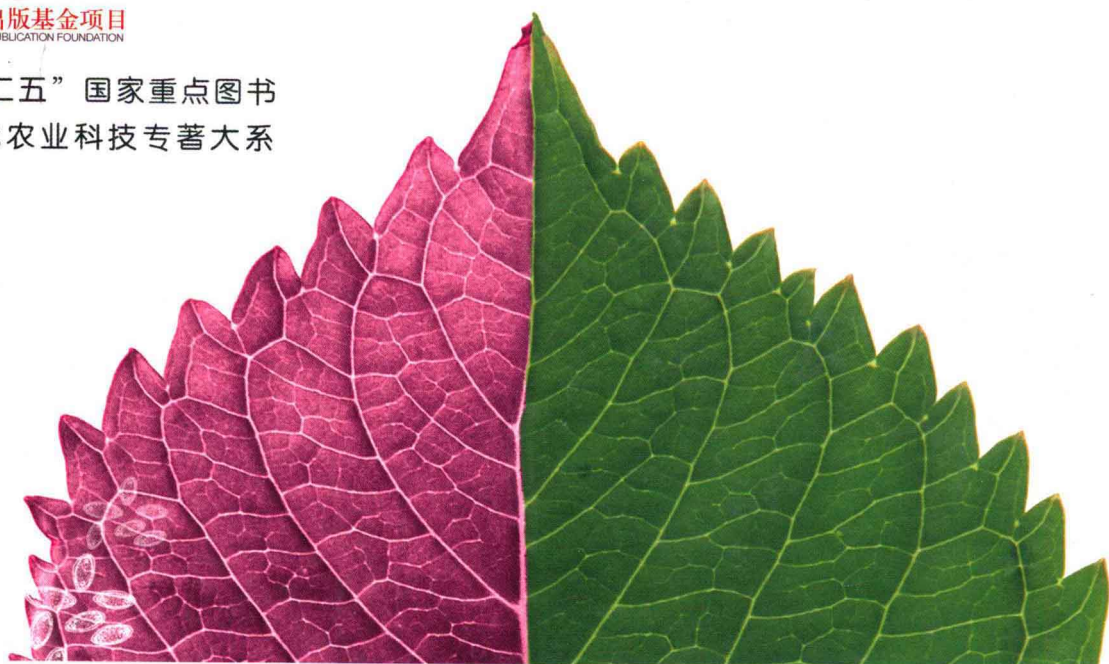




国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书
现代农业科技专著大系



现代植物免疫学

商鸿生◎编著



 中国农业出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

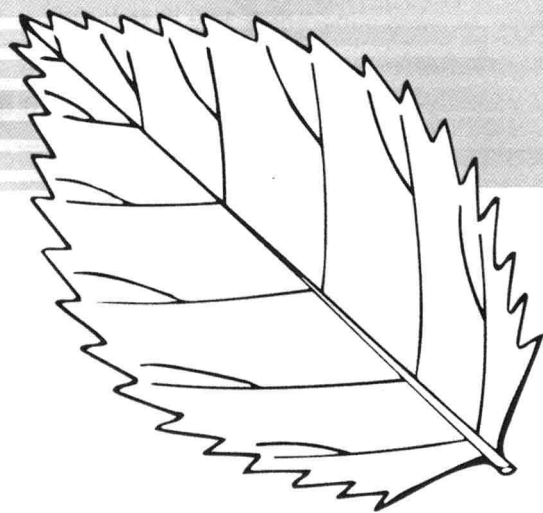
“十二五”国家重点图书

现代农业科技专著大系

XIANDAI ZHIWU
MIANYIXUE

现代植物免疫学

◎ 商鸿生 编著



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代植物免疫学/商鸿生编著. —北京: 中国农业出版社, 2012. 12

(现代农业科技专著大系)

ISBN 978-7-109-17329-3

I. ①现… II. ①商… III. ①植物学—免疫学 IV.
①S432.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 258560 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 张洪光 阎莎莎 傅 辽

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2013 年 2 月第 1 版 2013 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 27.75

