◆ 综述与专论 ◆

基于PPO的二芳基醚类除草剂研究进展

蔡 辉，甘秀海*

（贵州大学绿色农药与农业生物工程教育部重点实验室/国家重点实验室培育基地，贵阳 550025）

摘要：二芳基醚结构是创制新型原卟啉原氧化酶（protoporphyrinogen oxidase, PPO）抑制剂类除草剂品种的重要骨架之一。本文主要综述了二芳基醚类PPO抑制剂类除草剂的作用机制、主要商品化除草剂品种以及国内外研究进展，并展望其发展趋势。

关键词：PPO抑制剂；二芳基醚；除草活性；研究进展

中图分类号：TQ 457 **文献标志码**：A doi：10.3969/j.issn.1671-5284.2022.01.002

Research Progress of Diaryl Ether Herbicides Based on PPO

CAI Hui, GAN Xiuhai*

(State Key Laboratory Breeding Base of Green Pesticide and Agricultural Bioengineering, Key Laboratory of Green Pesticide and Agricultural Bioengineering, Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Diaryl ether structure has been invented to be one of the important skeletons for the creation of new protoporphyrinogen oxidase (PPO) inhibitors. The mechanism, major commercial products and research progress of PPO inhibitors with diaryl ether structure was briefly reviewed in this paper, and the development trend was prospected.

Key words: PPO inhibitors; diaryl ether; herbicidal activity; research progress

抑制植物生命过程中叶绿素和血红素生物合成是开发除草剂的重要思路之一，原卟啉原氧化酶（Protoporphyrinogen Oxidase，PPO）是植物体内叶绿素和血红素生物合成的关键酶，因此，PPO是新型除草剂创制的重要靶标之一[1-3]。目前PPO抑制剂类除草剂主要有环酰亚胺类、三唑啉酮类、噁二唑类、苯基吡唑类和二芳基醚类[4-6]，其中二芳基醚类除草剂由于高效、低毒、选择性强和合成工艺简单等优点，一直受到新农药创制研究者的广泛关注[7-9]。

1 二芳基醚类PPO抑制剂的作用机制

在植物体内，原卟啉IX以谷氨酸为起始原料合成得到，是叶绿素和血红素生物合成的重要底物，在叶绿体和线粒体中，其在镁离子螯合酶和亚铁离子螯合酶的催化作用下分别形成叶绿素和血红素[10-11]。在此生物合成途径中，PPO在氧气存在下催化原卟啉原IX生成原卟啉IX是必需的步骤[12]。当二芳基醚类PPO抑制剂在一定程度上占据PPO催化的活性空腔时，将有效抑制PPO催化活性，造成催化底物原卟啉原IX的积累，叶绿素和血红素的生物合成因此不能进行，使得植株光合作用受阻[13-14]。另外，原卟啉原IX从叶绿体中渗至胞质中，并被氧化为高浓度的原卟啉IX，在光照和氧气参与下产生三态原卟啉IX并将生成单线态氧，引起脂质过氧化、膜损伤和细胞死亡（图1中虚线部分）[15-18]，在两者的共同作用下植株叶片出现黄化、萎蔫和干枯等症状，最终使植株死亡。作用机制见图1。

2 基于PPO的二芳基醚类商品化除草剂

自1963年罗门-哈斯公司开发第一个基于PPO为靶标的二苯醚类除草剂——除草醚以来，各大农药公司和研究者通过改变芳基种类及其上面的取

收稿日期：2021-08-12

基金项目：贵州省教育厅重点实验室建设项目（黔教合KY字[2018]001）；贵州大学自然科学专项（特岗）科研基金项目（贵大特岗合字[2020]09）

作者简介：蔡辉（1996—），男，贵州遵义人，硕士研究生，研究方向为新农药创制。E-mail：chemcai@163.com

通信作者：甘秀海（1976—），男，湖南怀化人，博士，教授，主要从事新农药创制及靶标发现工作。E-mail：gxh200719@163.com

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

代基对二苯醚结构进行多样性改造，衍生出了更多的具有除草活性的二芳基醚类化合物，但目前报道应用并服务于农业生产的商品化品种仍然是二苯醚结构，部分商品化农药结构式如图2[7,19-20]。

