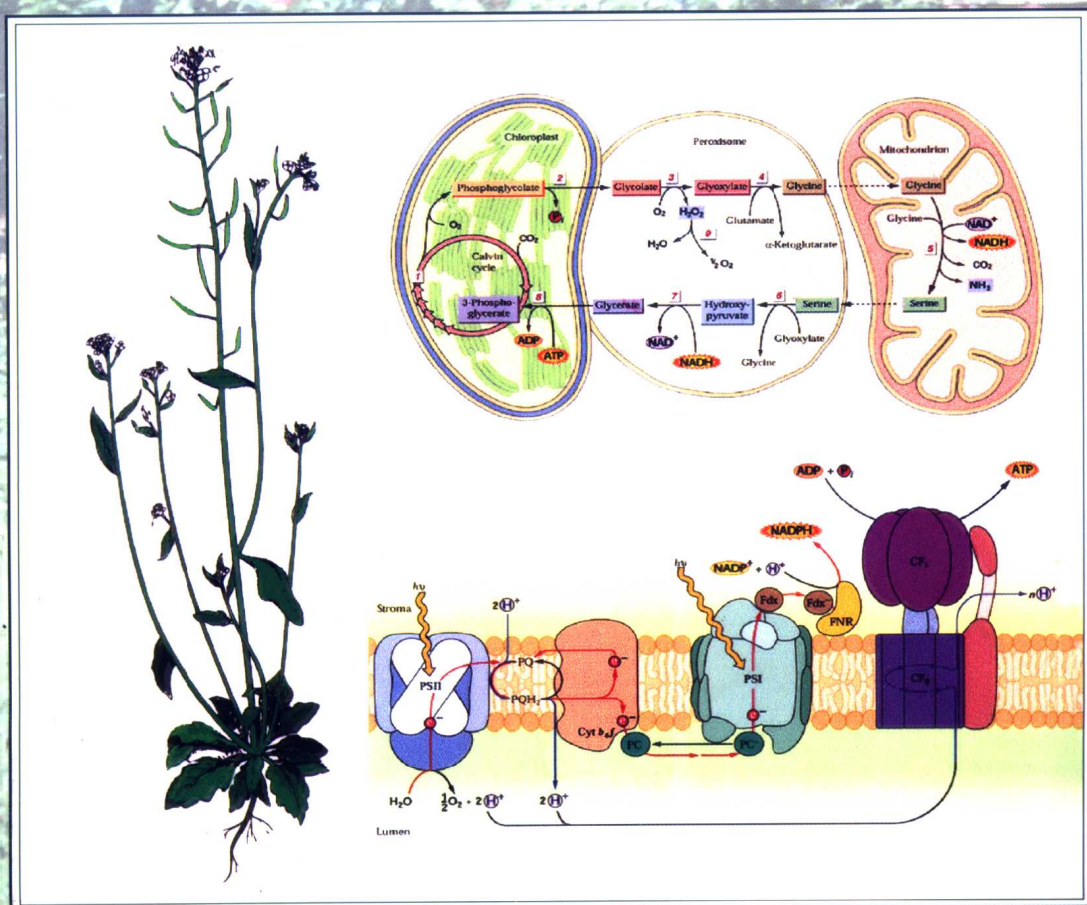




面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

植物生理学

武维华 主编



面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

植 物 生 理 学

主 编 武维华

副主编 张蜀秋 袁 明 张 军

审 稿 王学臣

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

植物生理学是生命科学的基础学科之一。本书编者参考了国际上最近几年较通行的植物生理学教材的章节框架和内容,并尽可能在内容上反映国际上本学科的最新研究成果,以期使内容达到在基础性、包容性、通用性、先进性、参考性等方面的统一。全面阐述了植物生理学的基本概念、基础知识及本学科的前沿进展等,同时还注意将实验技术方法与理论内容有机结合。全书分为五大部分(植物细胞、水分与矿质营养,植物体内的物质代谢及能量转换,植物的生长发育,植物环境生理,植物生物技术),共 21 章。

本书可用作综合大学及农林师范院校的植物生理学和植物学教材,也可供其他教学科研相关人员及中学生物教师参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

植物生理学/武维华主编. —北京:科学出版社,2003. 4

(面向 21 世纪课程教材)

ISBN 7-03-011089-7

I. 植… II. 武… 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(2002)第 108706 号

责任编辑:莫结胜 潘秀敏 / 责任校对:柏连海

责任印制:刘士平 / 封面设计:黄华斌

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>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 4 月第 一 版 开本:850×1168 1/16

