

植物病害生物防治

Biological Control of Plant Diseases

陈秀峰 张硕成 单卫星 编著

陕西人民教育出版社

S476
27

~~S476~~
25

植物病害生物防治

陈秀峰

张硕成 编著

单卫星

(陕)新登字 004 号

植物病害生物防治

陈秀峰 张硕成 单卫星 编著

陕西人民教育出版社出版发行

(西安长安路南段 376 号)

陕西省植物保护工作站微机室排版

凤翔县印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 开本 9 印张 200 千字

1993 年 1 月第 1 版 1993 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—1000

ISBN 7—5419—4298—7/G · 3729

定价:14.80 元

前 言

随着科学技术的蓬勃发展,化学农药使用量急剧增加,使用范围也在扩大,这无疑对控制病虫危害,保护农业生产发挥了重要作用。但是化学农药的大量使用也带来了许多副作用,剧毒、广谱性农药能使农田有害生物在短时间内几乎绝迹,同时也会使有益生物荡然无存,等到有害生物再度复生、猖獗,人们就显得束手无策了;高残毒农药的应用,使有毒物质在土壤、水源、生物体内等诸多方面大量累积,后患无穷;长期、单一使用某些化学农药和不坚持科学使用农药的方法,有害生物对农药的抗性迅速增长,甚至导致化学农药的经济价值完全丧失。

鉴于化学农药使用中出现了以上弊端,人们在同病虫害斗争中树立了经济学、生态学、环境保护学观点,提出了有害生物的综合治理,并把它逐渐应用于生产实践。生物防治就是有害生物综合治理的重要组成部分,这项技术目前在国际国内都有发展,但也存在着不平衡的问题。生物防治包括多个方面内容,就其目前的发展水平而言,植物害虫的生物防治从基础理论研究到生产应用、防治效果都远远超过了植物病害生物防治,这个问题在我们国内则更为突出。因此加速植物病害生物防治理论与生产应用研究工作,不仅是促使农业有害生物防治工作更加科学、完整、系统发展的重要内容,也是现代农业生产发展的需要。基于这个原因,我们在多年工作实践的基础上,结合收集国内外在这方面的最新研究与应用成果,整理编著了《植物病害生物防治》这本书,奉献给热心于植物病害生物防治工作的同行。我们没有点石成金之术,只能是抛砖引

玉,若能因此激起同仁志士对国内植物病害生物防治研究与应用工作的兴趣,我们将十分欣慰。

这本书是我们分工合作完成的,为了保持各部分的完整性,有些章节内容难免重复。最近几年国外植物病害生物防治研究发展迅猛,但国内发展缓慢,资料比较贫乏,因此,我们阅读了大量国外资料,对一些重大研究成果,应用实例资料进行了整理,收编入书,以求内容充实,使国内读者从中得到启迪。由于我们水平有限,时间仓促,故本书从内容和文字等方面肯定还会有许多不当之处,难免挂一漏万,恳请读者批评指正,使之臻于完善。

另外,在编写这本书之际得到了西北农业大学李君彦教授的热情鼓励和精心指导,谨此表示衷心感谢。

作者

1993年元月 于西安

目 录

1. 植物病害控制	(1)
1.1 现代农业与植物病害	(1)
1.2 现代农业植物病害控制措施	(3)
2. 植物病害生物防治概念与原理	(10)
2.1 植物病害生物防治的基本概念	(10)
2.2 植物病害生物防治的原理	(11)
2.3 植物病害生物防治的主要途径	(15)
3. 叶部病害生物防治	(17)
3.1 植物附生微生物	(18)
3.2 叶部病害生物防治策略	(22)
3.3 研究中存在的问题	(29)
3.4 研究方向	(35)
4. 植物根病的生物防治	(39)
4.1 根围的一般特点及其与微生物的关系	(39)
4.2 土传植物病原菌的一般特点	(43)
4.3 土传病害生物防治的一般途径	(47)
4.4 植物根病生物防治的应用现状	(58)
4.5 提高拮抗菌生物防治效果的途径	(60)
4.6 根病生物防治与综合防治	(75)
4.7 根病生物防治商业化应用的限制因素	(77)
4.8 结论与展望	(79)
5. 交叉保护作用	(83)

