

现代植物病害防治

XIANDAI ZHIWU BINGHAI FANGZHI

石明旺 王清连 主编

 中国农业出版社

现代植物病害防治

石明旺 王清连 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代植物病害防治/石明旺,王清连主编. —北京: 中国农业出版社, 2008. 12

ISBN 978 - 7 - 109 - 12224 - 6

I. 现… II. ①石…②王… III. 植物病害—防治 IV. S432

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 182285 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 利

北京昌平环球印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19

字数: 440 千字

定价: 58.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 石明旺 王清连

副 主 编 高扬帆 朱素梅 刘彦文 王鸿宾

参编人员(按姓氏笔画为序)

王清连 王鸿宾 石明旺 朱素梅

刘彦文 刘起丽 杨 蕊 李广领

李淑恒 张定法 郎剑锋 高扬帆

翟凤艳 潘福祥 霍云凤



[前言]

.....

植物病害防治是农业生产中一个永恒的课题，对植物病害进行有效的防治是保证农业生产的重要措施。进入 21 世纪以来，植物病害防治也进入了一个新的防治阶段，防治观念和防治方法都发生了新的变化，可持续农业、可持续植物保护，有机农业和绿色植物保护更加受到重视。

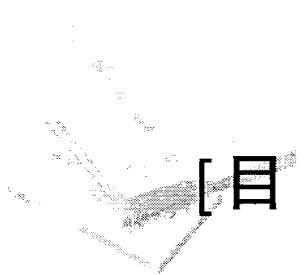
要保证农业“两高一优”目标的实现，就必须把农业有害生物持续治理或持续植物保护纳入可持续农业的发展战略中去。不断研究植物病害发生的新情况、新问题；探索综合防治的新途径、新方法。本书编著者结合多年积累的资料和研究成果，编写了《现代植物病害防治》。本书在编写内容上理论联系生产实际，力求反映植物保护领域的新概念、新成果、新技术和新进展，突出实用性和新颖性。对植物病害的发生特点分成八章，从植物/病害的概念，拓展到植物病害系统、植物病害系统的灰色性和风险评估，植物侵染性病害按种传病害、土传病害、气传病害的发生特点分类进行了尝试性写作，再到非侵染性病害发生和实例及防治对策进行概述。本书力求语言简练、文字通俗易懂、图文并茂、系统性和针对性强，每一章都有一个中心和重点，并突出植物病害理论与植物病害防治的关系，章与章之间又相互联系，互相支撑、重点突出、层次分明。因此，可作为植保、农学及相关专业研究生、大学生及科技人员的参考书和工具书。

在本书的整个编写过程中，得到国家科技支撑计划（2006BAD01A05-27）和河南省杰出人才计划（084200510008）项目支持，也得到许多朋友帮助和大力支持，在此谨致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中不当或甚至错误之处在所难免，热忱欢迎广大读者提出修改意见，以便再版时订正。

编 者

2008 年 8 月



[目 录]

前言

第一章 现代植物病害与现代植物病害防治的

概念.....	1
第一节 现代植物病害的概念.....	1
一、现代植物病害的概念	1
二、现代植物病理学的研究内容	1
三、现代植物病理学简史	2
第二节 现代植物病害概念的新拓展	3
一、现代植物病害概念的新拓展	4
二、现代植物病害发生的特点	9
三、现代植物病害发生的原因	10
第三节 侵染性病害的病原	12
一、真菌	12
二、植物病原原核生物	15
三、植物病原病毒	18
四、植物病原线虫	19
五、寄生性种子植物	19
第四节 现代植物病害的诊断与防治对策	20
一、粮食安全新形势与病害问题发展趋势	20
二、植物病害防治策略的发展动态	21
三、现代植物病害的诊断	23
四、现代植物病害的防治技术与方法	24
第五节 现代植物病害防治的新理念和新技术	32
一、可持续植保与现代植物病害防治	32
二、现代分子生物学技术与现代植物病害防治	34
三、经济阈值与现代植物病害防治	41

