥料”教材有不少重复,适当进行了精简。植物激素一章全面翻新,改为按类型、代谢、生理作用、机制及应用编写,加强横向比较和相互联系。

4. 本教材的整个系统,从植物生命活动的基本单位——细胞生理讲起,再以代谢生理为基础,全面叙述细胞分裂、分化、生长、运动、开花、结实直至衰老,然后重点介绍了逆境生理,最后是植物生理学的分子基础与应用。

5. 教材内容符合本科教学的基本要求,分量适当(课堂讲授50学时),篇幅中等,简明扼要,层次分明,概念准确,重实验证据。按照认识规律论述,文字通顺,图文并茂,便于自学;提出疑难问题,启发读者思维探索。各章中小号字排印内容,供课外参考学习。

6. 每章附有内容提要、思考题及参考文献。书尾附有英汉名词索引和汉英名词对照,便于查阅。

本教材共分5篇12章,绪论、第1、2章由李合生编写;第3、9章由孟庆伟编写;第4、10章由梁宗锁编写;第5章由宋克敏编写;第6、11章由夏凯编写;第7章由王晓峰编写;第8章由王学奎编写;第12章由陈大清编写。本教材初稿完成后,南京农业大学周夔教授、西北农林科技大学张继澍教授进行了精心的审校,并提出了许多宝贵的修改意见,我们深表谢意。本教材中引用了国内外许多有关论文和教材的资料和图表,对顺利完成本书编写任务发挥了重要作用;此外,王学奎、蔡刘体、李倩等同志协助打印书稿和绘制部分插图,在此一并表示感谢。

本书的编者,们,紧密协作,精益求精,力图使本书体现系统性、科学性、先进性及理论联系实际,成为一本具有特色的植物生理学教材。但由于编者水平有限,书中定有不妥和谬误之处,请各位同仁和广大读者批评指正。

编 者

2001年6月

目 录

绪论	1
·植物生理学的研究内容和任务	1
·植物生理学的产生与发展	3
·新世纪植物生理学的展望	6
·学习植物生理学的要求和方法	9
思考题	10
参考文献	10

I 细胞生理

1 植物细胞的亚显微结构与功能	11
1.1 细胞壁	12
1.1.1 细胞壁的化学组成	13
1.1.2 细胞壁的亚显微结构	14
1.1.3 细胞壁的功能	16
1.2 原生质体	17
1.2.1 细胞膜	17
1.2.2 胞基质	22
1.2.3 内膜系统	23
1.2.4 细胞骨架	24
1.2.5 细胞器	25
1.2.6 细胞核	28
1.2.7 液泡	29
1.3 胞间连丝	30
1.3.1 胞间连丝的亚显微结构	30
1.3.2 胞间连丝的功能	30
1.4 细胞信号转导	31
1.4.1 胞外刺激信号传递	31
1.4.2 跨膜信号转换	33
1.4.3 胞内信号转导	34
1.4.4 类受体激酶	38
1.5 植物细胞全能性及其基因表达	39
1.5.1 植物细胞全能性	39

1.5.2 植物细胞基因的结构及其表达调控	39
本章内容提要	43
思考题	43
参考文献	44

II 代谢生理

2 植物的呼吸作用	45
2.1 呼吸作用的概念及其生理意义	45
2.1.1 呼吸作用的概念	45
2.1.2 呼吸作用的生理意义	46
2.2 呼吸代谢途径的多样性	47
2.2.1 糖酵解	48
2.2.2 无氧呼吸	49
2.2.3 三羧酸循环	51
2.2.4 戊糖磷酸途径	54
2.2.5 乙醛酸循环	55
2.2.6 乙醇酸氧化途径	58
2.3 电子传递与氧化磷酸化	58
2.3.1 电子传递链	59
2.3.2 氧化磷酸化	62
2.3.3 呼吸链电子传递途径的多样性	64
2.3.4 末端氧化系统的多样性	65
2.3.5 抗氰呼吸及其生理意义	67
2.4 呼吸代谢能量的贮存和利用	70
2.4.1 呼吸代谢能量的贮存	70
2.4.2 呼吸代谢能量的利用	71
2.5 呼吸代谢与物质转化	71
2.5.1 呼吸代谢与氨基酸合成	71
2.5.2 呼吸代谢与脂肪代谢	71
2.5.3 呼吸代谢与植物激素合成	72
2.5.4 呼吸代谢与细胞壁结构物质的形成	72
2.6 呼吸作用的调节	73
2.6.1 糖酵解的调节	73
2.6.2 丙酮酸有氧分解的调节	73
2.6.3 戊糖磷酸途径的调节	73
2.6.4 电子传递途径的调节	74
2.6.5 能荷调节	74
2.7 呼吸作用的指标及影响因素	75

