

综述

烟草黑胫病化学防治的历史与现状

汪汉成¹, 李文红², 冯勇刚¹, 石俊雄¹¹ 贵州省烟草科学研究所, 贵阳 550081; ² 贵州省植物保护研究所, 贵阳 550006

摘要: 从早期保护性铜制剂、硫代氨基甲酸盐类、取代苯基类等到内吸性的烷基磷酸盐类、氨基甲酸酯类、苯基酰胺类、氰基乙酰胺类、二硝基N-酰苯胺类、Strobilurins 类和羧酸酰胺类杀菌剂, 回顾了烟草黑胫病化学防治药剂的历史, 并对各类药剂的作用机理、在烟草黑胫病防治中的应用情况、以及烟草黑胫病菌对其抗药性发展状况进行了综述。

关键词: 烟草黑胫病; 化学防治; 作用机理; 抗药性

doi: 10.3969/j.issn.1004-5708.2011.05.017

中图分类号: S 43

文献标识码: A

文章编号: 1004-5708(2011) 05-0096-07

History and current status of chemical control of tobacco black shank

WANG Han cheng¹, Li Wen hong², Feng Yong gang¹, SHI Jun xiong¹¹ Guizhou Tobacco Institute, Guiyang 550081, China;² Guizhou Plant Protection Institute, Guiyang 550006, China

Abstract: The history of chemical control of tobacco black shank was reviewed from early protective chemicals such as Cu-based, dithiocarbamates, chloroisophthalonitriles to systemic phosphonates, carbamates, phenylamides, cyanoacetamide oximes, dinitroanilines, strobilurins and carboxylic acid amides. The function mechanism of these chemicals, their application in tobacco black shank prevention, and development of resistance were also summarized.

Key words: tobacco black shank; chemical control; fungicide resistance

烟草黑胫病菌(*Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* (Breda de Haan) Tucker) 是引起烟草黑胫病的唯一病原, 为害包括烤烟、晾烟、晒烟、香料烟、白肋烟等所有栽培烟草, 可在烟草的任何生育阶段侵染为害。它是全球性的, 危害性极强的卵菌病害之一^[1]。烟草黑胫病是典型的土传病害。由于长期连作, 烤烟土传病害的控制难度加大, 已涉及到我国很多烟区。它通常导致烟叶减产、烟叶质量的下降、烟农经济利益受损, 并影响卷烟工业的发展。

目前烟草黑胫病实际有效的防治措施通常以栽培管理、抗病品种及化学防治为主^[1-3]。其中抗病品种多因‘抗性基因变异或丧失’而失去抗病性。化学防治具有简便、经济、高效等优点, 一直是烟草黑胫病防治上不可或缺的重要部分, 特别是在病害大流行的时期。化学药剂的发展史从某种程度上可以看出烟草黑胫病

药剂防治的历史。就其历史进行回顾与总结, 对植物病害化学防治技术的发展有重要的理论和实践意义。目前国内外尚未见系统论述。本文回顾了烟草黑胫病化学防治的历史, 介绍了主要防治药剂的作用机制、及其与抗药性研究现状, 旨在为我国烟草生产实践和科学研究提供参考。

1 烟草黑胫病的化学防治历史

1.1 保护性药剂

1.1.1 铜制剂(Cu based Chemicals) 自 1882 年 Millardet 发现波尔多液(Bordeaux mixture) 对葡萄霜霉病具有杀菌活性至今, 铜制剂用于防治包括烟草黑胫病在内的卵菌病害已有 100 多年的历史, 是杀菌剂发展史上的里程碑^[3-4]。早期的铜制剂包括硫酸铜(Cupric sulfate)、王铜(Copper oxychloride) 和波尔多液等(表 1)。然而, 古老的铜制剂在使用中会对部分作物产生药害。随着科技的进步, 人们从安全性着手对铜的加工技术进行了深入的研究, 对作物安全性高的铜制剂也不断出现。目前生产上成功的含铜化学药剂有: 美国杜邦

作者简介: 汪汉成, 博士, 副研究员, 从事烟草植保及微生物学研究, E-mail: xiaobaiyang126@hotmail.com

基金项目: 贵州省科学技术基金(黔科合J 字[2011] 2337 号)

收稿日期: 2010-12-20

公司的可杀得(氢氧化铜)可湿性粉剂,日本株式会社的加瑞农(氧氯化铜)、春雷霉素(Kasugamycin)可湿性粉剂,瑞士先正达公司的靠山(氧化亚铜)水分散剂,北京市东旺农药厂的络胺铜水剂等。

1.1.2 硫代氨基甲酸盐类(Dithiocarbamates) 硫代氨基甲酸盐类杀菌剂的出现增加了杀菌剂对作物的安全性,对烟草黑胫病的防治起到了重要作用^[9]。主要品种有代森锰(Maneb)、代森锌(Zneb)、代森锰锌(Mancozeb)、代森联(Metiram)、福美双(Thiram)等(表1)。它们除对卵菌病害有效外,对大部分植物病害都具有较好的防治效果。这类药剂具有叶面保护作用,可抑制卵菌病菌游动孢子的释放和孢子的萌发,不易产生抗药性;然而它们仅保护植物用药部位,毒力低,残效期短,不耐雨水冲刷,需要高剂量多次施药,且防治土传病害和果木病害效果很差。因此,此类药剂防治烟草黑胫病必须在病害侵染之前使用。具有此特点的化学杀菌剂还有取代苯基类的百菌清(Chlorothalonil)、二甲酰亚胺类的克菌丹(Captan)、灭菌丹(Fopet)、三苯锡类化合物(Triphenyltins)等。

