

陈志龙, 陈杰, 许建平, 等. 番茄青枯病生物防治研究进展[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8): 131-134.

## 番茄青枯病生物防治研究进展

陈志龙<sup>1</sup>, 陈杰<sup>2</sup>, 许建平<sup>2</sup>, 张永春<sup>2</sup>

(1. 江苏省耕地质量保护站, 江苏南京 210013;

2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏南京 210014)

**摘要:**番茄青枯病的防治是农业生产上面临的一大难题, 该病在番茄生产上造成了巨大的经济损失。本文介绍了近年来在番茄青枯病生物防治方面所取得的一些研究成果, 并对生物防治存在的相关问题及应用前景进行了讨论。

**关键词:**番茄青枯病; 青枯菌; 生物防治; 研究进展

**中图分类号:**S476 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2013)08-0131-03

随着番茄栽培面积的不断扩大, 栽培品种单一, 栽培模式和栽培管理技术不当, 番茄病虫害也越来越严重, 特别是在保护地栽培的番茄, 病虫害更为严重。番茄青枯病是其中一种非常严重的病害, 在我国南方各省(市)番茄种植区域均有严重发生。该病害是由茄科劳尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*, 简称青枯菌)引起的一种世界范围的毁灭性土传细菌病害, 在高温、高湿的条件下容易暴发, 广泛分布于热带、亚热带和温带地区<sup>[1]</sup>, 甚至在部分低温地区同样发现青枯菌的存在, 给全球农作物生产带来了极大的威胁<sup>[2]</sup>。该病害一旦发生就难以控制, 往往造成作物大面积萎蔫死亡甚至绝收, 导致番茄产量严重下降, 严重制约着番茄产业的发展和经济效益的提高。

防治番茄青枯病的常用策略包括化学农药、土壤改良、抗病品种、嫁接与轮作等, 但效果均不稳定<sup>[3]</sup>。此外, 过量施用化学农药带来的环境污染和食品安全问题, 引起了人们的广泛关注和担忧。因此, 必须发展环境友好型的防病措施(如生物防治), 实现减少农药用量、抑制病害发展、恢复土壤健康和提高食品安全的多重目标。本文就有关番茄青枯病生物防治的研究进行整理, 为有关人员研究、防治番茄青枯病提供系统的参考资料。

### 1 细菌

#### 1.1 无致病力青枯菌

根据近缘细菌可通过产生细菌素、竞争营养位点来抑制病原菌生长的特点, 有学者采用无致病力青枯菌用于青枯病的控制, 并且已取得了一定的效果。Tsai 等用从鹤望兰茎部分离筛选获得的无致病力青枯菌株浸根处理番茄幼苗后进行防病试验, 其中 BP5 防治青枯病效果最好<sup>[4]</sup>。任欣正等研究发现无致病力菌株 MA-7、nOE-104 在温室盆栽和田间小区中均能有效防治番茄青枯病<sup>[5]</sup>。Frey 等用 *hrp*<sup>-</sup> 突变体进行防治番茄青枯病的试验, 取得了较高的保护率; 用多次浇灌

法处理,  $A_{3-5}$  的病情指数比对照降低达 80%, 推迟发病 25 d<sup>[6]</sup>。肖田等从茄子、番茄、辣椒、烟草青枯病株中分离出 116 株无致病力青枯菌, 室内平板喷雾法拮抗试验结果表明, 有 21 株菌在 NA 培养基上可明显抑制青枯菌 TbRs 的生长; Tmjdl-3 和 Aujd8-2-1 这 2 株菌具有较好的温室控病效果, 20 d 后的相对防效分别为 58.4% 和 97%<sup>[7]</sup>。杨宇红等研究发现, 无致病力 *hrp*<sup>-</sup> 突变体对致病青枯菌无直接抑制作用, 但可在植株体内定殖, 并在预接种后阻止致病青枯菌的增殖<sup>[8]</sup>。最优生防体系为采用改良蘸根接种法、用无致病力 *hrp*<sup>-</sup> 突变体预处理 24 h 后再接种致病菌, 该体系对青枯菌生理小种 1 引起的番茄、茄子、辣椒青枯病防治效果达 64% 以上, 其中对 *hrp*<sup>-</sup> 突变体的野生致病菌株引起的番茄青枯病的防治效果最好, 防效接近 90%, 对该野生致病菌接种辣椒、茄子引起的青枯病防治效果也在 75% 以上, 且持效期长、稳定性好、安全无药害。尽管生防试验已经证明无致病力青枯菌在生防中的有效性, 但实际应用中仍有问题, 并且存在一定的风险。罗宽等通过辐射和紫外诱变技术获得无致病力菌株, 但菌株的控病效果并不理想<sup>[9]</sup>。此外, 有研究发现温度以及接种量都对无致病力青枯菌的防病效果有很大的影响<sup>[10]</sup>。

