

新工科背景下有机化学课程与有机农药产业融合教学模式探究

袁 瑞, 杜鹏理, 李长顺, 赖宜天

青海大学化工学院, 青海 西宁

收稿日期: 2026年9月14日; 录用日期: 2026年10月15日; 发布日期: 2026年10月21日

摘 要

新工科建设对农牧类专业基础课程的教学提出了交叉融合、产业导向和创新实践的新要求。针对有机化学课程教学中普遍存在的重视程度不足、课程与专业关联度弱、工程思维培养缺位等问题, 本文提出将有机农药产业发展案例嵌入有机化学各教学章节, 构建“课前导学-课中精讲-课后延伸”三段式融合教学模式, 并在教学内容重构、课堂组织方式、实践环节拓展和评价机制等方面进行系统改革。初步教学实践表明, 该模式显著提升了学生对课程的认同感与学习积极性, 促进了理论知识与应用能力的有机统一, 为新工科背景下农牧专业基础课程的教学改革提供了可复制的实践路径。

关键词

新工科, 有机化学, 农药合成, 教学模式, 产业融合

Exploration of an Integrated Teaching Model of Organic Chemistry Course and Organic Pesticide Industry in the Context of Emerging Engineering Education

Rui Yuan, Pengli Du, Changshun Li, Yitian Lai

Chemical Engineering School, Qinghai University, Xining Qinghai

Received: September 14, 2026; accepted: October 15, 2026; published: October 21, 2026

Abstract

The development of new engineering disciplines has introduced new requirements for the teaching

of foundational courses in agriculture and animal husbandry programs, emphasizing interdisciplinary integration, industry orientation, and innovative practice. Addressing common issues in organic chemistry instruction, such as students' insufficient engagement, weak relevance to their majors, and a lack of engineering thinking-this paper proposes embedding case studies on the organic pesticide industry into each chapter of the organic chemistry curriculum. It establishes a three-phase integrated teaching model comprising "pre-class guided learning, in-class in-depth instruction, and post-class extension", and implements systematic reforms in curriculum restructuring, classroom organization, practical component expansion, and assessment mechanisms. Preliminary teaching practice indicates that this model has significantly enhanced students' identification with the course and their motivation to learn, promoted the organic integration of theoretical knowledge and applied skills, and provided a replicable practical pathway for teaching reform in foundational courses for agricultural and animal science majors within the context of the "New Engineering" initiative.

Keywords

New Engineering Disciplines, Organic Chemistry, Pesticide Synthesis, Teaching Models, Industry Integration

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

“新工科”建设强调以产业需求为导向、学科交叉为路径、创新实践能力为核心，重构工程人才培养体系[1]。该理念要求农牧类专业基础课程主动对接现代农业产业链，使学生在低年级即建立起“专业基础-产业应用-职业发展”的系统认知。在这一背景下，专业基础课程的角色需要被重新审视：它不仅承担知识传授的功能，更能成为学生理解学科与产业关联的认知桥梁。

有机化学是农牧类专业开设的专业基础课程，涵盖烃类、卤代烃、含氧及含氮化合物等九大章节，围绕命名、结构、性质及典型反应展开教学，是学生后续学习植物保护、农药学等专业课的重要基石[2]。新工科语境下，课程目标不应止于反应机理的记忆与知识罗列，而应引导学生理解有机化学在农产品安全及生物质利用等领域中的支撑作用，激发学习动力与创新意识。从教育理论的视角审视，有机化学的概念体系(如电子效应、空间效应、反应机理)具有高度抽象性和层级依赖性，若缺乏与真实情境的关联，学生的知识建构往往停留在符号层面，难以形成可迁移的认知结构，这也为案例教学的必要性提供了认知层面的依据[3]。在课程中引入案例教学法，通过师生互动、小组讨论等方式，可有效促进学生在分析、批判与决策中整合理论与实践[4]。基于此，本文探索将有机农药产业案例融入有机化学教学，构建适应新工科要求的融合教学模式。