1.2 高效内吸性杀菌剂

内吸性卵菌杀菌剂通常可以被植物吸收并在体内传导,有些具有保护植物新生组织和铲除作用。此类杀菌剂主要包括烷基磷酸盐类(Phosphonates)、氨基甲酸酯类(Carbamates)、苯基酰胺类(Phenylamides)、氰基乙酰胺类(Cyanoacetamide oximes)、二硝基N-酰苯胺类(Dinitroanilines)、Strobilurins类、羧酸酰胺类(Carboxylic acid amides)等(表1),分别介绍如下。

1.2.1 烷基磷酸盐类 乙磷铝(Phosethyl-Al)是第1个在植物体内能通过共质体向顶、向基双向传导的内吸性杀菌剂,它通过筛管向下传导的能力更强。由于它具有很好的治疗作用和内吸性,在植物体内传导能力很强,尤其是向下传导,因此通过叶面喷雾可有效控制烟草黑胫病^[5-9]。但乙磷铝在土壤中稳定性差,持效期较短,适合与持效期长、具有协同作用的杀菌剂混用或混配。

1.2.2 氨基甲酸酯类 常用的氨基甲酸酯类化合物有硫菌威(Prothiocarb)和霜霉威(Propamocarb)。硫菌威能够被植物根部强烈吸收,易被植物代谢成无毒化合物,在土壤后半衰期59-144 d,被土壤有机质强烈吸附,移动性差^[7]。霜霉威是一种可用于土壤处理的内吸性杀菌剂,低毒、安全,具有较好的局部内吸作用;处理土壤后能很快被根系吸收并向上输送至整株植物,对土传疫霉有较好的防治效果;茎叶喷雾处理后能被叶片迅速吸收起到保护作用^[8-9]。它仍然是我国目前

烤烟产区烟草黑胫病防治的主要药剂之一。

1.2.3 苯基酰胺类 此类药剂是70年代末、80年代初发展起来的一种杀菌剂,具有杀菌活性高,残留低,内吸性强,可被植物迅速吸收并在植物体内运转等特点。常见的商品有甲霜灵(Metalaxyl)、精甲霜灵(Metalaxyl-M)、呋霜灵(Furalaxyl)、苯霜灵(Benalaxyl)^[10-12]、呋酰胺(Gurace)、恶霜灵(Oxadixyl)^[13]、噁霜灵(Cyprofuram)^[14]等。最具代表性的是甲霜灵,它对卵菌游动孢子的释放、萌发和侵入的抑制作用不明显,但能抑制病菌侵入植物后病害发展的各个主要阶段,如抑制菌丝在植物体内的生长、吸器形成及孢子囊的产生,而且可以被植物的根、叶和梢迅速吸收,并通过导管和细胞间隙等非生活空间系统向植株上部转移。这类杀菌剂至今仍在卵菌病害防治中发挥着极其重要的作用,是目前国内烤烟产区烟草黑胫病防治中使用的卵菌病害防治药剂中活性最高、使用量最大的一类杀菌剂。

1.2.4 氰基乙酰胺类 霜脲氰(Cymoxanil)是一类对烟草黑胫病菌具有高效、内吸治疗作用的杀菌剂,90年代由美国杜邦公司研发推出,该杀菌剂持效期短,主要阻止病原菌的孢子萌发,对侵入寄主内的病原菌也有抑制作用^[13]。它具有局部内吸性,在植物体内只能进行短距离传导,持效期短,通常不宜单独使用,应与铜制剂、代森锰锌等混配,以提高药效及延缓抗药性的产生。

1.2.5 二硝基N-酰苯胺类 氟啶胺(Fluazinam)是由日本石原产业研制,由ICI Agrochemicals(现为先正达公司)开发的吡啶胺类杀菌剂。氟啶胺杀菌谱广,残效期较长,铲除作用很强,用量低,且耐雨水冲刷,对疫霉和Pseudoperonospora spp.引起的霜霉病及灰霉病活性较强^[13],可与保护性杀菌剂混用,防治烟草黑胫病的危害与传播。

1.2.6 Strobilurins类杀菌剂 Strobilurins类杀菌剂是以天然化合物Strobilurins A及Oudemansiiella mucida为模型设计合成的化合物(日本盐野义公司的苯氧菌胺例外),主要用于茎叶喷雾,可有效地防治由子囊菌纲、担子菌纲、半知菌类和卵菌纲真菌引起的作物病害。该化合物不仅毒性低,对非靶标生物安全,而且对使用者和环境均安全友好,可以用于烟草上多种病害的防治。它在杀菌剂开发史上树立了继三唑类杀菌剂之后又一个新的里程碑,其首例上市时间为1996年,到目前为止已商品化的品种有:啞菌酯(Azoxystrobin,先正达公司开发)、醚菌酯(Kresoxim methyl,巴斯夫公司开发)、肟醚菌酯(Qrysastrobin,巴斯夫公司开发)、肟菌酯(Tifloxystrobin,拜耳公司开发)、苯氧菌胺(Metominos-

trobin, 日本盐野义制药公司开发)、啉氧菌酯(Proxys-trobin, 先正达公司开发)、啉菌胺酯(Pyraclostrobin, 巴斯夫公司开发)、氟啉菌酯(Fluoxastrobin, 拜耳公司开发)和烯肟菌酯(Enostrobin, 沈阳化工研究院)^[17-19]。

