

我国植物病害生物防治的现状与发展策略

邱德文

(中国农业科学院植物保护研究所, 农业部生物防治重点开放实验室, 北京 100081)

摘要 植物病害生物防治是利用有益微生物和微生物代谢产物对农作物病害进行有效防治的技术与方法, 本文介绍了我国在生物农药资源筛选评价体系、基因工程、发酵代谢工程等方面取得的可喜进展和研制出的多种高效植物病害生物防治药物; 提出未来 5~10 年, 植物病害生物防治学科领域主要工作是集成现代科学技术, 进一步明确不同生防因子控制植物病害的分子机制, 加强国际合作与交流, 建立有关领域共享技术的合作研究平台, 提高植物病害生物防治的基础与应用基础研究水平; 指出植物病害的生物防治是保障食品和环境安全的重要措施, 对国家可持续农业的健康发展具有重大的战略意义。

关键词 植物病害; 生物防治; 发展策略

中图分类号: S 476 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.0529-1542.2010.04.004

Current status and development strategy for biological control of plant diseases in China

Qiu Dewen

(Key Laboratory for Biological Control of Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Biological control of plant diseases is the effective techniques and methods using beneficial microorganisms and microbial metabolites against crop diseases. This article describes the gratifying progress in resources of the biological pesticide screening and evaluation system, genetic engineering, fermentation and metabolic engineering in China, and a variety of effective biological pesticides against plant diseases have been developed. In the next 5 to 10 years, the main areas of biological control is to integrate modern science and technology, further clarify the molecular mechanisms of different biological control of plant diseases, enhance international cooperation and communication. It is necessary to establish the technical cooperation platform and improve the basis and application research in biological control of plant diseases. Biological control of plant diseases is the important measures in food and environmental safety, which have great strategic significance in national sustainable agriculture.

Key words plant diseases; biological control; development strategy

1 植物病害生物防治的主要内容与特点

植物病害生物防治是利用有益微生物^[1]和微生物代谢产物^[2]对农作物病害进行有效防治的技术与方法^[3]。目前, 用于植物病害生物防治的生防因子很多, 包括拮抗微生物、抗生素和植物诱导子等。微生物种类繁多, 主要有细菌、真菌、放线菌和病毒。这些生防菌控制植物病害的机制主要有: ①与病原菌竞争生态位和营养物质; ②分泌抗菌物质; ③寄生于病原菌; ④多种生防机制对病原菌的协同拮抗作

用; ⑤诱导寄主植物产生对病原菌的系统抗性 (ISR); ⑥促进植物生长, 提高植物的健康水平, 增强其对病害的抵御能力; ⑦对寄主植物微生态系进行微生态调控, 实现对植物病害的防治。

目前在生产上广泛应用的真菌有木霉、毛壳菌、酵母菌、淡紫拟青霉、厚壁孢子轮枝菌及菌根真菌等^[4]。细菌主要有芽胞杆菌、假单胞杆菌等促进植物生长菌 (PGPR) 和巴氏杆菌等。放线菌主要有链霉菌及其变种产生的农用抗生素。其他还包括病毒的弱毒株系, 病原菌的无致病力的突变菌株等。近

年来,研究利用植物免疫诱导药物如壳寡糖和微生物蛋白激发子控制植物病害也取得了一定的进展。

植物促生菌(plant growth-promoting rhizobacteria, 简称 PGPR)作为最具防病潜力与应用价值的一类生防菌,不仅能够促进植物生长,增加作物的产量,还能提高防病能力,因而成为许多学者研究的热点对象。目前,研究较多的是假单胞杆菌和芽胞杆菌属,如荧光假单胞杆菌(*Pseudomonas fluorescence*)、丁香假单胞菌(*P. syringae*)、洋葱假单胞杆菌(*P. cepacia*)和恶臭假单胞菌(*P. putida*)等。由于其具有营养要求简单、繁殖速度快以及根际定殖力强等独特优点,成为 20 多年来研究报道最多,最具防病潜力和应用价值的一类生防菌^[5]。

诱导子作为植物病害生物防治因子具有以下优点:(1)作用机理是诱导植物本身的抗性,对病原菌无直接作用,因此不会产生病原菌的抗药性问题。(2)诱导子诱导抗病性具有高效性,一般在 nmol/L 水平即可诱导植物产生抗病性,具有用量低、高效的特点。(3)诱导子诱导植物抗病谱广、持续时间较长,可以减少化学农药的使用量,因而符合环境保护的需要。(4)诱导子与植物识别后调动植物固有的防御机制来抵抗病原菌的侵染,可以针对病原菌的所有小种,因此,可以解决由于病原菌小种变异而引起的品种抗病性丧失问题。诱导子作为植物免疫诱导药物具有良好的应用前景^[6],符合农业可持续发展和环境保护的重大需求。目前,研究者对诱导子诱导植物的免疫机理已有初步认识,但由于激发植物抗病过程比较复杂,尚有很多科学问题需要进一步研究和解答。如受体与信号转导联系的机制还不清楚,研究激发子诱导植物抗性机理,对发展植物免疫学理论,揭示植物-病原-激发子的互作关系^[7],具有重要的理论指导意义。