第二章 有害生物风险分析与综合防治	43
第一节 有害生物风险分析的概念	43
一、风险与风险管理	43
二、有害生物风险分析的概念	44
第二节 几个重要概念	44
一、有害生物	44
二、检疫性有害生物及限定的非检疫性有害生物	45
三、检疫性有害生物疫区、低度流行区和非疫区	46
第三节 检疫性有害生物风险分析 (PRA)	48
一、PRA 开始阶段 (起点)	48
二、有害生物风险评估阶段	49
三、有害生物风险管理阶段	50
四、风险分析的类型	50
五、有害生物风险分析的实例	51
第四节 转基因植物的风险评估	57
一、转基因作物种类	58
二、转基因植物的安全性	58
三、转基因植物的潜在风险	59
四、转基因植物的风险评估	59
五、中国有害生物风险分析概况	60
第五节 有害生物风险分析的信息来源	61
一、有害生物风险分析所需的信息	61
二、PRA 的信息来源及其研究工具	62
第六节 危险性植物病虫害的综合防治	66
一、植物检疫	66
二、其他防治措施	69
第三章 灰色系统控制与植物病害防治	70
第一节 生态系统与植物病害系统	70
一、生态系统	70
二、生态系统的组成成分	71
三、生态系统的初级生产和次级生产	72
四、生态系统中的分解	73
五、生态系统中的能量流动	73
六、生态系统中的物质循环	74
七、生物圈的相关知识	75
八、农业生态系统的原理	75

九、生态标准原则	76
第二节 植物病害系统是一个灰色系统	77
一、灰色系统	77
二、灰色系统的基本原理	78
三、植物病害系统是一个灰色系统	80
第三节 灰色植病系统预测模型	81
一、灰色系统理论的建模思想	82
二、灰色系统预测模型建立过程	82
第四节 控制论与植物病害防治的关系	92
一、控制论的三个基本部分	92
二、控制论系统的主要特征	94
三、控制论在生物系统中的应用	95
四、病害系统中控制工作与控制的比较	95
五、病害控制工作与控制的比较	96
第四章 种传病害及防治	104
第一节 种传病害的基本概念及种子病理学发展概况	104
一、种子的范畴	104
二、种子的着生方式	105
三、种子病理学发展概况	105
第二节 种传病害对农业的为害	107
一、种传病害传病的方式	107
二、种传病害对农业的为害	108
第三节 种传病害病原物与种子的关系	108
一、引起种传病害的病原物	108
二、种传病害病原物与种子结合的方式	108
三、种子染病的时期	109
四、病原物在种子上的部位	109
五、病原物侵染种子的途径	110
第四节 种传病害发生条件及综合防治	113
一、种传病害发生条件	113
二、种传病害的综合防治	114
第五节 主要农作物重要种传病害及综合防治	117
一、麦类作物黑穗病	117
二、大麦条纹病	120
三、大麦条纹花叶病	122
四、水稻白叶枯病	123
五、水稻恶苗病	126

六、水稻细菌性条斑病·····	127
七、水稻干尖线虫病·····	129
八、棉花炭疽病·····	130
九、大豆紫斑病·····	132
十、高粱黑穗病·····	133
十一、谷子线虫病·····	135
第五章 土传病害及其防治 ·····	137
第一节 土传病害的概念·····	137
第二节 土传病害的特点·····	137
第三节 重要的土传病害类型概述·····	138
一、水稻土传真菌性病害·····	138
二、小麦土传真菌性病害·····	139
三、棉苗土传真菌性病害·····	140
四、玉米土传病害·····	140
五、果树土传真菌性病害·····	140
六、蔬菜土传真菌性病害·····	141
七、植物土传细菌性病害等·····	142
八、植物根结线虫病·····	143
第四节 土传病害防治对策和综合防治方法·····	143
一、土传病害的防治对策·····	143
二、土传病害综合防治主要方法·····	144
第五节 主要的土传病害及防治·····	144
一、土传立枯病和猝倒病·····	144
二、土传作物白绢病·····	148
三、土传瓜类枯萎病·····	150
四、瓜类疫病·····	153
五、花生根结线虫病·····	155
六、植物青枯病·····	157
七、十字花科蔬菜菌核病·····	164
八、小麦土传病害·····	169
九、棉花枯萎病·····	175
十、棉花黄萎病·····	180
第六章 介体传播植物病害及防治 ·····	183
第一节 介体传播病害·····	183
第二节 介体传播的过程与特点·····	184
第三节 主要介体类型·····	185