2.7.1 呼吸作用的指标	75
2.7.2 呼吸商的影响因素	75
2.7.3 呼吸速率的影响因素	76
2.8 呼吸作用与农业生产	78
2.8.1 种子的呼吸与贮藏	78
2.8.2 果实、块根、块茎的呼吸作用与贮藏	80
2.8.3 呼吸作用与作物栽培	81
本章内容提要	82
思考题	83
参考文献	83
3 植物的光合作用	85
3.1 光合作用的早期研究	85
3.2 光合色素	86
3.2.1 光合色素的结构与性质	87
3.2.2 光合色素的吸收光谱	89
3.2.3 光合色素的荧光现象和磷光现象	90
3.2.4 叶绿素的生物合成及其与环境条件的关系	92
3.3 光合作用的机制	94
3.3.1 原初反应	94
3.3.2 电子传递与光合磷酸化	97
3.3.3 碳同化	103
3.3.4 光呼吸	110
3.3.5 光合作用的产物	114
3.4 同化物的运输与分配	116
3.4.1 同化物运输的途径	116
3.4.2 同化物运输的形式	118
3.4.3 同化物运输的方向与速度	118
3.4.4 同化物在源端的装载	120
3.4.5 同化物在库端的卸出	121
3.4.6 同化物在韧皮部运输的机制	122
3.4.7 同化物的分配	124
3.4.8 同化物的分配与产量的关系	126
3.4.9 同化物运输与分配的调控	127
3.5 影响光合作用的因素	129
3.5.1 外部因素对光合作用的影响	129
3.5.2 内部因素对光合作用的影响	136
3.6 光合作用与作物生产	137
3.6.1 光能利用率	137

3.6.2 提高作物产量的途径	138
本章内容提要	140
思考题	141
参考文献	143
4 植物的水分代谢	144
4.1 水分的物理化学性质	144
4.1.1 水的组成和结构	144
4.1.2 水的物理化学性质	145
4.2 水分在植物生命活动中的作用	146
4.2.1 植物体内的含水量	146
4.2.2 水对植物的生理作用	147
4.2.3 水对植物的生态作用	147
4.2.4 植物体内水分存在的状态	148
4.3 化学势、水势	148
4.3.1 自由能与化学势	148
4.3.2 水的化学势与水势	149
4.4 植物细胞对水分的吸收	151
4.4.1 植物细胞的渗透性吸水	151
4.4.2 植物细胞的吸胀吸水	155
4.4.3 植物细胞的代谢性吸水	155
4.4.4 水分的跨膜运送与水通道蛋白	156
4.5 土壤中的水分与土壤水势	157
4.5.1 土壤中水分的基本性质	157
4.5.2 土壤水势	158
4.5.3 土壤中水分的移动	158
4.6 植物根系对水分的吸收	159
4.6.1 根部吸水的区域	159
4.6.2 根系吸水方式及其动力	160
4.6.3 根系吸水阻力	162
4.6.4 影响根系吸水的因素	162
4.7 蒸腾作用	164
4.7.1 蒸腾作用的概念及生理意义	164
4.7.2 蒸腾作用的部位及度量	164
4.7.3 气孔蒸腾作用	166
4.7.4 影响蒸腾作用的因素	172
4.8 植物体内的水分运输	174
4.8.1 水分运输的途径	174
4.8.2 水分沿导管或管胞上升的动力	175