2003 年 4 月第一次印刷 印张:33 1/4 插页:1

印数:1—4 000 字数:913 000

定价: 50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)



全营养



缺钾



缺磷



缺铁



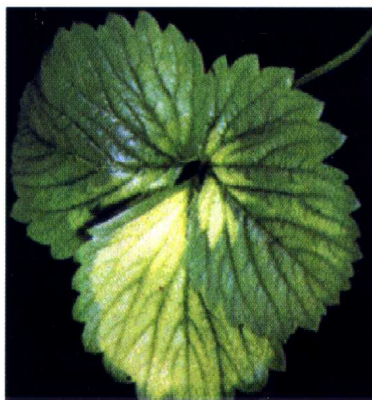
缺锌



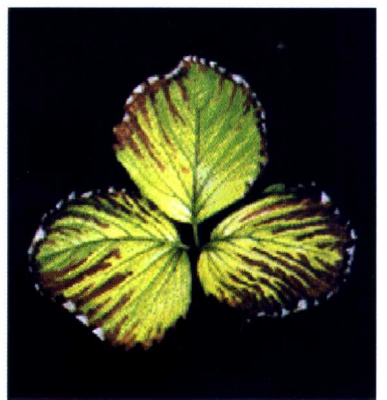
缺钙



缺镁



缺铜



缺锰

图5-2 草莓叶片的缺素症状 (Buchanan et al. 2000)

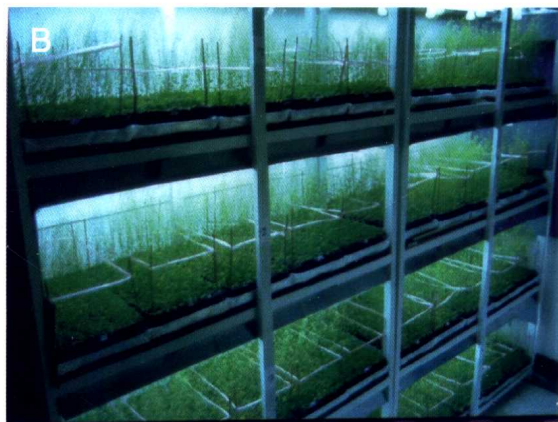
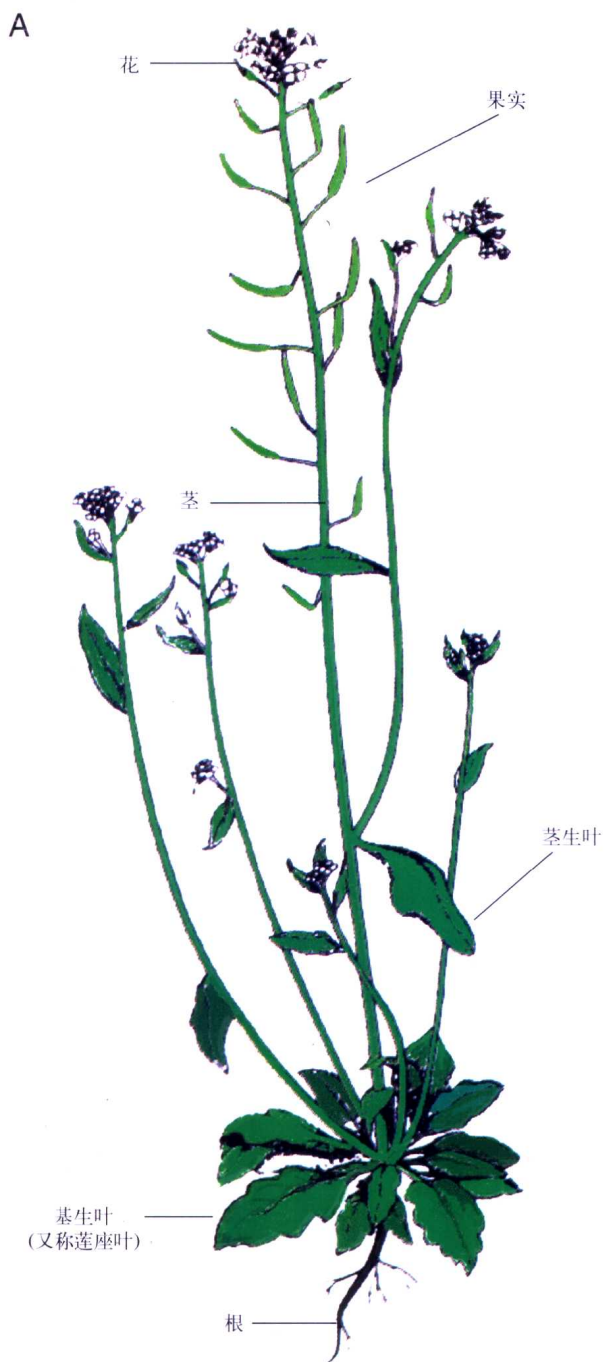


