

◆ 综述与专论 ◆

# 自主创制甲氧基丙烯酸酯衍生类农药品种的开发和应用

谭海军

(苏州艾科尔化工科技有限公司, 江苏昆山 215300)

**摘要:** 甲氧基丙烯酸酯衍生类农药具有新颖的化学结构和独特的作用机制, 逐渐成为研究开发的热点。中国有多家研究机构致力于该类农药品种的创新开发, 其中多个新品种已获得正式的中、英文通用名和中国登记批准。对中国自主创制的甲氧基丙烯酸酯衍生类品种的化学结构、合成路线、生物活性和应用开发情况进行总结, 并对其研究开发前景进行展望, 旨在推动该类新农药品种的产业化和商业化, 为自主创制农药的进一步开发和应用提供参考。

**关键词:** 甲氧基丙烯酸酯衍生类农药; 自主创制农药; 合成路线; 生物活性; 农药应用

中图分类号: TQ 450.1<sup>+1</sup> 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2020.06.001

## Development and Application of China-Discovered Strobilurins Derivative Pesticides

TAN Haijun

(Suzhou ACE Chemical Technology Co., Ltd., Jiangsu Kunshan 215300, China)

**Abstract:** Strobilurins derivative pesticides featuring novel chemical structure and unique mechanism of action have gradually been a focus of research and development. There are many research organizations in China dedicated to discovering and developing this kind of new pesticides, and dozens of which have gotten their official Chinese and English common names and Chinese registration approval. In this article, chemical structure, synthetic route, biological activity and application development of China-discovered strobilurins were reviewed, while its research and development perspective was also briefed. The aim was to promote industrialization and commercialization of this kind of new pesticides, and further to provide a reference for development and application of China-discovered pesticides.

**Key words:** strobilurins derivative pesticides; China-discovered pesticides; synthetic route; biological activity; pesticides application

甲氧基丙烯酸酯衍生(以下简称 Strobilurins)类农药源于对嗜球果伞素和小奥德蘑素等天然产物的研究。这些天然产物具有相同的反式 $\beta$ -甲氧基丙烯酸酯结构, 通过与线粒体呼吸链复合物III结合<sup>[1]</sup>, 选择性地抑制靶标生物的呼吸作用和能量生成, 使其细胞新陈代谢受阻而死亡。Strobilurins类农药也具有类似独特的化学结构和机制, 引起了广泛而持久的关注, 逐渐成为研究开发的热点。国外先后创制开发了多个该类农药新品种, 对农业病害和虫害防治发挥了重要作用。其中, 噁菌酯(Azoxystrobin)、氟啶

菌酯(Fluoxastrobin)、苯氧菌胺(Metominostrobin)、啶氧菌酯(Picoxystrobin)、肟菌酯(Trifloxystrobin)、醚菌酯(Kresoxim methyl)、醚菌胺(Dimoxystrobin)、肟醚菌酯(Orysastrobin)、吡唑醚菌酯(Pyraclostrobin)和Mandestrobin等作为杀菌剂, 噁螨酯(Fluacrypyrim)作为杀螨剂已在全球市场销售。

与此同时, 国内多家研究机构也对Strobilurins类农药进行了大量的创制研究工作, 结合国外农药创制开发的最新研究成果, 应用中间体衍生化法(IDM)<sup>[2]</sup>和药效团连接碎片虚拟筛选法(PFVS)<sup>[3]</sup>等

收稿日期: 2019-07-10

作者简介: 谭海军(1985—), 男, 湖南常德人, 硕士, 工程师, 主要从事绿色农药的开发、应用和推广工作。E-mail: tanhaijun@foxmail.com

新农药创制方法,先后成功开发出了数十个该类农药新品种。其中,多个新品种的中、英文通用名和中国登记也获得了正式批准。笔者对中国自主创制的 Strobilurins 类农药品种的开发和应用情况进行了梳理,旨在促进该类新品种的产业化和商业化,为自主创制农药品种的进一步开发和应用提供参考。

## 1 自主创制 Strobilurins 类农药品种的创制开发概况

中国有多家研究机构对 Strobilurins 类农药进行了深入的创制和开发研究,取得了一定的成果。1998—2009年,至少有21个具有明确开发代号和化学结构的农药新品种见诸于报道(表1)。其中14个

来自沈阳化工研究院,4个来自浙江省化工研究院,2个来自湖南化工研究院,1个来自华中师范大学。这些创制品种的化合物专利申请(部分为文章报道)时间主要集中在2005年。目前,中文通用名获中国农药标准化技术委员会秘书处批准的品种有10个,英文通用名获国际标准化组织(ISO)农用化学品通用名技术委员会批准的品种有8个。然而,仅有烯炔菌酯、烯炔菌胺、丁香菌酯、苯醚菌酯、唑菌酯、唑胺菌酯和氯啶菌酯7个自主创制的杀菌剂品种在中国取得过农药登记(唑胺菌酯在2014年临时登记过期后未再续),苯噻菌酯的登记还在办理之中。此外,烯炔菌胺和苯醚菌酯等品种在一些发展中国家的登记也正在开展之中。

表1 1998—2009年自主创制的 Strobilurins 类农药新品种

开发代号	中文名	英文名	生物活性	专利申请时间	开发机构 <sup>a</sup>
SYP-Z071	烯炔菌酯 <sup>a</sup>	Enoxastrobin <sup>a</sup>	杀虫杀菌	1998 <sup>[4]</sup>	SYRICI
SYP-1620	烯炔菌胺 <sup>a</sup>	Fenaminstrobin <sup>a</sup>	杀菌	2000 <sup>[5]</sup>	SYRICI
SYP-3200	甲香菌酯 <sup>a</sup>	Coumethoxystrobin	杀菌	2003 <sup>[6]</sup>	SYRICI
SYP-3375	丁香菌酯 <sup>a</sup>	Coumoxystrobin <sup>a</sup>	杀菌	2003 <sup>[6]</sup>	SYRICI
ZJ0712	苯醚菌酯 <sup>a</sup>	Bemystrobin	杀菌	2003 <sup>[7]</sup>	ZCIRI
SYP-3343	唑菌酯 <sup>a</sup>	Pyraoxystrobin <sup>a</sup>	杀虫杀菌	2004 <sup>[8]</sup>	SYRICI
SYP-2815			杀菌	2005 <sup>[9]</sup>	SYRICI
SYP-3998			杀菌	2005 <sup>[10]</sup>	SYRICI
SYP-3759	氟菌唑酯	Flufenoxystrobin <sup>a</sup>	杀菌杀螨	2005 <sup>[10]</sup>	SYRICI
SYP-4155	唑胺菌酯 <sup>a</sup>	Pyrametostrobin <sup>a</sup>	杀菌	2005 <sup>[11]</sup>	SYRICI
SYP-7017	氯啶菌酯 <sup>a</sup>	Triclopyricarb <sup>a</sup>	杀菌	2005 <sup>[12]</sup>	SYRICI
ZJ1954			杀菌	2005 <sup>[13b]</sup>	ZCIRI
ZJ1621			杀菌	2005 <sup>[14]</sup>	ZCIRI
ZJ2211	吡氟菌酯		杀菌杀螨	2005 <sup>[14]</sup>	ZCIRI
HNPC-A4008	氟炔菌酯		杀菌	2005 <sup>[15]</sup>	HRICI
HNPC-A3066			杀菌杀螨	2005 <sup>[15]</sup>	HRICI
Y5247	苯噻菌酯 <sup>a</sup>	Benzothioistrobin	杀菌	2005 <sup>[16]</sup>	CCNU
SYP-4966			杀螨	2007 <sup>[17]</sup>	SYRICI
SYP-4903			杀虫杀螨	2008 <sup>[18]</sup>	SYRICI
SYP-10913			杀螨	2009 <sup>[19]</sup>	SYRICI
SYP-11277	噻炔胺 <sup>a</sup>	Pyriminostrobin <sup>a</sup>	杀螨	2009 <sup>[19]</sup>	SYRICI