5.1 交叉保护相关概念及其可能机制	(84)
5.2 非致病菌对植物生长发育的影响	(86)
5.3 真菌病害中的交叉保护作用	(88)
5.4 细菌病害中的交叉保护作用	(104)
5.5 病毒病害中的交叉保护作用	(105)
5.6 存在问题与研究方向	(111)
6. 抑病土及其在病害生防中的应用	(113)
6.1 抑病土壤概述	(113)
6.2 抑病土的特性及其抑病机制	(117)
6.3 抑病作用的诱导	(131)
6.4 抑病土的开发应用	(143)
7. 木霉菌生态学及其在生防中的应用	(154)
7.1 木霉菌生态学	(154)
7.2 木霉菌的防病作用	(158)
7.3 研究趋势	(161)
8. 真菌寄生菌及其在病害生防中的应用	(163)
8.1 真菌寄生菌和植物病原菌间的相互作用	(164)
8.2 重寄生真菌的生防作用	(172)
8.3 应用重寄生菌生防的主要问题	(173)
9. 植物产后病害的生物防治	(175)
9.1 产后病害的一般特点	(176)
9.2 果实附生微生物与产后病害	(181)
9.3 拮抗菌的筛选原则	(183)
9.4 产后病害生物防治现状	(186)
9.5 产后病害生物防治的机制	(190)
9.6 植物抗菌物质的开发和利用	(192)
9.7 结论	(197)
10. 植物线虫病害的生物防治	(200)

10.1 捕食性生物对线虫的控制作用	(200)
10.2 寄生菌对线虫的控制作用	(203)
10.3 微生物代谢物对线虫的影响	(210)
10.4 理想的线虫生防菌应具备的条件	(212)
10.5 问题与讨论	(213)
11. 植物病害生物防治因子的遗传改造	(214)
11.1 生物防治因子的遗传改造方法	(214)
11.2 生物防治机制的遗传确定	(217)
11.3 提高拮抗菌生物防治效果的遗传途径	(221)
11.4 植物病原细菌的遗传改造	(226)
11.5 拮抗真菌的遗传改造	(231)
11.6 工程拮抗菌应用的限制因素	(233)
11.7 结论	(234)
12. 参考文献	(236)

1. 植物病害控制

1.1 现代农业与植物病害

在远古时期的地球上,生物圈所处的自然生态系统中,本来就不存在农业。农业的形成与发展仅仅是在人类出现之后,是人类改造自然的产物。特别是二十世纪以来,随着大工业的蓬勃兴起和科学技术的腾飞,农业的发展愈加迅速,一些地区生物圈的许多部分已经面目全非,自然生态系统让位于农业生态,生物间原有的自然平衡状态被打破,这种巨大变化的一个重要方面就是人类打破了植物与病原物之间正常的平衡关系,换言之,人已为植物病害严重发生提供了可能性。

在比较原始的自给自足农业时代,获得农作物稳产是首要目标。人类要求作物适应不同的栽培条件,故使用的农作物品种大多数是农民自选自留、种植多年的比较混杂的农家品种,其丰产性虽然不太理想,但经过长期的选择,适应性好,尤其是对病害具有明显的水平抗性;同时,原始的农业时代,生产力水平低下,水肥条件差,不利于病害发生,病害成灾机会少。在农业现代化进程中情况发生了变化。为了满足人们日益增长的物质需要,渴望农作物具有高产、优质等农艺性状,不仅成为广大农民的意愿,也是农业科技工作的首要任务。于是对农家品种改良,引入高产基因的农作物育种工作蓬勃发展,使农家品种本来具有的特性发生了剧烈变化,产量成倍增加。然而在诱导作物丰产基因的同时,也不免有意无意地丢弃了作物的部分抗逆基因,特别是那些抗病基因。结果在某些地区优良的丰产品种还未发挥作用,就因病害侵袭而一败涂地,几乎