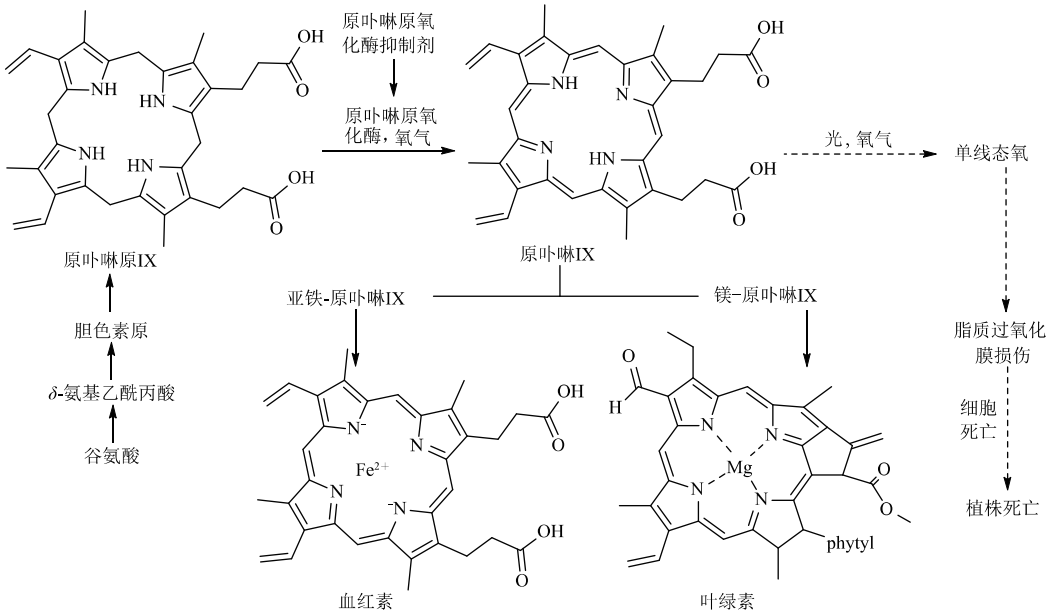


图 1　PPO 抑制剂类除草剂作用机制

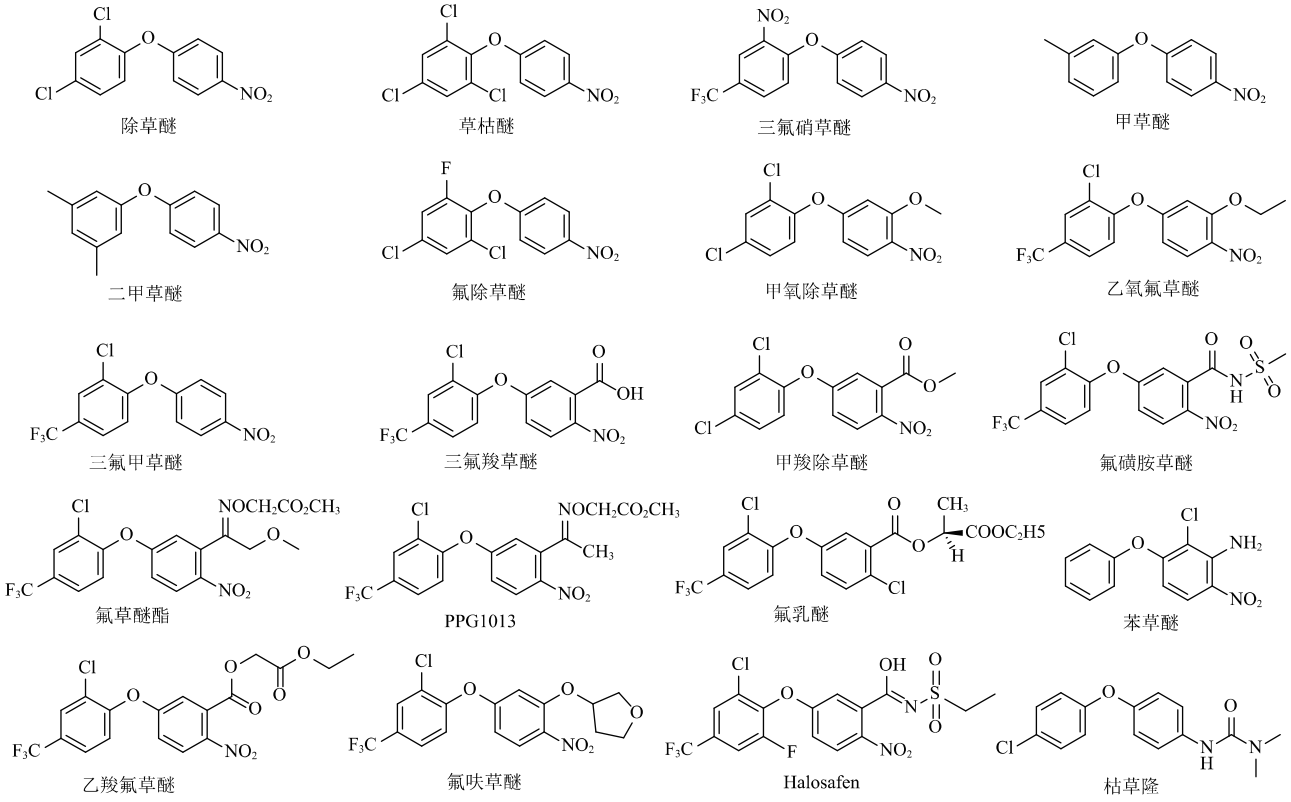


图 2　二芳基醚类 PPO 抑制剂部分商品化农药结构式

3　基于PPO的二芳基醚类除草剂研究进展

3.1　国外研究进展

虽然近年来二芳基类除草剂品种逐渐丰富，但研究者们从开发高效、低毒和环境友好绿色农药的理念出发，寻找结构新颖的二芳基类除草剂仍然是研究的热点，本文就一些代表性的工作进行简单介绍。罗门-哈斯公司除了开发了众多已知的商品药