2 国内研究现状与存在差距

新中国成立以来,特别是改革开放 30 年以来,我国植物病害生物防治受到了国家及相关部门的高度重视,研究深度和广度逐年增加,并取得了长足的发展^[8]。通过建立新的筛选体系,获得了一批高效的生防微生物资源,明确了主要作用方式和功能物质;通过基因工程菌株的构建,涌现一批新的生防工程菌株并表现出较好的利用前景。拮抗微生物包括

拮抗细菌和真菌成为植物病害防治的主要微生物资源。

生防菌木霉已广泛应用于防治蔬菜根腐病等土传病害。木霉除了已明确的重寄生、竞争、抗性作用生防机理外,还发现木霉可定殖在植物根系组织内,与植物形成共生体(symbionts),在互作区产生生物活性分子,诱导植物发生局部的系统抗病性。还能诱导植物蛋白质组变化,促进作物营养吸收和生长,提高作物产量。

我国农用抗生素研究处于世界先进水平^[9]。我国是世界上生物农药井冈霉素和生物调节剂赤霉素的 最大生产国,年产值均超过 1 亿元。农用链霉素、农抗 120、苦参碱、多抗霉素、中生霉素等产业化品种,已成为我国生物农药产业的中坚力量,用来防治水稻纹枯病、禾谷类作物黑穗病、西瓜枯萎病和炭疽病等。我国在抗生素生物合成相关基因的克隆以及基因代谢调控方面取得了一定的研究进展,对进一步提高抗生素产量起到了积极的推动作用。

尽管我国在植物病害生物防治方面取得了一批研究成果,但仍存在诸多问题^[11],具体表现在:

(1)我国生防微生物资源丰富,但缺乏理想的、针对不同靶标的优良菌株筛选模型和评价体系,少有生防资源系统筛选的研究,很多进行田间试验甚至登记产品的菌株是随机或很小范围内选出的。

(2)缺乏植物病害生物防治的生态学研究。以接种方式引入的生防微生物在植物根际的定殖是生物防治取得成功的关键,但由于难以对外源引入土壤的生防菌进行跟踪定位和定量分析,对这些微生物的生态特征缺乏了解,严重阻碍了相关的研究,如亟待解决根际中生防菌-致病菌(线虫)-植物三者的相互关系问题。分子标记、绿色荧光蛋白基因和实时荧光定量 PCR 为该领域的研究提供了有力的工具。

(3)许多生防产品的作用机理尚不明确,导致应用效果不稳定。

(4)许多生防菌功能物质、定殖规律和作用机理不明确,影响其充分发挥作用。随着植物病害生物防治研究的不断深入,世界各国都纷纷设立了专门的研究机构,如英国农作物研究所,自然资源研究所(natural resources institute)和国际农业生物科学与信息中心(CABI)。这些研究所都涉及植物病害生物防治的研究内容,如植物病菌(原核生物、病毒

和真菌)控制和寄主植物与带菌者相互作用的研究;马铃薯孢囊线虫的生物防治及综合治理、可持续农作物保护的生物化学方法研究等。我国植物病害生物防治研究经过多年的发展,在国家主管部门的扶持下,发展步伐逐年加快,在特异微生物选育技术、菌株遗传改造、生防农药作用机理以及代谢调控机理等方面取得了一定的研究进展。

3 产业需求趋势与重点研究领域

我国目前登记注册的生物农药品种接近 140 多种,但用于植物病害生物防治的品种数量不多,仅有井冈霉素、赤霉素,这些品种的研究基础工作扎实,在作用机制、发酵代谢机理、安全性及评价标准、剂型加工理论等方面的研究较为深入,而其他品种由于基础研究不够深入,产品尚未达到本身应该能达到的效果,市场难以做大。因此需要开展已有重要生物农药品种的评价,对确有潜力的生物农药要加强基础研究,提高产品竞争力,以适应国内外市场经济的发展和需要。