图21-1 拟南芥的形态示意图

拟南芥 (A) 在人工培养条件下的生长状况 (B, C, D)。B和C是在植物光照培养室内普通育秧盘中培养的Columbia生态型拟南芥。D示在普通花盆中培养的Landsberg *erecta*生态型拟南芥。

序

我国的高等教育正在进入一个迅速发展的时期，我们要在扩大办学规模，提高办学效益的同时，加快教育教学改革的步伐，培养高质量的人才。

近年来，我校坚持以研究促教改，通过采取立项研究的方式，调动了广大教师投身教学改革的积极性，将转变教师的教育思想观念与教学内容、教学方法改革紧密结合起来，取得了实效。这次推出的农科主要基础课系列教材，就是基础课教师长期钻研课程体系和教学内容的重要成果。他们从转变教育思想入手，站在面向 21 世纪科技、社会发展趋势的高度，对农科主要基础课的教学内容进行“精选”、“重组”和“拓宽”，将现代科学理论的观点和方法引入基础课，强调学生思维能力等综合素质的培养。

与我校过去编写的基础课教材相比，这套教材以“整体优化”和“内容更新”为出发点，强化了基础课在传授基础知识、培养基本能力和提高综合素质方面的作用，它的出版，将对提高农科主要基础课的教学质量做出贡献。

在科学出版社的大力支持下，我校组织编写了农科类大学生适用的《大学基础物理》、《大学数学》、《大学数学（续）》、《应用概率统计》、《基础化学 I》、《基础化学 II》、《基础化学 I 实验》、《生物化学》、《植物生物学》、《动物生物学》、《植物生理学》、《微生物生物学》、《动物生理学》、《普通遗传学》等 14 种教材。建设农科主要基础课系列教材的设想也得到了北京市教委的重视和支持，列入了北京市教育教学改革试点项目。

当前，以“统编教材”或“规划教材”为核心的教材建设机制面临转变，这套教材是我校加强自身教材建设的一次尝试，目的是以教材建设来推动学校基础课教学内容和课程体系的整体改革。

江树人

娄成后序

我国自古以务农为本，历代长年，发展田地耕作、作物栽培、维持定居的社会生活。在不断地改善农业生产技术中，逐步发掘出植物生长的一些特性，多方加以利用。一些久经考验的传统经验（如一年多茬复种的栽培措施等）不乏植物生理学的内涵，至今看来，仍有开发余地。中世纪末，西欧国家掀起了工业革命。蒸汽驱动机器的发明，使得生产效率十倍于牲畜、百倍于人力！工、商、交通、航运等事业从而崛起，工业蓬勃发展的势力遍及全世界。农、林、牧业也随着新兴社会的需要，大幅度地迅猛扩展。西方国家的经济发展很快地取代了我国历史上长期占有的经济优势。新型事业在不断创新中，需要应用物理学、化学、生物学的基础知识来启迪，从而带动了自然科学的理论研究。

植物生理学的兴起与发展与 19 世纪自然科学的三大发现（细胞理论、进化论、物质与能量守恒定律）密不可分，早期的植物生理学先驱们采纳物理、化学领先建立的试验方式，用来分析从生活植物中观察到的一些有关物质、能量与形态转变的生理现象。始于 17 世纪、一直延续到 20 世纪中期的有关植物营养代谢、生长发育等过程的研究，获得了一系列丰硕成果并被应用于作物田间生产实践，为光照、水分、肥源、土壤、物种、人工资源的利用制定了合理的措施，田间作物的单位面积产量也因此得以成倍提高。研究成果还被用来创造一些适于温室、大棚、厂房内栽培、加工、储藏的新技术，在很多方面极大地改进和丰富了作物生产的内容。诸如化肥和农药的制造、组织培养的无性繁殖与芽苗脱毒、育苗移栽、反季节园艺栽培、农产品长期储藏保鲜等等，无一不是植物生理学研究成果的实践应用。