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

外，还发现了很多具有除草活性的农药小分子[21-22]，采用土壤处理和茎叶喷雾法测试其中的化合物**1**和**2**对杂草的苗前和苗后除草活性，结果显示两者在施药剂量为2 242 g/hm²时，对马唐、稗草和苘麻等禾本科杂草和阔叶杂草具有中等偏下的苗前和苗后除草活性。1983年，研究者保留了二芳基醚A环2-Cl-4-CF_3和B环4-NO_2取代基，改变醚键间位取代基种类，设计合成了化合物**3**、**4**和**5**（图3）。除草活性测试结果表明，在施药剂量为2 242 g/hm²时，对禾本科杂草和阔叶杂草具有100%的苗后除草活性。随后又发现化合物**6**和**7**，在施药剂量为56 g/hm²时，对苘麻、万寿菊和牵牛花等阔叶杂草具有100%的苗前和苗后除草活性，且对禾本科杂草具有较好的选择性[23]。化合物**1**～**7**结构式见图3。

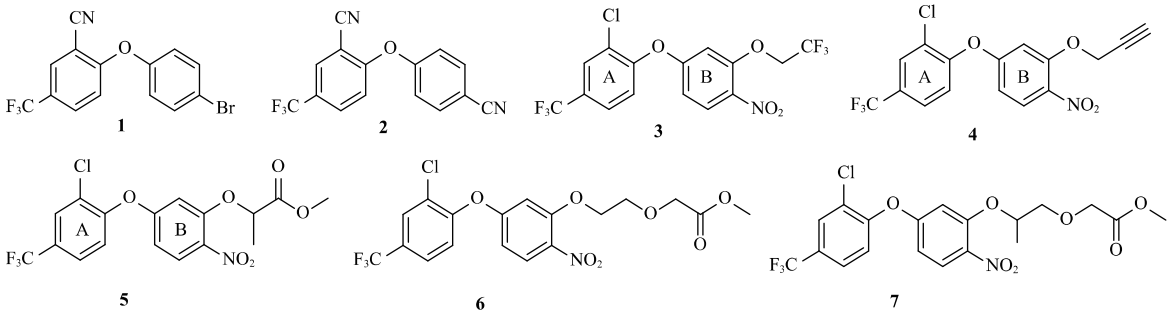
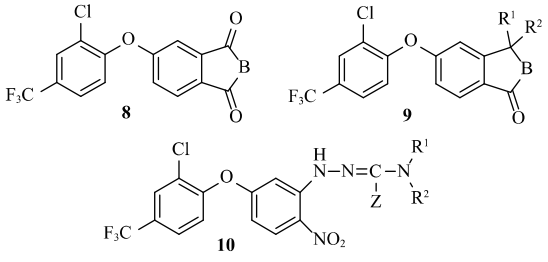


图 3　化合物 1～7 结构式

1986—1989年，国际壳牌有限公司[24-26]开发了系列含苯并呋喃酮或肼基的二苯醚类化合物，采用土壤处理和茎叶喷雾处理测试了其除草活性，结果显示化合物**8**、**9**、**10**对稗草、燕麦、甜菜、亚麻子等杂草显示出显著防效，尤其是苗前除草活性，且部分化合物对大豆、玉米和水稻具有较好的选择性。化合物**8**～**10**结构式见图4。

1990年，日本旭化成株式会社[27]报道了系列含有肟醚结构的二苯醚衍生物，采用盆栽喷雾处理测试对常见的阔叶杂草的芽后除草活性，结果显示，化合物**11**～**14**在施药量为100 g/hm²时能完全防除苘麻、田菁和曼陀罗等杂草，与氟草醚酯活性相当。化合物**11**～**14**结构式见图5。