难以生存。譬如,陕西省 1990 年关中地区小麦条锈病大流行,受灾小麦 300 多万亩,就包含着这个因素,当年西安市大面积推广种植了“西安九号”小麦品种,这个品种丰产性不错,条件有利年份在一些地区亩产可达 800 斤,甚至上千斤,但对条锈病表现为高度感病,这一年小麦条锈病猖獗,致使“西安九号”麦田“黄袍加身”,不少麦子绝收,该市因此减产小麦 1.2 亿斤。

我们还要注意的,病原菌和它们的寄主植物在自然界是相互依存,共同进化的。每当育成一个新的抗病品种,不久就会出现能够为害它的病菌新小种。例如:在我国北方小麦产区五十年代初期,碧玛一号、西北 54、西北丰收等小麦的推广,产量大幅度上升,也因此引致小麦条锈病生理小种 1 号出现。1955—1957 年条锈病大流行,碧玛一号等小麦毁于一旦;人们不得不放弃碧玛一号等小麦,去致力于研究推广陕农 1、2、3 号、农大 183 等,不久又出现条中 8、10 号生理小种,导致 1960—1962 年条锈病大流行;南大 2419 的种植,又使条中 13、16 号小种上升为害;丰产 3 号、泰山 1 号等小麦推广种植以后,又出现了条中 24、25 号条锈菌小种,1976 年后在这些小麦上流行危害,等等(李振岐、商鸿生,1989)。由此可以看出,小麦品种与条锈菌相互依存,协同进化的关系真有道高一尺,魔高一丈之势,这是因为人类在改良作物品种的同时,也被动的改良了病原菌。因此,永久性的抗病品种在现代农业的发展进程中几乎完全不存在。

为了耕作方便,现代农业又都大面积种植单一品种。追求高产,必然要推行高密度、高水肥等栽培措施,这些又成为病害严重发生的潜在诱导因子。一般来说,有利于寄主植物生长的栽培措施,也有利于病害的发生与为害。Yawood(1975)指出,减轻病害并不难,但是要降低作物产量,这种办法不是植物病理学工作者所追求的。我们只能知难而进,另辟蹊径,加强植物病理学与植物病害防治的研究。

我国幅员辽阔,土地肥沃,气候温和,人口众多,人均耕地面积较少,农民有精耕细作的传统经验,因此有必要把提高单产作为我们的主攻目标,这也是结合我国人多地少实际的唯一奏效的办法。在实践中提高复种指数,进行间作套种,推广地膜栽培等新的农业技术,使过去相对静态的农田小生态环境不断改变,必然为病害的严重发生创造了条件,增加了病菌传播蔓延的机会。正象近来农民所说“病越防越多,越治越重”,如陕西的小麦全蚀病、纹枯病、雪霉叶枯病、叶斑病、根腐病、雨锈病、白粉病、条锈病、散黑穗病、腥黑穗病、赤霉病,有些过去很少发生为害或已被控制,竟或认为是新病害,有些过去虽有发生,对生产的影响微不足道,但近来加重,成为严重威胁农业生产的主要病害就是这个道理。

1.2 现代农业植物病害控制措施

1.2.1 化学防治

在植物病理学发展史上,化学防治的发展最富有传奇色彩。十九世纪四十年代马铃薯晚疫病在欧洲大流行,导致爱尔兰 800 万人大饥荒,饿死 20 多万人,逃荒 160 多万人。惨痛的教训加速了植物病理学的延生;这个世纪八十年代波尔多液的发明和施用,解决了葡萄霜霉病这个当时的不治之症,为葡萄生产业做出了巨大贡献,也因此推动了植物病理学的飞速发展。顷刻间,施用杀菌剂似乎成了植物病害唯一的防治方法,甚至认为它就是植物病理学的全部内容。这个时期,人们为杀菌剂立竿见影的防病效果所震惊,显得十分乐观,认为病害防治问题从此可以解决了。到了本世纪四十年代,有机杀菌剂研制成功,六十年代以后又合成和施用了内吸杀菌剂。此时,杀菌剂的研制和应用取得了突飞猛进的发展。但是,随着杀菌剂在生产上的广泛应用,其对植物病害并不是万应灵丹