高等植物是以细胞为单元，逐步建立组织、器官等多层次的形态，并且和周围环境密切关联的复杂系统。植物生理的研究既有微观的对个别现象深入到分子水平的细微分析，又有宏观的对其部位间以至植株与环境间相互作用的整体综合。植物界种类多样，千姿百态，形态功能，各自有异。种瓜才能得瓜，取决于物种的遗传属性。20 世纪中叶，从豌豆杂交试验引发了遗传学的系列研究，以至后来分子生物学的迅猛发展，连迭创建出一系列破天荒的崭新概念与精巧技术。分子生物学和遗传工程的发展给植物生理学的发展带来了大好机遇，使得在分子生物学水平深入地研究和解析复杂奇妙的植物生理现象成为可能。生物遗传属性乃是由细胞染色体内核酸构成的基因来决定的。基因在生物个体发育过程中的表达是通过核酸分子中所包含的特异碱基序列为模板，来合成对应的蛋白质以执行相应功能的。植物的个体发育与生命活动离不开多种蛋白质所操纵的生理功能。反过来说，应用基因操作技术改善作物的某些性状就是通过最终改变某些参与性状表现的蛋白或其功能。鉴定与功能蛋白相对应的核酸片段，将其加以改造或将其引入其他物种，改善被转化植物的遗传属性及其个体的生理功能，成为别开生面的创举！

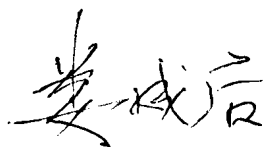
另外，大量的生理、生态研究资料显示，环境的营养条件、光温周期的转换、以及其他有益的或有伤害的境遇，对植物个体发育的进程与遗传属性的表达与变异具有显著的影响和调控作用。植物的生命活动乃是内部遗传信息与外界信息相互作用的具体表现。植物个体的生理学研究正是串联微观的分子生物学和宏观的生态学的中间环节，从统筹考虑全局的观点出发，这三学科的相互协作才能更好地在生产实践中发挥效用。传统农田生产的栽培耕作技术，倾向于将植物看作是被动的、“麻木不仁”的生产工具，多靠人为的照顾与安排、维持营养条件的适当配置，以及防除自然与生物灾害的侵袭。过去的小农经济不惜劳力不计成本，靠人力的经营与物资的投入来保证农作物的高

产优质。现下农产品进入市场经济后，粮食作物、林木、果蔬等生产事业，不仅需要生产者和经营者熟练掌握植物生理学的一般知识，也必须钻研各种特殊植物的特有生活规律，以期结合实际情况来提高生产效率和经济效益。

高等植物的器官间可以借激素、生长因子等微量的活性物质传递信息，有些人工模拟的制剂已经被用来有效地调控作物个体发育的发芽、抽枝、展叶、开花、结实的过程，协调整体的活动来适应外界的变化。在提高产品质量、防除灾害的侵犯等方面，轻便地喷洒某些制剂就足以顶替大量的操作。此外，设施园艺无土栽培、叶面施肥、工厂化育苗移栽、组织培养的无性繁殖、节水灌溉等都是植物生理学知识被用于生产实践的范例。植物生理学研究工作发展的趋向已逐步向着利用多种手段以改善植物本身的生理功能、充分发挥植物自身主动适应复杂多变的环境条件以及高效利用有限水分养分资源的方向发展，最终目标当然是在如何尽量减少对生态环境破坏的前提下，生产出人们生活所需的优质产品。

一个微米级大小的植物细胞具有发育成完整植株的全能性，植物细胞内部包含各种灵活应变的细胞器，通过网络的联系而有序施工，执行新陈代谢的使命。它可将周围稀薄的简单原料与弥散的能源，合成结构简繁不拘、各有专司的多种有机物。现下兴旺发达的有机化学工业能够制定精巧的工序，大批量生产出各种各样社会所需的产品，这些产品大都是利用大型的工厂装置，经高温、高压的能量投入，加工成植物本来利用自然能源和简单物质就可以高效合成的有机物。现代植物生理学的重要职责之一就是努力揭示植物细胞自力更生的机密。一个令人悬念、梦寐以求的设想就是创造工艺取代植物所具有的高超的同化本领，以使人类在生活上完全摆脱对植物产品的依赖、更为自由地向广阔的时空迈进！

总结现代植物生理学各方面的成果、编写适用于高等院校教学的教材是一项很有意义的工作。本书是由我校从事植物生理学教研工作的几位骨干成员编写的，他们分工协作、历经数年努力，终于成书。本书所选用的素材丰富，有些是经典的内容，有些则代表植物生理学的新趋向以及植物生理学与其他学科交融合作开辟出的新领域，特别是在以往国内常用教材的基础上又增加了一些新的必要内容，适合于新时期的植物生理学教学实践。我期望他们能在今后随着植物生理学的发展，不断地进一步充实与完善教材的内容，为我国植物生理学的发展做出贡献。