第四节 介体传播病害的特点和发生规律	187
第五节 介体传播病害的综合防治	188
一、改变耕作制度，加强栽培管理	188
二、种植抗、耐病品种	189
三、防治传毒介体	189
四、消灭病毒的侵染源	189
五、病毒疫苗的应用	190
六、生物农药防治	190
第六节 介体传播小麦病毒病：丛矮病、黄矮病	191
第七节 介体传播小麦土传花叶病毒病	194
第八节 介体传播玉米病毒病	196
第九节 介体传播茄科蔬菜病毒病	200
第十节 介体传播十字花科蔬菜病毒病	203
第十一节 介体传播松材线虫枯萎病	206
第十二节 介体传播榆枯萎病	212
第七章 气传植物病害及防治	215
第一节 气传病害时间流行特点和规律	215
第二节 气传病害流行的空间特点	216
第三节 气传病害的监测	218
一、病害的监测通常用病情和系统监测	219
二、气传病害的病原物监测	219
第四节 马铃薯晚疫病	220
第五节 小麦条锈病	224
第六节 小麦叶锈病	229
第七节 小麦秆锈病	231
第八节 小麦白粉病	233
第九节 稻瘟病	238
第十节 玉米大斑病	243
第十一节 玉米小斑病	245
第十二节 黄瓜霜霉病	249
第八章 非侵染性病害及防治	252
第一节 物理因素	253
一、湿度	253
二、温度	254
三、光照	257
第二节 化学因素	258

一、环境污染·····	258
二、植物药害·····	261
三、植物的营养失调·····	262
四、植物肥害·····	264
第三节 植物非侵染性病害的诊断 ·····	265
一、现场调查·····	265
二、病因分析、排查·····	266
三、治疗性诊断·····	266
第四节 现代植物非侵染性病害的防治 ·····	267
一、合理调控环境因子·····	267
二、有效治理环境污染·····	269
三、合理使用化学农药·····	271
四、平衡、合理施肥·····	272
五、充分运用现代生物技术·····	273
第五节 非侵染性病害防治实例 ·····	276
一、苹果小叶病防治·····	276
二、水稻热害防治·····	278
三、棉花红叶茎枯病防治·····	278
四、小麦冻害防治·····	279
五、玉米除草剂药害防治·····	281
六、黄瓜盐害防治·····	282
主要参考文献·····	284

现代植物病害与现代植物病害防治的概念

第一节 现代植物病害的概念

在人类生存的自然界中，植物是人们赖以生存的基础。植物除了供养人类和动物食物以外，也是微生物的食物来源。因而人类与其他众多生物之间的竞争冲突是不可避免的。在人类利用植物时，竞争的微生物也在与人类争夺植物资源。

一、现代植物病害的概念

病害是一较难定义的术语，其英文单词 Disease (Dis-ease) 就有隐含缺乏健康、舒适，即与正常功能相背离之意。对于植物病害，许多学者从不同角度加以定义，较为常见的有：

①植物在环境因素的有害作用下，其生理程序的正常功能偏离到不能或难以调节复原的程度，从而导致一系列生理病变、组织病变和形态病变，生长发育失常或受害，最终使人类所需产品的产量和品质受到损失，这便是植物病害。