注:<sup>a</sup>中、英文通用名获国际或中国的标准化组织批准;文章首次报道年份;开发机构简写:SYRICI—沈阳化工研究院,ZCIRI—浙江省化工研究院,HRICI—湖南化工研究院,CCNU—华中师范大学。

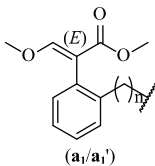
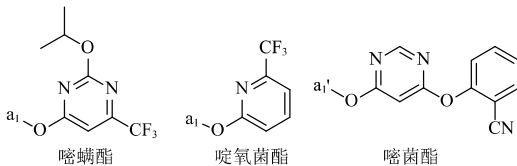
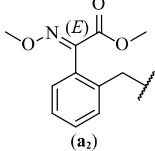
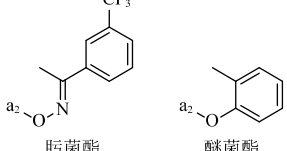
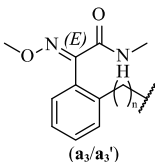
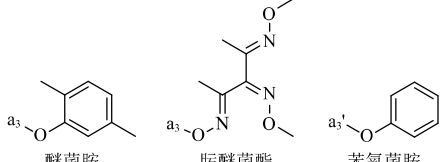
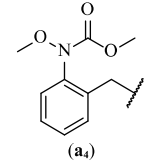
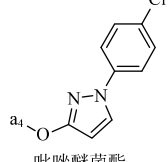
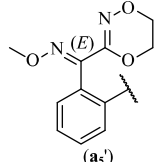
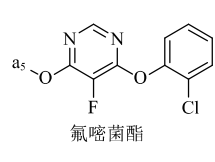
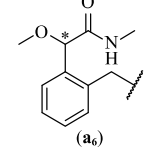
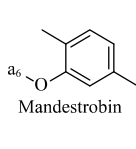
## 2 自主创制 Strobilurins 类农药品种的化学结构及其合成

### 2.1 国外创制品种的化学结构与合成

根据主要活性基团的化学结构不同,可将11个国外创制的 Strobilurins 类农药品种分为6小类:甲氧基丙烯酸酯类、甲氧基炔乙酸酯类、甲氧基炔乙酰胺类、甲氧基氨基甲酸酯类、二噻嗪酮甲氧炔类和甲氧基乙酰胺类。11个国外创制的 Strobilurins 类农药品

种的化学结构与分类见表2,其主要活性基团中的烯键均为反式结构(甲氧基乙酰胺类和甲氧基氨基甲酸酯类无烯键)这与天然源的先导化合物一致。可以发现,除唑菌酯、苯氧菌胺和氟唑菌酯以外,其他7个品种在特征结构 $a_m$ 的苯环上与主要活性基团相邻的邻位上都还含有一个亚甲基,也即 $a_m$ 除主要活性基团外其余为苄基。这些含苄基结构且主要活性基团结构类别相同的品种都可共用相应的中间体 $a_m-X$ (其中 $m=1, 2, 3, 4$ , X为溴等卤素;下同)进行合成。

表2 11个国外创制的 Strobilurins 类农药品种的化学结构与分类

类别	特征结构 $a_m$	国外创制的农药品种
甲氧基丙烯酸酯类*		 啞蝻酯      啞氧菌酯      啞菌酯
甲氧基脲乙酸酯类		 脲菌酯      醚菌酯
甲氧基脲乙酰胺类*		 醚菌胺      脲醚菌酯      苯氧菌胺
甲氧基氨基甲酸酯类		 吡唑醚菌酯
二噁嗪酮甲氧脲类		 氟啞菌酯
甲氧基乙酰胺类		 Mandestrobin

注:  $n$ 为1时特征结构为 $a_m$ ,  $n$ 为0时特征结构为 $a_m'$ 。

## 2.2 自主创制品种的化学结构与合成

从化学结构主体骨架的相似性和合成中间体的可共用性等方面进行比较分析,现有报道中国自主创制的 Strobilurins 类农药品种可视为对上述含苯基结构的甲氧基丙烯酸酯类、甲氧基脲乙酸酯类、甲氧基脲乙酰胺类和甲氧基氨基甲酸酯类国外创制品种结构的进一步衍生,可使用相应的中间体  $a_m-X$  进行合成。

### 2.2.1 甲氧基丙烯酸酯类

自主创制的甲氧基丙烯酸酯类品种主要有15个,包括烯脲菌酯、甲香菌酯、丁香菌酯、苯醚菌酯、啞菌酯、SYP-4903、氟菌啞酯、ZJ1954、ZJ1621、HNPC-A3066、苯噻菌酯、SYP-4966、SYP-10913、啞蝻胺和吡啞菌酯。前14个创制品种都含有甲氧基丙

烯酸酯结构(图1),都可使用啞蝻酯和啞氧菌酯中间体  $a_1-X$  与相应的醇或硫醇  $b_n$  (其中  $n=1, 2, 3, \dots, 10$ ;下同)缩合得到。其中,烯脲菌酯的关键中间体  $b_1$  可由对氯苯甲醛  $b_{12}$  经醛酮缩合、羟胺化得到,而烯脲菌酯的反式构型可通过对中间体  $b_{11}$  来控制<sup>[20-21]</sup>; 甲香菌酯和丁香菌酯的关键中间体  $b_2$  可用乙酰乙酸乙酯  $b_{22}$  经  $\alpha$ -取代、环合后得到<sup>[6,22]</sup>; SYP-4903 和啞菌酯的关键中间体  $b_4$  可分别以2,4-二甲基苯丙酮和对氯苯乙酮  $b_{42}$  为起始原料,与碳酸二甲酯缩合后与甲基胍环合得到<sup>[23-24]</sup>。ZJ1954 的关键中间体  $b_6$  可由3-羟基-4-甲氧基苯甲醛  $b_{61}$  与甲氧基胺盐酸盐缩合得到<sup>[10,25]</sup>; HNPC-A3066 的关键中间体  $b_8$  可由3,5-双三氟甲基苯甲醛  $b_{83}$  经脲化、氯化 and 甲硫基化得到<sup>[26-27]</sup>; 苯噻菌酯的关键中间体  $b_9$  可以4-甲氧基-2-硝基苯胺

$b_{92}$  经重氮化、氯代和环合得到<sup>[28]</sup>; SYP-4966、SYP-10913 和噁螨胺可分别以 2-氯苯胺、2,4-二氯苯胺和 2,3-二氯苯胺  $b_{102}$  为起始原料, 经加成、嘧啶环合和醚化得到<sup>[17,19,29]</sup>; 苯醚菌酯、氟菌唑酯和 ZJ1621 可直接分别使用中间体 3,6-二甲基苯酚  $b_3$ <sup>[30]</sup> (同为醚菌胺和 Mandestrobin 的中间体)、2-氯-4-三氟甲基苯酚  $b_5$ <sup>[10]</sup> 和 3-羟基-4-甲基苯乙腈  $b_7$ <sup>[14]</sup> 进行合成, 具有一