利用生物农药控制植物病害是生物防治的重要措施,但创制新生物农药的研究周期较长,从菌株筛选到工厂化规模生产,达到农药登记要求一般要 10 年时间。因此要有一个稳定的项目支持体系,目前 3~5 年滚动项目申报方式,不利于科研人员专心攻克技术难题。另外,要加强重视对我国生物防治资源的挖掘、保护和利用研究。我国生物防治资源丰富,通过资源筛选、评价,将会不断发现新的高效生防作用物,为应用提供丰富的基础材料,进而提高生物防治技术在综合治理中的竞争能力。多学科结合是促进我国植物病害生物防治学科发展的重要保障。植物病害生物防治学科与真菌学、细菌学、病毒学、线虫学、植物学、植物生理学、生理生化、微生物学、遗传学、作物学、分子生物学、生态学和气象学等学科有密切关系。我国植物病害生物防治研究主要集中在农业科学研究所和农业大学,要鼓励遗传工程、发酵工程、生物技术和微生物学等方面的工程技术人员与生防领域科研人员多学科的结合,提升我国植物病害生物防治的理论水平和加快相关产品的研发进程。

4 促进植物病害生物防治的发展策略

为了保障植物病害生物防治学科领域的发展,

除了政府要重视基础研究外,还应制定法规限制农药残留超标的蔬菜水果等农产品上市,严格执行上市农产品化学农药残留量检查,用行政手段来引导生产者自觉使用包括生物防治技术在内的无公害生产技术。政府应加强农业安全生产与产品安全性的全民教育,使生物防治技术的应用成为生产者的自觉需求。植物病害生物防治基础研究最终目的是为了提高产品产量和质量,促进产业化发展。为了促进生物防治产品的产业规模化,打造龙头企业,国家应鼓励企业与科研单位联合,提升生物农药生产企业的整体技术水平。鼓励企业与科研单位联合建立研发中心,对研究资金采取减免税收或贴息贷款等扶持政策。生物农药登记要参照发达国家登记注册规定,并结合中国国情,针对生物农药不同门类的特性,制定符合不同种类生物农药登记的相应标准,加快生物农药的商品化进程。

在人才队伍方面,我国在植物病害生物防治研究领域已经形成了以两院院士、国家突出贡献专家、跨世纪学科带头人领衔,以中青年科技人员为主体的科研梯队,具有较强科研创新能力、实践经验丰富,为走向世界、参与国际竞争提供了人才条件。在生物农药资源筛选评价体系、基因工程、遗传工程、发酵代谢工程等方面取得了可喜的研究进展,并形成了多种高效的植物病害生物防治药物,成为农业高新技术产业中增长最快、潜力巨大、技术密集度最高、竞争最激烈的核心领域之一。我国一直保持着一支植物病害生物防治的科研队伍,在一些重要生防微生物的作用机理、调控机理等基础研究方面取得了重要的研究成果,在科学技术方面积累了一定的研究基础。另外,近几年在国家重大项目的资助下,一些生物防治产品的转化技术日渐成熟,通过进一步深化研究将会形成具有一定市场潜力的重大产品。

5 未来 5~10 年本学科开展国际合作的需 求和优先领域,以及对加强国际合作与交 流的政策需求和保障措施

近年来,我国植物病害生物防治发展迅速,结合欧美和俄罗斯等国生物防治研究历史悠久、资源丰富等特点,建议加强国际合作与交流,重点在生防资源挖掘利用、资源共享、高新技术在植病生防中的应用等方面,双方发挥各自的优势并为他方所用。中

外有关专家每年进行短期的科技人员互访及学术交流,双方专家共同商讨合作进行植物病害生物防治研究事宜,建立适合于双方的研究平台。

优先发展的领域:

(1) 高效新型植病生防因子(细菌、真菌、弱毒菌株、抗生素、蛋白质、多糖)的筛选和开发,生防功能基因的挖掘和利用^[10];创制高效安全基因工程复合生物杀菌剂。

(2) 农用抗生素生物合成基因改造技术研究。筛选、改造抗生素工程菌,提高有效活性物质的组分,研制新型杂合抗生素,建立产品质量控制标准。

(3) 高活性抗病丝状真菌基因工程菌及转化体系的研究。提高丝状真菌的抗病活性和扩大抗病作用谱,研制高活性多功能抗病真菌及工程菌株制剂。

(4) 新型微生物农药创制与发酵工程技术研究。构建高活性基因工程菌株,优化发酵工程技术,提高有效活性物质产率;研究突破真菌农药发酵、分离工业化生产技术瓶颈。

(5) 新型高效多功能蛋白质农药研究^[11]。克隆新型高活性防病的药物蛋白基因,构建高效表达蛋白质药物的基因工程菌株;研究药物蛋白发酵、分离和提取工艺;研究产品剂型。