表 1 卵菌病害化学防治药剂的分类

化学类群(作用机理)	化学结构	通用名
抗菌化合物		
苯基酰胺类 Phenylamides (作用于 RNA 合成)	酰基丙氨酸甲酯类 Acylalanines	苯菌灵 Benalaxyl, 呋霜灵 Furalaxyl, 甲霜灵 Metalaxyl, 精甲霜灵 Mefenoxam
	噁唑烷酮类 Oxazolidinones	恶霜灵 Oxadixyl
	丁内酯类 Butyrolactones	甲呋酰胺 Furace
杂芳族化合物 Heteroaromatics (作用于 DNA 合成)	异恶唑类 Isoxazoles	恶霉灵 Hy mexazol
	1,2,4 噻二唑类 (1,2,4) Thiadiazoles	氯唑灵 Eridazole
线粒体呼吸链复合物III Qo 位点抑制剂类 (QoI) Complex III respiration inhibitors, Qo I	甲氧基丙烯酸酯类 Methoxycarbamates	啉菌酯 Azoxystrobin
	甲氧基氨基甲酸酯 Methoxycarbamates	吡啶啉菌酯 Pyraclostrobin (BAS 500F)
	肟基乙酸酯类 Oximinooacetates	啉菌酯 Kresoxim methyl, 肟菌酯 Trifloxystrobin
	肟基乙酰胺类 Oximinooacetamides	苯氧菌胺 Metominostrobin (SSF 126)
	噻烷二酮类 Oxazolidinediones	恶唑菌酮 Famoxadone
线粒体呼吸链复合物III Q 位点抑制剂类 (QI) Complex III respiration inhibitors, Q I Organotins (Fentins)(抑制 ATP 合成)	咪唑啉酮类 Imidazolidinones	咪唑菌酮 Fenamidone (RPA 407213)
	咪唑类 Cyanimidazoles	氰唑啉菌胺 Cyazofamid (IKF 916) Fentin acetate, Fentin hydroxide
二硝基苯胺类 Dinitroanilines (抑制 ATP 合成)		氟啉胺 Fluazinam
氨基甲酸酯类 Carbamates (细胞膜透性)		霜霉威 Propamocarb, Prothiocarb
羧酸酰胺类 Amino acid amide carbamates (未知)		烯酰吗啉 Dimethomorph, 氟吗啉 Flumorph, 双炔酰菌胺 mandipropamid, 异丙菌胺 Iprovalicarb
氰基乙酰胺肟类 Cyanoacetamidoximes(未知)		霜脲氰 Cymoxanil
磷酸盐类 Phosphonates(未知)		三乙膦酸铝 Fosetyl-Al, 亚磷酸 Phosphorous acid
其它类(未知)		苯酰菌胺 Zoxamide (RH-7281)
多作用位点类 Multisites	无机类 Inorganics	铜类 Copper (Cuproxychloride, sulfate, hydroxide)
	硫代氨基甲酸盐类 Dithiocarbamates	代森锰锌 Mancozeb, 代森锰 Maneb, 代森锌 Zineb, 代森联 Metiram, 丙森锌 Propineb, 福美双 Thiram, 福美锌 Ziram, 福美铁 Ferbam
	二甲酰亚胺类 Phthalimides	克菌丹 Captan, 四氯丹 Captafol, 灭丹丹 Folpet
	磺胺类 Sulphamides	苯氟磺胺 Dichlorfuanid
	取代苯基类 Chlorosulphonyl halonitriles	百菌清 Chlorothalonil
诱导寄主抗性类 HOST PLANT DEFENSE INDUCERS		
水杨酸通路类 Salicylic acid pathway	烟酸 Isonicotinic Acids	异烟酸类 Isonicotinic acid derivatives
茉莉酸通路类 Jasmonic acid pathway(未知类)	苯并噻二唑类 Benzothiadiazoles	苯并噻二唑 Acibenzolar-S-methyl
		茉莉酮酸甲酯 (Methyl-) Jasmonate
		三乙膦酸铝 Fosetyl-Al