2. 农药产业案例嵌入的必要性与适切性分析

当前有机化学课堂教学面临三重结构性矛盾：学生因课程前置知识弱且尚未接触专业核心课，普遍将其视为孤立的理论课，学习内驱力不足；教学内容偏重官能团与反应类型的系统讲授，缺乏产业案例与实践元素，学生难以领会课程的实际价值；传统教学模式忽视合成路线设计、工艺优化等工程思维训练，与新工科创新型人才培养目标之间存在明显落差。农药产业的引入为解决上述困境提供了有效切口：其合成涵盖亲电加成、亲核取代、酯化、酰胺化、重氮化等几乎所有核心反应类型，与课程章节天然对应，为案例嵌入提供了学理支撑；农药直接服务于作物保护、草害防治、环境安全等农牧核心领域，能

有效架起理论与应用之间的桥梁；行业正处在从仿制向创制、从高污染向绿色化转型的关键期，对兼具化学基础与产业视野的人才需求旺盛，为课程注入了鲜活的职业引导资源。将农药案例有机嵌入教学，既能弥合知识传授与能力培养之间的断裂，也为学生搭建了从课堂到产业的完整认知通道。

3. 教学内容重构与产业案例融合设计

在保持原有章节教学体系完整性的前提下，对教学章节进行了产业案例的系统化匹配，具体对应关系见表1所示。

Table 1. Teaching case design based on the main line of “core knowledge - organic pesticide industry”

表 1. 基于“核心知识 - 有机农药产业”主线的教学案例设计

教学章节	核心有机反应	对应案例
不饱和脂肪烃	亲电加成、自由基加成、氧化、 α -H 卤代、炔烃水合、Diels-Alder 等	咪唑啉酮类除草剂的炔烃亲核加成反应[5]
芳香烃	亲电取代、傅 - 克烷基化、傅 - 克酰基化、氧化、加成、 α -H 卤代等	苯甲酰基脲类杀虫剂芳环修饰[6] [7]
醇、酚、醚	亲核取代、酯化、消除等	“拟除虫菊酯”杀虫剂的酯化反应[8]
醛、酮	亲核加成、还原、歧化、羟醛缩等	唑啉酮类除草剂的羰基加成合成[9]
羧酸及其衍生物	亲核取代、脱羧、还原等	酰胺类杀虫剂的酰胺键构建[10] [11]
含氮化合物	硝基还原、重氮化等	氟磺隆除草剂的重氮化合成[12]

为使产业案例有效嵌入教学过程，进一步设计“课前导学 - 课中精讲 - 课后拓展”三段式教学模式，具体如下：

课前导学，教师通过雨课堂或 QQ 群发布章节相关的农药案例视频或产业材料，并设置引导性问题，让学生带着思考进入课堂。课中精讲，在讲授核心反应时引入对应案例，组织学生围绕案例进行研讨，将工程思维与绿色化学理念融入讨论，增强学生的专业认同感，为后续专业课学习奠定基础。课后拓展，布置如“某农药的合成路线设计”“农药与生态安全”等开放性作业，安排课堂汇报交流，并将小论文纳入期末成绩评定。

4. 产业案例的教学化呈现与课堂实施

本章选取五个典型案例，每个案例均包含案例概述，对应章节与教学切入点，融入方式与思政元素等要素。

案例一：炔烃亲核加成反应——咪唑啉酮类除草剂的合成

对应章节：不饱和脂肪烃

教学切入点：讲授完炔烃的亲电加成与亲核加成机理后，教师提出引导性问题：“乙炔或其一元取代物与含有活泼氢的化合物发生加成反应，可以构建含双键的杂环结构[13]。大家想一想，这类反应在农药合成中能发挥什么作用？”

案例概述：咪唑啉酮类除草剂是一类重要的乙酰乳酸合成酶抑制剂，可有效抑制侧链氨基酸的合成，对阔叶杂草防效突出，部分品种对禾本科杂草也有良好效果。目前商品化的咪唑啉酮类除草剂主要包括咪唑乙烟酸(咪草烟)、甲咪唑烟酸、甲氧咪草烟、咪唑烟酸(灭草烟)、咪唑啉酮(灭草啉)、咪草酯等。该类除草剂的核心构建步骤之一即涉及炔烃的亲核加成反应(见图 1)。巴斯夫为全球咪唑啉酮类除草剂的龙头企业，国内则以山东先达农化、沈阳科创化学等为代表，产能与市场规模位居行业前列。