②由于一种致病生物或环境因素的连续刺激而使寄主细胞和组织发生障碍，并导致病症的发展称为植物病害。

③植物由于受到病原生物或不良环境条件的持续干扰，其干扰强度超过了植物本身能够忍耐的程度，使植物正常的生理功能受到严重影响，在生理上和外观上表现出异常，这种偏离了正常状态的植物就是发生了病害。

虽然不同学者对此解释不一，但其含义确有相似之处：①与植物生长和繁殖功能衰退有关；②植物生理功能存在缺陷；③降低了植物赖以生存和维持其生态小生境的能力。

二、现代植物病理学的研究内容

植物病理学是阐述植物病害的发生发展规律及其防治的科学，是农业科学或生物科学的一个分支学科。它的研究范畴包括引致植物病害的生物因素及环境条件；植物病害发生的机理及影响病害发生发展的因子；病原物与感病植物之间的相互作用；以及经济有效地

预防或控制病害、减轻损失等方面。

植物病理学既是一门理论科学，又是一门充满艺术性的应用科学。它的科学性在于从理论上去研究植物如何防御外来入侵，保护自己；病原物如何侵袭植物，患病植物表现的症状是怎样引起的，为什么不是所有罹病植物都会死亡等。另外，植物病理学也涉及病害的诊断、病害的防治以及在该领域开展科学研究。植物病理学的最终目的在于通过经济有效的防治措施，减轻因病害所造成的损失，维持良好的生态环境，以满足人们生活的需要。

有关植物科学、物理科学以及农学、环境科学和社会科学的基础知识和基本技术是植物病理学赖以发展的坚强基石。例如要认识和很好地控制病害，人们必须了解众多植物病原物的生物学、生理学、繁殖、传播、存活及其生态特性以及当植物的耐受性超过极限时环境因子是如何诱发病害的。

植物病理学得益于许多相关学科的发展，其成果可用来解决植物病理学领域的问题，相关学科的基本知识对于每一个病理学工作者进行有效的工作都是必不可少的。

三、现代植物病理学简史

人类认识、研究和防治植物病害远在人、畜病害之后。人类注意害虫对农作物的为害也比病害早。因为在显微镜发明之前，人们用肉眼看不见为害农作物的微生物。

在古代，由于生产水平低下，人类对自然的认识和改造能力极其有限。往往幻想是超自然的神灵在主宰自然现象的变化。认为植物病害是人们的罪孽使上帝发怒或日月星辰移位所致。这种神学观念统治长达 2 000 年之久。

自 18 世纪后期，许多科学家冲破宗教信念的束缚，对植物病害的本质进行了广泛的研究，并做出了有价值的贡献。法国的 Marthieu Tillet 经过实验证明小麦腥黑穗病是由一种“黑粉”传染所致，其后法国的 M. Prevost 确证这种病原物是一种真菌，成为第一个用事实证明植物病害直接原因的人，这也是病原学说的开端之一。

1845 年和 1846 年，一种严重的马铃薯病害几乎毁灭了爱尔兰所有的马铃薯而造成了大饥荒，这一悲剧性事件把许多科学家的注意力集中到植物病害上来，给予植物病理研究以极大激励。当时对马铃薯的这种病害原因众说纷纭。德国医生兼真菌学家 Anton de Barry 花了 5 年时间研究，到 1861 年完全证实是由一种疫病菌所致的马铃薯晚疫病，说明真菌是植物病害的原因。由此建立了植物病原说。他还提出黑粉病和霜霉病是真菌侵染的结果，锈菌有转主寄生现象，他被视为植物病理学之父是当之无愧的。