Strobilurins 类杀菌剂的活性基团大致可分为:(1) 甲氧基丙烯酸酯类: 嘧菌酯(Azoxystrobin)、啉氧菌酯(Picoxystrobin)、烯炔菌酯(Enestrobin)和苯醚菌酯(Zyflucor);(2) 甲氧基氨基甲酸酯类: 唑菌胺酯(Pyra-dlostrobin);(3) 炔基乙酸酯类: 醚菌酯(Kresoxim methyl)和炔菌酯(Trifloxystrobin);(4) 炔基乙酰胺类: 苯氧菌胺(Metominostrobin)、醚菌胺(Dimoxystrobin)、炔醚菌胺(O-ryastrobin)和烯炔菌胺(SYP-1620);(5) 唑烷二酮类: 恶唑菌酮(Famoxadone);(6) 咪唑啉酮类: 咪唑菌酮(Fenamidone);(7) 炔基二嗪类: 氟嘧菌酯(Fluoxastrobin);(8) 咪唑类: 氰唑啉菌胺(Cyazofamid)。到目前为止, 甲氧基丙烯酸酯类、炔基乙酸酯及炔基乙酰胺类化合物占主导地位。由于其较高的价格, 目前还没有在我国烟草上大面积推广应用。

1.2.7 羧酸酰胺类 羧酸酰胺类化合物来源于天然产物, 作用机理独特, 生物活性高, 对人类和环境安全。根据化学结构分为 3 类: 肉桂酸胺类烯酰吗啉(Dimethomorph, 由美国氰胺公司 1989 年开发, 后被德国巴斯夫公司收购)^[29]、氟吗啉(Flumorph, 沈阳化工研究院 1998 年研制与开发)^[29]、丁吡吗啉(Pyrimorph, 耕耘农药公司开发)^[29]、缬胺酸胺氨基甲酸类苯噻菌胺(Benthiavalicarb, 日本组合化学 2003 年开发)^[29]、异苯噻菌胺(Benthiavalicarb isopropyl, 日本组合化学 2005 年开发)^[29]、异丙菌胺(Iprovalicarb, 拜耳公司 1998 年开发)^[29]、Valiphenal (意大利Isagro 公司 2008 年开发), 苦杏酸胺类双炔酰菌胺(Mandipropamid, 先正达公司 2007 年开发)^[29]。它们对霜霉属、疫霉属病原菌有特效, 而对腐霉属无效。德国巴斯夫公司的烯酰吗啉于 1995 年开始在中国登记, 是目前我国烟草黑胥病化学防治的主要杀菌剂之一; 此类其余化合物目前还没有在国内烟草上开始登记应用。

2 防治药剂的主要作用机理

2.1 保护性杀菌剂

铜制剂、硫代氨基甲酸盐类和取代苯基类等都属于保护性、多作用位点的杀菌剂, 作用机理相对复杂, 对靶标病原菌的作用位点较多, 多为酶抑制类杀菌剂^[29]。铜制剂主要干扰病原菌的膜结构和能量形成。 Cu^{2+} 易与病原体内蛋白或酶中的巯基结合, 从而影响含巯基酶的活性, 主要是影响菌体中的丙酮酸激酶、己糖激酶和丙酮酸脱羧酶, 从而阻断糖酵解过程及能量的形成, 导致病原菌死亡。硫代氨基甲酸盐类通常抑制菌体丙酮酸的氧化, 但具体的作用靶标目前仍不清楚。取代苯基类能与真菌细胞中的 3-磷酸甘油醛脱氢

酶发生作用, 与该酶体中含有的半胱氨酸的蛋白质结合, 破坏酶的活力, 使真菌细胞的新陈代谢受到破坏而丧失生命力(<http://www.frac.info>)。

2.2 烷基磷酸盐类杀菌剂

乙磷铝在离体条件下杀菌活性较差, 但施于植物体后具有良好的保护和治疗活性。其作用机理目前仍不清楚, 通常认为它与寄主互作、诱导植物获得抗病反应^[29](<http://www.frac.info>)。

2.3 氨基甲酸酯类杀菌剂

已有的研究表明, 氨基甲酸酯类杀菌剂的作用机理是抑制病菌细胞膜成分的磷酸和脂肪酸的合成, 抑制菌丝生长、孢子囊的形成及孢子萌发^[29]。

2.4 苯基酰胺类杀菌剂

许多试验表明, 苯酰胺类杀菌剂在寄主组织内发挥抗菌活性, 抑制菌丝生长和吸器形成。此类化合物能干扰核酸, 特别是 rRNA 的合成, 最敏感的是使尿苷掺入 RNA 受阻, 但不影响尿苷的吸收和尿苷转化为尿苷酸。不同种及同种的不同菌株间 rRNA 合成受阻的程度不同, 通常为 40%~80%, 这表明不是全部的 RNA 合成受阻^[29]。现已知道, 有 3 种 RNA 的聚合物担负着细胞内核苷酸的聚合。这 3 种聚合酶称为聚合酶 A、B、C, 它们是有分工的: 聚合酶 A 主要负责核体内 rRNA 的合成, 聚合酶 B 用于 mRNA 的合成, 而聚合酶 C 则用于 tRNA 和 5S RNA 的合成。这 3 种酶通常是根据其对 α -鹅膏蕈碱的敏感性来区分的。甲霜灵和其相似物对 3 种酶有选择性抑制作用, 主要是对聚合酶 A 的毒力最大, 也就是 rRNA 的合成受阻, 结果核糖体就不正常。因此, 此类化合物对菌体的生长有抑制作用, 而对菌株孢子囊的直接和间接萌发以及游动孢子的萌发都没有影响。