2003年2月15日

许智宏序

植物生理学是生命科学的基础学科之一，因此也是各类高等院校相关专业学生的必修专业基础课程之一。但近十余年来，我国高等学校植物生理学教学中一直缺乏能较全面地反映植物生理学基本内容和最新进展的教材。中国农业大学植物生理学与生物化学国家重点实验室的几位同志最近编写了这本《植物生理学》教材，其内容参考了国际最新流行教材的内容，在全面介绍植物生理学的基本知识和概念以及经典内容之外，又扼要介绍了植物生理学的最新研究进展，并力求反映由于分子生物学发展及其与植物生理学研究相结合对植物生理学本身发展的深刻影响。教材内容强调了植物生理学研究的核心内容是植物生命活动过程中的“功能及其调控机理”，注重了阐述从“基因表达”到“性状表达”之间的植物体内一系列信息传递、能量与物质代谢等过程的分子调控机制。教材除了注意保留植物生理学的经典章节的内容外，新增加了“植物细胞离子跨膜运输”、“植物的次生物质代谢”、“植物激素作用机理”、“植物细胞信号转导”、“植物生物技术”等数章重要内容，教材最后还介绍了模式植物拟南芥。这些内容的增加一方面无疑是反映了植物生理学研究的进展，同时对逐步改变我国高等学校植物生理学教材一直按照理、工、农、医、师分类使用不同内容版本的做法是一有益的尝试。本教材内容在基础性、通用性、先进性、参考性等方面达到了较好的统一。

随着拟南芥、水稻等模式植物基因组全序列测序工作的完成，植物科学整体研究工作的重点将逐步转向“功能基因组”的研究，即研究与植物代谢和生长发育的分子调控机理、作物重要农艺性状表达密切相关的基因的功能及相互作用。而从“基因表达”到“性状表达”之间的过程是通过植物体内一系列信息传递、能量与物质代谢等复杂的生理生化过程及其调控环节来实现的，而“植物生理学”正是在植物整体、组织器官、细胞及分子水平上研究这些复杂生命活动过程及其调控机制的科学。也就是说，植物生理学的研究正是基因水平的研究与性状表达的研究之间的“桥梁”。可以预言，21 世纪的植物生理学将逐步发展成为围绕植物生命活动过程的“功能实现及其调控机理”、在植物功能基因组的水平上全面探讨植物生长发育分子机理的全新学科。我期待着本教材在我国高校植物生理学的教学过程中发挥积极的促进作用，也希望教材内容在今后的改编或再版时能不断与时俱进。



2003 年 2 月 20 日

前 言

植物生理学是生命科学的基础学科之一，因此也是各类院校中与生物学相关的专业的本科及研究生必修的一门专业基础课程。

在过去的几十年中，与我国高等学校教学使用教材一直按照理、工、农、医、师分类使用不同教材的做法相一致，植物生理学教材一直沿袭理、农、医、师等的划分方法分别使用各主管部门组织编写的相应教材。这种条块分割的做法在一定程度上有悖于植物生理学作为生物学专业基础课程的性质，也在事实上限制了我国植物生理学教材内容的基础性、包容性、通用性、参考性及先进性。例如，以往农业院校农学类各专业使用的植物生理学教材内容可能更注重强调与作物栽培相关的内容，而医学院校相关专业则可能更多强调与中草药相关的知识等等，再加上对教材篇幅和讲课时数的限制，导致我国的植物生理学教材的内容一直与国际通行的教材存在较大差距。而植物生理学作为生命科学的基础学科之一有其自身的性质和内涵，主要应包括对植物生理学的基本概念的阐述、基础知识的全面介绍、本学科的最新进展等。同时，植物生理学是一门实验科学，教材还应注意将实验技术与理论内容有机结合。在考虑到这些因素的前提下，编者在反复斟酌、讨论的基础上确定了本书的编写原则：依据植物生理学的自身学科性质，在力求较全面地阐述基本概念和介绍基础知识的基础上，参考国际上最近几年较通行的植物生理学教材的章节框架和内容，并尽可能在内容上反映国际上本学科的最新研究成果，以期使本教材内容达到在基础性、通用性、先进性、参考性等方面的统一。