#### 1.2 假单胞菌

假单胞菌(*Pseudomonas* spp.) 是一类好氧的革兰氏阴性菌, 普遍存在于土壤中。假单胞菌在植物根际大都具有很强的繁殖能力, 可在根际形成大的群体。假单胞菌具有以下特征: (1) 生长迅速, 适合批量生产; (2) 迅速利用种子和根系分泌物; (3) 强大的根际及植物内部的定殖和繁殖能力; (4) 易产生大量的次生代谢物, 如抗生素、铁载体、挥发性物质及其他促生物质等<sup>[11]</sup>; (5) 积极与其他微生物竞争资源; (6) 适应环境压力能力强; 此外, 假单胞菌是自然抑病土壤中重要的抑病因子<sup>[12]</sup>。因此, 假单胞菌常用于生物防治植物病害和促进植物生长。

国内外报道的用于防治青枯病的假单胞菌较多, 如皱纹假单胞菌(*P. corrugate*)<sup>[13]</sup>、铜绿假单胞菌(*P. aeruginosa*)<sup>[14]</sup>、恶臭假单胞菌(*P. putida*)<sup>[15]</sup>、芸薹属假单胞菌(*P. brassicacearum*)<sup>[16]</sup>、荧光假单胞菌(*P. fluorescent*)<sup>[3]</sup>, 并取得了不错的防病效果。魏春妹等研究表明, 荧光假单胞菌 90B4-2-2 对番茄青枯病的盆栽防效达 70%~80%<sup>[17]</sup>。目前生产上研发出来的用于防治番茄和烟草青枯病的微生物农

收稿日期: 2013-04-17

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(12)3037]; IPNI 合作项目(编号: JIANGSU-10)。

作者简介: 陈志龙(1964—), 男, 江苏射阳县人, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料技术与推广工作。E-mail: zealong\_algo@yeah.net。

药青萎散<sup>[18]</sup>和青枯停<sup>[19]</sup>的有效微生物就是荧光假单胞菌。

### 1.3 芽孢杆菌

芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)是一类好氧和兼性厌氧、产生抗逆性内生孢子的杆状细菌。芽孢杆菌可以产生芽孢,抗逆能力强,繁殖速度快,营养要求简单,易定殖在植物表面,芽孢杆菌产生的芽孢有利于生防制剂的生产和储存<sup>[20]</sup>。因此,利用芽孢杆菌防治植物土传病害是目前研究的重点和热点。

芽孢杆菌的分离比例高,对青枯病防治效果好。邱思鑫等从168株分离自茄科作物体内的对番茄青枯病菌有拮抗作用的细菌中筛选出6株对番茄有较好促生作用的菌株,其中促生作用最佳的TB1菌株可使番茄苗鲜重增长105.84%,干重增长66.25%;经鉴定,具有抑菌、促生的6株内生细菌均为芽孢杆菌<sup>[21]</sup>。黎起秦等从广西壮族自治区5个县(市)采集的标本中共分离到55个细菌菌株,其中以芽孢杆菌出现的频率最高,占56.4%,效果最好的是芽孢杆菌B47;在防治番茄青枯病的试验中,发现接种B47菌17d后再接种青枯菌能较好地防治番茄青枯病,防治效果为81.25%<sup>[22]</sup>。苏阿德等在离体条件下对47个芽孢杆菌分离物进行了抑制番茄青枯病菌测定,其中12个表现良好的抑菌能力,经鉴定的枯草芽孢杆菌拮抗菌株不仅是良好的促生剂,也是有效的抗性诱导剂,能降低番茄青枯病的发病率,充分显示了芽孢杆菌在番茄青枯病治理上的潜在重要性<sup>[23]</sup>。