2.5 氰基乙酰胺炔类杀菌剂

这类化合物的作用机理仍不清楚, 但已有的研究表明: 霜脲氰对菌丝生长比对游动孢子萌发抑制活性高^[30], 100 $\mu\text{g/mL}$ 抑制致病疫霉核酸合成, 抑制菌丝体生长和孢子囊萌发过程中(methyl-H³) 胸苷掺入 RNA, 对(3H) 腺苷掺入 RNA 的抑制弱于对 DNA 合成的抑制; 抑制作用发生在休止孢萌发和菌丝生长阶段, 抑制率 20%-45%; 对呼吸作用和游动孢子游动无抑制作用, 不影响能量产生^[30]。

2.6 二硝基 N-酰苯胺类杀菌剂

氟啶胺通过抵制孢子萌发、菌丝生长和孢子形成而抵制所有阶段的感染过程。它是氧化磷酸化解偶联剂, 抑制线粒体膜内外质子传导^[31]; 在植物体内迅速降解成谷胱甘肽而失去杀菌活性, 为保护性杀菌

剂^[31]。

2.7 Strobilurins 类杀菌剂

此类杀菌剂是能量抑制剂,它与电子传递链中复合物Ⅲ结合,阻断电子由 Cytbc 1 复合物流向 Cyt c,从而破坏真菌的能量传递系统,阻断 ATP 的产生。由于缺乏能量供应,病菌孢子萌发、菌丝生长和孢子的形成均受到抑制^[31-32]。Cytbc 1 呼吸抑制剂有两类:一类是与位于线粒体内膜内壁 Q 位点(CoQ 的还原位点)的 Cytb 高势能血红素结合的抑制剂,统称为 Q 抑制剂(简称 QIs),如恶唑菌酮等;另一类是与位于线粒体内膜外壁的 Q_b 位点(CoQ 的氧化位点)的 Cytb 低势能血红素结合的抑制剂,统称为 Q_b 抑制剂(简称为 QbIs),如甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂等^[17, 33-34]。

2.8 羧酸酰胺类杀菌剂

第 1 个 CAA 类杀菌剂烯酰吗啉上市至今已有 20 多年的历史,但该类杀菌剂的生化作用机制及具体的作用靶标尚未完全明确。目前已经证实此类药剂对病菌的呼吸作用、脂质、蛋白质和核酸等的生物合成均无影响^[33],据推测主要是干扰病菌细胞壁的形成^[36-37],但具体过程仍不清楚。生化研究表明它抑制卵磷脂的生物合成,作用靶标为胆碱磷酸转移酶^[38]。

3 烟草黑胫病菌的抗药性研究进展

3.1 对保护性杀菌剂的抗药性

保护性杀菌剂对靶标病原菌的作用位点较多,作用机理相对复杂。因此,卵菌对这类药剂产生抗药性的风险程度较低^[27]。迄今,还没有发现任何烟草黑胫病菌对保护性杀菌剂产生抗药性的报道。

3.2 对乙磷铝的抗药性

乙磷铝具有独特的杀菌机理,在培养基上对烟草黑胫病菌的抑菌作用较低,但被植物吸收后与植物发生互作,产生对病菌有毒的物质,也可以诱导植物产生抗病性,因此乙磷铝对病菌的作用是间接的。目前还没有其抗药性的报道^[27]。

3.3 对氨基甲酸酯类杀菌剂的抗药性

霜霉威自问世以来一直用于多种土传疫霉和腐霉病害的防治^[28, 39-42],对烟草黑胫病具有很好的防治效果^[42-43],至今已有 30 多年的使用历史,目前仅发现草坪腐霉病菌和黄瓜霜霉病菌对其产生了抗药性^[44-45],还没有烟草黑胫病菌对其产生抗药性的报道^[9]。

3.4 对苯基酰胺类杀菌剂的抗药性

苯基酰胺类杀菌剂代表品种甲霜灵于 1977 年在全球开始推广,于上世纪 80 年代中期开始在中国登记,用于烟草黑胫病的防治。由于甲霜灵在内吸性、生

物活性和持效期方面均优于同类化合物,因而在同类杀菌剂中,该药剂在生产上使用最为广泛。但随着甲霜灵的普遍使用,病原菌的抗药性问题接踵而来,病原菌的抗药性发展速度非常之快。已知有许多研究报道了多种卵菌对甲霜灵的抗性。致病疫霉(*Phytophthora infestans*)是最早对甲霜灵产生抗性的卵菌。1978 年荷兰、爱尔兰即开始用甲霜灵防治马铃薯晚疫病,起初防效很好;但不久(1979 年)就因病原菌产生抗药性而导致防治失效,2 年后在整个欧洲都可以检测到大量的抗药性菌株^[49]。此后也相继在烟草黑胫病菌等其它卵菌病菌中检测到了甲霜灵抗性菌株^[47-50]。袁宗胜等研究表明,烟草黑胫病菌对甲霜灵已产生了不同程度的耐药性^[51]。