R^1=R^2=H、饱和/不饱和烃、饱和/不饱和含氧烃、烷酰基；
B=O、CH_2、*N*-取代烷酰基；Z=H、CN、烷基、羧基、酰基

图 4　化合物 8～10 的结构式

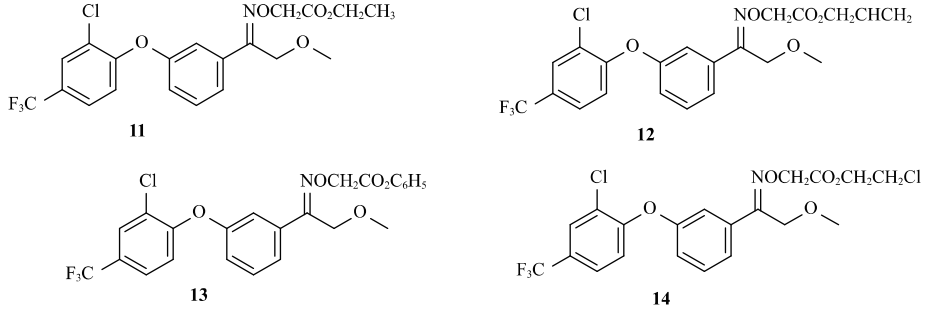


图 5　化合物 11～14 结构式

1995年，Sumida等[28]以甲羧除草醚和乙氧氟草醚为先导结构，设计合成得到了新型含噁嗪环的二苯醚类化合物**15**、**16**和**17**，在使用剂量为500 g/hm²时，对马唐、马齿苋和马蓼的苗前和苗后除草活性都达到95%以上，化合物**15**在使用剂量为125 g/hm²时为70%以上的防效。化合物**15**～**17**结构式见图6。

在20世纪90年代中期，富美实公司报道了含有*N*-杂环的二芳基醚类化合物**18**作为新一代的PPO类抑制剂除草剂[29]。随后，农药研究者开始对*N*-杂环及二芳基醚右边芳基的种类及其上面的取代基进行探索以期发现具有优异除草活性的小分子。代表性的工作是21世纪初日本住友发现化合物**19**对阔叶杂草和禾本科杂草具有高效、广谱的除草活性[29-30]。化合物**18**和**19**结构式见图7。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

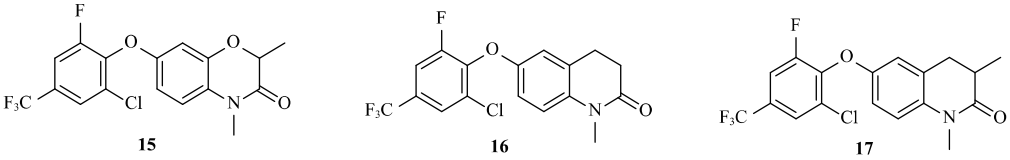


图 6　化合物 **15**～**17** 结构式

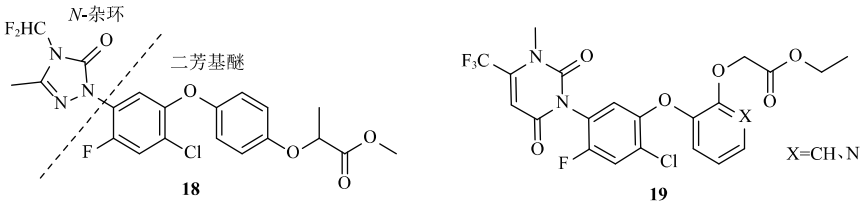


图 7　化合物 **18**～**19** 结构式

3.2　国内研究进展

1985年，南开大学李复信[31]和张树奎[32]等报道了二苯醚酰胺类及二苯醚硫脲类新化合物的合成及除草活性，采用茎叶喷雾法测试苗后除草活性，发现化合物**20**和**21**在2 250 g/hm^{2}的使用剂量下对油菜具有100%的鲜重防效。化合物**22**、**23**和**24**在750 g/hm^{2}的剂量下也对油菜的鲜重防效达到100%，同时，这些化合物对稗草也有中等防效，化合物**20**～**24**结构式见图8。

2004年，黑龙江大学孙志忠[33]报道了化合物**25**，用茎叶喷雾法测试其苗后除草活性，当使用剂量为20 g/hm^{2}时，对苍耳、苘麻和鸭子草等阔叶杂草的生长抑制率达到90%以上，且对大豆、花生和小麦等作物安全性较好。2006年，该课题组又报道[34]化合物**26**在使用剂量为75 g/hm^{2}时，对靶标杂草芥菜、小藜反枝苋达到90%的防效。化合物**25**和**26**结构式见图9。