定的相对成本优势。这 14 个自主创制农药品种的关键中间体  $b_n$  的化学结构及其合成路线见图 2。

吡氟菌酯的主要活性基团为有一氟代的甲氧基丙烯酸酯, 可由中间体  $a_{1r}X$  与毒死蜱和三氯吡氧乙酸的中间体三氯吡啶醇钠  $c$  醚化得到<sup>[14]</sup> (图 3)。其中, 中间体  $a_{1r}X$  可采用与  $a_1X$  相同的合成策略, 只是第一步使用氟溴甲烷替代溴甲烷发生醚化反应。

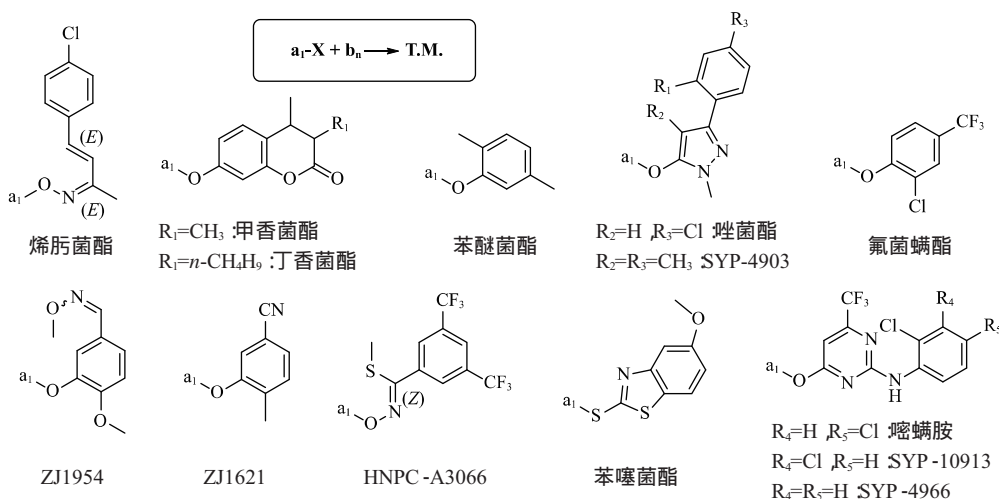


图 1 14 个自主创制的甲氧基丙烯酸酯类农药品种(T.M.)化学结构

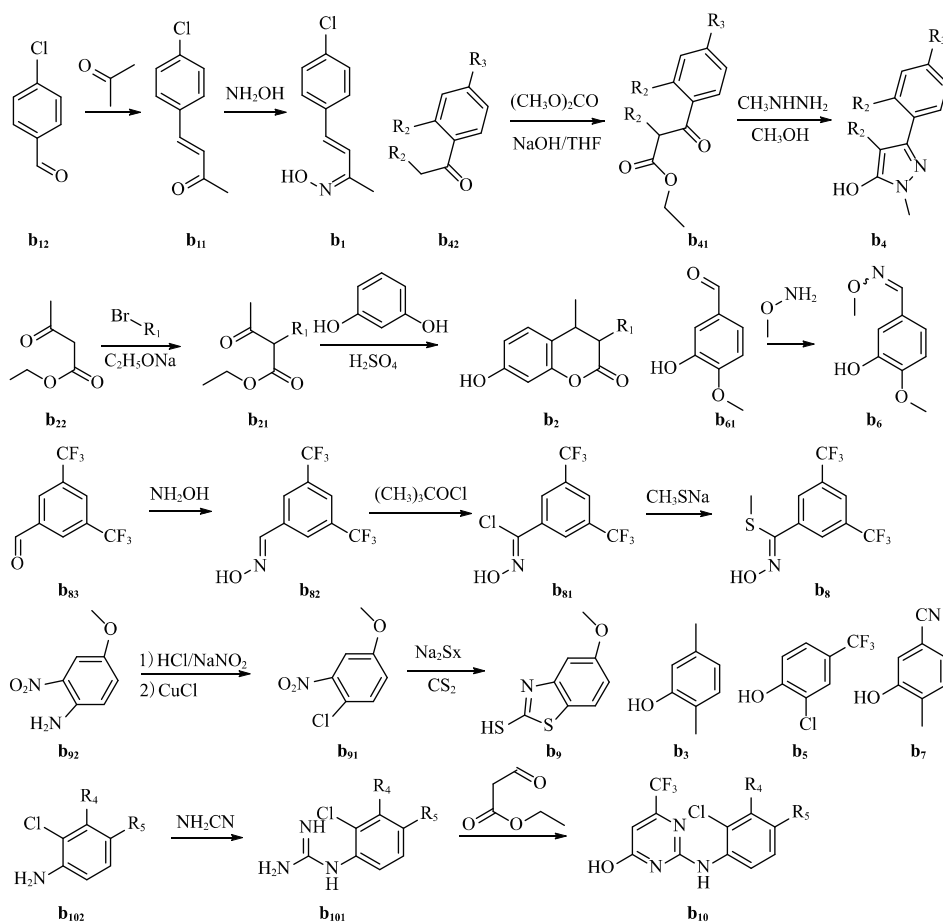


图 2 14 个自主创制甲氧基丙烯酸酯类农药品种的关键中间体  $b_n$  的化学结构及其合成路线

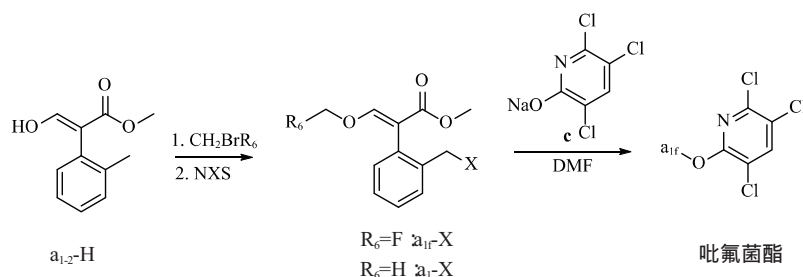


图3 吡氟菌酯的化学结构及其合成路线

### 2.2.2 甲氧基脲乙酸酯类和甲氧基脲乙酰胺类

氟脲菌酯为自主创制的甲氧基脲乙酸酯类品种,可以3,5-双三氟甲基苯甲酸 $d_{12}$ 为起始原料,经酯化、脲化后与脲菌酯或醚菌酯的关键中间体 $a_2-X$ 醚化得到<sup>[15]</sup>。烯脲菌胺、SYP-2815和SYP-3998为自主创制的甲氧基脲乙酰胺类品种,可用醚菌胺和脲醚菌胺的关键中间体 $a_3-X$ 直接合成,或用中间体 $a_2-X$ 反应后

进一步甲酰胺化得到。其中,烯脲菌胺可以2,6-二氯苯甲醛 $e_{12}$ 为起始原料,经醛酮缩合、羟胺化后,再与中间体 $a_3-X$ 醚化得到<sup>[5,31]</sup>;SYP-2815可以3-甲基-4-氟苯乙酮 $e_{22}$ 为起始原料,经加成、环合、羟胺化后与 $a_3-X$ 反应得到<sup>[9]</sup>;SYP-3998可由氟菌酯的中间体 $b_5$ 与中间体 $a_3-X$ 进行合成<sup>[10]</sup>。氟脲菌酯、烯脲菌胺、SYP-2815和SYP-3998的化学结构及其合成路线见图4。