3.5 对霜脲氰和氟啶胺的抗药性

霜脲氰和氟啶胺用于卵菌病害的防治已有多年,目前还没有其田间抗药性的任何报道。

3.6 对 Strobilurins 类杀菌剂的抗药性

Strobilurin 类杀菌剂因广谱、高效等优点,于 20 世纪 90 年代开始在全球多种作物上推广应用,其抗药性最早于 1998 年在麦类作物上发现。自那时起,其它病原菌的抗药性便陆续开始出现。目前已经检测到 20 余种植物病原菌的田间抗药性菌株。在卵菌中,仅发现葡萄霜霉病菌、黄瓜霜霉病菌及坪草腐霉枯萎病菌的 Strobilurin 类杀菌剂田间抗药性菌株。细胞色素 b 基因的点突变(G143A, F129L, G137R)和旁路氧化途径是此类药剂产生抗药性的主要机理^[52-53]。目前,还没有发现包括烟草黑胫病菌在内的任何疫霉病菌田间抗药性报道(<http://www.frac.info>)。

3.7 对羧酸酰胺类杀菌剂的抗药性

CAAs 类杀菌剂防治各种卵菌病害已有 10 多年的历史,其对腐霉属病原菌没有活性,因此也不存在抗药性的问题;然而,一些霜霉属病原菌被报道产生了抗药性;在法国和德国的部分地区检测到了葡萄霜霉的抗药性菌株^[54],韩国、以色列、美国和中国的一些试验田检测到了黄瓜霜霉的抗药性(FRAC CAA Working Group Reports, www.frac.info)^[55]。目前,还没有发现包括烟草黑胫病菌在内的任何疫霉田间抗药性报道(<http://www.frac.info>)。室内通过紫外线诱变,获得了 15% 的烟草黑胫病菌烯酰吗啉抗药性的突变体,其抗性倍数为 3.2~21^[56]。

4 小结与展望

烟草黑胫病菌除危害烟草外,还可以侵染西红柿、大豆等 70 多种植物。对寄主植物的破坏性强,危害性

大,所引起的病害大多难以控制,其潜育期短,再侵染频繁,传播与蔓延迅速,在生长季节内病菌可迅速发展造成病害流行,给烟草生产带来严重的经济损失。目前,化学防治仍然是防治烟草黑胫病最为有效的手段。烟草黑胫病化学防治的历史从某种程度上可以看出杀菌剂发展的历史缩影,不同类型和作用机理的药剂在不同的历史时期分别发挥着重要的作用。随着科学技术的进步与革新,新型、高效、经济、安全的化学杀卵菌剂将会推动烟草黑胫病防治工作的不断前进。笔者认为,在未来国内烟草生产上,羧酸酰胺类杀菌剂将会逐步取代甲霜灵,而成为烟草黑胫病防治的主要药剂。Strobilurins 类药剂会因作用位点独特、广谱性、生物活性高而在烟草上得以应用,但较高的抗药性风险和较差的治疗活性会进一步影响它防治烟草黑胫病的效果。