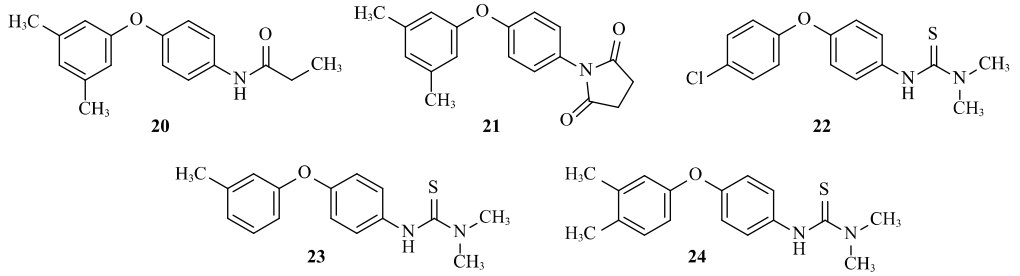


图 8　化合物 **20**～**24** 结构式

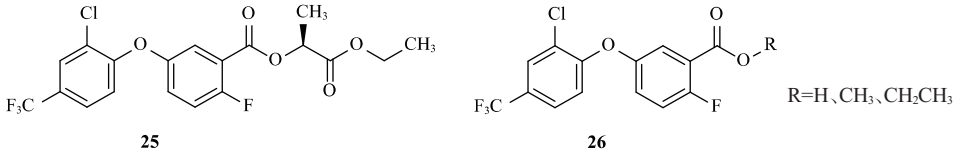


图 9　化合物 **25**～**26** 结构式

2011年，沈阳化工研究院Yu等[35]合成得到一系列包含不饱和羧酸酯的二苯醚衍生物，在温室内采用茎叶喷雾法进行初步除草活性测试，结果显示化合物**27**在使用剂量为40 g/hm^{2}时，对苘麻、反枝苋和马齿苋等阔叶杂草具有95%以上的防效，同时，对小鼠的急性毒性测试结果表明，对哺乳动物低毒，且对大豆具有较好的选择性。化合物**27**结构式见图10。

2015年，湖南化工研究院王晓光课题组[36]以氯氟草醚乙酯为先导，引入优势基团甲磺酰基，设计并合成得到化合物**28**，初步生物活性测定结果表明，其使用剂量为37.5 g/hm^{2}时，对刺苋和藜的株高具有95%以上的抑制活性，同时，该课题组[37]2016年发现化合物**29**在使用剂量为45 g/hm^{2}时对苘麻和刺苋具有100%的茎叶处理除草活性。化合物**28**和**29**结构式见图11。

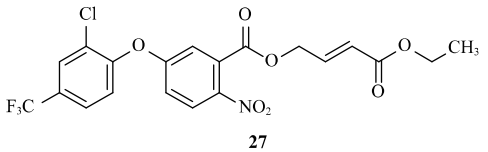


图 10　化合物 **27** 结构式

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

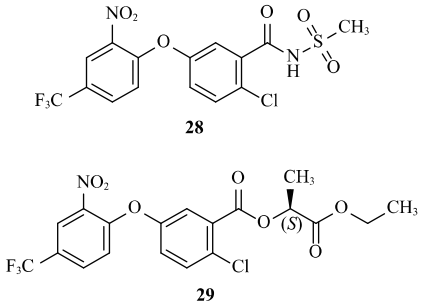


图 11　化合物 28～29 结构式

2018年，陈磊[38]报道在二苯醚结构中引入6-氯吡嗪及酰胺结构，得到化合物**30**和**31**，施用剂量为2 000 g/hm²时，茎叶喷雾处理对双子叶杂草有一定防效，特别是对芥菜，分别具有99.47%和98.60%的鲜重抑制率，化合物**30**和**31**结构式见图12。

2020年，李义涛等[39]将二苯醚结构与环己二酮、吡唑结构进行活性亚结构拼接，设计合成了系列化合物，采用盆栽喷雾处理测试其除草活性，结果显示，化合物**32**、**33**、**34**、**35**、**36**和**37**在150 g/hm²的施药量下对马齿苋具有100%的除草活性，特别是化合物**32**和**34**，当施药剂量降至18.75 g/hm²时对马齿苋仍有100%的防效。另外，化合物**34**在150 g/hm²的施药量下对稗草也有82%的除草活性，该类化合物具有高效、广谱的除草活性，具有较好的应用前景。化合物**32**～**37**结构式见图13。