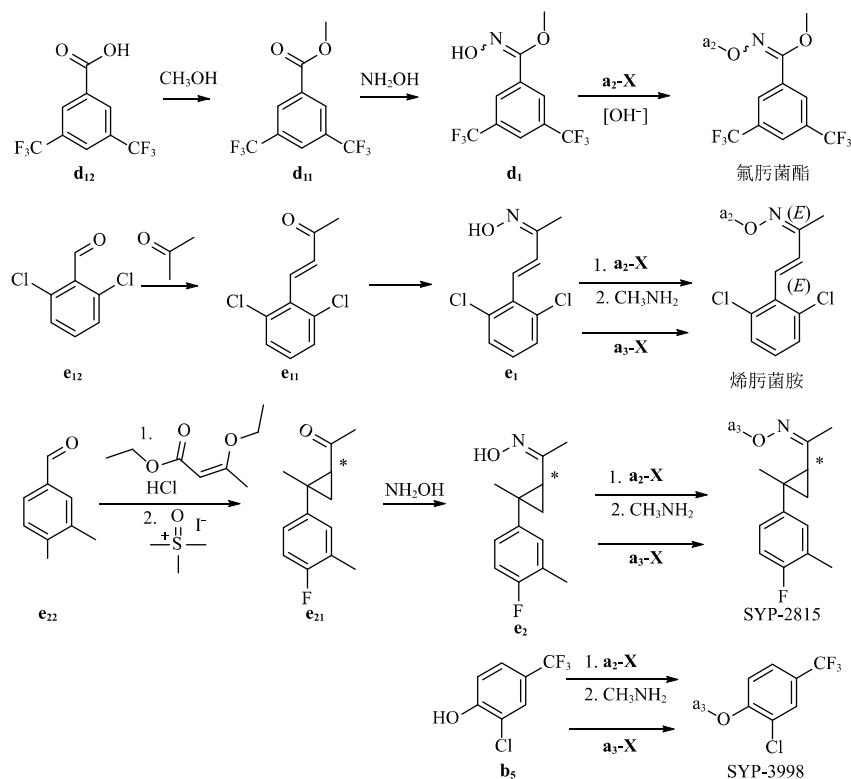


图4 氟脲菌酯、烯脲菌胺、SYP-2815和SYP-3998的化学结构及其合成路线

### 2.2.3 甲氧基氨基甲酸酯类

唑胺菌酯和氯啶菌酯属于甲氧基氨基甲酸酯类自主创制品种,都可用吡唑醚菌酯的中间体 $a_4-Br$ 进行合成。其中,唑胺菌酯可由中间体 $a_4-Br$ 与1,4-二甲基-3-苯基-1*H*-吡唑-5-醇 $f_1$ 缩合得到,后者可以苯丙酮 $f_{12}$ 为起始原料,采用与唑菌酯中间体 $b_4$ 相同的合成路线进行合成<sup>[11]</sup>。氯啶菌酯也可直接用 $a_4-Br$ 与三氯吡啶醇钠 $c$ 缩合得到,其合成路线短且成本相

对较低<sup>[32]</sup>。唑胺菌酯和氯啶菌酯的化学结构及其合成路线见图5。

## 3 自主创制Strobilurins类农药品种的生物活性

### 3.1 杀菌活性

自主创制Strobilurins类农药品种多具有杀菌活性,对由鞭毛菌、卵菌、子囊菌、担子菌和半知菌引



起的多种植物病害(如白粉病、霜霉病和炭疽病等)具有广谱活性(表3)。这些自主创制的农药品种的杀菌活性一般优于咪唑酯、啉氧菌酯、醚菌酯、吡唑

醚菌酯、腈菌唑、氟霜唑和三唑酮,或与之大致相当,其持效期长至7~14 d,且与常规杀菌剂无交互抗性,对作物安全。

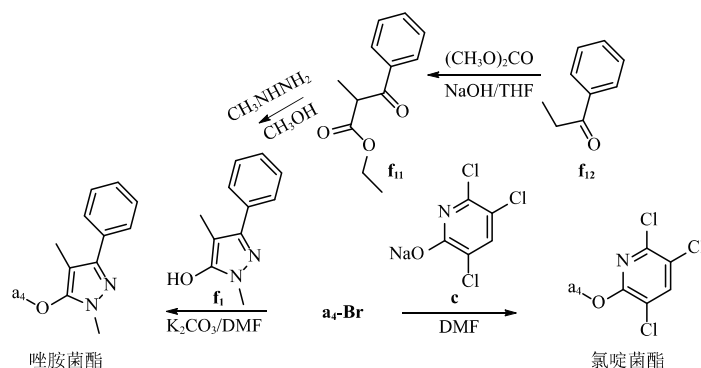


图 5 唑胺菌酯和氯唑胺菌酯的化学结构及其合成路线

表 3 自主创制 Strobilurins 类农药品种的杀菌活性

活性成分	防治对象	杀菌活性	参考文献
烯炔菌酯	黄瓜霜霉病和白粉病 小麦和黄瓜白粉病	略低于咪唑酯 与腈菌唑相当	[33]
甲香菌酯	黄瓜霜霉 苹果腐烂病、稻瘟病、稻曲病、棉花枯萎病	低于同剂量的咪唑酯	[34]
丁香菌酯	黄瓜霜霉病、小麦白粉病、苹果腐烂病	与烯炔菌酯和咪唑酯相当,与烯炔菌酯相当,优于咪唑酯	[35]
苯醚菌酯	黄瓜白粉病 葡萄霜霉病	优于咪唑酯 与氟霜唑相当	[36-37]
唑菌酯	蔬菜和谷物的霜霉病、白粉病、灰霉病、炭疽病、稻瘟病、褐斑病和疫病等	不低于咪唑酯	[38-39]
氟菌唑酯	小麦白粉病和锈病	与同剂量的唑胺菌酯大致相当	[40]
ZJ1621、ZJ1954	黄瓜霜霉病、白粉病和小麦白粉病	略优于或接近于啉氧菌酯	[13,41-43]
HNPC-A3066	水稻稻瘟病和小麦白粉病		[27]
苯噻菌酯	小麦白粉病 水稻纹枯病和稻瘟病、油菜菌核病	对小麦白粉病的耐雨水冲刷性和持效性优于咪唑酯	[44-45]
吡氟菌酯	黄瓜霜霉病	预防效果与咪唑酯相当,治疗效果低于咪唑酯	[46]
氟炔菌酯	水稻稻瘟病、小麦和黄瓜的白粉病		[47-48]
烯炔菌胺	小麦白粉病和锈病 葡萄霜霉病	不低于同剂量的咪唑酯 与同剂量的烯炔菌酯相当	[31]
SYP-2815	黄瓜霜霉病、黄瓜白粉病、小麦白粉病、葡萄霜霉病、稻瘟病和稻曲病	优于同剂量的咪唑酯或与之相当	[49]
SYP-3998	小麦白粉病	优于三唑酮但低于唑菌胺酯	[50-51]
氯唑菌酯	水稻稻瘟病、稻曲病、纹枯病、小麦根腐病、番茄灰霉病、油菜菌核病和荔枝霜霉病等	优于醚菌酯和吡唑醚菌酯	[32,52]
唑胺菌酯	黄瓜霜霉病 黄瓜白粉病	优于SYP-3998 优于吡唑醚菌酯和醚菌酯	[22,53]

其中,烯炔菌酯<sup>[33]</sup>、唑菌酯<sup>[54]</sup>、氟菌唑酯、SYP-2815<sup>[49]</sup>、SYP-3998<sup>[50-51]</sup>和唑胺菌酯<sup>[55]</sup>都具有预防保护、治疗和一定的铲除作用,氟菌唑酯具有一定的叶片内吸活性而无根内吸活性,SYP-3998可在叶片移动和根部内吸传导<sup>[50-51]</sup>。氟炔菌酯<sup>[47-48]</sup>、苯醚菌酯、烯炔菌胺<sup>[31]</sup>、苯噻菌酯和氯唑菌酯<sup>[32,52]</sup>具有保护和治疗作用,氟炔菌酯、ZJ1621和ZJ1954的内吸传导活性都较差<sup>[41]</sup>。吡氟菌酯以预防为主,治疗效果较