4.9 合理灌溉的生理基础与意义	176
4.9.1 植物的水分平衡	176
4.9.2 作物的需水规律	177
4.9.3 合理灌溉的指标	178
4.9.4 合理灌溉增产的原因	179
4.9.5 节水灌溉与节水农业	179
本章内容提要	181
思考题	182
参考文献	183
5 植物的矿质营养	184
5.1 植物矿质营养的早期研究	184
5.2 研究植物矿质营养的方法	185
5.2.1 灰分分析	185
5.2.2 溶液培养法	185
5.3 植物必需的矿质元素及其生理作用	188
5.3.1 植物必需元素的标准和分类	188
5.3.2 植物必需矿质元素的生理作用及缺素症	190
5.4 有益元素与稀土元素	193
5.4.1 有益元素	193
5.4.2 稀土元素	194
5.5 植物细胞对矿质元素的吸收	195
5.5.1 电化学势梯度与离子转移	195
5.5.2 扩散作用与被动吸收	197
5.5.3 膜传递蛋白与离子转运	198
5.5.4 胞饮作用	206
5.6 植物根系对矿质元素的吸收	206
5.6.1 根系吸收矿质元素的特点	207
5.6.2 根系吸收矿质元素的过程	208
5.6.3 外界条件对根部吸收矿物质的影响	210
5.7 叶片营养	213
5.8 矿物质在植物体内的运输与分配	214
5.8.1 矿物质在植物体内的运输	214
5.8.2 矿物质在植物体内的分配	216
5.9 氮素的同化	216
5.9.1 生物固氮	217
5.9.2 硝酸盐的代谢还原	219
5.9.3 氨态氮的同化	221
5.10 合理施肥的生理基础与意义	223

5.10.1 作物的需肥特点	223
5.10.2 合理施肥的指标	224
5.10.3 合理施肥与作物增产	226
本章内容提要	227
思考题	229
参考文献	229
6 植物生长物质	231
6.1 植物生长物质的概念和种类	231
6.2 植物激素的发现和化学结构	232
6.2.1 生长素类的发现和化学结构	232
6.2.2 赤霉素类的发现和化学结构	233
6.2.3 细胞分裂素类的发现和化学结构	234
6.2.4 脱落酸的发现和化学结构	237
6.2.5 乙烯的发现和化学结构	237
6.3 植物激素的代谢和运输	238
6.3.1 吲哚乙酸的代谢和运输	238
6.3.2 赤霉素类的代谢和运输	242
6.3.3 细胞分裂素类的代谢和运输	245
6.3.4 脱落酸的代谢和运输	247
6.3.5 乙烯的代谢和运输	249
6.3.6 植物激素代谢的相互关系	251
6.4 植物激素的生理作用	252
6.4.1 生长素类的生理作用	253
6.4.2 赤霉素类的生理作用	256
6.4.3 细胞分裂素类的生理作用	258
6.4.4 脱落酸的生理作用	259
6.4.5 乙烯的生理作用	261
6.4.6 植物激素生理作用的相互关系	262
6.5 植物激素的作用机制	263
6.5.1 植物激素作用的模式	264
6.5.2 植物激素结合蛋白	264
6.5.3 植物激素对基因表达的调控	264
6.5.4 植物激素作用机制的典例	265
6.6 其他天然的植物生长物质	268
6.6.1 油菜素甾体类	268
6.6.2 多胺	270
6.6.3 茉莉酸类	270
6.6.4 水杨酸类	272

6.6.5 玉米赤霉烯酮	273
6.7 植物生长调节剂及其合理应用	273
6.7.1 植物生长调节剂的类型	273
6.7.2 植物生长调节剂在农业上的应用	276
6.7.3 植物生长调节剂的合理应用	277
本章内容提要	279
思考题	281
参考文献	281