字数: 642 千字

定价: 120.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书以植物与其病原物的相互作用为纲，全面介绍了植物免疫学的基本概念、基础理论和主要应用，系统而深入地探讨了植物免疫学的主要研究领域，其中包括抗病性的概念与类型，主动抗病因素与被动抗病因素，避病性与耐病性机制，诱导抗病性原理，抗病性与致病性的遗传与相关基因，抗病基因工程与转基因抗病性，原菌毒性变异与群体毒性监测，抗病性持久度与持久抗病性，以及抗病性鉴定、抗病种质资源和抗病育种等。本书取材兼顾学科传承和创新，内容广泛新颖，阐释准确清晰，论述简明深入，适于农业科学和生命科学诸学科的研究人员、技术人员、院校师生参考利用，也适于用作研究生的教学参考书。

目 录

绪论	1
----------	---

第一章 植物的传染性病害

5

第一节 传染性病害的病原物	5
一、病原物的主要类群	5
二、病原物的寄生性和致病性	9
第二节 病原物的致病因子	12
一、植物成分降解酶	12
二、微生物毒素	14
三、激素	18
四、其他致病因子	20
第三节 病原物的侵染过程	23
一、侵染过程分期	23
二、几种病原物的侵染过程	26
第四节 病植物的生理变化和症状	29
一、病植物的生理变化	29
二、病植物的症状	31
第五节 病害的发生规律和防治	34
一、病害发生规律	34
二、病害的防治	36
主要参考文献	37

第二章 植物抗病性及其类别

42

第一节 植物的抗病性	42
第二节 植物抗病性的类别	44
一、非寄主抗病性与寄主抗病性	44
二、定性抗病性与定量抗病性	46
三、被动抗病性与主动抗病性	47
四、小种专化抗病性与非专化抗病性	49
五、主效基因抗病性与微效基因抗病性	50

六、垂直抗病性与水平抗病性	51
七、诱导抗病性	52
八、转基因抗病性	53
九、持久抗病性	53
十、植物对病毒的抗病性	54
主要参考文献	55

第三章 植物的被动抗病性因素

59

第一节 物理的被动抗病性因素	59
一、植物体表形态和结构	59
二、木栓化组织	61
三、木质化组织	61
四、其他物理抗病因素	61
第二节 化学的被动抗病性因素	62
一、天然抗菌物质	62
二、植物溢泌物质	65
三、植物的营养成分和其他因素	65
主要参考文献	68

第四章 植物的主动抗病性因素

71

第一节 物理的主动抗病性因素	71
一、细胞壁改变的相关物理因素	71
二、维管束阻塞和其他变化	75
三、细胞骨架的变化	76
第二节 化学的主动抗病性因素	77
一、过敏性反应	78
二、植物保护素	84
三、发病相关蛋白和抗菌蛋白	89
四、植物防御酶	92
五、植物对病原菌毒素的解毒作用	95
主要参考文献	96

第五章 植物的避病性和耐病性

104

第一节 植物的避病性	104
一、时间避病	104

二、空间避病	105
第二节 植物的耐病性	105
一、耐病性的特点	105
二、植物的耐病机制	107
三、耐病品种的鉴定和利用	108
主要参考文献	109

第六章 植物的诱导抗病性

111

第一节 诱导抗病性的类型、诱导因子和表达特点	111
一、诱导抗病性的概念和类型	111
二、系统诱导抗病性的诱导因子	113
三、系统诱导抗病性的表达特点	116
第二节 系统诱导抗病性的机制和系统信号	120
一、系统诱导抗病性的机制	120
二、系统诱导抗病性的信号传递	125
第三节 商品化学诱抗剂及其应用	127
主要参考文献	130

第七章 植物抗病性与病原物致病性的遗传

137

第一节 植物抗病性的遗传	137
一、植物定性抗病性的遗传	137
二、植物定量抗病性状的遗传	142
三、细胞质对抗病性的影响	149
第二节 病原菌致病性的遗传	150
一、病原真菌的有性重组试验	150
二、病原菌致病性遗传特点	152
第三节 基因对基因学说	154
主要参考文献	158