差且无内吸传导作用<sup>[47]</sup>。

### 3.2 杀虫(螨)活性

部分自主创制Strobilurins类农药品种还具有一定的杀虫、杀螨活性(表4)。这些自主创制的农药品种可抑制虫螨取食<sup>[2]</sup>,对多虫态的鳞翅目、半翅目和双翅目等昆虫具有不同程度的杀虫活性,对红蜘蛛和朱砂叶螨等害螨的生物活性也较好,优于咪唑酯、哒螨灵和快螨特,或与之大致相当,且持效期长

至15~30 d,对作物和天敌安全。

其中,HNPC-A3066以触杀为主,无内吸活性,对若螨活性较高并兼具杀卵作用<sup>[26,56]</sup>。吡氟菌酯、

SYP-10913和啮螨胺对若螨、成螨和螨卵都有效,但吡氟菌酯对螨卵毒杀活性较差<sup>[57]</sup>。SYP-10913属于正温度系数杀螨剂,内吸渗透性较差<sup>[19,59-60]</sup>。

表4 自主创制 Strobilurins 类农药品种的杀虫(螨)活性

活性成分	防治对象	生物活性	参考文献
烯炀菌酯	黏虫、棉蚜	250 mg/L时杀死率100%	[21]
唑菌酯	黏虫、淡色库蚊和棉蚜	250 mg/L时杀死率90%以上	[35]
SYP-4903	黏虫、小菜蛾、朱砂叶螨和淡色库蚊	600 mg/L时杀死率100%	[23]
	朱砂叶螨	20 mg/L时杀死率100%	
	柑橘红蜘蛛	防效优于哒螨灵和炔螨特	
氟菌酯	朱砂叶螨	优于炔螨特	[55]
	柑橘和苹果红蜘蛛	优于哒螨灵,接近或与啮螨酯相当	
HNPC-A3066	棉花、柑橘和苹果红蜘蛛	优于啮螨酯	[26,56]
吡氟菌酯	朱砂叶螨	与炔螨特相当	[57]
SYP-4966	柑橘红蜘蛛	优于哒螨灵,与啮螨酯相当	[58]
SYP-10913	朱砂叶螨	优于啮螨酯,低于啮螨胺	[19,59]
啮螨胺	柑橘、苹果和棉花红蜘蛛,柑橘锈螨和叶螨等害虫	优于啮螨酯	[29,60]

## 4 自主创制 Strobilurins 类农药品种的应用开发

### 4.1 田试应用

国内研究机构对多个自主创制的 Strobilurins 类农药品种进行了大量的田试应用研究,主要以黄瓜、小麦、水稻、葡萄、苹果和柑橘等作物上对白粉病、霜霉病和红蜘蛛等病、虫(螨)害防治为主。自主创制的 Strobilurins 类农药品种的田试应用总结见表5。

### 4.2 应用登记

目前,仅有自主创制 Strobilurins 类农药品种作为杀菌剂在中国登记或正在进行登记,还未见其作为杀虫(螨)剂开展田试或登记。其中,7个自主创制 Strobilurins 类杀菌剂相关制剂在中国的应用登记总

结见表6。同时,还有一些相关的复配制剂开展过或者正在开展登记前的田间药效试验,这包括:烯炀菌酯与烯酰吗啉、稻瘟酰胺或吡唑醚菌酯复配用于防治马铃薯晚疫病、葡萄白粉病和水稻稻瘟病等病害;烯炀菌胺与丙森锌或噁唑酰胺复配用于防治番茄早疫病、水稻纹枯病等病害;丁香菌酯与烯酰吗啉、苯醚甲环唑或戊唑醇等复配用于防治黄瓜霜霉病、苹果树斑点落叶病和玉米大斑病等;唑菌酯与氟吗啉、百菌清或苯醚甲环唑复配用于防治马铃薯晚疫病、黄瓜霜霉和靶斑病等病害;氯啶菌酯与氟环唑、苯醚甲环唑、戊唑醇、三环唑或氰烯菌酯复配用于防治小麦条锈病、白粉病与赤霉病、水稻稻瘟病、苹果树斑点落叶病等病害。此外,用于防治黄瓜霜霉病的单剂25%苯噻菌酯SC田试研究也正在进行之中。

表5 自主创制 Strobilurins 类农药品种的田试应用总结

活性成分	制剂产品	作物	防治对象	有效成分用量/(g·hm <sup>-2</sup> )
烯炀菌酯	25%EC	黄瓜、葡萄	霜霉病	100~200
		小麦	白粉病	50~100 <sup>a</sup>
烯炀菌胺	5%EC, 20%SC	苹果	斑点落叶、轮纹病	100~200
		小麦、黄瓜	白粉病	40~80
甲香菌酯	20%SC	黄瓜	霜霉病	50~200
		油菜	菌核病	50~200
		苹果树	腐烂病	1 000~2 000 <sup>a</sup>
丁香菌酯	20%SC	苹果树	腐烂病	500~1500 <sup>a</sup>
		大蒜	叶枯病	48~60
苯醚菌酯	10%SC	黄瓜、小麦	白粉病	10~20
		黄瓜、葡萄	霜霉病	50~100
唑菌酯	20%SC, 20%OD	黄瓜	霜霉病	80~200 <sup>a</sup>
		黄瓜	白粉病	125~250 <sup>a</sup>
SYP-2815	20%EC	黄瓜	霜霉病、白粉病	25~100
		葡萄	霜霉病	25~100
		水稻	稻瘟病、稻曲病	50~200

(续表 5)

活性成分	制剂产品	作物	防治对象	有效成分用量/(g·hm <sup>-2</sup> )
SYP-3998	20%EC, 20%SC	小麦	白粉病	30~135
氟菌唑酯	20%SC	小麦	白粉病	30~135
		小麦	锈病	45~135
		黄瓜	霜霉病	100~200
唑胺菌酯	20%SC	黄瓜	白粉病、霜霉病	50~100
氯啉菌酯	20%SC, 15%EC, 15%EW	小麦	白粉病	40~60 <sup>a</sup>
		甜瓜	白粉病	50~100 <sup>a</sup>
		水稻	稻瘟病、稻曲病	50~150 <sup>a</sup>
		苹果	褐斑病、锈病等	50~100 <sup>a</sup>
ZJ-1954	5%EC	黄瓜	霜霉病	25~200 <sup>a</sup>
ZJ-1621	5%EC	黄瓜	霜霉病	25~200 <sup>a</sup>
吡氟菌酯	15%SC	黄瓜	霜霉病	100 <sup>a</sup>
氟肟菌酯	10%EC	黄瓜	霜霉病	100~200
		黄瓜	白粉病	10~20
HNPC-A3066	10%EC/SE	棉花、柑橘、苹果	红蜘蛛	80~160 <sup>a</sup>
		水稻、小麦	稻瘟病、白粉病	20~50 <sup>a</sup>
苯噻菌酯	5%EC	黄瓜	白粉病	1:500~1:1000 <sup>b</sup>
		草莓	白粉病	1:1000 <sup>b</sup>
SYP-10913		苹果、柑橘	红蜘蛛	10~100 <sup>a</sup>
啞螨胺	5%SL	苹果、柑橘	红蜘蛛	25~100 <sup>a</sup>
	15%SL	苹果	红蜘蛛	1:1500~1:3000