虽然拮抗细菌的应用大都处于试验阶段,但也有少数已投入生产实践并取得了良好效果,青枯净即是其中的代表。青枯净是由芽孢杆菌制成的活体微生物农药,对生姜、马铃薯、番茄和花生的青枯病有良好的防治效果。刘波等分离筛选出1株青枯病蜡状芽孢杆菌ANTI-8098A,并申请了发明专利,由它制作的生物农药对植物青枯病菌的田间防治效果在80%以上<sup>[24]</sup>。徐玲等报道用多黏类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)HY96-2发酵液进行温室防治试验,浸根处理番茄21d后调查防效达77.8%<sup>[25]</sup>。用HY96-2制备的生防制剂“康地蕾得”(上海泽元海洋生物技术有限公司)进行大田防治试验,对青枯病具有很好的防治效果,在收获后期,田间防效可达70%~92%。由此可见,芽孢杆菌具有较大的应用潜力。

### 1.4 其他细菌

除了上述细菌,研究发现不动杆菌属(*Acinetobacter* spp.)、肠杆菌属(*Enterobacter* spp.)、嗜麦芽寡养单胞菌(*Stenotrophomonas maltophilia*)<sup>[26]</sup>、黏质沙雷氏菌(*Serratia marcescens*)<sup>[27]</sup>、节杆菌属(*Arthrobacter* spp.)<sup>[28]</sup>、泛菌属(*Pantoea* spp.)等细菌也对青枯病有较好的防控效果。

## 2 真菌

采用真菌防治青枯病也有较多报道。印度的Suresh等发现受泡囊丛枝状菌感染的番茄根围菌根提取物可抑制青枯菌<sup>[29]</sup>。在菲律宾的一项研究中发现,菌根真菌减弱了番茄青枯病的严重程度<sup>[30]</sup>。朱红惠等发现接种菌根真菌可以降低根际、根表和木质部中青枯菌的数量,接种菌根真菌和青枯菌的植株根际青枯菌种群数量显著少于只接种青枯菌的植株,前者约是后者的1/60<sup>[31]</sup>。日本的研究学者对寡雄腐霉防治番茄青枯病的研究较为透彻<sup>[32-33]</sup>。我国学者虽筛选到不少

对青枯菌有抑制作用的生防真菌,如烟曲霉和浅黄新萨托菌,但只研究了生防菌的分类地位和拮抗物质的特性,并未报道它们在温室或田间的防病效果<sup>[34]</sup>。黎起秦等筛选到几株对番茄青枯病有防效的土壤真菌,如哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)、拟康氏木霉(*T. pseudokoningii*)、康氏木霉(*T. koningii*)、黏帚霉(*Gliocladium* spp.)等,其中哈茨木霉室内防效最好,达94.6%<sup>[35]</sup>。

## 3 链霉菌

链霉菌(*Streptomyces* spp.)是一类在自然界尤其是在土壤中广泛存在的微生物,能产生多种代谢物质抑制植物病害,且绝大多数链霉菌对人体无害。据统计,自然界70%以上的抗生素都是由链霉菌产生的,因此该类细菌常用于防治植物病害。

在防治青枯病方面,El-Abyad等将3个链霉菌菌株——灰白链霉菌(*S. canescens*)、柠檬荧光链霉菌(*S. citreofluorescens*)和极美链霉菌(*S. pulcher*)分别制成种衣剂处理番茄种子,可在42~63d内控制青枯病<sup>[36]</sup>。