融入方式与思政元素：教师在展示合成路线后，引导学生分析炔烃加成反应的区位选择性在该路线中的体现及该策略相较于传统方法的优势，并结合我国咪唑啉酮类除草剂从依赖进口到自主生产进而参与国际竞争的发展历程，增强学生的产业自信与专业使命感。此外，对于咪唑啉酮类除草剂而言，其在土壤中的残留活性与降解半衰期直接关系到后茬作物的安全性，这也是该类药剂在轮作体系中受到使用限制的根本原因。从循环经济视角看，农药生产中的溶剂回收、副产物资源化利用以及生物质基原料的引入，正在成为行业技术升级的重要方向。

学生任务设计：梳理咪唑啉酮类除草剂的全合成路线，鼓励感兴趣的同学制作 PPT 进行课堂讲解。

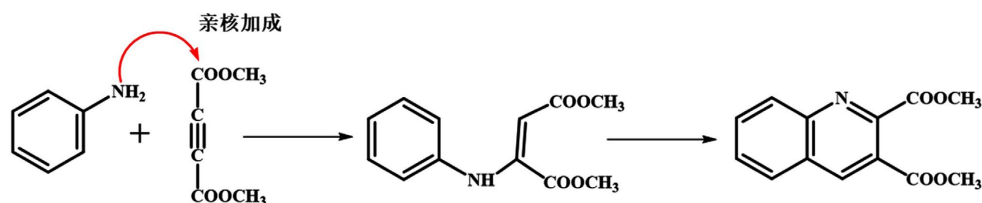


Figure 1. Part of the synthesis process of imidazolinone herbicides

图 1. 咪唑啉酮类除草剂的部分合成过程

案例二：芳香族亲核取代反应——2,6-二氟苯甲酰胺的合成

对应章节：卤代烃(亲核取代反应)

教学切入点：芳香族亲核取代反应(SNAr)是指亲核试剂进攻芳香环取代离去基团、实现官能团转化的反应，其核心机理为加成-消除。教师以“氟原子引入为何能提高农药的生物活性”设问引入。

案例概述：2,6-二氟苯甲酰胺是苯甲酰基脲类杀虫剂(Lufenuron)的重要中间体。其合成以 2,6-二氯苯甲腈为原料，氰基作为强吸电子基团显著降低邻位 C 的电子云密度，使其易于被 F 亲核进攻，随后 Cl 离去，生成更稳定的 2,6-二氟苯甲腈。整个过程遵循芳香族亲核取代的加成-消除机理(见图 2)。苯甲酰基脲类杀虫剂可有效抑制昆虫几丁质的生物合成，使幼虫不能正常脱皮而死亡，属于昆虫生长调节剂类绿色农药。国内 2,6-二氟苯甲酰胺核心生产企业以氟化工与农药中间体厂商为主，江苏扬农化工、浙江永太科技产能规模领先。芳香族亲核取代反应及含氟中间体的合成方法学在兽药与饲料添加剂领域同样具有广泛的应用空间。

融入方式与思政元素：教师讲授反应机理后，结合工业流程图展示从合成路线到工业化生产的工艺放大过程，引导学生关注溶剂回收、三废处理、成本控制等工程问题，并渗透绿色化学理念——氟原子的引入减少了副产物生成，体现了原子经济性原则，引导学生理解芳香族亲核取代反应作为“大农牧”产业链通用方法学工具的价值。

学生任务设计：讨论“为何选择氟原子而非氯或溴”，从电子效应、空间效应与生物活性三方面论证，鼓励感兴趣的同学制作 PPT 进行讲解。

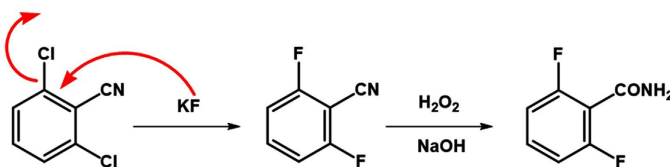


Figure 2. Synthesis of 2,6-difluorobenzamide

图 2. 2,6-二氟苯甲酰胺的合成

案例三：羰基亲核加成-消除——唑酮草酯中间体的合成

教学切入点：醛酮章节中，羰基与氨及其衍生物的加成-消除反应是构建含 C=N 键化合物的重要途径。教师提示：“含氮杂环在农药分子中广泛存在，如何高效构筑这类环系结构？”