(6) 生防因子作用的分子机理,研究植物、病原菌和生防因子之间的互动,分子检测技术在植病生防检测中的应用。

6 未来 5~10 年植物病害生物防治学科领域的发展布局、优先领域以及与其他学科交叉的重点方向

未来 5~10 年,植物病害生物防治学科领域主要是集成现有科技力量,深入研究生防因子的作用机理,明确作用物的抗病防病机制,进一步明确不同生防因子控制植物病害的分子机理,提高植病生防的理论水平和应用效果,为研制高效、具有自主知识产权的生物防治新产品提供理论基础。改变过去“一对一”的生物学研究,开展生态调控机理研究,从整个植物病害发展过程和成灾机理过程,探讨植物病害生态控制机理;利用植物本身存在的抗性,通过诱导作用机理研究,提高植物抗病性,减少化学农药施用量,保障农产品和环境安全。

(1) 根际微生物对植物土传病害的拮抗机理和调控植物对病害抗性的作用机制。针对我国农业重大植物病害成灾机理,利用功能基因组学和代谢组学技术,研究靶标识别分子的作用方式和机理。

(2) 抗生素生物合成和基因调控研究。通过微生物代谢分子调控机理研究,进行抗生素及其衍生生物的定向调控,结构改造。

(3) 生防微生物的遗传改造。通过微生物生物学、遗传学研究,利用基因操作改良菌株。

(4) 建立资源发掘、评价技术体系研究平台。挖掘一批有药用前景的基因资源,实现源头创新,为农业生物药物的长远发展提供技术储备。

(5) 分析鉴定诱导植物抗病功能物质的主要活性成分,挖掘、克隆功能物质生物合成的主要基因,并研究其遗传调控的分子基础;寻找诱导植物免疫的靶标受体;明确植物免疫的信号转导途径及信号分子的重要传递网络,揭示功能物质诱导植物免疫的分子机制。

未来 5~10 年植物病害生物防治学科重点方向:

(1) 基于基因组学、生物信息学和化学基因学等学科的基本理论和方法,以化学基因学、分子生物学和生物技术等新理论新方法为手段,创建生物药物的基因靶标设计和高效筛选技术。

(2) 研究或挖掘农业生物药物资源,应用生物芯片技术和蛋白组学方法,实现基因靶标的高通量筛选,有效预测新化合物功能,设计新型先导生物活性结构。

(3) 利用计算机模拟分子设计技术,分析构效关系,设计具有高效农业生物药物活性的分子。

(4) 基于蛋白质组学技术进行蛋白质结构与功能、表达与调控和蛋白质修饰等关键技术研究,运用蛋白质生物信息学技术实现蛋白质药物的基因改造和蛋白质药物的分子设计。

(5) 通过 RNA 干扰,基因调控研究生防微生物次生代谢生物药物相关基因的时空表达,降低特定代谢途径上重要基因的表达水平或阻断竞争性代谢支路,为农业生物药物制备构建代谢捷径。