## 4 噬菌体

利用噬菌体防治植物病害是目前研究的热点。噬菌体天然的宿主相对专一性,高效、持续的裂菌作用,以及对机体和环境无毒性、无刺激作用,使其具有显著的优势,有望成为抗菌和杀菌制剂的重要组成部分。同其他生防措施一样,利用噬菌体防病能减少农药的施用量,避免环境污染、生态破坏及农药残留等问题。目前利用噬菌体防治植物病害主要面临2个问题:(1)病原细菌分泌大量的胞外多糖阻止噬菌体吸附;(2)噬菌体具有高度的特异性,因此治疗性噬菌体往往只对某一型或几型的细菌有效,而对其他菌株裂解效果很弱或无治疗作用,使其应用范围受到很大的限制。

20世纪90年代日本学者分离到噬菌体P4282和PK101<sup>[37]</sup>,用于控制青枯病。Tanaka等用含噬菌体的无毒青枯菌株M4S对烟草进行预处理,可有效降低青枯病的发病程度;用噬菌体和M4S菌株共同进行处理则效果更佳<sup>[38]</sup>。但这些噬菌体的寄主范围狭窄,只能侵染一部分青枯菌。而具有实际应用价值的噬菌体必须有宽的寄主范围和强的溶菌能力<sup>[37]</sup>。Kawasaki等分离获得短尾噬菌体科(Podoviridae)噬菌体RSB1,RSB1寄主范围最广,能侵染15个供试青枯菌中的14个<sup>[39]</sup>。RSB1还能溶解寄主细胞,并形成10~15mm的溶解圈。Yamada等分离到几株噬菌体,能侵染不同生理和生化小种的青枯菌<sup>[40]</sup>。肌尾噬菌体科(Myoviridae)噬菌体RSA1寄主范围非常广泛,测试的15株青枯菌分别属于生理小种1、3、4和生化小种1、2、3、4,均对该噬菌体敏感<sup>[41]</sup>。噬菌体RSL1是另一个肌尾病毒,包含231kb基因片段,该噬菌体能溶解15个供试青枯菌中的10个<sup>[42]</sup>。Fujiwara等发现接种溶菌性噬菌体RSL1的摇瓶中青枯菌细胞密度仅为不接种的1/3;番茄苗经噬菌体RSL1处理后显著降低了青枯菌的侵染;在考察期间RSL1处理植株没有表现出发病症状,而对照在接种青枯菌18d后全部发病<sup>[41]</sup>。

## 5 问题与展望

尽管国内外对番茄青枯病生物防治的研究取得了不少进

展,但仍存在不少问题有待解决:目前番茄青枯病生物防治方法大都处于试验阶段,进入实际生产的很少。采用拮抗细菌、无致病力青枯菌菌株、链霉菌等方法能在一定程度上对番茄青枯病起到防治作用,但是在田间条件下的防治效果却不太稳定。如何使筛选到的在室内有较好防控效果的菌株在田间发挥应有的功效,是生物防治面临的关键问题。特别是生防微生物的环境和生态适应能力是决定生物防治效果的关键环节,加强这方面的研究将有效控制青枯病的发生和流行,保证防治效果的持续和稳定。