III 生长发育生理

7 植物的生长生理	283
7.1 种子的萌发	283
7.1.1 种子萌发的概念	283
7.1.2 种子的生活力与活力	283
7.1.3 影响种子萌发的外界条件	284
7.1.4 种子萌发时的生理生化变化	286
7.1.5 种子预处理与种子萌发的调节	290
7.2 植物细胞的生长和分化	291
7.2.1 细胞的分裂	291
7.2.2 细胞的伸长	293
7.2.3 细胞的分化	294
7.3 植物组织培养的原理、技术及其应用	294
7.3.1 植物组织培养的原理	295
7.3.2 植物组织培养的技术条件	295
7.3.3 植物组织培养在生产实践上的应用	298
7.4 植物生长的周期性	299
7.4.1 植物的生长曲线和生长大周期	299
7.4.2 植物生长的温周期性	300
7.4.3 植物生长的季节周期性	300
7.5 植物生长的相关性	301
7.5.1 地下部和地上部的相关	301
7.5.2 主茎和侧枝以及主根与侧根的相关	302
7.5.3 营养生长与生殖生长的相关	305
7.5.4 植物的极性与再生	306
7.6 外界条件对植物生长的影响	306
7.6.1 温度对植物生长的影响	306
7.6.2 水分对植物生长的影响	307
7.6.3 光对植物生长的影响	307

7.7 光形态建成与光受体	308
7.7.1 光敏色素的发现和分布	309
7.7.2 光敏色素的分子结构	311
7.7.3 光敏色素的基因及其表达调控	313
7.7.4 光敏色素与光形态建成	314
7.7.5 光敏色素的作用机制	314
7.7.6 隐花色素	316
7.7.7 紫外光-B受体	316
7.8 植物的运动	317
7.8.1 向性运动	317
7.8.2 感性运动	320
7.8.3 近似昼夜节奏——生物钟	322
本章内容提要	323
思考题	324
参考文献	325
8 植物的生殖生理	326
8.1 幼年期与花熟状态	326
8.2 成花诱导生理	327
8.2.1 春化作用	327
8.2.2 光周期	332
8.2.3 植物生长物质与成花诱导	346
8.2.4 春化和光周期理论在生产实际中的应用	348
8.3 成花启动和花器官形成生理	349
8.3.1 成花启动和花器官形成的形态及生理生化变化	349
8.3.2 影响花器官形成的条件	351
8.3.3 植物的性别分化	351
8.3.4 花器官发育的基因控制	353
8.4 受精生理	354
8.4.1 花粉和柱头的生活力	354
8.4.2 花粉和柱头的相互识别	356
8.4.3 花粉管的伸长	359
8.4.4 受精过程中雌蕊的生理生化变化	360
8.4.5 无融合生殖	361
本章内容提要	364
思考题	365
参考文献	365
9 植物的成熟和衰老生理	367
9.1 种子的发育和成熟生理	367

9.1.1 种子的发育及其基因表达	367
9.1.2 种子发育过程中有机物质的变化	369
9.1.3 种子成熟过程中其他生理变化	371
9.1.4 外界条件对种子成分及成熟过程的影响	372
9.2 果实的生长和成熟生理	373
9.2.1 果实的生长特点	373
9.2.2 果实成熟时的生理生化变化	374
9.3 植物的休眠生理	376
9.3.1 种子休眠的原因和破除	376
9.3.2 种子和延存器官休眠的调节	378
9.4 植物的衰老生理	378
9.4.1 植物衰老的类型与意义	378
9.4.2 植物衰老时的生理生化变化	379
9.4.3 植物衰老的机制	381
9.4.4 环境条件对植物衰老的影响	383
9.5 器官脱落生理	383
9.5.1 器官脱落的概念和类型	383
9.5.2 器官脱落的机制及其影响因素	384
本章内容提要	387
思考题	387
参考文献	388

IV 环境生理

10 植物的逆境生理	389
10.1 逆境的种类与植物的抗逆性	389
10.1.1 逆境的概念及其种类	389
10.1.2 植物抵抗逆境的方式	389
10.2 冷害生理与植物抗冷性	390
10.2.1 冷害的概念与症状	390
10.2.2 冷害引起的生理生化变化	391
10.2.3 冷害的机制	391
10.2.4 提高植物抗冷性的途径	393
10.3 冻害生理与植物抗冻性	393
10.3.1 冻害的类型	393
10.3.2 冻害的机制	394
10.3.3 低温下植物的适应性变化	394
10.3.4 提高植物抗冻性的途径	396
10.4 热害生理与植物抗热性	397