参考文献

- [1] Lucas G B · Diseases of Tobacco [M] · 3rd edn · Biological Consulting Association · Raleigh · Harold E · Parker and Sons · Printers · Fuquay-Varina, NC · 1975; 621.
- [2] Shew H D · *In vitro* growth response of *Phytophthora parasitica* var · *nicotianae* isolates to metalaxyl [J] · Plant Diseases, 1984, 68; 764-766.
- [3] Jahagirdar S, HUNDEKAR A R · Major disease of tobacco and their management in Karnataka—a review [J] · Agricultural Reviews, 2009, 30(3) : 206-212.
- [4] Narayanaswamy H, Pradeep S, Chandrashekhar S Y, et al · Integrated management of black shank disease of tobacco in field crop [EM/OL] · Plant Disease Research, (<http://www.cababstractsplus.org/Abstracts/Abstract.aspx?AcNo=20043161087>) .
- [5] Fenn M E, Coffey M D · Studies on the in vitro and in vivo antifungal activity of fosetyl-Al and phosphorous acid [J] · Phytopathology, 1984, 74; 606-611.
- [6] Cohen Y, Coffey M D · Systemic fungicides and the control of oomycetes [J] · Annual Review of Phytopathology, 1986, 24; 311-338.
- [7] Iwan J, Hertel B, Radzuweit J · Transformations of prothiocarb in plant and soil [J] · Netherlands J Plant Pathology, 1977, 83 (Suppl. 1) : 277-284.
- [8] Englander L, Merlino J A, McGuire J J · Efficacy of two new systemic fungicides and thiazole for control of *Phytophthora* root rot of Rhododendron, and spread of *Phytophthora cinnamomi* in propagation benches [J] · Phytopathology, 1980, 70; 1175-1179.
- [9] Hu J, Hong C, Stromberg E L, et al · Effects of propamocarb hydrochloride on mycelial growth, sporulation, and infection by *Phytophthora nicotianae* isolates from Virginia nurseries [J] · Plant Disease, 2007, 91; 414-420.
- [10] Urech P A, Schwinn F J, Staub T · CGA 48988, a novel fungicide for the control of late blight, downy mildews and related soil-borne diseases [C] // Proceeding of the Brighton Crop Protection Conference, 1977; 623-631.
- [11] Schwinn F J, Staub T, Urech P A · A newtype of fungicides against diseases caused by Oomycetes [J] · Meded Fac Landbouwwet Rijksuniv Gent, 1977, 42; 1181-1188.
- [12] Kuhajek J M, Jeffers S N, Slatery M, et al · A rapid microassay for discovery of novel fungicides for *Phytophthora* spp · Phytopathology, 2003, 93; 46-53.
- [13] Gisi U, Harr J, Sandmeuer R, et al · A new systemic oxazolidinone fungicide (SAN 37F) against diseases caused by Peronosporales [J] · Meded Fac Landbouwwet Gent, 1983, 48; 541-549.
- [14] Moshe R, Malcolm R S, William C N · Bioassays using detached tobacco leaves to determine the sensitivity of *Peronospora tabacina* to fungicides · Pest Management Science, 1985, 16; 244-250.
- [15] Gisi U · Chemical control of downy mildews [C] // P · T · N · Spencer-Phillips et al · (eds ·), Advances in Downy Mildew Research, 2002; 119-159.
- [16] Anema B P, Bouwman J J · Fluazinam; a novel fungicide for use against *Phytophthora infestans* in potatoes [C] // Proceedings of the 1992 Brighton Crop Prot · Conf · Pests and Diseases, 1992, 2; 663-668.
- [17] Bartlett D W, Clough J M, Godwin J R, et al · The strobilurin fungicides [J] · Pest Management Science, 2002, 58; 649-662.
- [18] Rho G, Posenato G, Sancassani G P · Efficacy of pyraclostrobin, a new agent against downy mildew on grape [J] · Sancassani Informatore Agrario, 2005, 61; 71-74.
- [19] Sudisha J, Amruthesh K N, Deepak S A, et al · Comparative efficacy of strobilurin fungicides against downy mildew disease of pearl millet [J] · Pesticide Biochemistry and Physiology, 2005, 81; 188-197.
- [20] Albert G, Curtze J, Drandarevski C A · Dimethomorph (CME 151), a novel curative fungicide [C] // Proceedings of the British Crop Protection conference · Pests and Disease, 1988, 1; 17-24.
- [21] 刘武成 · 新型高效杀菌剂氟吗啉 [J] · 农药, 1999, 38(4) : 10-13.
- [22] 陈小霞, 袁会株, 覃兆海, et al · 新型杀菌剂丁吡吗啉的生物活性及作用方式初探 [J] · 农药学报, 2007, 9(3) : 229-234.
- [23] Reuveni M · Activity of the new fungicide benthiavalecarb against *Plasmopara viticola* and its efficacy in controlling downy mildew in grapevines [J] · European Journal of Plant Pathology, 2003, 109; 243-251.
- [24] Myake Y, Sakai J, Shibata M, et al · Fungicidal activity of benthiavalecarb isopropyl against *Phytophthora infestans* and its controlling activity against late blight diseases [J] · Journal of Pesticide Science, 2005, 30; 390-396.
- [25] Ditzmann S · Iprovalicarb (SZX 0722) — a novel fungicide with specific activity against oomycetes [J] · Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 1999, 52; 15-32.
- [26] Huggenberger F, Lamberth C, Iwanzik W · Mandipropamid a new fungicide against Oomycete pathogens [C] // Proceedings of the BCPC International Congress Crop Science & Technology, Glasgow, UK, 2005, 1; 93-98.
- [27] Gisi U, Serotzki H · Fungicide modes of action and resistance