## 参考文献:

- [1] Allen C, Prior P, Hayward A C. Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex [M]. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2005: 9-28.
- [2] Caruso P, Palomo J L, Bertolini E et al. Seasonal variation of *Ralstonia solanacearum* biovar 2 populations in a Spanish river: recovery of stressed cells at low temperatures [J]. Applied and Environment Microbiology, 2005, 71(1): 140-148.
- [3] Lemessa F, Zeller W. Screening rhizobacteria for biological control of *Ralstonia solanacearum* in Ethiopia [J]. Biological Control, 2007, 42(3): 336-344.
- [4] Tsai J W, Hsu S T, Chen L C. Bacteriocin-producing strains of *Pseudomonas solanacearum* and their effect on development of bacterial wilt of tomatoes [J]. Plant Protection Bulletin: Taiwan, 1985, 27(3): 267-278.
- [5] 任欣正, 张建华, 方中达. 无致病力产细菌素拮抗菌 nOE-104 在番茄植株上定殖能力的研究 [J]. 植物病理学报, 1987, 17(3): 129-133.
- [6] Frey P, Prior P, Marie C, et al. *hrp*<sup>-</sup> mutants of *Pseudomonas solanacearum* as potential biocontrol agents of tomato bacterial wilt [J]. Applied and Environment Microbiology, 1994, 60(9): 3175-3181.
- [7] 肖田, 肖崇刚, 郇阳. 青枯菌无致病力菌株对烟草青枯病的控病作用初步研究 [J]. 植物保护, 2008, 34(2): 79-82.
- [8] 杨宇红, 刘俊平, 杨翠荣. 无致病力 *hrp*<sup>-</sup> 突变体防治茄科蔬菜青枯病 [J]. 植物保护学报, 2008, 35(5): 433-437.
- [9] 罗宽, 王庄. 利用拮抗的 *Pseudomonas* spp. 和无致病力的 *P. solanacearum* 防治青枯病的研究 [J]. 植物病理学报, 1983, 13(1): 51-56.
- [10] Arwiyanto T, Goto M, Tsuyumu S et al. Biological control of bacterial wilt of tomato by an avirulent strain of *Pseudomonas solanacearum* isolated from *Strelitzia reginae* [J]. Annals of the Phytopathological Society of Japan, 1994, 60(4): 421-430.
- [11] Chin-A-Woeng T F C, Bloemberg G V, Lugtenberg B J J. Phenazines and their role in biocontrol by *Pseudomonas* bacteria [J]. New Phytologist, 2003, 157(3): 503-523.
- [12] Weller D M. *Pseudomonas* biocontrol agents of soilborne pathogens: looking back over 30 years [J]. Phytopathology, 2007, 97(2): 250-256.
- [13] van Overbeek L S, Cassidy M, Kozdroj J, et al. A polyphasic approach for studying the interaction between *Ralstonia solanacearum* and potential control agents in the tomato phytosphere [J]. Journal of Microbiological Methods, 2002, 48(1): 69-86.
- [14] Ran L X, Liu C Y, Wu G J, et al. Suppression of bacterial wilt in *Eucalyptus urophylla* by fluorescent *Pseudomonas* spp. in China [J]. Biological Control, 2005, 32(1): 111-120.
- [15] Priou S, Marquez M, Gutarra L. Biological control of bacterial wilt of potato (*Ralstonia solanacearum*) using antagonistic *Pseudomonas putida* strains [J]. Phytopathology, 2005, 95: S85.
- [16] Zhou T, Chen D, Li C et al. Isolation and characterization of *Pseudomonas brassicacearum* J12 as an antagonist against *Ralstonia solanacearum* and identification of its antimicrobial components [J]. Microbiological Research, 2012, 167(7): 388-394.
- [17] 魏春妹, 张春明, 王建明. 拮抗青枯病 90B4-2-2 菌株作用机理探讨 [J]. 上海农业学报, 2000, 16(4): 74-77.
- [18] 杨仲华, 张春明, 任焜麓. 施氏假单胞菌 Zh9944 及其筛选方法和防治青枯病的微生物制剂: 中国, CN00119018.0 [P]. 2004-07-28.
- [19] 黄世群, 丁信, 石万成. 防治青枯病(姜瘟病)的生物农药——青枯停 [J]. 四川农业科技, 2008(3): 53.
- [20] Emmert E A B, Handelsman J. Biocontrol of plant disease: a (gram-) positive perspective [J]. FEMS Microbiology Letters, 1999, 171(1): 1-9.
- [21] 邱思鑫, 何红, 阮宏椿. 具有抑菌促生作用的植物内生细菌的筛选 [J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(5): 655-659.
- [22] 黎起泰, 罗宽, 林纬. 番茄青枯病内生拮抗细菌的筛选 [J]. 植物病理学报, 2003, 33(4): 364-367.
- [23] 苏阿德, 谢关林, 李斌. 芽孢杆菌在促进番茄生长和控制青枯病上的比较优势 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2004, 30(6): 603-610.
- [24] 刘波. 青枯病生防菌 ANTI-8098A 及其培养基、培养方法和生防应用: 中国 03132036 [P]. 2005-01-26.
- [25] 徐玲, 王伟, 魏鸿刚. 多粘类芽孢杆菌 HY96-2 对番茄青枯病的防治作用 [J]. 中国生物防治, 2006, 22(3): 216-220.
- [26] Messiha N A S, van Diepeningen A D, Farag N S et al. *Stenotrophomonas maltophilia*: a new potential biocontrol agent of *Ralstonia solanacearum* causal agent of potato brown rot [J]. European Journal of Plant Pathology, 2007, 118(3): 211-225.
- [27] Barretti P B, de Souza R M, Pozza E A et al. Combination of endophytic bacteria and resistant cultivars improves control of *Ralstonia* wilt of tomato [J]. Australasian Plant Pathology, 2012, 41(2): 189-195.
- [28] 黄明媛, 顾文杰, 张发宝. 番茄青枯病拮抗菌筛选鉴定及其发酵条件初探 [J]. 微生物学通报, 2011, 38(2): 214-220.
- [29] Suresh C K, Rai P V. Interaction of *Pseudomonas solanacearum* with antagonistic bacteria and VA mycorrhiza [J]. Curr Res, 1991, 20(3): 36-37.
- [30] Hayward A C. Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum* [J]. Annual Review of Phytopathology, 1991, 29: 65-87.
- [31] 朱红惠, 龙良坤, 羊宋贞. AM 真菌对青枯菌和根际细菌群落结构的影响 [J]. 菌物学报, 2005, 24(1): 137-142.
- [32] Hase S, Shimizu A, Nakaho K et al. Induction of transient ethylene and reduction in severity of tomato bacterial wilt by *Pythium oligandrum* [J]. Plant Pathology, 2006, 55(4): 537-543.
- [33] Hase S, Takahashi S, Takenaka S, et al. Involvement of jasmonic acid signalling in bacterial wilt disease resistance induced by biocontrol agent *Pythium oligandrum* in tomato [J]. Plant Pathology, 2008, 57(5): 870-876.