参加本教材编写的人员均为中国农业大学植物生理学与生物化学国家重点实验室的主要学术骨干。在对编写内容分工时，基本上是结合各人相对专长的研究领域进行的，以保证教材内容能尽可能充分反映相关领域的最新研究进展和内容。本教材共分二十一章。绪论和第四、五、十八、二十一章由武维华编写；第一、二、三、六、八、十章由袁明编写；第七、十四、十五、十六、十七章由张蜀秋编写；第九、十一、十二、十三章由张军编写；第二十章由王学臣和武维华编写；第二十一章由胡剑和武维华编写。在完成初稿后，先在编写人员间相互交叉审阅，在避免不同章节内容重复或遗漏的同时，也对书稿做了初步校正。然后由武维华统稿，最后经王学臣教授审定全稿。科学出版社的莫结胜女士在本书的文字、图表及其格式的修改审定方面做了大量工作。

本教材的编写得到了科学出版社科学出版中心和中国农业大学教务处的指导和关心，同时也得到了编写人员所在单位中国农业大学许多领导和师生的关心和帮助。在此一并表示感谢。编者对教材中所引用的许多国内外教材、专著及科技期刊的大量资料和图片均尽最大可能一一做了标注，如有遗漏和错误敬请见谅。

尽管编写者尽了最大努力期望本书在全面介绍植物生理学基本概念和基础知识的同时，也尽可能地反映植物生理学研究领域近十年来的最新进展，但由于一方面本领域从分子水平探讨植物生长发育机理的研究成果日新月异，另一方面编者的水平也有限，所以内容上可能尚不尽如人意。此外，尽管我们在文字、图表等方面已十分仔细认真，但仍难免会有一些错误，敬请读者见谅。同时，也望读者能将对本书的意见和建议反馈给我们，以便在本书有机会再版时予以相应的修改。

编 者

2002年10月于中国农业大学植物生理学与生物化学国家重点实验室

目 录

序	
娄成后序	
许智宏序	
前言	
绪论	(1)
第一部分 植物细胞、水分与矿质营养	(10)
第一章 植物细胞	(10)
第一节 细胞概述	(10)
一、原核细胞和真核细胞	(10)
二、高等植物细胞	(11)
第二节 细胞的膜系统	(12)
一、质膜	(12)
二、内膜系统	(14)
三、细胞核	(17)
第三节 细胞骨架	(20)
一、微丝	(20)
二、微管	(21)
三、中间纤维	(24)
四、细胞骨架的马达蛋白	(25)
第四节 细胞壁	(25)
一、细胞壁的结构和成分	(26)
二、细胞壁的功能	(31)
第五节 胞间连丝和细胞间联络	(32)
一、胞间连丝的结构、分布和形态	(32)
二、物质通过胞间连丝的运动	(33)
小结	(34)
思考题	(35)
第二章 水与植物细胞	(36)
第一节 水的物理化学性质	(36)
一、水分子的结构和氢键	(36)
二、水的物理化学性质	(37)
第二节 植物细胞的水分关系	(38)
一、水势	(38)
二、水分的运动	(40)
三、植物细胞水势	(41)
小结	(46)

思考题	(46)
第三章 植物整体水分平衡	(47)
第一节 水分吸收	(47)
一、土壤中水分的状态	(47)
二、根的吸水	(48)
第二节 水在植物体内的运输	(50)
一、木质部结构	(50)
二、木质部水分运输速率	(51)
三、木质部水分向上运输的机制	(52)
第三节 蒸腾作用	(53)
一、蒸腾作用的概念	(53)
二、植物蒸腾的方式	(54)
三、蒸腾的指标	(55)
四、气孔蒸腾	(57)
五、蒸腾的意义	(64)
第四节 土壤-植物-大气连续体系	(65)
小结	(65)
思考题	(66)
第四章 植物细胞跨膜离子运输	(67)
第一节 生物膜的物理化学特性	(67)
一、生物膜的化学组成与生物膜的“两亲性”和“绝缘性”	(67)
二、跨膜电势梯度和膜电位	(68)
三、能斯特方程和跨膜电位	(70)
第二节 细胞膜结构中的离子跨膜运输蛋白	(72)
一、离子通道	(72)
二、离子载体	(73)
三、离子泵	(74)
第三节 植物细胞的离子跨膜运输机制	(76)
一、被动运输	(76)
二、主动运输	(76)
三、共运输	(77)
第四节 高等植物 K^+ 、 Ca^{2+} 的跨膜运输机制研究进展	(78)
一、高等植物细胞 K^+ 的跨膜运转机制	(79)
二、高等植物 Ca^{2+} 的跨膜运转机制	(81)
小结	(84)
思考题	(85)
第五章 植物的矿质营养和植物对氮、硫、磷的同化	(86)
第一节 植物体内的必需元素	(86)
一、植物体内的元素	(86)
二、植物必需的矿质元素和确定方法	(87)
三、植物必需元素的主要生理功能概述	(90)