第八章 植物与病原物互作相关基因与防卫信号传递

161

第一节 植物抗病性相关基因	161
一、植物抗病基因	161
二、防卫反应基因	172
第二节 病原物致病性相关基因	172
一、病原物的无毒基因	172

二、病原细菌的 <i>hrp</i> 基因和 <i>dsp</i> 基因	176
三、病原细菌的Ⅲ型泌出系统及其效应子蛋白质	178
四、病原真菌的致病基因	181
第三节 寄主植物与病原物的识别和防卫信号传递	182
一、植物免疫系统	182
二、识别模型	184
三、防卫信号传递	188
主要参考文献	194

第九章 植物抗病基因工程和转基因抗病性

202

第一节 植物转基因技术	202
一、目的基因的克隆	202
二、植物基因转化载体系统的构建	204
三、植物遗传转化系统	207
四、外源基因整合和表达检测	210
五、外源基因在植物中的有效表达和安全性	212
第二节 植物抗病毒基因工程策略	221
一、利用来源于病毒的基因	221
二、利用非病毒来源的基因	235
第三节 抗真菌和细菌病害的基因工程策略	237
一、利用植物抗病基因和病原菌的无毒基因	237
二、利用信号传递和防卫反应相关基因	240
三、利用抗菌蛋白基因和其他基因	246
主要参考文献	247

第十章 病原菌群体毒性监测

257

第一节 生理小种的概念和生理小种鉴定	257
一、生理小种的概念与其缺陷	257
二、生理小种的鉴定方法	259
第二节 病原菌群体毒性分析	261
一、毒性分析方法	262
二、毒性频率计算方法	262
第三节 我国主要农作物病原菌的毒性监测	263
一、小麦条锈病菌	263
二、小麦秆锈病菌	264
三、小麦叶锈病菌	266

四、水稻白叶枯病菌	267
五、稻瘟病菌	269
六、玉米大斑病菌	271
七、玉米小斑病菌	273
八、棉花枯萎病菌	274
九、棉花黄萎病菌	275
主要参考文献	276

第十一章 病原物毒性变异

282

第一节 病原真菌毒性变异体的来源	282
一、毒性变异体的产生	282
二、毒性变异体的迁移与遗传漂变	294
第二节 病原菌的寄生适合度	295
一、寄生适合度的基本概念和测定方法	296
二、小麦锈菌的寄生适合度	298
第三节 品种选择作用	301
一、定向选择和“稳定”选择	301
二、病原菌群体毒性变化的基本模式	304
第四节 植物病毒的变异	305
主要参考文献	308

第十二章 持久抗病性与抗病品种的持久度

314

第一节 品种抗病性变异的原因	314
一、品种抗病性本身的变化	314
二、环境条件的影响	315
三、病原菌小种的变化	315
第二节 持久抗病性的概念和实例	319
一、持久抗病性的概念	319
二、持久抗病性实例	319
第三节 品种抗病性的持久度	324
一、曾士迈论述	324
二、Parlevliet 分析	325
三、McDonald 和 Linde 模型	328
四、García-Arenal 和 McDonald 对植物病毒的分析	329
第四节 延长品种抗病性持久度的途径	330
一、改进育种策略	330

二、合理使用抗病品种	335
主要参考文献	338

第十三章 植物抗病性的鉴定

343

第一节 抗病性鉴定的基本要求	343
第二节 抗病性鉴定方法	344
一、抗病性鉴定的主要类型	344
二、接种技术和田间试验设计	348
第三节 病情调查和抗病性分级评定	352
一、病情定性分级	352
二、病情定量分级	353
三、抗病性级别划分	357
第四节 慢病性的鉴定方法	359
一、基本概念	359
二、品种的慢病性鉴定	360
主要参考文献	362