继 Luis Pasteur 和 Robert Koch (1876) 发现动物炭疽病的病原是细菌，并由 Robert Koch 提出了著名的柯赫氏法则之后，Thomas J. Burrill (1877) 在美国证明了梨和苹果的火疫病为细菌所致。美国 Erwin F. Smith 从 1895 年起在植物细菌性病害的研究方面做出了杰出的贡献，在植物细菌病害方面写了 100 多篇论文，特别是在葫芦科、茄科、十字花科细菌性萎蔫病方面消除了人们对其病原的疑问。他首次研究了果树根癌病的解剖学及其发展，认为该病类似于人类和动物的肿瘤，被誉为植物细菌病害的奠基人。

植物病毒病害很早就受到人们的注意，但对病毒的认识是从 19 世纪末才开始的。德

国人 Adolf Mayer (1886) 发现烟草花叶病可由病叶的汁液传染, 证明这种病害是一种传染性病害。俄国人 (1892) 进一步证明烟草花叶病病株汁液通过细菌过滤器后仍具有致病力。荷兰科学家 Martinus W. Beijerinck (1898) 重复了试验, 得到同样的结果, 并且发现这种致病物质能在琼脂中扩散, 认为这是一种“传染性活液”, 后来称之为病毒。这才首次把植物病毒病同其他侵染性植物病害区别开。此后类似的病害不断发现, 并且还发现了病害同媒介昆虫的关系。1935 年美国的 W. M. Standey 用硫酸铵沉淀法和醋酸铅脱色法提纯烟草花叶病毒, 得到纯结晶, 并证明它是一种蛋白质。1936 年英国的 F. C. Bawden 和 N. W. Pirie 发现烟草花叶病毒中含有核酸 (RNA)。1956 年 H. Fraenkel-Conrat 发现烟草花叶病毒除去蛋白质后, 仅用核酸接种, 也有侵染力, 并表现出原有症状。R. Shepherd 等人 (1968) 证明花椰菜花叶病毒是 DNA 病毒, 1972 年 T. O. Diener 发现了类病毒。

英国 T. Needham (1743) 第一个报道小麦籽粒 (虫瘿) 内的植物寄生线虫。植物寄生线虫奠基人 N. A. Cobb (1907) 在美国农业部内建立第一个线虫学研究机构, 并于 1913—1932 年系统地研究了植物寄生线虫, 对线虫的分类学、形态学和方法学做出了很大的贡献。1916 年, 章祖纯发表了关于北京附近的小麦粒线虫和粟线虫的报告, 我国其他学者对其他植物线虫病害也做了调查研究, 其中朱凤美 1940 年研制的小麦粒线虫虫瘿汰除机, 汰除虫瘿率达 99% 以上。1967 年, 日本科学家土居养二发现几种由叶蝉传播、引起植物黄化病的植原体。可认真考虑, 总结经验。随后有人提出了病害三角关系、病害四面体关系, 认为任何一种因素的变动都将对植物病害产生一定的影响。20 世纪 70 年代后, 由于生态学的发展, 植物病理学界也随之提出了植物病害系统的概念以及较为科学的病害综合防治策略, 使植物病理学迈入成熟发展的阶段。20 世纪 80 年代末以来, 更多的是用生化技术、遗传工程和分子生物学的理论和方法研究植物病害发生的机制, 阐明植物病害过程中寄主与病原物相互识别的分子基础, 寄主、病原物与病程有关的基因结构、表达和调控机制。近年来以 DNA 重组技术为基础开展植物抗病基因工程, 以及对植物病原物进行分子标记用于病原物的群体遗传学研究和病害流行病学研究取得了惊人的进展。

我国植物病理学起步较晚, 大约在 1912 年前后才开始有人从事植病工作。从 20 世纪 50 年代开始植病工作者大部分的注意力都倾注于主要经济作物病害。如小麦锈病、稻瘟病、棉花枯黄萎病、大白菜三大病害和苹果树腐烂病等。目前国际上已经开展的有关植物病理学的领域, 在我国已经没有空白, 经过广大植病工作者的努力, 有些领域已经达到或超过世界先进水平。需要指出的是, 植物病理学今后的发展任重而道远, 需要多个学科的科学家的协作和不断努力, 才能为保障人类的食物来源、环境的优化和农业的可持续发展做出更大贡献。