注: 药剂质量浓度单位为 mg/L; †指兑水稀释比例。

表 6 7 个自主创制 Strobilurins 类杀菌剂相关制剂在中国的应用登记总结

活性成分	制剂产品	作物	防治对象	有效成分用量/(g·hm <sup>-2</sup> )
烯肟菌酯	25% EC	黄瓜	霜霉病	101.25~198.75
烯肟菌酯+霜脲氰	12.5%+12.5% WP	葡萄	霜霉病	101.25~198.75
烯肟菌酯+多菌灵	7%+21% WP	小麦	赤霉病	201.6~399
烯肟菌酯+氟环唑	12%+6%+21% SC	苹果	斑点落叶病	1:900~1:1800 <sup>b</sup>
烯肟菌胺	5% EC	黄瓜	白粉病	39.75~80.25
		小麦	白粉病	1:750~1:1500 <sup>b</sup>
		花生	叶斑病	90~120
烯肟菌胺+戊唑醇	10%+10% SC	黄瓜	白粉病	99~150
		水稻	稻瘟、稻曲、纹枯病	99~201
		小麦	锈病	39~60
烯肟菌胺+戊唑醇	6%+18% OD	水稻	纹枯病	108~144
烯肟菌胺+苯醚甲环唑	8%+16% SC	西瓜	蔓枯病	126~180
烯肟菌胺+氟环唑	9%+27% SC	香蕉	叶斑病	1:1000~1:1500 <sup>b</sup>
烯肟菌胺+三环唑	2.5%+22.5% SC	水稻	稻瘟病	225~337.5
烯肟菌胺+噻虫嗪+苯醚甲环唑	0.6%+42.6%+1.8% FS	小麦	纹枯病	400~800 <sup>c</sup>
		小麦	蚜虫	
丁香菌酯	0.15% SC	苹果树	腐烂病	1:1~1:1.5 <sup>b</sup>
丁香菌酯	20% SC	苹果树	腐烂病	1:130~1:200 <sup>b</sup>
丁香菌酯+戊唑醇	10%+30% SC	苹果树	褐斑病	1:2000~1:2700 <sup>b</sup>
		水稻	纹枯病	288~360 <sup>a</sup>
苯醚菌酯	10% SC	黄瓜	白粉病	1:5000~1:10000 <sup>b</sup>
苯醚菌酯+氟啶胺	5%+35% SC	黄瓜	霜霉病	120~180
唑菌酯	20% SC	黄瓜	霜霉病、白粉病	50~100 <sup>a</sup>
唑菌酯+氟吗啉	5%+20% SC	黄瓜	霜霉病	101.25~198.75
唑胺菌酯	20% SC	黄瓜	白粉病	50~100 <sup>a</sup>
氯啉菌酯	15% EW	小麦	白粉病	33.75~75
		水稻	稻瘟病、稻曲病	90~148.5
		油菜	菌核病	90~148.5

注: 药剂质量浓度单位为 mg/L; †指兑水稀释比例; ‡拌种单位为 g/kg。



## 5 小结与展望

近年来,随着国家对自主科技创新的重视和支持,各大研究机构加大了对自主知识产权产品的开发力度。Strobilurins类农药品种自开发以来,就以其广谱、高效、低毒和安全等卓越性能成为了研究的热点,国内外多家研究机构也对此进行了卓有成效的创制开发。目前,至少有21个自主创制的Strobilurins类农药品种先后见诸于报道,其中10个品种的中文通用名和8个品种的英文通用名分别获得了中国和国际标准化组织的批准,还有8个品种已获得或正在进行中国及海外的农药登记。这对促进自主创制农药品种的产业化和商业化具有重要的意义。

由于与国外创制的Strobilurins类农药品种具有相似的化学骨架和片段结构,自主创制品种可以看成是其结构的进一步衍生,因而可共用相关关键中间体进行合成生产。这有利于缩短自主创制品种的产业化进程,节约开发时间,降低生产成本。将已有农药品种的中间体引入进行新农创制和开发,也为新农创制的生产布局提供了新的思路,如噁菌胺和Mandestrobin的生产工厂可布局苯醚菌酯的生产,毒死蜱和三氯吡氧乙酸的生产工厂也可布局氯啶菌酯和吡氟菌酯的生产。理论上,苯醚菌酯、氟啶菌酯、ZJ1621和SYP-3998等创制品种的生产也具有一定的相对优势。

自主创制Strobilurins类农药品种对水果、蔬菜和谷物等作物的多种病害、虫害和螨害都显示出了较好的生物活性,优于现有同类或他类品种或与之相当,具有一定的市场前景。特别地,Strobilurins类杀菌剂对黄瓜霜霉病菌都存在抗性风险,但噁菌胺酯、氟啶菌酯、SYP-3998、噁菌酯和丁香菌酯等自主创制品种的抗性风险要明显低于噁菌酯的<sup>[61]</sup>,因而在实际田试和登记应用中自主创制品种比噁菌酯更多地用于黄瓜霜霉病控制。然而,烯炔菌胺、苯醚菌酯和苯噻菌胺还是极易对草莓灰霉病菌产生高水平抗性<sup>[37,62-63]</sup>。这些都可能与各Strobilurins类农药品种的单一作用位点共性<sup>[64]</sup>和不同的化学结构差异等因素有关。

在实际应用中,要结合自主创制Strobilurins类农药品种的特点进行应用和推广,如吡氟菌酯对螨卵的活性较差,应于若螨发生期施用,氟啶菌酯因内吸治疗活性差,应提前施用预防。同时应注意自主创制Strobilurins类农药品种对敏感作物的安全性问题。此外,还有必要加强对自主创制品种的抗性

机理研究,不断开发新的桶配、复配组合和轮换用药技术,并结合农业生产措施等进行综合防治,延缓有害生物抗性发展,延长新品种的生命周期。

### 参考文献

- [1] BECKER W F, VON JAGOW G, ANKE T, et al. Oudemansin, strobilurin A, strobilurin B and myxothiazol: new inhibitors of the bc1 segment of the respiratory chain with an E-beta-methoxyacrylate system as common structural element[J]. FEBS Letters, 1981, 132 (2): 329-333.
- [2] GUAN A Y, LIU C L, YANG X P, et al. Application of the intermediate derivatization approach in agrochemical discovery[J]. Chemical Reviews, 2014, 114 (14): 7079-7107.
- [3] 杨光富,郝格非,王福,等.一种新的药物设计方法:药效团连接碎片虚拟筛选[C]//中国化学会,重庆市科学技术委员会.化学与创新药物:2013年中国化学会产学研合作研讨会论文集.重庆:中国化学会,重庆市科学技术委员会,2013:21-22.
- [4] 李宗成,张立新,史思迪,等.不饱和脲醚类杀虫、杀真菌剂:CN,1191670A[P].1998-09-02.
- [5] 张立新,刘冬青,史蒂夫·H·塞伯.不饱和脲醚类杀菌剂:CN,1309897A[P].2001-08-29.
- [6] 刘长令,关爱莹,李志念,等.具有杀虫、杀菌活性的苯并吡喃酮类化合物及制备与应用:CN,1616448A[P].2005-05-18.
- [7] 许天明,陈定花,孔小林,等.甲氧基丙烯酸甲酯类化合物杀菌剂:CN,1456054A[P].2003-11-19.
- [8] 刘长令,李林,张弘,等.取代唑类化合物及其制备与应用:CN,1657524A[P].2005-08-24.
- [9] 李斌,相东,李志念,等.一种1-苯基-1-甲基环丙烷类化合物及其应用:CN,1927826A[P].2007-03-14.
- [10] 刘长令,迟会伟,崔东亮,等.取代的对三氟甲基苯醚类化合物及其制备与应用:CN,1887847A[P].2007-01-03.
- [11] 刘长令,李森,张弘,等.一种芳基醚类化合物及其制备与应用:CN,1869034A[P].2006-11-29.
- [12] 杨春河,耿丽文,周德锋,等.N-(2-取代苯基)-N-甲氧基氨基甲酸酯类化合物及其制备与应用:CN,1814590A[P].2006-08-09.
- [13] 胡伟群,朱卫刚,陈定花,等.创制杀菌化合物ZJ1954的生物活性[J].浙江农业学报,2007,19(4):297-301.
- [14] 孔小林,胡伟群,郑昀红,等.取代甲氧基丙烯酸甲酯类化合物杀菌剂:CN,1907024A[P].2007-02-07.
- [15] 柳爱平,黄明智,陈灿,等.具生物活性的含双三氟甲基苯基的甲氧基丙烯酸酯类化合物及其制备方法:CN,1687019A[P].2005-10-26.
- [16] 杨光富,黄伟,刘祖明,等.一类苯并噻唑衍生物的合成及杀菌活性:CN,1789253A[P].2006-06-21.
- [17] 刘长令,柴宝山,袁静,等.取代噻唑醚类化合物及其应用:CN,101311170A[P].2008-11-26.
- [18] 刘长令,李森,张弘,等.取代苯基吡唑醚类化合物及其应用:CN,101323592A[P].2008-12-17.
- [19] 刘长令,李慧超,张弘,等.含取代苯胺基噻唑基团的E-型苯基丙烯酸酯类化合物及其应用:CN,101906075A[P].2010-12-08.