第十四章 植物抗病种质资源

365

第一节 抗病种质资源的类型	365
一、地方品种资源	365
二、外引品种资源	366
三、亲缘植物	368
四、抗病育种中间材料	370
第二节 抗病种质资源的收集、鉴定、研究和创新	371
一、抗病种质资源的收集和保存	371
二、抗病种质资源的鉴定和评价	373
三、抗病种质资源的遗传学研究	375
四、抗病种质资源的改造和创新	382
第三节 稻、麦主要病害的抗病基因资源	385
一、稻瘟病与稻白叶枯病抗病基因资源	385
二、小麦锈病和白粉病抗病基因资源	390
主要参考文献	399

第十五章 植物抗病育种

407

第一节 植物抗病育种概述	407
--------------------	-----

一、抗病育种的进展和问题	407
二、抗病育种的目标	410
第二节 抗病育种的基本途径	411
一、引种	411
二、系统选种	412
三、常规杂交育种	413
四、远缘杂交和染色体工程	418
五、杂种优势利用	421
六、诱变育种	423
第三节 生物技术育种	424
一、分子标记辅助育种	425
二、细胞工程抗病育种	426
主要参考文献	430

绪论



免疫性 (immunity) 特指生物对病原微生物及其有毒产物的不感受性或抵抗性, 免疫性是生物机体识别和排除异己, 维持自身生理功能的基本生物学特性。自 19 世纪开始, 这一概念先后被医学、兽医学和植物病理学所采用, 并发展成为免疫学 (immunology)。人类和哺乳动物具有先天免疫系统和适应性免疫系统, 具有由淋巴器官、淋巴组织、淋巴细胞 (T 细胞、B 细胞、NK 细胞等) 构成的动态防御体系, 它们通过循环系统相互联系, 形成一个功能上的整体。高等植物没有主动运动能力, 缺乏动物所具有的强大循环系统和后天免疫机制。植物在长期进化过程中虽然也形成了多种免疫机制, 但依赖于每个细胞的防卫反应和从侵染位点发出的系统信号, 植物还可以通过少数细胞的过敏性坏死来限制病原物侵染。基于两者形态、结构和机能的差异, 动物免疫学与植物免疫学研究内容并不相同, 前者侧重系统的抗原—抗体反应和个体免疫技术, 而后者则侧重局部抗病现象 (过敏性坏死) 和群体抗病性 (抗病品种) 利用。因此, 长期以来植物病理学和植物免疫学倾向于使用 “抗病性” (resistance) 一词替换 “免疫性”, 尽管两者并无实质区别。

植物免疫学是研究植物抗病性原理和应用的综合学科, 它以植物与病原物的相互作用为主线, 探索植物免疫系统的机制和运作, 合理实行人工干预, 以达到有效而持久控制植物病害的目的。植物免疫学的研究内容包括: ①植物抗病性与病原物致病性的性质、类型、决定因素和作用机制; ②植物与病原物互作的遗传学和分子遗传学; ③植物免疫系统、植物与病原物的识别与防卫信号传递; ④病原物群体毒性结构、变异和监测技术; ⑤植物抗病性鉴定技术; ⑥植物抗病种质资源; ⑦抗病育种原理和方法; ⑧抗病基因工程; ⑨延长品种抗病性持久度的原理与途径; ⑩人工诱导植物免疫的原理和方法。上述①至③以及病原物群体毒性结构、变异和人工诱导植物免疫的原理等内容属于抗病性原理范畴。⑤至⑨以及病原物群体毒性监测和人工诱导植物免疫方法等内容为植物免疫学的应用部分。

植物免疫学是作为植物病理学的分支学科兴起和发展的, 定位于农业科学学科体系中。在基础理论层面, 植物免疫学与生理学、生物化学、遗传学、分子生物学以及植物病原学、细胞学、生物物理学等学科有密切关系。在应用方面, 与作物育种学关系最密切, 与植物保护学、作物栽培学、植物遗传工程、农业生物技术等学科也有密切关系。在植物病理学各分支学科中, 植物免疫学与植物生理病理学、植物分子病理学最接近, 内容有所重叠, 但学科范畴和侧重点不同。20 世纪 80~90 年代以后, 植物免疫学的许多命题已渐渐成为生命科学的热点, 已经不再是植物病理学和农业科学的 “专利”, 而转变为遗传学和分子生物学的重要研究内容。从本书各章参考文献发