案例概述：唑啉酮酯是一种三唑啉酮类除草剂，其关键中间体的合成利用了羰基与肼衍生物的加成-消除反应(见图 3)。该类型除草剂作用机理为抑制原卟啉原氧化酶或乙酰乳酸合成酶，具有选择性好、用量低的特点，广泛用于小麦、玉米、水稻等大田作物。唑啉酮类除草剂主要包括三唑啉酮、异恶唑啉酮、吡唑啉酮等亚类。

融入方式与思政元素：教师讲述合成路线后，重点分析加成-消除反应中“加成产物不稳定、失水生成稳定 C=N 键”这一热力学驱动过程。同时引入“选择性除草剂对粮食安全意义”这一话题，讨论精准农业背景下除草剂减量增效的产业趋势。

学生任务设计：布置课后拓展题：“查阅文献，找出含有 C=N 键的常见农药品种，并标注其对应的核心反应类型。”

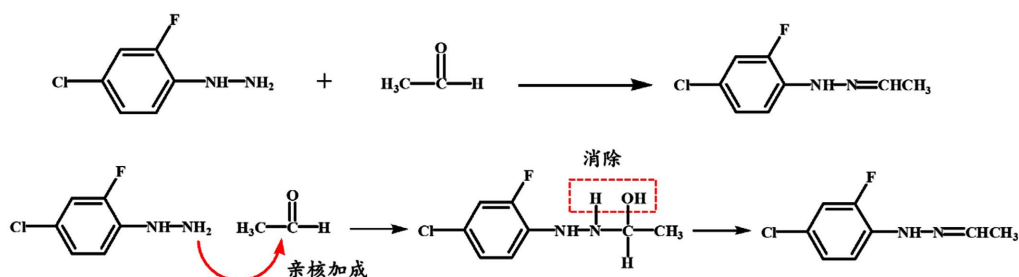


Figure 3. Synthesis of the intermediate of carfentrazone-ethyl

图 3. 唑啉酮酯中间体的合成

案例四：酯化反应——拟除虫菊酯杀虫剂的合成

对应章节：醇、酚、醚

教学切入点：酯化反应是学生高中阶段即接触的经典反应，但多数学生对其在精细化工中的广泛应用缺乏认知。教师以“蚊香和杀虫气雾剂的有效成分是什么”作为生活化导入。

案例概述：拟除虫菊酯是一类仿生合成杀虫剂，具有高效、低毒、广谱、环境友好等优点，是目前家用卫生杀虫和农田害虫防治的主力品种之一。其合成中，菊酸与相应醇在对甲基苯磺酸催化下，在苯溶剂中回流脱水生成酯(见图 4)。拟除虫菊酯作用于昆虫神经细胞膜钠离子通道，导致害虫痉挛、麻痹、死亡。国内扬农化工是全球菊酯类产品的龙头企业，利尔化学、红太阳、润丰股份等亦有布局。

融入方式与思政元素：教师引导学生对比拟除虫菊酯与有机氯、有机磷杀虫剂在化学结构和环境行为上的差异，理解“结构决定性质、性质决定用途”的核心化学思想。此外，拟除虫菊酯的酯化步骤中，对甲基苯磺酸作为催化剂替代传统强酸，体现了“催化替代化学计量试剂”的绿色化学原则。而从更宏观的产业层面看，农药生产过程中的挥发性有机物(VOCs)排放控制已成为行业绿色升级的关键议题。同时介绍我国拟除虫菊酯从仿制到创制的自主创新历程，强调基础有机合成能力对农药创制的支撑作用。

学生任务设计：结合立体化学知识，分析拟除虫菊酯分子中手性中心对杀虫活性的影响。

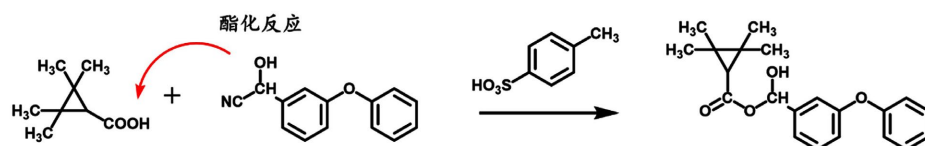


Figure 4. Esterification reactions in the synthesis of “pyrethroid” insecticides

图 4. “拟除虫菊酯”杀虫剂合成中的酯化反应

案例五：酰胺化反应——吡唑酰胺类化合物的合成

对应章节：羧酸及羧酸衍生物(酰胺化反应)