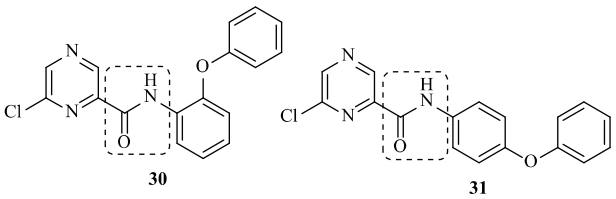


图 12　化合物 30～31 结构式

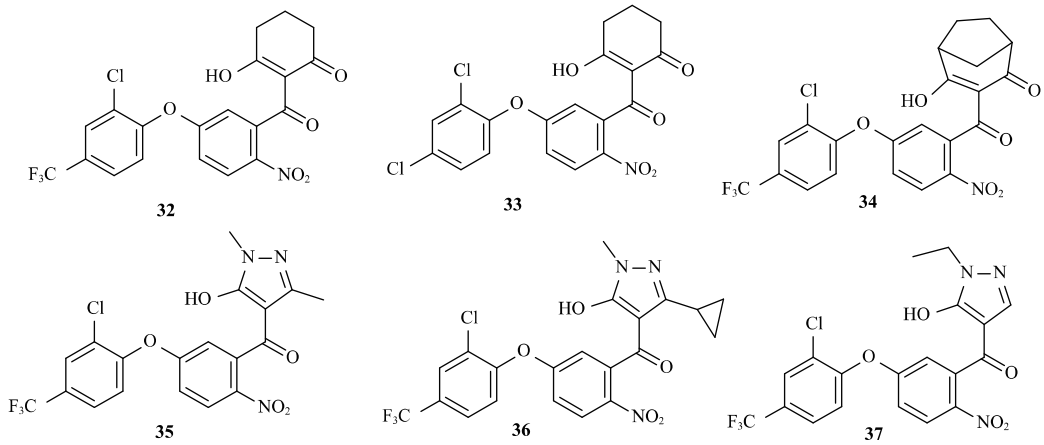


图 13　化合物 32～37 结构式

2020年，东北农业大学叶非课题组[40]利用活性亚结构拼接原理，设计合成了含四氢邻苯二甲酰亚胺的苯基-吡啶醚类衍生物，发现化合物**38**对靶标杂草具有高效广谱的茎叶除草活性和PPO酶抑制活性，当施药量为600 g/hm²时，观察到10 d后的田间茎叶除草活性与对照药乙氧氟草醚达到相同的处理效果。另外，该课题组又分别将吡咯烷酮和香豆素活性单元引入吡啶-苯基醚结构中[41-42]，发现化合物**39**、**40**和**41**具有较为广谱的除草活性，同时当施药剂量为300 g/hm²时，这些化合物对大豆和棉花都具有很好的安全性和较好的开发前景。化合物**38**～**41**结构式见图14。

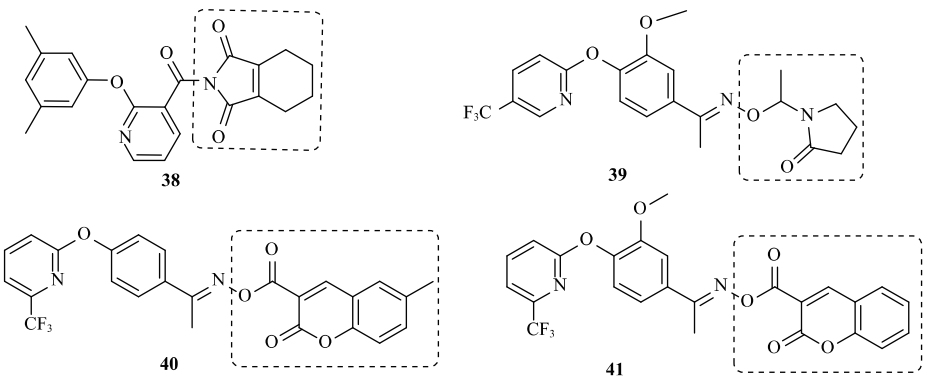


图 14　化合物 38～41 结构式

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4　结论与展望

经过近半个多世纪的发展，研究者们通过改变二芳基醚结构中芳基的种类及在芳基上引入不同的活性单元，开发得到的部分化合物具有良好的除草活性，并具有广谱除草活性和对作物安全的特点，克服了现有部分商品化二芳基醚除草剂除草谱窄和对作物有药害的缺点。然而，随着该类除草剂大量、广泛的使用，二芳基类PPO抑制剂类除草剂产生的抗性问题也日益突出。因此，在未来除草剂的创制研究中，应围绕抗性问题，利用计算化学手段并结合化学信息学技术合理设计绿色农药分子，开发具有超低用量、环境友好、对非靶标生物安全的新型PPO抑制剂类除草剂。

参考文献

[1] ARNOULD S, CAMADRO J M. The domain structure of protoporphyrinogen oxidase, the molecular target of diphenyl ether-type[J]. PNAS, 1998, 95(18): 10553-10553.

[2] DUKE S O, NANDIHALLI U B, LEE H J, et al. Protoporphyrinogen oxidase as the optimal herbicide site in the porphyrin pathway[J]. ACS Symposium Series, 1994, 559, 191-204.

[3] WANG B, WEN X, XI Z. Molecular simulations bring new insights into protoporphyrinogen IX oxidase/protoporphyrinogen IX interaction modes[J]. Molecular Informations, 2016, 35(10): 476-482.

[4] LUO Y P, JIANG L L, WANG G D, et al. Syntheses and herbicidal activities of novel triazolinone derivatives[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(6): 2118-2124.

[5] JIANG L L, TAN Y, ZHU X L, et al. Design, synthesis, and 3D-QSAR analysis of novel 1,3,4-oxadiazol-2(3*H*)-ones as protoporphyrinogen oxidase inhibitors[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(5): 2643-2651.

[6] WANG D W, LI Q, WEN K, et al. Synthesis and herbicidal activity of pyrido[2,3-*d*]pyrimidine-2,4-dione-benzoxazinone hybrids as protoporphyrinogen oxidase inhibitors[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(25): 5278-5286.

[7] 苏少泉. 二苯醚类除草剂的进展(上)[J]. 农药译丛, 1981(1): 9-14.