- in downy mildews [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2008, 122: 157-167.
- [28] Cohen Y, Coffey M D. Systemic fungicides and the control of oomycetes [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1986, 24: 311-338.
 - [29] David J, Fisher Ann L, et al. Mode of action of the systemic fungicides furalaxyl, metalaxyl and ofurace [J]. *Pest Management Science*, 2006, 13: 330-339.
 - [30] Zogas B N, Davidse L C. Studies on the mechanism of action of cymoxanil in *Phytophthora infestans* [J]. *Pesticide Biochemistry Physiology*, 1987, 29: 89-96.
 - [31] Guo Z, Myoshi H, Komyoji T, et al. Uncoupling activity of a newly developed fungicide, fluazinam [J]. *Biochemical Biophysica Acta*, 1991, 1056: 89-92.
 - [32] Brandt U, Schagger H, Von J G. Characterization of binding of the methoxyacrylate inhibitors mitochondrial cytochrome c reductase [J]. *European Journal of Biochemistry*, 1988, 173: 499-506.
 - [33] Veronika H, Johannes D, Dorte K, et al. New benzodioxepin type strobilurins from basidiomycetes. Structural revision and determination of the absolute configuration of strobilurin D and related methoxyacrylate antibiotics [J]. *Tetrahedron*, 1999, 55: 10101-10118.
 - [34] Becker W F, Jagow G V, Anke T, et al. Oudemansin, Strobilurin A, Strobilurin B and Myxothiazol. New inhibitors of the B₁ segment of the respiratory chain with an E-Methoxyacrylate system as common structural element [J]. *FEBS Lett*, 1981, 132: 329-333.
 - [35] Kuhn P J, Albert G, Wyness L E, et al. Studies on the antifungal activity in vitro of dimethomorph, a novel fungicide activity against downy mildews and *Phytophthora* [C] // 9th International Symposium on Systemic Fungicides and Antifungal Compounds, Reinhardtsbrunn, GDR, 1989, Abstr.
 - [36] Kuhn P J, Htt D, Lee S A. Effects of dimethomorph on the morphology and ultrastructure of *Phytophthora* [J]. *Mycological Research*, 1991, 95: 333-340.
 - [37] Albert G, Thomas A, Guehne M. Fungicidal activity of dimethomorph on different stages in the life cycle of *Phytophthora infestans* and *Plasmopara viticola* [C] // ANPP - Third International Conference on Plant Diseases, Bordeaux, France, 1991: 887-894.
 - [38] Griffiths R G, Dancer J, O'Neill E, et al. A mandelamide pesticide alters lipid metabolism in *Phytophthora infestans* [J]. *New Phytologist*, 2003, 158: 345-353.
 - [39] Favreau J. Lutte contre *Phytophthora* et *Pythium* en culture ornementale avec le Précicur [J]. *L'hortic Française*, 1978, 9: 7-8.
 - [40] Heroh E A, Krass W, Hemmen C. Propamocarb, ein neues Fungizid zur Abwehr von Oomyceten im Zierpflanzen- und Gemüsebau [J]. *Meded Fac Landbouw Rijksuniv Gent*, 1978, 43: 933-942.
 - [41] Rapp L, Richter J. Effect of propamocarb hydrochloride (Previcur N) on several isolates of some *Pythium* and *Phytophthora* species *in vitro* and *in vivo* [J]. *Journal of Plant Disease Proceedings*, 1982, 89: 487-497.
 - [42] Reilly J J. Chemical control of black shank of tobacco [J]. *Plant Disease*, 1980, 64: 274-277.
 - [43] McIntyre J L, Lukens R J. Screening chemicals to control *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* [J]. *Plant Dis Rep*, 1992, 61: 366-370.
 - [44] Megan K. Pythium Blight of Turfgrass [C]. *Kansas State University*, 2008, 12: EP-159.
 - [45] Urban J, Lebeda A. Variation of fungicide resistance in Czech populations of *Pseudoperonospora cubensis* [J]. *Journal of Phytopathology*, 2007, 155: 143-151.
 - [46] Gsi U, Cohen Y. Resistance to phenylamide fungicides: a case study with *Phytophthora infestans* involving mating type and race structure [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1996, 34: 549-572.
 - [47] Shew H D. Response of *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* to metalaxyl exposure [J]. *Plant Disease*, 1985, 69: 559-562.
 - [48] Timmer L W, Graham J H, Zitko S E. Metalaxyl resistant isolates of *Phytophthora nicotianae*: occurrence, sensitivity, and competitive parasitic ability on citrus [J]. *Plant Disease*, 1998, 82: 254-261.
 - [49] Morrison G W, Kim S H. Species of *Pythium* from greenhouses in Pennsylvania exhibit resistance to propamocarb and mefenoxam [J]. *Plant Disease*, 2004, 88: 630-632.
 - [50] Hwang J, Benson D M. Identification, mefenoxam sensitivity, and compatibility type of *Phytophthora* spp. attacking floriculture crops in North Carolina [J]. *Plant Disease*, 2005, 89: 185-190.
 - [51] 袁宗胜, 张广民, 刘延荣, et al. 烟草黑胫病菌对甲霜灵的敏感性测定 [J]. *中国烟草科学*, 2001, 22(4): 9-12.
 - [52] Kim Y S, Dixon P, Vincelli P, et al. Field resistance to strobilurin (QoI) fungicides in *Pyricularia grisea* caused by mutations in the mitochondrial cytochrome b gene [J]. *Phytopathology*, 2003, 93: 891-900.
 - [53] Heaney S P, Hall A A, Davis S A, et al. Resistance to fungicides in the QoI STAR cross resistance group: current perspectives [C] // In Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases, 2000, 2: 755-762.
 - [54] Ishii H, Fraaue B A, Sugiyama T, et al. Occurrence and molecular characterization of strobilurin resistance in cucumber powdery mildew and downy mildew [J]. *Phytopathology*, 2001, 91: 1166-1171.
 - [55] Zhang X, Chen Y, Zhang Y J, et al. Occurrence and characterization of azoxystrobin resistance in cucumber downy mildew in Shandong province of China [J]. *Phytoparasitica*, 2008, 36: 136-143.
 - [56] Gsi U, Waldner M, Kraus N, et al. Inheritance of resistance to carboxylic acid anilide (CAA) fungicides in *Plasmopara viticola* [J]. *Plant Pathology*, 2007, 56: 199-208.
 - [57] Zhu S S, Liu X L, Wang Y, et al. Resistance of *Pseudoperonospora cubensis* to flumorph on cucumber in plastic houses [J]. *Plant Pathology*, 2007, 56: 967-975.
 - [58] Chabane K, Leroux P, Bonpeix G. Selection and characterization of *Phytophthora parasitica* mutants with ultraviolet induced resistance to dimethomorph or metalaxyl [J]. *Pesticide Science*, 1993, 39: 325-329.
 - [59] Heckman C J. *Phytophthora* plant destroyer [J]. *Transactions of the British Mycological Society*, 1958, 41: 1-13.