第二节 现代植物病害概念的新拓展

一株健康植物的生活史是从种子萌发、营养器官的生长发育到繁殖器官、果实、种子再形成的过程。在植物每一个发育阶段中包含一系列必不可少的生理过程, 正常的生命活

动必须在适当的环境条件下进行。经过自然界的长期演化，每种植物都适应了适合于各自生长发育的外界环境，从而保证按其遗传因子所决定的生长发育程序正常进行，为人类提供更多更好的粮油食品、果蔬产品和其他各种农副产品。但是，自然界又很少存在适于各种植物的稳定的理想环境，植物总是在适应各种有利和不利因素的条件下生存进化，栽培的农作物尤其是这样。如果有害生物或不良的外界条件对植物的影响程度超过了植物所能忍耐的限度，植物就不能正常地进行生理活动，局部或整体的生长发育出现异常，甚至死亡的现象叫做植物病害（plant disease）。

可见植物病害是由于遭受某些有害生物的侵染或不良环境条件的持续干扰而发生的。病害的表现有一个由内及外，由细胞组织到形态上的病理变化过程，并且表现出较稳定的症状，最后使植物或其产品受到质量及产量的损失。植物生病虽然不具有人和动物那样发病时有疼痛感或不适感，病害发生的步骤（病程）及其复杂性却是相似的。病害不同于伤害以及大多数昆虫和动物的咬伤等。伤害是植物短时间内受外界因素作用而突然形成的，显然无一定的病理变化过程，往往是突发性的，表现是随机的、不规律的；病害是外界有害因素持续影响而逐渐形成的，外部症状表现具有一定的稳定性和规律性。刺吸式口器昆虫的为害状虽与病害有相似之处，但在为害部位往往可以找到虫子。认识植物病害要有生产观点和经济观点。有些植物由于人为的或外界生物及非生物因素的作用发生某些变态畸形，但却增加了它们的应用价值。如郁金香在感染了碎锦病毒以后，花冠色彩斑斓，增添了观赏价值；在弱光下栽培的韭黄、葱白提高了其经济价值；黑粉菌侵染菰（*Zizania caduciflora*）地下茎形成肉质肥嫩的茭白可供食用，植物的这些“病态”都不被认为是病害。

一、现代植物病害概念的新拓展

随着保护农业、现代农业经济的迅猛发展，植物病害已经不仅仅局限于植物生长期病害的研究，植物产品采摘后病害、贮藏期植物病害等新问题、新病害摆在人们面前，使植物病害的概念所涉及的领域从以往的仅仅局限于生长期扩展到现在的植物产品销售各个时期和领域，植物病害范围进一步扩大，植物病害概念的涉及面越来越广。其中植物生长期结束后，具有食用价值和商品价值的植物产品采摘后的病害越来越多，采后病害防治成为现代植物病害防治中的重要的新领域。

（一）植物产品采后病害特点

果实采后腐烂给世界水果生产带来了极大的损失。据不完全统计，水果的采后腐烂率一般达 20%~30%。我国则更为严重，采后腐烂率达 30%~40%。热带地区由于环境因素更有利于采后病害的发生，水果采后腐烂率高达 50%。果蔬采后腐烂大多由真菌引起的，长期以来，控制水果采后病害的主要措施是使用杀菌剂。杀菌剂的长期和大量使用，严重污染环境，有害人类健康。过去十多年，公众和科学界对于食品和环境中的农药（尤其是杀菌剂）残毒问题的关注日益增加。此外，高频率地使用单一种类的杀菌剂会使病原菌产生抗药性问题，使杀菌剂的防治效果大大降低。因此，研究并利用化学杀菌剂的替代物