妙药,包医百病,它存在着很大的局限性。这时候才使人们清楚地看到应用杀菌剂所面临的困难和挑战。

一个多世纪以来所研制的杀菌剂多数是针对植物表面、种子外部带菌传播的病害的,可以说已基本解决了这类病害的防治问题;许多杀菌剂对气传真菌病害防效较好,但难以对付大多数土传真菌病害如根腐病、萎蔫病等;防治细菌性病害和类菌质体引起的病害的药剂很少;杀线虫剂的种类也比较单一,应用上也有一定困难。总的来说,杀菌剂对一些病害仍无能为力。

在杀菌剂由无机到有机,由保护性向内吸性发展过程中,新型杀菌,特别是单一靶点内吸性杀菌剂的应用,往往诱发病菌产生抗药性,所以许多杀菌剂的使用寿命短暂。据近年国内外资料报道,许多作物病害对杀菌剂产生了抗性,如三唑类杀菌剂在地中海各国抗性最高超过 100 倍,在我国一些地区黄瓜霜霉病对瑞毒霉抗性提高了 3700 倍。同时,许多杀菌剂价格昂贵,大大限制了它的应用。二次世界大战以来的环境污染问题是人们普遍关注的迫切需要解决的重大问题,在这方面化学农药是重要污染源之一。人类把自然界本来不存在的东西,特别是有毒物质加入农业生态系,对人类自身的生存不利,谁也不能保证某种杀菌剂对人是绝对无害的。通常的情况往往是这样,今天认为是无害的某种杀菌剂,过了若干年后,也许会发现它本来就是有害物质;或者由于它的长期使用,对自然界生物活动干扰,某种物质积累成害。众所周知,西力生、赛力散、六六六、DDT 等化学农药诞生之后,在全世界推广应用,对防治农作物病虫害建立了不朽功勋。然而,现在早已被人们视为威胁人类安全的罪魁祸首而被屏弃。因此许多杀菌剂的前途很难预料。当然,我们不能因噎废食,反对使用杀菌剂,相反我们仍然需要大力加强这方面的研究、试验、示范和推广工作。杀菌剂的发展和其它事物一样,必然要经过一个产生、发展和逐渐消亡的过程,取而代之的还会有控制作物病害的“新型杀菌剂”的诞生,那可能

就是植物代谢物质、植物抗性诱发剂、生物农药、生防增效剂等等。

1.2.2 栽培防治

栽培防治或称耕作措施防治,包括轮作倒茬、清除病残体等,其中多数是从农民传统的耕作经验总结出来的。它们的防病机理非常复杂,就轮作倒茬而言,有时能防病,而有时却会加重病害发生;连作一般有利于病害的发生与为害,但在有些情况下则可达到防病的目的;不同的轮作方式对病害的发生会产生根本不同的影响,只有对每一问题都进行深入细致、周密地试验研究,才能摸清它们的内涵,得出准确的结论。所以要想把栽培防治的那些措施完全、广泛、系统地应用于现代农业生产是有困难的。栽培措施是个整体,牵一发而动全身,某个措施不能轻易改变。植病工作者和植保技术推广人员都有这样的感受,每当谈及栽培措施,总是要列出几条,可是在实际应用中往往因为某些缘故,如农业基本条件,还有天时、地利等多种复杂问题存在,致使美好的愿望成为幻想,使人们感到沮丧。因此,植物病害防治理论上的一些问题尤其是理论与实践相结合方面的问题仍有待澄清,否则很难适应生产发展的需要。

1.2.3 抗病品种

应用抗病品种防治植物病害,是一条经济、安全、有效的途径,特别是现代育种学家,在培育高产、优质、耐肥水等农艺性状的品种的过程中,已经把抗病性列为重要筛选指标之一;应该充分肯定在一些重大病害如小麦锈病、水稻稻瘟病、棉花枯萎病等的防治中,抗病品种起了关键性作用。但也有一些病害,目前抗病品种还不能奏效,即就是有了抗病品种,对病害的控制作用也并非一劳永逸,正如第一章中论述的情况一样,不过是在一定时间、一定空间条件下的产物。况且,对于低等真菌所致的病害,一般很难培育出