(6) 构建重大农用抗生素品种的高效遗传菌株;进行农用抗生素生物合成关键酶基因的克隆及功能鉴定,建立农用抗生素的安全性评价和质量标准鉴定体系。

- [19] Wen Z M, Scott J G. Cross-resistance to imidacloprid in strains of German cockroach (*Blattella germanica*) and housefly (*Musca domestica*) [J]. Pesticide Science, 1997, 49 (4): 367-371.
- [20] Sone S, Tsuboi S, Otsu Y, et al. Mechanisms of low susceptibility to imidacloprid in a laboratory strain of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén [J]. Journal of Pesticide Science, 1997, 22(3):236-237.
- [21] 高保立. 灰飞虱抗药性及其机理研究[D]. 南京:南京农业大学, 2008.
- [22] 王利华, 刘艳荷, 方继朝. 灰飞虱对毒死蜱的抗性风险评估、抗性遗传及交互抗性[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(1):73-78.
- [23] Scott J G. Investigating mechanisms of insecticide resistance: method, strategies and pitfalls[M]//Roush R T, Tabashnik B E. (ed.), Pesticide Resistance in Arthropods. New York & London: Chapman and Hall, 1990:39-57.
- [24] Liu N, Yue X. Insecticide resistance and cross-resistance in the house fly (Diptera: Muscidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2000, 93(4):1269-1275.
- [25] Hama H. Notes on insecticide resistance of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén (Hemiptera: Delphacidae)[J]. Journal of Applied Entomology and Zoology, 1984, 28(3):176-179.
- [26] Endo S, Tsurumachi M. Insecticide resistance and insensitive acetylcholinesterase in small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*[J]. Journal of Pesticide Science, 2000, 25(4): 395-397.
- [27] 唐振华, 吴士雄. 昆虫抗药性的遗传与进化[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2000:129-156.
- [28] 吕梅, 沈晋良, 郑周菲. 棉铃虫对丙溴磷抗性遗传特性及相对适合度研究[J]. 棉花学报, 2004, 16(6):333-337.
- [29] 慕立义. 植物化学保护研究方法[M]. 北京:中国农业出版社, 1994:130-145.
- [30] 孟香清, 芮昌辉, 赵建周, 等. 抗三氟氯氰菊酯棉铃虫种群相对适合度研究[J]. 植物保护, 1998, 24(6):12-14.
- [31] 刘凤沂, 须志平, 薄仙萍, 等. 昆虫抗药性与适合度[J]. 昆虫知识, 2008, 45(3):374-378.
- [32] 沈卫新, 祝增荣, 朱明泉, 等. 杀虫剂对稻飞虱高龄若虫的防治效果及对蜘蛛的杀伤率测定[J]. 植物保护, 2008, 34(4): 155-158.
- [33] 周彤, 范永坚, 程兆榜, 等. 水稻抗条纹叶枯病鉴定方法的研究[J]. 植物保护, 2008, 34(6):77-80.
- [34] 王华弟, 陈剑平, 祝增荣, 等. 浙江北部水稻条纹叶枯病的发病流行规律[J]. 植物保护学报, 2007, 34(5):487-294.
- [35] 徐广春, 顾中言, 徐德进, 等. 五种常用杀虫剂对灰飞虱繁殖力的影响[J]. 植物保护学报, 2008, 35(4):361-366.
- [36] Prabhaker N, Toscano N C, Perring T M, et al. Resistance monitoring of the sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) in the imperial valley of California[J]. Journal of Economic Entomology, 1992, 85(4):1063-1068.
- [37] Wang Y H, Gao C F, Zhu Y C, et al. Imidacloprid susceptibility survey and selection risk assessment in field populations of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae)[J]. Journal of Economic Entomology, 2008, 101(2):515-522.
- [38] Wu A, Sun X, Pang Y, et al. Homozygous transgenic rice lines expressing GNA with enhanced resistance to the rice sap-sucking pest *Laodelphax striatellus* [J]. Plant Breeding, 2002, 121(1):93-95.

(上接 18 页)

(7)采用现代发酵工程和代谢工程技术,研究微生物定向发酵调控工艺(如厚垣孢子和分生孢子生产工艺),提高生物产量(产孢率);建立优化的发酵、增殖生产工艺技术,提高有效活性物质生产率。

参考文献

- [1] 马成涛, 胡青, 杨德奎. 土壤有益微生物防治植物病害的研究进展[J]. 山东科学, 2007, 20(6):61-66.
- [2] 张俊华. 微生物代谢产物作用于植物的研究探讨[J]. 生命科学, 2007, 11(4):44-47.
- [3] 邱德文. 我国生物农药现状分析与发展趋势[J]. 植物保护, 2007, 32(5):27-32.
- [4] 梁建根, 施跃峰, 竺利红, 等. 植物病害生物防治的研究现状[J]. 现代农业科技, 2008(18):158-189.
- [5] 刘晓光, 高克祥, 康振生, 等. 生防菌诱导植物系统抗性及其生化细胞学机制[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8):1861-1866.
- [6] 邱德文. 微生物蛋白农药研究进展[J]. 中国生物防治, 2004, 20(2):91-94.
- [7] 梁元存, 刘爱新, 商明清. 激发子诱导植物抗性的作用机制[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(5):442-445.
- [8] 赵毅, 黎娟, 贺红周. 生物农药应用现状及发展建议[J]. 现代农业科技, 2010(3):217-218.
- [9] 蒋细良, 李梅. 我国农用抗生素研究的历史、现状及展望[M]//杨怀文. 生物防治创新与实践. 北京:中国农业出版社, 2009:137-144.
- [10] Yang Xiufen, Qiu Dewen, Zeng Hongmei, et al. Purification and characterization of a glycoprotein elicitor from *Alternaria tenuissima* [J]. World Journal of Microbiology, 2009, 25: 2035-2042.
- [11] Qiu Dewen, Mao Jianjun, Yang Xiufen, et al. Expression of an elicitor-encoding gene from *Magnaporthe grisea* enhances resistance against blast disease in transgenic rice[J]. Plant Cell Reports, 2009, 28(6):925-933.