来防治水果的采后病害，是人类面临的一项紧迫任务。

(二) 采后植物病害防治进展

目前可替代化学杀菌剂的水果病害防治方法有物理方法和生物防治等。

1. 热处理防治水果采后病害 水果采后，热处理具有杀菌、杀虫和保鲜的作用，并能有效控制果实采后病虫害，是病害控制的一种重要的方法。热处理技术有无毒、无农药残留、耗能少、廉价和便于操作的特点。热处理是利用热力杀死或钝化果实上的害虫或病原菌，以减少腐烂，同时，改变果实采后某些代谢过程以达到水果贮藏保鲜目的的一种物理贮藏保鲜的方法。采用热处理能降低果实的某些生理代谢，延缓果实后熟，提高果实对某些生理病害（如冷害）的抵抗力。近年来，对热处理保鲜技术的研究已成为研究热点。

(1) 采后热处理的方法 热处理方法有热水、热蒸汽、热空气、强力热风 and 热灰掩埋等方法，但商业上主要应用热水和热空气。热空气处理使用 38~46℃，12h~4d 饱和蒸汽处理；热水处理是 43~63℃，数秒至 2h。热水处理包括热水浸泡（43~53℃，数分钟至 2h）和热水喷淋（48~63℃，10~25s）。

热空气传热比较慢，所用时间比较长，但处理温度较低，因此，热空气引起的热伤害最小。热水处理时间短，便于操作和控制水的温度。热水喷淋还有消毒和清洁果实的作用。但热水处理易引起热伤害，应用短时高温可减少热伤害。在商业中，热水处理的费用是传统热空气处理的 10%。热处理的温度和时间要根据水果的种类、尺寸、成熟度、栽培条件和生长条件等而定。在有些国家热处理已经应用于商业生产。

(2) 热处理对水果采后病害防治的效果

①热处理对水果腐烂性病害的防治效果。腐烂性病害是影响采后水果贮藏寿命的主要原因。热处理可以有效防止水果腐烂，延长水果的保鲜期。Prusky 等发现接有炭疽病菌的芒果，在 56、60 和 64℃ 热水喷淋处理后可降低腐烂率 60%。Schirra 报道 Tarocco 柑橘经过 52℃，3min 热水浸泡，8℃ 下冷藏两个月，最后在货架上放置一周，腐烂率明显低于对照。许多研究发现，造成草莓腐烂变质的主要原因是灰葡萄孢霉（*Botrytis cinerea*）和根霉（*Rhizopus stolonifer*）引起的，热处理可有效控制它们的生长繁殖，减少果实的腐烂率。此外，热处理广泛应用于各种柑橘、梨、桃等各种水果采后防腐上。

②热处理对水果生理性病害的效果。采后热处理对水果贮藏期间出现的褐腐病和冷害等生理病害有明显的抑制效果。周春华等的研究表明，对锦橙、哈姆林甜橙用 40℃ 热空气处理 4~6h，贮藏 5 个月后使褐腐病率明显低于对照。Porat 等发现，葡萄柚在 53℃ 热水中浸泡 2min，60℃ 热水冲刷 2s，或 36℃ 热空气处理 3d，可降低 70%~90% 的冷害指数。同样，Rodov 等报道，经过热处理的葡萄柚、oroblanco 柑橘和柠檬在冷藏期间冷害指数显著减低。

(3) 提高热处理对水果采后病害防治能力的措施 热处理对果实具有潜在的破坏性，使用不当易造成失水，变色等伤害。把热处理与其他方法结合起来可以缩短热处理时间、避免热伤害和减少物理伤害，进一步提高热处理的防腐效果。