- [20] 孙克, 吕良忠, 司乃国, 等. 创制杀菌剂烯炔菌酯异构体的鉴定及杀菌活性[J]. 农药, 2012, 51(3): 168-171.
- [21] 孙克, 吴鸿飞, 张弘, 等. 烯炔菌酯高效体的合成与杀虫活性[J]. 现代农药, 2013, 12(1): 17-19.
- [22] 关爱莹, 刘长令, 李志念, 等. 杀菌剂丁香菌酯的创制经纬[J]. 农药, 2011, 50(2): 90-92.
- [23] 李森, 刘若霖, 杨浩, 等. (*E*)-2-(2-((3-(2,4-二甲基苯基)-1,4-二甲基-1*H*-吡唑-5-基氧基)甲基)苯基)-3-甲氧基丙烯酸甲酯(SYP-4903)的合成及杀虫杀螨活性[J]. 农药, 2008, 47(12): 874-876.
- [24] 李森, 李林, 刘长令, 等. 唑菌酯(SYP-3343)的设计、合成与生物活性[C]//中化化工科学技术研究总院. 第七届全国新农药创制学术交流会议论文集. 杭州: 中化化工科学技术研究总院, 2007: 242-246.
- [25] CORTES I, KAUFMAN T S, BRACCA A B J. A convenient and eco-friendly cerium (III) chloride-catalysed synthesis of methoxime derivatives of aromatic aldehydes and ketones[J/OL]. (2018-05-23) [2019-07-01]. Royal Society Open Science, 2018, 5 (5): 180279. <https://doi.org/10.1098/rsos.180279>.
- [26] 柳爱平, 裴晖, 刘兴平, 等. 新型杀螨剂HNPC-A3066的创制研究[C]//中国植物保护学会, 湖南省植物保护学会, 国家农药创制工程技术研究中心. 国家农药创制工程技术研究中心2007学术研讨会暨湖南省湖北省农药植保学术交流会议. 长沙: 中国植物保护学会, 湖南省植物保护学会, 国家农药创制工程技术研究中心, 2007.
- [27] LIU A P, WANG X G, CHEN C, et al. The discovery of HNPC-A3066: a novel strobilurin acaricide[J]. Pest Management Science, 2009, 65(3): 229-234.
- [28] 刘玉超, 钱刚, 李勇, 等. 苯噻菌酯的合成[C]//中国化学学会农药专业委员会. 中国化学学会农药专业委员会第十七届年会论文集. 郑州: 中国化学学会农药专业委员会, 2016: 215-216.
- [29] 柴宝山, 刘长令, 张弘, 等. 杀螨剂噻螨胺(SYP-11277)的创制经纬[J]. 农药, 2011, 50(5): 325-326; 335.
- [30] 沈剑仕, 曹根法, 张新忠, 等. 苯醚菌酯的合成方法[J]. 农药, 2014, 53(10): 718-719.
- [31] 司乃国, 刘君丽, 杨春河, 等. 新型广谱杀菌剂: 烯炔菌胺(SYP-1620)[C]//中国植物病理学会. 第四届中国植物病害化学防治学术研讨会论文集. 贵阳: 中国植物病理学会, 2004: 37-42.
- [32] 周德锋, 耿丽文, 聂开晨, 等. 新杀菌剂氯啉菌酯及其合成工艺[C]//中国化学学会. 中国化学学会农药专业委员会第十三届年会论文集. 井冈山: 中国化学学会, 2008: 390-392.
- [33] 司乃国, 李志念, 刘君丽, 等. 新广谱杀菌剂SYP-Z071的生物活性评价[J]. 浙江化工, 2000, 31(增刊1): 94-96.
- [34] 陈亮, 司乃国, 刘君丽, 等. 新杀菌剂甲香菌酯生物活性及评价[C]//中化化工科学技术研究总院. 第七届全国新农药创制学术交流会议论文集. 杭州: 中化化工科学技术研究总院, 2007: 373-379.
- [35] 李森, 刘长令, 张明星, 等. 丁香菌酯(SYP-3375)的设计、合成及杀菌活性[J]. 农药学报, 2010, 12(4): 453-457.
- [36] 许天明. 新型高效杀菌剂: 苯醚菌酯[J]. 世界农药, 2006, 28(6): 51-52.
- [37] 尚雁, 黄林, 谭海军. 甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂苯醚菌酯及其开发[J]. 浙江化工, 2019, 50(6): 12-17.
- [38] 李森, 刘长令, 李志念, 等. 杀菌剂唑菌酯的创制经纬[J]. 农药, 2011, 50(3): 173-174.
- [39] 李森, 杨吉春, 刘长令. 杀菌剂: 唑菌酯 (pyraoxystrobin)[J]. 世界农药, 2014, 36(5): 60-61.
- [40] 兰杰, 单忠刚, 李志念, 等. 创制杀菌剂SYP-3759的生物活性研究[C]//中国化学学会. 中国化学学会农药专业委员会第十四届年会论文集. 沈阳: 中国化学学会, 2010: 413-421.
- [41] 胡伟群, 朱卫刚, 陈定花, 等. 创制杀菌剂ZJ1954和ZJ1621的生物活性研究[C]//中化化工科学技术研究总院. 全国新农药创制学术交流会议论文集. 天津: 中化化工科学技术研究总院, 2005: 363-367.
- [42] 胡伟群, 朱卫刚, 陈定花, 等. 甲氧基丙烯酸酯类新化合物ZJ1621的生物活性[J]. 农药学报, 2007, 9(3): 240-244.
- [43] 胡伟群. 新型Strobilurin类杀菌剂的研发[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [44] 徐从英, 侯毅平, 王建新, 等. 新型杀菌剂苯噻菌酯的抑菌活性及生物学特性[J]. 农药学报, 2014, 16(6): 667-672.
- [45] 杨光富. 绿色农药分子设计与新品种开发[J]. 中国农药, 2016 (11): 69-72.
- [46] 胡伟群, 朱卫刚, 陈定花, 等. 新型杀菌化合物吡氟菌酯(ZJ2211)的生物活性及田间防效[J]. 植物保护学报, 2009, 36(2): 189-190.
- [47] 张俐, 欧晓明, 雷满香, 等. 新杀菌剂氟啉菌酯对几种作物病原菌的生物活性研究[J]. 现代农药, 2012, 11(4): 15-18.
- [48] 张俐. 新杀菌剂HNPC-A4008的生物活性及应用研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2005.
- [49] 司乃国, 杨瑞秀, 刘君丽, 等. 新杀菌剂SYP-2815的作用特性及应用技术研究[C]//中国植物病理学会. 第六届中国植物病害化学防治学术研讨会论文集. 沈阳: 中国植物病理学会, 2008: 29-40.
- [50] 兰杰, 单忠刚, 司乃国. 新杀菌剂SYP-3998对小麦白粉病的生物活性[C]//中国植物病理学会. 第六届中国植物病害化学防治学术研讨会论文集. 沈阳: 中国植物病理学会, 2008: 46-50.
- [51] 乔桂双, 王文桥, 韩秀英, 等. 两种候选甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂对黄瓜霜霉病的作用方式[J]. 植物保护学报, 2009, 36(2): 173-178.
- [52] 虞卉, 黄坤敏. 新型甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂: 氯啉菌酯[J]. 世界农药, 2012, 34(2): 54-55.
- [53] 曹秀凤, 刘君丽, 李志念, 等. 新杀菌剂唑啉菌酯的作用特性[J]. 农药, 2010, 49(5): 323-325; 343.
- [54] 李森, 刘长令, 李志念, 等. 唑菌酯(pyraoxystrobin)的合成与性能研究[C]//中国畜牧兽医学会, 中国生物工程学会, 中国植物保护学会. 中关村全球农业生物技术创新论坛论文集. 北京: 中国畜牧兽医学会, 中国生物工程学会, 中国植物保护学会, 2011: 69-72.
- [55] 张弘, 李志念, 兰杰, 等. 创制杀螨剂SYP-3759的杀螨活性研究