四、植物的有益元素和有害元素	(97)
五、植物的缺素诊断	(98)
第二节 植物对矿质元素的吸收及运输	(100)
一、根系吸收矿质元素的区域和过程	(100)
二、植物吸收矿质元素的特点	(101)
三、影响根系吸收矿质元素的因素	(102)
四、植物地上部分对矿质元素的吸收	(104)
五、矿质元素在体内的运输和利用	(105)
第三节 植物对氮、硫、磷的同化	(105)
一、氮的同化	(105)
二、硫的同化	(111)
三、磷的同化	(111)
第四节 合理施肥的生理基础	(111)
一、作物需肥特点	(112)
二、施肥指标	(112)
三、提高肥料利用效率的措施	(113)
第五节 植物的无土栽培	(113)
一、无土栽培的种类和设施	(113)
二、植物无土栽培营养液	(114)
三、无土栽培的优点和发展前景	(115)
小结	(115)
思考题	(116)
第二部分 植物体内的物质代谢及能量转换	(117)
第六章 光合作用 I：植物对光能的吸收与转换	(117)
第一节 光合作用概述	(117)
第二节 光合作用的结构基础：叶绿体的超微结构	(118)
一、叶绿体的一般结构	(118)
二、类囊体	(119)
第三节 光能的吸收和传递	(120)
一、光的性质和光能的转换	(120)
二、叶绿体色素	(122)
第四节 光反应中心和电子传递过程	(128)
一、光合作用的光化学反应	(128)
二、光反应中心	(129)
三、电子传递链	(131)
第五节 ATP 的合成	(140)
一、ATP 合成酶	(140)
二、ATP 产生的机制	(142)
第六节 光能的分配调节和光保护	(143)
一、光能的分配调节	(143)
二、光保护作用	(145)

小结	(148)
思考题	(149)
第七章 光合作用 (II): 光合碳同化	(150)
第一节 光合碳同化的 C_3 途径——卡尔文循环	(150)
一、卡尔文循环的反应步骤	(150)
二、卡尔文循环的调节	(154)
三、光呼吸	(156)
第二节 光合碳同化的 C_4 代谢途径	(157)
一、 C_4 植物解剖结构特征	(158)
二、 C_4 光合碳代谢途径	(159)
三、 C_4 途径的调节及其生理生态意义	(161)
第三节 景天酸代谢途径	(162)
一、CAM 代谢途径	(162)
二、 C_3 、 C_4 与 CAM 植物光合特性比较	(163)
第四节 蔗糖与淀粉的合成	(165)
一、在细胞质中合成蔗糖	(165)
二、在质体中合成淀粉	(166)
三、同化物在叶绿体与细胞质间的分配	(166)
第五节 光合作用生态生理	(167)
一、植物的光合速率	(167)
二、影响光合作用的因素	(168)
三、光合作用与作物产量	(174)
小结	(175)
思考题	(176)
第八章 植物的呼吸代谢及能量转换	(177)
第一节 呼吸作用的概念	(177)
一、呼吸作用的概念	(177)
二、呼吸作用的生理指标	(177)
第二节 植物呼吸代谢途径	(178)
一、淀粉和蔗糖的降解	(178)
二、糖酵解途径	(180)
三、三羧酸循环	(182)
四、磷酸戊糖途径	(185)
五、电子传递链	(187)
六、氧化磷酸化	(190)
第三节 呼吸代谢的调控	(193)
一、腺苷酸库和能荷	(193)
二、糖酵解的调控	(193)
三、三羧酸循环的调控	(194)
第四节 影响植物呼吸的因素	(194)
一、影响植物呼吸的自身因素	(194)