王献友,薛潇沛,庞艳萍,等. 1,2,4-三唑类化合物杀菌活性的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8):134-137.

# 1,2,4-三唑类化合物杀菌活性的研究进展

王献友,薛潇沛,庞艳萍,郭强,闵娜娜,窦玉蕾

(河北大学质量技术监督学院,河北保定 071002)

摘要:从杀菌剂方面对关于 1,2,4-三唑类化合物的生物活性研究进行了分类综述。重点介绍了不同取代基对三唑类化合物生物活性的影响,并对其发展趋势和应用前景作出了展望。

关键词:三唑类化合物;合成;杀菌活性;进展

中图分类号:S482.2<sup>+</sup>7 文献标志码:A 文章编号:1002-1302(2013)08-0134-04

在现有的众多杂环化合物中,1,2,4-三唑类衍生物由于其广谱的生物活性及广阔的应用前景而一直颇受人们的青睐。在农用化学品中,三唑类化合物已经被开发成为一类引人注目的超高效农药,目前已经有几十个商业化品种。目前对于该类化合物的研究和开发仍然很活跃,研究的内容和主要目标是在保留三唑环分子结构的基础上对其他部分进行适当的改造和修饰,以求达到进一步扩大其杀菌谱和应用范围,从而进一步提高其生物活性并减少其用药量的目的。

自 20 世纪 60 年代中期荷兰 Philip-Dupher 公司开发出了第一个 1,2,4-三唑类杀菌剂——威菌灵<sup>[1]</sup>以来,目前已报道的三唑类杀菌剂数以万计,其发展之快、数量之多,是以往的任何杀菌剂所不能比拟的。多数三唑类杀菌剂具有如下活性特点:强内吸性、广谱性、长效、高效、立体性选择和共同的作用机制。三唑类化合物的高效杀菌活性已经引起了国际农药界的高度重视,各大公司先后开发出一系列商品化的杀菌剂。

三唑类衍生物是甾醇生物合成中 C-14 脱甲基化酶的抑制剂,对白粉病、锈病、灰霉病等多种病害具有较高的抑制

率。通过对 N-甲基碳上取代基团的变换,可以合成并筛选出一系列具有杀菌活性的三唑类衍生物<sup>[2-3]</sup>,例如三唑酮、三唑醇等。本文根据化学结构对 1,2,4-三唑类杀菌剂的研究进展进行了归纳。