教学切入点：羧酸及其衍生物章节中，酰胺化反应是构建 C-N 键的核心反应之一。教师提问：“为什么酰胺键在农药分子中如此常见？它与农药与靶标的结合有什么关系？”

案例概述：酰胺类农药易于与昆虫体内的氨基酸残基形成氢键作用，具有广泛的生物活性。吡唑酰胺类化合物对黏虫及苜蓿蚜具有较高致死率，其核心合成步骤为氨基作为亲核试剂进攻羧基，通过亲核加成-消除过程形成酰胺键(见图 5)。市售代表性酰胺类杀虫剂包括氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、氟虫双酰胺等；酰胺类杀菌剂有吡唑菌胺、啉酰菌胺、氟唑菌苯胺等；酰胺类除草剂包括吡氟酰胺、氟唑草胺、啉磺草胺等。国内红太阳、利尔化学、扬农化工等头部企业在双酰胺类杀虫剂、SDHI 类杀菌剂等赛道占据主导地位。含酰胺键的尿素类化合物被用于制备动物生长促进剂，酰胺类衍生物在兽医药理学中具有广泛的治疗和预防用途。

融入方式与思政元素：教师引导学生从分子设计的视角思考-酰胺键的引入如何影响分子的极性、水溶性和生物活性，建立“化学结构-理化性质-生物活性”的关联思维。同时引入“新农药创制的周期长、投入大”这一行业实情，培养学生对基础研究的敬畏与耐心。

学生任务设计：以小组为单位，选取氯虫苯甲酰胺或任一双酰胺类杀虫剂，检索其合成路线并绘制工艺流程图，在课堂上进行 5 分钟展示。鼓励感兴趣的同学进一步调研透明质酸酰胺缓释系统或饲料添加剂中酰胺类化合物的应用，比较其与农药酰胺化反应在方法学和设计理念上的异同。

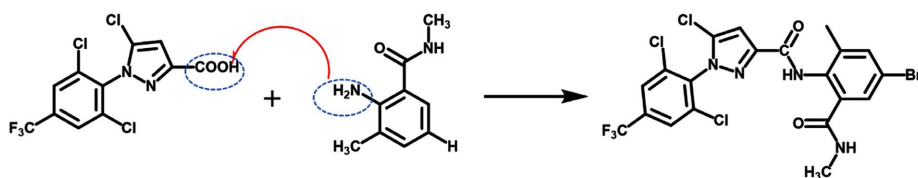


Figure 5. Synthesis process of pyrazole amide compounds

图 5. 吡唑酰胺类化合物的合成过程

案例六：重氮化反应——氟磺隆的合成

对应章节：含氮化合物

教学切入点：芳香族伯胺在低温酸性条件下与亚硝酸反应生成重氮盐。教师提问：“重氮盐被誉为芳环官能化的万能钥匙，其作用如何发挥？”

案例概述：重氮盐可发生取代反应引入-H、-OH、-X、-CN 等基团。磺酰脲类除草剂氟磺隆的合成即涉及重氮化反应，以邻氨基苯磺酸为原料，经重氮化 Matsuda-Heck 偶联和还原等步骤制得(见图 6)。氟磺隆通过抑制乙酰乳酸合成酶，阻止支链氨基酸的生物合成，使杂草死亡。国内江苏长青农化股份有限公司是其原药生产企业。

融入方式与思政元素：教师引导学生完整追踪从邻氨基苯磺酸到氟磺隆的官能团转化历程，绘制“起始原料-中间体-产物”的转化图谱。在此基础上，讨论重氮化反应在工业放大中的安全风险：重氮化反应属于强放热快速反应，重氮盐中间体对温度和 pH 敏感，传统釜式间歇工艺存在传热不均、局部过热、重氮盐分解甚至爆炸的风险。通过这一分析，引导学生深入理解低温控制、亚硝酸累积等关键安全节点的工程意义，渗透化工安全素养教育。