二、影响植物呼吸的外界因素	(195)
小结	(196)
思考题	(197)
第九章 植物的次生物质代谢	(198)
第一节 植物次生代谢物	(198)
一、酚类化合物及其衍生物	(198)
二、萜烯类	(203)
三、含氮化合物	(206)
第二节 植保素和木质素	(208)
一、植保素	(208)
二、木质素	(209)
第三节 植物次生代谢的意义及其基因工程	(210)
一、植物次生代谢的意义	(210)
二、植物次生代谢的细胞和基因工程	(210)
小结	(211)
思考题	(212)
第十章 韧皮部运输与同化物分配	(213)
第一节 韧皮部中的同化物运输	(213)
一、韧皮部是同化物运输的主要途径	(213)
二、韧皮部的结构	(214)
三、韧皮部运输物质	(218)
第二节 韧皮部运输的机制	(220)
一、压力流动学说	(221)
二、其他韧皮部运输机制	(223)
第三节 碳水化合物的装载和卸出	(223)
一、韧皮部的装载	(223)
二、韧皮部的卸出	(228)
三、库-源转变中的装载和卸出途径	(230)
四、空胚珠技术	(231)
第四节 同化物的配置和分配	(231)
一、同化物的配置	(232)
二、同化物的分配	(233)
三、源库的协调	(235)
四、同化物的再利用和再分配	(237)
小结	(237)
思考题	(237)
第三部分 植物的生长发育	(239)
第十一章 植物的生长、分化和发育	(239)
第一节 植物生长分析	(239)
一、植物生长的测量指标	(240)
二、植物生长的分析方法	(240)

第二节 植物细胞的生长和分化	(242)
一、植物细胞分裂	(242)
二、植物细胞分化	(243)
三、植物程序性细胞死亡	(246)
第三节 植物生长发育概述	(247)
一、高等植物生长发育的特点	(247)
二、植物生长发育的控制	(248)
三、植物胚胎发育	(249)
四、种子的萌发	(253)
五、根系的生长分化	(254)
六、茎的生长分化	(256)
七、叶的生长分化	(258)
八、植物生长的相关性	(259)
小结	(263)
思考题	(263)
第十二章 植物生长物质	(265)
第一节 植物生长物质的概念	(265)
第二节 生长素	(267)
一、生长素的发现和种类	(267)
二、生长素的生物合成、运输和代谢	(268)
三、生长素的生理功能	(275)
第三节 赤霉素	(279)
一、赤霉素的发现	(279)
二、赤霉素的结构及其分类	(279)
三、赤霉素的生物合成和代谢	(280)
四、赤霉素的生理效应	(285)
第四节 细胞分裂素	(286)
一、细胞分裂素的发现	(287)
二、细胞分裂素的结构和分类	(287)
三、细胞分裂素的生物合成、运输和代谢	(288)
四、细胞分裂素的生理功能	(290)
第五节 脱落酸	(295)
一、脱落酸的发现	(295)
二、脱落酸的结构与活性	(296)
三、脱落酸的生物合成、运输和代谢	(296)
四、脱落酸的生理功能	(298)
第六节 乙烯	(301)
一、乙烯的发现	(301)
二、乙烯的结构和生物合成	(302)
三、乙烯的生理功能	(306)
第七节 其他植物生长物质	(308)

一、油菜素内酯	(308)
二、茉莉酸	(311)
三、其他内源植物生长物质	(311)
小结	(313)
思考题	(314)
第十三章 植物激素作用机理	(316)
第一节 生长素	(316)
一、生长素结合蛋白 ABP1	(316)
二、生长素信号传递途径	(316)
三、生长素早期反应基因和次级反应基因	(317)
第二节 赤霉素作用机理	(319)
一、赤霉素诱导 α -淀粉酶的分子机制	(319)
二、赤霉素促进细胞伸长和分裂的机制	(323)
第三节 细胞分裂素	(324)
一、细胞分裂素的受体	(324)
二、细胞分裂素诱导基因	(324)
三、细胞分裂素的信号传递途径	(325)
第四节 脱落酸	(326)
一、ABA 调节气孔运动的分子及生理机制	(329)
二、ABA 诱导基因及其表达的调控	(329)
第五节 乙烯	(330)
一、乙烯受体	(330)
二、乙烯信号传递系统	(332)
三、乙烯诱导基因	(333)
小结	(333)
思考题	(334)
第十四章 植物的运动	(335)
第一节 向性运动	(335)
一、向光性	(335)
二、向重力性	(337)
三、其他向性	(341)
第二节 感性运动	(341)
一、感震性	(341)
二、感夜性	(342)
三、感温性	(342)
第三节 细胞质运动和细胞器的运动	(342)
一、细胞质流动	(343)
二、细胞器运动	(343)
第四节 生物钟——生命的内源节奏	(343)
一、生命的节律现象	(343)
二、近似昼夜节奏的一般特征	(344)