表的刊物名称,已不难参详出这种转变的深度和广度。其实这并非是植物免疫学的独有现象,许多较老的学科都面临研究内容的更新和学科间的交汇。

植物免疫学的兴起和发展,经历了曲折的历程。大致19世纪末至20世纪初为植物免疫学的肇始阶段,20世纪30~70年代为学科体系建立阶段,20世纪80年代以后为学科发展阶段。

在19世纪末至20世纪初,有三大发现直接促成了植物免疫学的形成。其一,Ward和Stakman等人发现了植物的主动防卫反应(过敏性坏死反应),这既使植物抗病性成为一种易于鉴定和利用的性状,又使许多学者对探讨抗病机制产生了浓厚的兴趣,对过敏性反应的研究持续百年,至今仍未终结。其二,Biffen和O'Connor等人发现抗病性可以独立遗传,且符合孟德尔遗传法则,通过回交育种可将抗病基因导入优良品种。从此选育抗病品种逐渐成为病害防治的主要方法。其三,Eriksoon,Stakman等发现了病原菌的寄生专化性和生理小种,解决了当时所遇到的抗病品种表现不稳定的难题,开启了病原物致病性分化研究,并使人们认识到抗病性表达取决于寄主和病原物双方。

20世纪30~70年代为学科体系建立和完善的阶段。这一阶段植物免疫学相关研究主要涉及三个领域:其一,研究植物抗病性的生理生化机制,相继发现了植物先天抗菌物质、植物保护素、发病相关蛋白、植物防御酶、细胞壁结构物质以及其他抗病因素;其二,研究植物抗病性的遗传学,采用传统遗传学方法,鉴定和定位抗病基因;其三,研究病原物的致病机制,致病性遗传和致病性变异。van den Plank自60年代以来,陆续出版了5部专著,阐述了一系列新命题,诸如“水平抗病性和垂直抗病性”,“定向选择和稳定选择”,“强基因和弱基因”等,在20余年间影响了植物免疫学的发展,但终究因理论粗疏和缺乏实证,在90年代以后归于沉寂。

30~70年代涌现了一大批经典的或影响深远的研究成果。例如,Müller和Borger根据马铃薯抗晚疫病的研究结果,提出了植物保护素假说和诱导抗病性假说,开辟了两个重要研究领域。依据Flor对亚麻与亚麻锈菌的遗传学研究结果,演绎出的“基因对基因”概念,开启了抗病基因与无毒基因之间的特异性互作、识别和信号传递研究。对致瘤土壤杆菌致病机制和Ti质粒的研究,为植物转基因技术奠定了基础。

这期间依托植物抗病性研究成果,出版了一批有关专著,植物免疫学的理论框架和学科体系基本确立。其中,影响较大的有《植物对侵染性病害的免疫学》(瓦维洛夫,1939),《植物免疫性的发生及其应用》(杜宁,1946),《植物侵染性病害原理》(高又曼,1951),《植物病害原理》(Stakman等,1957),《植物病害高级教程》第五卷(Horsfall等,1977)等。

20世纪80年代以后是学科大发展的阶段,受到模式植物拟南芥研究的启迪,人们转向了分子生物学。对植物抗病性的研究思路有了重要改变,大量采用了以突变体和转基因为基本手段的遗传实证方法。研究课题领域侧重于植物与病原物互作的细胞学、生物化学和分子机制研究,系统获得抗病性研究,抗病性与致病性有关基因的克隆、基因产物与功能研究,植物与病原物识别模型与防卫抗病信号传递研究,抗病基