[8] 苏少泉. 二苯醚类除草剂的进展(下)[J]. 农药译丛, 1981 (2): 25-30.

[9] 王鸣华, 杨春龙, 蒋木庚. 含二芳醚农药的研究进展[J]. 世界农药, 2002, 24(2): 13-15.

[10] DAYAN F E, BARKER A, TRANEL P J. Origins and structure of chloroplastic and mitochondrial plant protoporphyrinogen oxidases: implications for the evolution of herbicide resistance[J]. Pest Management Science, 2018, 74(10): 2226-2234.

[11] 王建国, 赵卫光, 王素华, 等. 原卟啉原氧化酶(PPO)及其抑制剂的近期研究[J]. 农药, 2002, 43(8): 1-4.

[12] WATANABE N, CHE F S, IWANO M, et al. Dual targeting of spinach protoporphyrinogen oxidase II to mitochondria and chloroplasts by alternative use of two in-frame initiation codons[J]. Journal of Biological Chemistry, 2001, 276(23): 20474-20481.

[13] MATRINE M, CAMADRO J M, LABBE P, et al. Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides[J]. Biochemical Journal, 1989, 260(1): 231-235.

[14] BRZEZOWSKI P, KSAS B, HAVAUX M, et al. The function of protoporphyrinogen oxidase in chlorophyll biosynthesis requires oxidised plastoquinone in *Chlamydomonas reinhardtii*[J]. Communications Biology, 2019, 2(1): 1-9.

[15] DUKE S O, BECERRIL J M, SHERMAN T D, et al. The role of protoporphyrin IX in the mechanism of action of diphenyl ether herbicides[J]. Pest Management Science, 2010, 30(4): 367-378.

[16] HALLING B, WITKOWSKI D A. Inhibition of plant protoporphyrinogen oxidase by the herbicide acifluorfen-methyl[J]. Plant Physiology, 1989, 90(4): 1239-1242.

[17] HESS F D. Light-dependent herbicides: an overview[J]. Weed Science, 2000, 48(2): 160-170.

[18] 周宇涵, 苗蔚荣, 程侣柏, 等. 原卟啉原氧化酶抑制剂类除草剂研究进[J]. 农药学学报, 2002, 4(1): 1-8.

[19] NANDIHALLI U B, DUKE M V, DUKE S O. Quantitative structure-activity relationships of protoporphyrinogen oxidase-inhibiting diphenyl ether herbicides[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1992, 43(3): 193-211.

[20] LEE H J, DUKE M V. BIRK J H, et al. Biochemical and physiological effects of benzheterocycles and related compounds [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43 (10): 2722-2727.

[21] BAYER H O, COLIN W P, YIH R Y. 2-cyano-diphenyl ethers: US, 3950379[P]. 1976-05-16.

[22] SWITHENBANK C, PA P. Herbicidal 4-perfluoracetyl, 4-perfluoromethylthio,4-perfluoro-methylthylsulfinyl and 4-perfluoromethylsulfonyl-4'-nitrodiphenyl: US, 4358308[P]. 1982-11-09.

[23] BEAULIEU A H, YIH R Y. Novel herbicidal substituted pyridyl phenyl and diphenyl ethers, herbicidal compositions containing them processes for the preparation thereof and the use thereof for combating weeds: EP, 0130041[P]. 1984-06-20.

[24] 奥内斯特·哈多克, 迈克尔·托马斯·克拉克, 伊恩·詹姆斯·吉尔摩. 二苯醚除草剂: CN, 85101141[P]. 1986-10-08.

[25] 迈克尔·托马斯·克拉克, 伊安·詹姆斯·吉尔莫里, 克利夫·阿兰·拉温. 二苯醚除草醚.除草剂: CN, 87106953[P]. 1988-05-04.

[26] 戴维德·穆恩罗, 里诺·安东尼奥·比特. 二苯醚除草剂: CN, 86105188[P]. 1987-05-27.

[27] HAYASHIT Y. Synthesis and selective herbicidal activity of methyl (*E*,*Z*)-[[[l-[5-[2-chloro-4-(trifluoromethyl)phenoxy]-2-nitro-

（下转第 22 页）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[40] 王季芳, 任广伟, 高汉杰, 等. 25%噻虫嗪水分散粒剂防治烟蚜田间药效试验[J]. 农药, 2004, 43(8): 372-374.

[41] 谷静秀, 耿硕, 张亚倩, 等. 13%丁硫克百威·噻虫嗪微囊悬浮剂防治小麦蚜虫的田间药效试验[J]. 农药, 2019, 58(11): 856-858.

[42] 陈博聪, 张燕宁, 刘同金, 等. 噻虫嗪对田间麦蚜种群防控效果与残留消减动态[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 98-103.

[43] 武海斌, 宫庆涛, 陈珍珍, 等. 噻虫嗪处理的芫菁夜蛾斯氏线虫SF-SN对韭菜迟眼蕈蚊幼虫的杀虫效果和搜寻效应[J]. 昆虫学报, 2019, 62(2): 222-232.