## 1 单杂环类

三唑和其他活性基团拼接会衍生出一些结构新颖的化合物,其中有些化合物不仅具有新颖的化学结构,而且具有优良的杀菌活性。根据直接与环上 N 原子相连的原子和基团不同,可以将含 1H-1,2,4-三唑基团的单杂环分为以下几类(图 1)。

### 1.1 与烷基的碳原子相连的单杂环化合物

周文明等以小麦赤霉病病菌、苹果炭疽病病菌、玉米大斑病病菌及南瓜枯萎病病菌为供试菌种,在 100 μg/mL 的质量浓度下,采用抑制菌丝生长速率法对合成的化合物 1(图 1)进行了杀菌活性筛选,结果表明,化合物 1 对 4 种病原菌的抑制活性较好,EC<sub>50</sub> 均低于 10 μg/mL,分别为 8.27、9.79、7.39、8.22 μg/mL<sup>[4]</sup>。李国华等对合成的浓度为 10 μg/mL 的化合物 2(图 1)进行了初步离体杀菌活性试验,结果表明,化合物 2 对油菜菌核病病菌、小麦纹枯病病菌有一定的杀菌活性,抑制率分别达 59.13%、42.46%,其活性均大于对照药剂醚菌酯(抑制率仅为 18.0%);此外,化合物 2 对小麦赤霉病病菌也具有杀菌活性,抑制率达 49.61%,高于对照药剂醚菌酯(35.15%)<sup>[5]</sup>。

杨双花等设计了含有醚键和 α-β-不饱和酮结构的三唑

收稿日期:2013-02-05

项目支持:河北省自然科学基金(编号:B2012201053);河北大学 2012 年大学生科技创新项目(编号:2012061)。

作者简介:王献友(1972-)男,河北保定人,博士,副教授,主要从事新药物的创制研究。E-mail:xianyouwang@126.com。

[34] 缪莉,董夏伟,周晓见,等. 烟草青枯病生防真菌的分离鉴定与拮抗活性的初步研究[J]. 河南农业科学, 2011, 40(11):81-85.

[35] 黎起秦,彭好文,蒙姣荣,等. 植物土传病害拮抗真菌的抗性筛选[J]. 西南农业学报, 2000, 13(3):45-48.

[36] El-Abyad M S, El-Sayed M A, El-Shanshoury A R, et al. Towards the biological control of fungal and bacterial diseases of tomato using antagonistic *Streptomyces* spp. [J]. Plant and Soil, 1993, 149(2):185-195.

[37] Toyoda H, Kakutani K, Ikeda S, et al. Characterization of deoxyribonucleic acid of virulent bacteriophage and its infectivity to host bacterium *Pseudomonas solanacearum* [J]. Journal of Phytopathology, 1991, 131(1):11-21.

[38] Tanaka H, Negishi H, Maeda H. Control of tobacco bacterial wilt by an avirulent strain of *Pseudomonas solanacearum* M4S and its bacte-

riophage [J]. Annals of the Phytopathological Society of Japan, 1990, 56(2):243-246.

[39] Kawasaki T, Shimizu M, Satsuma H, et al. Genomic characterization of *Ralstonia solanacearum* phage phiRSB1, a T7-like wide-host-range phage [J]. Journal of Bacteriology, 2009, 191(1):422-427.

[40] Yamada T, Kawasaki T, Nagata S, et al. New bacteriophages that infect the phytopathogen *Ralstonia solanacearum* [J]. Microbiology, 2007, 153(Pt 8):2630-2639.

[41] Fujiwara A, Fujisawa M, Hamasaki R, et al. Biocontrol of *Ralstonia solanacearum* by treatment with lytic bacteriophages [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2011, 77(12):4155-4162.

[42] Yamada T, Satoh S, Ishikawa H, et al. A jumbo phage infecting the phytopathogen *Ralstonia solanacearum* defines a new lineage of the Myoviridae family [J]. Virology, 2010, 398(1):135-147.