因工程策略与转基因抗病性研究等。在应用方面,大量进行了主要农作物抗病基因定位、分子标记辅助育种、利用染色体工程转育抗病品种以及持久抗病性利用等。

20世纪80年代以后快速取得了关于植物与病原物互作的一系列重要研究结果。其中有:1984年从丁香假单胞大豆致病变种中克隆到第一个细菌无毒基因;1990年发现细菌无毒基因具有致病作用,为二元因子;1991年克隆了第一个真菌无毒基因;1992年克隆了第一个植物抗病基因;1993年克隆了第一个符合经典基因对基因关系的抗病基因(*R*基因);1996年发现病原细菌 Type-III 型效应子能够进入寄主细胞内实现功能;1998年提出了说明植物与病原物识别机制的“卫士模型”;2002年发现了转录后水平的基因沉默(RNA干扰)是抗病毒的重要机制;2007年发现*R*基因 NB-LRR 类产物可在寄主细胞核内实现功能。此外,90年代中期以来还陆续鉴定和克隆了一系列在拟南芥防卫信号传递中有重要调控作用的基因,使防卫信号传递途径趋于明晰。

1997年 Ryals 及其合作者发现拟南芥的 *NIM1* 基因与脊椎动物的 *I- κ B* 基因有同源性,后者与先天免疫性有关,这一发现将植物抗病性和动物免疫性联系起来,表明两者可能有共同的起源,后来陆续有更多的发现。依据对病原菌保守的模式分子和植物的模式识别受体的新发现,结合对病原菌效应子和植物 *R* 基因产物的研究结果,还提出了“植物先天免疫系统”的理论框架。

在抗病基因工程方面,1985年首次提倡利用病原物基因转化感病植物,1986年建成了表达 TMV 外壳蛋白的转基因抗病烟草,1992年提出了同时转化病原物无毒基因与植物抗病基因的双元策略,2000年发现植物转化编码双链或自我互补的 hairpin RNA 后,能诱导病毒的转录后基因沉默。同期,利用多种策略建成的各种抗病转基因植物相继进入田间试验和进行风险评估。似乎将来针对特定病原菌,有可能设计和订做抗病基因,提供期望的抗病性。

我国从20世纪20年代起,开展了植物抗病性研究。在1949年以前,较著名的工作有俞大绂对小麦品种抗秆黑粉病的研究,沈其益对小麦抗秆黑粉病的遗传规律研究,涂治、尹莘芸、方中达和王焕如等先后对小麦秆锈菌、条锈菌和叶锈菌的生理小种研究,凌立关于小麦秆锈菌转主寄主的研究等。这些研究作为新中国成立后植物免疫学研究的全面开展奠定了基础。

在新中国成立后不久,我国就从苏联引进了植物免疫学,相继在各高等农业院校开设了植物免疫学课程,出版了植物免疫学教科书。从60年代起,国内开始培养植物免疫学专业或免疫学方向的研究生,为研究生开设了《高级植物免疫学》、《植物免疫学研究进展》、《分子植物病理学》以及其他相关课程。在部分院校和研究院(所)还建立了植物免疫研究室,结合抗病育种实践,开展了相关研究。

新中国成立后大规模从国内外广泛搜集抗病种质资源,以重要作物和主要病害为重点,系统地进行了抗病性鉴定,筛选出大量抗源材料,进而对重要抗病种质资源进行了改造和创新,有力地支持了抗病育种工作。对稻、麦、棉、玉米、薯类、油菜、果树、蔬菜等主要农作物,全面开展了抗病和丰产良种的选育工作,选育出一大批抗

病良种在生产上推广应用,对控制我国一些农作物重大病害,诸如小麦三种锈病、稻瘟病、稻白叶枯病、玉米大斑病和小斑病、马铃薯晚疫病和病毒病、棉花枯萎病和黄萎病等的危害起到了巨大作用。在染色体工程育种、细胞工程育种、诱变育种、杂交优势利用诸方面,取得了具有中国特色的高水平成果。《中国农作物抗病性及其利用》(李振岐、商鸿生,2005)一书系统总结了这一领域的成就。

从20世纪50年代开始,在全国范围内陆续开展了小麦条锈菌、秆锈菌、叶锈菌、白粉菌,稻瘟病菌、稻白叶枯病菌,玉米大斑病菌、小斑病菌,棉花枯萎病菌和黄萎病菌以及若干蔬菜病菌的生理小种鉴定和病原菌群体毒性变化规律研究,为抗病育种和品种布局提供了基本依据。其中,多数对象的小种鉴定工作一直持续至今,积累了宝贵的历史资料。