(下转第 44 页)

- [J]. 植物医生, 2006, 19(1): 4-5.
- [7] GROSSCURT A C. Diflubenzuron: some aspects of its ovicidal and larvicidal mode of action and an evaluation of its practical possibilities[J]. Pest Management Science, 2010, 9(5): 373-386.
- [8] 焦俊超, 张少飞, 张文树. 50%除虫脲·高效氯氟氰菊酯悬浮剂研制[J]. 今日农药, 2017(6): 12-15.
- [9] MALHAT F, FAYZ E S, LOUTFY N M, et al. Residues and dissipation of the pesticide emamectin benzoate under Egyptian field condition: a case study[J]. Toxicological and Environmental Chemistry, 2013, 95(7): 1099-1107.
- [10] DU P, LIU X, GU X, et al. Rapid residue analysis of pyriproxyfen, avermectins and diflubenzuron in mushrooms by ultra-performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry[J]. Analytical Methods, 2013, 5(23): 6741.
- [11] MENSAH J K, LUNDANES E, GREIBROKK T, et al. Determination of diflubenzuron in apples by gas chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 1997, 765(1): 85-90.
- [12] BIAN Y L, WANG B N, LIU F M, et al. Residue behaviour and dietary risk assessment of emamectin benzoate in mango under field condition using modified QuEChERS method combined with HPLC-MS/MS[J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2020, 100(3): 1-13.
- [13] 刘刚. 除虫脲在荔枝上残留及消解动态基本明确[J]. 农药市场信息, 2017(2): 55.
- [14] 高晓辉, 李本昌, 龚勇, 等. 除虫脲在苹果及土壤中的残留及消解动态的研究[J]. 农药科学与管理, 1989(1): 7-8.
- [15] 吴绪金, 马婧玮, 刘丹黎, 等. 除虫脲在棉叶和土壤中消解动态分析及棉子中残留量膳食摄入评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(3): 790-795.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国农业部. GB 2763-2016食品安全国家标准食品中农药最大残留限量[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [17] 徐娟, 陈捷, 叶弘毅, 等. QuEChERS提取与高效液相色谱-电喷雾电离串联质谱联用法检测茶叶中的19种农药残留[J]. 分析测试学报, 2011, 30(9): 990-995.
- [18] 王丹丹, 陈娇娇, 陈冷竹, 等. 萝卜中除虫脲的消解动态及慢性摄入风险评估[J]. 农药, 2018, 57(6): 431-434.
- [19] 张侃侃, 胡德禹, 张钰萍, 等. 氨基阿维菌素苯甲酸盐在水稻环境中的残留及消解动态[J]. 农药学报, 2010, 12(2): 190-194.
- [20] 王小丽, 王素利, 陈振山, 等. 黄瓜及其栽培土壤中氨基阿维菌素苯甲酸盐的残留动态研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊1): 307-310.
- [21] 邱雪柏, 陈兴江, 向章敏, 等. 烟叶中氨基阿维菌素苯甲酸盐的消解动态[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2013, 39(4): 401-403.

(责任编辑:徐娟)

## (上接第10页)

- [J]. 世界农药, 2009, 31(增刊1): 46-49.
- [56] 裴晖, 欧晓明, 王永江, 等. 新化合物HNPC-A3066的杀螨活性及田间防治效果研究[J]. 农药学报, 2009, 11(2): 208-212.
- [57] 董德臻, 邢家华, 付群梅, 等. 新化合物ZJ2211对朱砂叶螨室内生物活性[J]. 现代农药, 2009, 8(1): 12-14.
- [58] 张弘, 刘长令, 罗艳梅, 等. 取代噻啉醚甲氧基丙烯酸酯类杀螨剂的发现与杀螨活性[C]//中化化工科学技术研究院. 全国新农药创制学术交流会议论文集. 杭州: 中化化工科学技术研究院, 2009: 252-257.
- [59] 刘少武, 宋玉泉, 柴宝山, 等. 高活性化合物SYP-10913杀螨活性研究[C]//中国化学学会农药专业委员会. 中国化学学会农药专业委员会第十四届年会论文. 沈阳: 中国化学学会农药专业委员会, 2010: 364-369.
- [60] 柴宝山, 刘长令, 刘少武, 等. 噻啉醚的创制与合成研究[C]//中国工程院. 中国工程院化工、冶金与材料工程学部第九届学术会议论文集. 徐州: 中国工程院, 2012: 151-159.
- [61] 乔桂双. 五种Strobilurin类杀菌剂对黄瓜霜霉病菌生物活性及其抗性风险[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
- [62] 张晓柯. 灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)对两种呼吸抑制剂烯肟菌胺和氟吡菌酰胺的抗性风险评估[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [63] 武东霞. 灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)对苯噻菌酯和咯菌腈的抗性风险研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [64] Fungicide Resistance Action Committee (FRAC). Introduction and General Information of QoI Working Group [EB/OL]. [2019-07-01]. <http://www.frac.info/working-group/qol-fungicides/introduction-and-general-information>.

(责任编辑:徐娟)

## 中国农业科学院在海洋天然产物除草剂和杀菌剂的研究应用方面取得进展

近日, 中国农业科学院烟草研究所滩涂生物资源保护利用创新团队发现了海洋天然产物除草剂和杀菌剂的先导化合物, 为绿色生物农药的研究开发提供了重要的理论和物质基础。相关研究成果相继在线发表在《农业与食品化学》、《微生物学前沿》、《海洋科学前沿》和《中国农业科学》上。

(陈逸雨译自《AGROW》)