10.4.1	高温胁迫对植物的伤害	397
10.4.2	植物抗热性的生理基础	398
10.4.3	提高植物抗热性的途径	399
10.5	旱害生理与植物抗旱性	399
10.5.1	旱害的概念及类型	399
10.5.2	干旱胁迫对植物的伤害	400
10.5.3	植物抗旱类型和特征	403
10.5.4	提高植物抗旱性的途径	404
10.6	涝害生理与植物抗涝性	405
10.6.1	涝害的定义及类型	405
10.6.2	涝害对植物的伤害	405
10.6.3	植物的抗涝性	406
10.6.4	提高植物抗涝性的途径	406
10.7	盐害生理与植物抗盐性	407
10.7.1	盐害对植物的伤害	407
10.7.2	植物的抗盐性	408
10.7.3	提高植物抗盐性的途径	409
10.8	病害生理与植物抗病性	409
10.8.1	病原物对植物的侵染	409
10.8.2	植物感病后的生理反应	410
10.8.3	植物抗病机制	411
10.8.4	植物抗病性的诱导	413
10.8.5	提高植物抗病性的途径	414
10.9	抗虫生理与植物抗虫性	414
10.9.1	抗虫性的概念	414
10.9.2	植物抗虫的机制	414
10.9.3	提高植物抗虫性的途径	415
10.10	氧伤害生理与植物抗性	415
10.10.1	活性氧与氧伤害学说	415
10.10.2	植物体内活性氧的产生与转化	415
10.10.3	活性氧对植物的伤害作用	417
10.10.4	植物体内的抗氧化防御系统	419
10.11	环境污染伤害生理与植物抗性	421
10.11.1	大气污染	421
10.11.2	水体污染	425
10.11.3	土壤污染	427
10.11.4	提高植物抗污染能力的措施	428
10.11.5	植物与环境保护	428

10.12 逆境对植物生理代谢的影响	429
10.13 植物对逆境的生理适应	430
10.13.1 生物膜与抗逆性	430
10.13.2 逆境蛋白与抗逆性	431
10.13.3 渗透调节与抗逆性	432
10.13.4 脱落酸与抗逆性	434
本章内容提要	436
思考题	437
参考文献	437

V 植物生理学的分子基础和应用

11 植物生理学与分子生物学及基因工程	439
11.1 高等植物细胞的基因组	439
11.1.1 细胞核基因组	440
11.1.2 质体基因组	444
11.1.3 线粒体基因组	445
11.2 植物基因的分离	446
11.2.1 基因文库的构建	446
11.2.2 利用探针从基因文库中筛选基因	449
11.2.3 利用互补法分离未知蛋白的编码基因	451
11.2.4 借助转座子搜寻基因	452
11.3 基因工程	452
11.3.1 转化载体的构建	452
11.3.2 植物组织或细胞的转化	454
11.3.3 选择合适的启动子	457
11.3.4 通过转化作用关闭基因	457
11.4 植物生理学与分子生物学及基因工程	458
11.4.1 植物细胞壁伸展蛋白的基因表达及调控	459
11.4.2 Rubisco 基因表达及其调控	459
11.4.3 IAA 和 CTKs 代谢的分子调控	460
11.4.4 ABA 信号的转导及 ABA 对植物基因表达的调控	461
11.4.5 乙烯生物合成的基因工程及乙烯信号转导途径	463
11.4.6 开花诱导过程中的基因表达和调控	464
11.4.7 植物个体性别决定基因与激素调控	465
11.4.8 种子发育过程中贮藏蛋白基因的表达和调控	466
11.4.9 衰老过程中的基因表达和调控	467
本章内容提要	468
思考题	469

参考文献	470
12 植物生理学与农业应用	471
12.1 植物生理学与适应农业	471
12.1.1 光合作用与作物高产	472
12.1.2 植物生长物质与适应农业	473
12.1.3 环境生理与抗逆栽培	474
12.1.4 植物组织培养与农业	475
12.2 植物生理学与设施农业	477
12.2.1 设施农业的概念	477
12.2.2 设施农业的现状	477
12.3 植物生理学与分子农业	478
12.3.1 分子农业的概念与现状	478
12.3.2 抗除草剂基因工程	479
12.3.3 抗虫基因工程	479
12.3.4 抗病基因工程	480
12.3.5 改善作物品质的基因工程	480
12.4 植物生理学在农业上应用的展望	481
本章内容提要	482
思考题	482
参考文献	483
英汉名词索引	484
汉英名词索引	495