以50年代碧蚂1号小麦“丧失”抗锈性为契机,我国科学家开展了延长品种抗病性持久度的相关研究,涉及病原菌毒性变异与演化,病原菌寄生适合度,病原菌易变地区综合治理,持久抗病性种质资源、育种策略以及合理使用抗病品种的途径等方面,为农业生产的可持续发展做出了贡献。

在植物免疫学基础理论研究方面,以抗病性遗传研究成就最大,几乎对所有重要农作物病害,都开展了品种抗病性遗传规律和抗病基因定位研究,鉴定发现了一批针对稻、麦主要病害的新抗病基因,对异源和野生种质的抗病性遗传与变异的探索屡有创新。对代表性病害还开展了植物抗病机制与病原菌致病机制的研究,且已深入到细胞水平和分子水平。在这方面,已经涌现出一批有自主创新能力的重点实验室和有特色的研究领域。

20世纪80年代以后,在借鉴和交流国外先进技术的基础上,国内植物免疫学和相关学科也步入了分子时代。现今在各类研究项目中,分子水平的课题在数量上已跃居首位,研究内容涉及分子标记、抗病性与致病性相关基因克隆与测序、植物与病原物识别机制和抗病信号传递途径、转基因技术和应用、抗病基因工程策略、基因工程植物安全性评价等。

关于植物免疫学的研究内容、主要进展、待解决的问题等,在本书后续各章将一一系统介绍。



植物的传染性病害

植物病害有两类，即传染性病害和非传染性病害。由生物因素引起的病害，有明显的传染现象，是传染性病害。由营养失调、环境胁迫或环境污染等化学、物理因素引起的植物失常，不能传染，是非传染性病害。植物抗病性研究与利用所涉及的是传染性病害。

植物传染性病害是农林生产的重要生物灾害。据估计，在世界范围内，病害造成的经济损失为 10%~20% (Boyer, 1982)。病害造成作物减产，品质变劣，商品价值降低，威胁食品安全和农业生产的可持续发展，还因毁损植物、破坏景观以及防治措施的副作用，产生严重的生态和环境问题。

第一节 传染性病害的病原物

引起传染性病害的生物，统称为病原生物 (pathogenic organism) 或病原物 (pathogen)。病原物是在寄主植物内完成其全部或部分生活史，并损害寄主的生物 (Agrios, 1997)，其基本属性是其寄生性和致病性。病原物具有多种致病因子，得以侵染植物，引发病害。患病植物生理机能和形态失常，表现一系列症状，受到损害或提前死亡。

一、病原物的主要类群

病原物的种类很多，涉及生物各个界别的许多类群。在中外文献中，均以真菌、卵菌、细菌、病毒和线虫为最重要的病原物，它们也是植物抗病性研究的主要对象。

1. 真菌

真菌是真菌界 (Fungi) 的成员，为异养型真核生物，典型的营养体为菌丝体，不含叶绿体。真菌分布极广，种类繁多，全世界约有 150 万种，已被描述的约 10 万种。植物病原真菌 (plant pathogenic fungi) 是指那些可以寄生植物并引起病害的真菌，已记载的有 8 000 种以上。由真菌引起的病害占植物病害总数的 70%~80%。

真菌具有细胞壁、原生质膜、核膜包裹的细胞核和一系列细胞器，具有 80S 型核糖体。几丁质是绝大多数真菌细胞壁的主要成分。

营养体是真菌营养生长阶段所形成的结构。真菌典型的营养体是细小的丝状体，有繁茂的分枝。单根细丝称作菌丝 (hyphae)，多数菌丝构成菌丝体 (mycelium)。菌丝呈管状，有固定的细胞壁，无色透明或具有颜色，顶端生长。大多数真菌的菌丝有横隔膜，将菌丝隔成许多长圆筒形的细胞，这称作有隔菌丝。有些低等真菌的菌丝无横隔膜，称作无隔菌丝。