①热处理和化学试剂的结合。单独用杀菌剂时会污染环境，并危害人体健康。热处理

与杀菌剂结合起来可以提高防腐效果、提高杀菌剂的效力，而且降低试剂的浓度及用量、减少药物污染和防止冷害。Rodov 等发现热 imazalil 处理葡萄柚和柠檬后，腐烂率明显低于单独热处理。Schirra 等发现，用 1 200mg/L 涕必灵（TBZ）和含 200mg/L 的热涕必灵（50℃）分别喷 Star Ruby 葡萄柚有相同的抑菌效果，而且热的 TBZ 减低冷害指数比较有效。值得注意的是使用化学剂的用量随热处理温度、时间及水果的品种而异。

②热处理和保鲜包装的结合。保鲜包装与热处理结合可以提高热处理的抑制效果，提供饱和水环境，保护水果免受高温伤害。Rodov 等发现热处理后，再把每个水果用聚乙烯包起来，可以防止水果腐烂感染，腐烂率明显低于单独热处理。

③热处理与生物拮抗菌的结合。生物拮抗菌是抑制水果腐烂，延长贮藏期的有效方法。将热处理与生物拮抗菌结合使用，可以结合两者的优势，起到很好的防治水果采后腐烂的作用。Wszclaki 等研究表明，将热水处理、气调和拮抗酵母 *Pichia guilliermondii* 结合使用，可以增强热处理抑制草莓霉变的效果。Huang 等发现，30℃ 的热处理和拮抗 *Pseudomonas glathei* 结合，可以刺激拮抗菌的生长，大大减低了腐烂率，抑制了指状青霉的生长，阻碍了病原菌孢子的萌发。大量研究表明，热处理能有效提高拮抗菌的抗菌能力。把热处理与拮抗菌结合使用，可以增强热处理的抑菌效果。热处理中的影响因素很多，树种、品种、成熟度和栽培条件等不同都会对热处理的方法、温度高低和时间长短提出不同的要求。热处理方法应用于商业生产还需要经过大量深入研究。随着对热处理技术研究的深入和不断的完善，热处理技术会在采后保鲜上发挥更大的作用。

2. 采后病害生物防治进展 借鉴采前作物病害生物防治的思路，人们提出了果蔬采后病害生物防治的设想。

（1）果蔬采后的防病途径 果蔬采后，病原微生物一般寄生性较弱，多数是从果蔬伤口或死组织侵染造成其腐烂变质的。水果和蔬菜又均属于组织柔嫩多汁，并含有一定糖分的产品，在采摘及储运过程中容易被损伤和变质，为病原微生物的入侵创造了条件。Wilson 和 Wisniewski 在分析果蔬病害发生特点的基础上，通过长期研究，提出果蔬采后病害生物防治的主要途径：①利用拮抗菌（包括拮抗细菌和真菌）的拮抗作用来控制病原菌；②诱导果蔬提高自身的抗病力来抵抗病原菌的侵染；③利用植物中有抗菌活性的次生代谢物质；④利用基因工程方法导入抗病基因，培育抗病品种。以上这些生物防治的方法具有不污染环境、无农药残毒、不产生抗药性和处理费用低廉等优点，引起国内外研究人员的广泛关注。

（2）利用拮抗菌控制果蔬采后病害 有关拮抗菌控制果蔬采后病害的研究工作始于 20 世纪 80 年代，至今已开始从实验室走向商业化应用，并有多项拮抗菌获得专利，是一项具有潜力的新兴技术。目前，已从植物表面和土壤中分离出了许多对果蔬采后病原菌具有拮抗作用的微生物。利用拮抗菌控制果蔬采后的病害，主要通过以下 3 种途径。

①提高果蔬表面已存在的拮抗菌的拮抗能力。Chalutz 和 Wilson 发现，清洗后贮藏的柑橘果实比未清洗果实的腐烂快得多。将浓柑橘洗果液进行接种培养，培养基中仅出现酵母菌和细菌；而将洗果液稀释后培养，则出现病原性霉菌。这说明柑橘果实上的酵母菌和细菌自发地抑制了病原菌的生长，洗果过程中清洗了附生拮抗菌而使果实易染病腐烂。迄