[44] 张海英, 吕和平, 李建军, 等. 低温胁迫下30%噻虫嗪悬浮种衣剂对春小麦幼苗生长及生理的影响[J]. 甘肃农业科技, 2019(5): 10-16.

[45] 刘馨, 张友军, 吴青君, 等. 噻虫嗪对丽蚜小蜂寄生烟粉虱的影响[J]. 植物保护学报, 2016, 43(1): 123-128.

[46] 李文凤, 张荣跃, 黄应昆, 等. 70%噻虫嗪种子处理可分散粉剂对甘蔗绵蚜和蓟马防控效果评价[J]. 热带作物学报, 2017, 38(4): 700-703.

[47] 李进, 张军高, 王伟, 等. 不同增效剂对噻虫嗪防治棉蚜的减量增效作用[J]. 农药, 2018, 57(12): 912-915.

[48] MAIENFISCH P, KRISTIANSEN O, GSELL L. Triazacyclohexane derivatives: EP, 0483055A1[P]. 1992-04-29.

[49] MAIENFISCH P, GSELL L. Oxadiazine derivatives: EP, 0580553A2 [P]. 1994-01-26.

[50] P.麦恩菲西, L.格瑟尔. 噁二嗪衍生物、其制备方法和用途及制备其用的中间体: ZL, 93108584.5[P].1994-03-23.

[51] D.霍弗, M.苏特, F.布兰德尔, 等. 大环内酯在害虫防治中的应用: ZL, 98813311.3[P]. 2001-02-14.

[52] 华乃震. 广谱、高效农药——噻虫嗪综述[J]. 中国农药, 2017: 55-62.

（责任编辑：高蕾）

（上接第 14 页）

phenyl]-2-methoxyethylidene]amino]oxy]acetate and analogous compounds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(3): 839-844.

[28] SUMIDA M, NIWATA S, FUKAMI H, et al. Synthesis of novel diphenyl ether herbicides[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(7): 1929-1934.

[29] SELBY T P, RUGGIERO M, HONG W, et al. Broad-spectrum PPO-inhibiting *N*-phenoxyphenyluracil acetal ester herbicides[M]. Washington, DC：ACS Publication, 2015: 277-289.

[30] TOHYAMA Y, SANEMITSU Y. Uracil compounds and use thereof: US, 6537948[P]. 2003-5-25.

[31] 李复信, 张树奎, 谭惠芬, 等. 二苯醚酰胺类化合物的合成及其除草活性[J]. 农药, 1986(1): 5-6.

[32] 张树奎, 李复信, 黄兴盛, 等. 二苯醚硫脲衍生物的合成及其除草活性[J]. 农药, 1985(6): 9-11.

[33] 孙志忠, 候艳君, 高金胜, 等. 二苯醚类除草剂及其制备方法: CN, 1656894[P]. 2005-08-24.

[34] 孙志忠, 高金胜, 侯艳君, 等. 含氟二苯醚除草剂: CN, 1849887 [P]. 2006-10-25.

[35] YU H B, YANG H B, CUI D L, et al. Synthesis and herbicidal activity of diphenyl ether derivatives containing unsaturated carboxylates[J]. Journal Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59 (21): 11718-11726.

[36] 曹丽丹, 柳爱平, 周勃, 等. 磺酰二苯醚类化合物的合成与除草活性研究[J]. 精细化工中间体, 2015, 45(1): 12-15.

[37] 王晓光, 柳爱平, 曹丽丹, 等. 具除草、杀虫或杀菌活性的二苯醚类化合物: CN,105985246[P]. 2016-10-05.

[38] 陈磊. 含二苯醚基的6-氯吡嗪-2-酰胺类化合物的制备方法与应用: CN, 108997228[P]. 2018-12-14.

[39] 李义涛, 林健, 康维明, 等. 取代苯甲酰类化合物及其在农业中的应用: CN, 111559965[P]. 2020-08-21.

[40] ZHAO L X, JIANG M J, HU J J, et al. Design, synthesis and herbicidal activity of novel diphenyl ether derivatives containing fast degrading tetrahydrophthalimide[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(12): 3729-3741.

[41] ZHAO L X, HU J J, WANG Z X, et al. Novel phenoxy-(trifluoromethyl) pyridine-2-pyrrolidinone-based inhibitors of protoporphyrinogen oxidase: design, synthesis, and herbicidal activity[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2020, 170.

[42] ZHAO L X, WAMG Z X, ZOU Y L, et al. Phenoxypyridine derivatives containing natural product coumarins with allelopathy as novel and promising proporphyrin IX oxidase-inhibiting herbicides: design, synthesis and biological activity study[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2021, 177.

（责任编辑：金兰）

欢迎订阅《现代农药》(双月刊)　定价：120 元/年

编辑部电话：**025-86581148**　传真：**025-86581147**　联系人：靳红华

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net