菌丝可以形成吸器、附着胞、厚垣孢子、假根、菌环和菌网等多种变态结构，也可以

纠集成为疏丝组织和拟薄壁组织，进而形成菌索、菌核、子座等菌丝组织体。

吸器 (haustorium) 是专性寄生真菌和寄生性较强的兼性寄生真菌具有的特殊结构。在寄主细胞间隙蔓延的菌丝分枝形成吸器母细胞，由吸器母细胞产生侵入丝，穿过寄主细胞壁，在寄主细胞内发育形成吸器。吸器有烧瓶状、球状、指状、掌状及丝状等不同形状，其主要机能是吸取植物的营养物质。

附着胞 (appressorium) 是真菌芽管或菌丝顶端的膨大部分，可以牢固地附着在寄主表面，其下方产生侵入丝穿透寄主角质层和表层细胞壁而侵入。

菌核 (sclerotium) 是常见的菌丝组织体，形状、大小、颜色和菌丝纠集的紧密程度依真菌种类而不同。多数菌核表面为黑褐色或黑色，质地坚硬。菌核是真菌应对不良环境的休眠机构，当条件适宜时，菌核萌发产生菌丝体或产孢结构。

真菌有无性繁殖和有性繁殖两种繁殖方式。无性繁殖 (asexual reproduction) 不经过核配和减数分裂，营养体直接以断裂、出芽或产生孢子的方式产生后代。无性繁殖产生的孢子称为无性孢子，常见的有游动孢子 (zoospore)、孢囊孢子 (sporangiospore)、分生孢子 (conidium) 等。大多数真菌的无性繁殖能力很强，完成一个无性繁殖世代所需要的时间较短 (通常只需要数天)，产生的无性孢子数量较大，在病害传播和流行中起重要作用。

真菌的有性生殖 (sexual reproduction) 是通过细胞核结合和减数分裂产生后代的生殖方式。真菌营养体上可分化形成性器官和性细胞，性器官又称为配子囊 (gametangium)，性细胞称为配子 (gamete)。真菌有性生殖产生的孢子称为有性孢子，包括卵孢子 (oospore)、接合孢子 (zygospore)、子囊孢子 (ascospore) 和担孢子 (basidiospore) 等。真菌的有性孢子大多在植物发病后期或经过休眠期后产生。多数真菌兼具有性生殖阶段和无性生殖阶段，但也有部分真菌有性阶段未知或很少发生，从而称为半知菌或无性型真菌 (anamorph fungi)。半知菌可以根据无性阶段的特点进行形式分类。

真菌分类系统屡有变动，国内植物病理学界长期采用 Ainsworth (1971) 系统，将真菌界真菌门划分为鞭毛菌亚门、接合菌亚门、子囊菌亚门、担子菌亚门和半知菌亚门。由于分类系统的变动，此种广义的“真菌”已不复存在。根据《真菌词典》第 8 版 (1995)、第 9 版 (2001) 和第 10 版 (2008)，原来属于鞭毛菌的根肿菌、卵菌、丝壶菌等已归入其他生物类群，真菌界现包含子囊菌门、担子菌门、球囊菌门和壶菌门，半知菌不再作为分类单元。

真菌最基本的分类单元为物种 (species)，物种的命名采用林奈的“双名制”，以拉丁文书写，称为“学名”。学名的第一个词为属名，第二个词为种名，最后为定名人姓氏或姓名。后述卵菌、细菌、线虫的命名方式基本与真菌相同。一种真菌只能有一个属名和种名，有性阶段学名为合法名称。

对于真菌学名，国内已有规范的汉文译名，但并没有被普遍应用。在科技文献、文件中屡屡以病名代替菌名。例如，称为“小麦条锈病菌”的，实际是指条形柄锈菌小麦专化型 (*Puccinia striiformis* West. f. sp. *tritici* Eriks.)。同一病害可由多种病原菌引起，而同一种病原菌也可引起不同病害，用病名代菌名，很容易造成误解。