比较理想的抗病品种,然而这类病害又非常之多。如苗病、果腐病、根腐病、黄萎病、赤霉病、树皮腐烂病、炭疽病、棉花铃期病害等。培育高等寄生菌的抗病品种,也因大多是垂直抗性或寡基因抗性品种,病菌易产生新生理小种,导致品种抗性迅速丧失。而多基因抗性或水平抗性品种,选育难度大,亦不易与其它优良农艺性状兼顾。对此,植物病理学、遗传学、育种学、病害流行学、生态学等学科通力合作研究,提出了许多引人入胜的育种方法来延长品种寿命,减轻病害流行为害,如推广多系品种、品种合理布局、循环使用抗病品种等,这些方法无可非议,要应用于生产并非一蹴可就。目前,抗病育种在理论上已找到解决问题的方法,但在实践上还需育种学家付出艰辛的努力。追求高质量、高效益的经济作物,如果树、蔬菜 and 某些特种作物的抗病品种往往不能为生产上所接受,主要是由于产量低、品质差,通过育种短期内不能解决问题。

1.2.4 生物防治

微生物是植物生态系或农业生态系的主要组成成员,植物或农作物生长是在微生物的海洋中,就是生长在自然环境中的植物或农作物,不可能不和微生物发生关系。其实,微生物和植物之间始终存在着复杂的关系。那么病原物同植物的关系不可避免地受微生物作用的影响。栽培措施就不可避免地通过影响植物周围微生物而起到防病作用。这种防病作用就是我们今天讲的生物防治的一种类型,所以说在远古时代人类已经无意识地运用了生物防治,可见生物防治本来是一种最古老的植物病害防治措施。

但是,人类应用科学手段进行植物病害生物防治这才是在本世纪初期开始的,Von Tubeuf,C. F. 于 1914 年首次将“生物防治”这一名词用于植物病原物上,早于在昆虫学中的应用。1919 年 Smith,H. S. 用生物防治描述一种生物对另一种生物的控制,同样排除了人的因素。首次利用微生物对植物病原菌的生物防治实验

是1926年Sanford在加拿大安大略省进行的,他在关于影响马铃薯疮痂病致病力因子的论文中,建议用绿肥防除马铃薯疮痂病,实际上就是一种生物防除办法,这篇重要文献1926年发表于美国植物病理学杂志,到了1931年Sanford和Broadfoot报道了小麦全蚀病的生物防治,也正是在这个时候,他们首次在植物病理学领域应用“生物防治”这个术语。至此,总算在植物病理学的一塘死水中出现了微生物作用的一点微波,但没有发生强烈振动。经过漫长的岁月,无数植物病理学前辈辛苦努力,终于认识到把微生物排斥于农业生态之外是不符合自然实际的,也不利于病害防治研究的逐步深化。这才算结束了唯病原学思想束缚的植物病理学发展的苦难历程,同时标志着生态植物病理学的兴起和植病生物防治的诞生。

按照K. F. Baker(1987)的观点,到目前为止植物病害生物防治的发展历史大致可以划分为两个阶段。

1965年以前为第一阶段,在此阶段,观察到许多生物防治现象,但是不系统,没有归纳总结。早在1874年,W. Roberts就已证实液体培养的微生物之间存在拮抗作用,根据灰绿青霉菌(*Penicillium glaucum*)和细菌的相互作用,在微生物学中引入“拮抗作用(antagonism)”这一名词;1908年,M. C. Potter首次报道植物病原菌可被其自身代谢产物所抑制。接着,E. Grossbard(1948~1952),J. M. Wright(1952~1957)等人相继证实了土壤中青霉菌(*Penicillium spp.*)、曲霉菌(*Aspergillus spp.*)、木霉菌(*Trichoderma spp.*)以及链霉菌(*Streptomyces spp.*)等产生抗生物质。此间,还开展了许多有关根围微生物、抑真菌作用(fungistasis)以及抑病性土壤的研究,发现了交互保护、弱致病性(hypovirulence)等现象;在病害防治上,综合防治也已开始引起注意。总之,在这一阶段生物防治研究已取得一系列重要成果,证实了许多观点,尽管当时并没有认识到其重要性,这些成果包括:(1)证实了植物病原菌

生物防治的存在,但其应用却受到怀疑;(2)证实土壤中栖居的和引入的拮抗菌均可降低病害发生;(3)发现通过改变土壤有机质水平、土壤温度和 PH 值,可调节土壤微生物的生态平衡;(4)发现许多土传病菌在土壤中的存活、传播以及对寄主植物的侵染需要营养;(5)发现土壤微生物对有限的养分存在竞争;(6)观察到一些微生物可以寄生另一些微生物的现象;(7)拮抗菌产生的抗生素在病菌生物防治中起一定作用;(8)观察到一些土壤对一些土传病菌存在天然的抑病性或经过长期连作而具有抑病性;(9)证明了抑病性土壤抑病性的可传导性,亦即通过转移抑病土可以使利病土表现抑病性;(10)发现超前接种植物病毒的弱毒株系可阻止毒性株系对植物的侵染;(11)发现用 CS_2 薰蒸土壤可控制柑桔根腐病 (*Armillaria mellea*),进一步的研究证明这一发现是综合化学和生物防治的结果。

在此期间还引入了一些重要的术语,如抗生作用 (antibiosis)、拮抗作用、抑病效应 (suppressive)、免疫性 (immunity)、生物防治以及保护性接种 (Protective effect inoculation) 等,并且对一些重要的原理进行了阐述。然而,生物防治始终没有受到应有的重视,直至 1958 年,在 V. R. Boswell 的倡导下,美国国家科学院——国家研究委员会正式建立了“土传植物病原菌生物防治委员会”,并且于 1963 年组织了为期一周、24 个国家、310 名代表参加的首届国际会议,从此植病生物防治作为一门新兴学科得到承认,吸引了越来越多的科学家从事该领域的研究,植病生物防治日趋成为植物病理学的热门研究领域,这可以从科技论文数量和国际会议的频繁召开得到一定的反映。

1965 年以后至今是植病生物防治发展的第二阶段。在这一阶段, A. D. Rovira 等人对植物根系分泌物在调控根围微生物中的重要性研究,以及 T. G. Atkinson 等人 (1975) 对寄主植物的基因型专一地调控根围细菌的数量和类型的证实,为通过抗病育种方

法控制植物病害提供了一条新线索。在应用方面,G. W. Bruehl 及其同事(1969)证实了抗生物物质在土壤中存在并且具有重要作用;T. Kommedahl 等人(1975~1981)用生长速度很快的真菌处理一些作物种子成功地解决了一些作物的种腐和苗期病害;T. V. Suslow 和 M. N. Schroth(1982)指出了根围有害细菌的存在,对这类植物体外致病菌的认识是植物病理学研究领域的一大进展(Baker, 1987),为根围有益促生细菌(增产菌)的大规模开发利用奠定了基础。在应用基础研究方面,深入开展了拮抗作用机制、抑病性土壤、根围微生物生理生态学机制、植物——微生物相互作用关系等研究,并就胁迫作用对根围微生物的影响作了大量工作。此间,生物防治在理论上也发生了很大变化,出现了许多学说和假说,呈现百家争鸣的局面,总之,在宏观上认识到利用生态学方法研究生物防治乃至植物病理学的重要性,微观上在生化、分子水平上深入研究病害发生的本质和生物防治机制,以及利用现代分子生物学方法遗传改造拮抗菌,推动生物防治的商业化应用进程。进入八十年代以来,病害防治研究的焦点开始由抗病品种利用和化学防治逐渐转向生物防治,1977 年美国植病年会上有关病害防治的论文占 17%,其中生物防治仅占 2%,抗病品种利用和化学防治分别占 8%和 7%;1988 年年会上有关病害防治的论文占 14%,其中植病生物防治已达到 60%,抗病品种利用和化学防治则各降至 4%(Weinhold, 1989)。

☆ 但是,生物防治也有其局限性,这是不容回避的一个问题。①和现代农业中的现代技术相比,目前还缺乏或没有经济上的竞争性;②在自然条件下,其防病效果较差。③人们对病害生防的信心不足。然而,生物防治是顺应自然规律的防病措施,这个领域将是人类控制植物病害最理想、最诱人的重要途径,其前途是光明的。