学生任务设计：综合运用所学知识，调研以苯为起始原料的氟磺隆合成路线，鼓励感兴趣的同学制作 PPT 进行讲解交流。

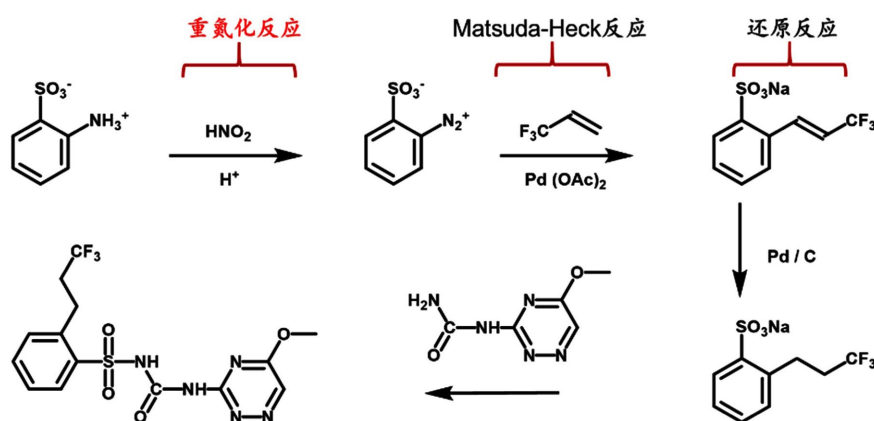


Figure 6. Synthesis steps of Prosulfuron

图 6. 氟磺隆的合成步骤

5. 教学成效评价

课程结束后从学习态度、知识掌握和能力迁移三个维度进行了教学评价。

在学习态度与课程认同方面，学生对有机化学与农牧专业关联性的认同度显著提升，认为课程具有实际应用价值，对课程学习的兴趣和课后主动拓展的意愿均有明显增强。

在学业表现方面，从期末考试成绩来看，实施融合教学后，学生在完成反应方程式题及合成题的得分率较往年明显提高，表明案例教学有效促进了深层理解与迁移应用能力的形成。

在课堂参与方面，课堂上学生主动提问、小组讨论发言和课堂展示的积极性增加，课后创新作业内容的完成率亦处于较高水平，课堂氛围整体较好。

部分学生建议增加青海省本地农化企业及本校相关科研方向的介绍，以便后续参与创新项目与本地就业时更具针对性，这为后续教学的持续优化指明了方向。

6. 结语

本文立足新工科建设背景，针对农牧类专业有机化学课程教学中存在的重视不足、内容与专业脱节、工程思维培养缺位等问题，提出了将有机农药产业案例系统嵌入各教学章节的改革方案，并构建了“课前导学-课中精讲-课后拓展”三段式融合教学模式。教学实践表明，该模式有效提升了学生的课程认同感、学习积极性和知识迁移应用能力，为农牧类专业基础课程的新工科改造提供了可复制的实践路径。后续研究将重点围绕完善差异化案例模块、丰富本地企业教学素材和建立多元化过程性评价体系等方向持续深化，推动该教学模式在更大范围内推广应用。

基金项目

2024 年青海省省级课程思政示范项目《有机化学》(项目编号: SJSZKC-202514)。

参考文献

- [1] 赵启文, 成春春. 用新工科理念做强做优盐湖化工特色专业[J]. 大学化学, 2020, 35(10): 55-58.
- [2] 毋青男, 那日松, 何睿, 等. 农药合成课程教学改革实践[J]. 安徽农学通报, 2025, 31(11): 126-129.
- [3] 齐燕, 于跃芹, 郭维斯, 等. 过渡金属参与的有机反应案例教学与实践探索[J]. 大学化学, 2025, 40(6): 111-117.
- [4] 朱荣秀, 郭今心, 张树永. 有机化学课程思政案例教学设计与实施: 以沙利度胺致畸事件为例[J/OL]. 大学化学: 1-10. <https://link.cnki.net/urlid/11.1815.O6.20260529.1631.008>, 2026-10-14.

- [5] 伍强, 张茜, 杨吉春, 等. Vilsmeier-Hacck 反应在农药合成中的应用[J]. 农药, 2010, 49(2): 83-85.
- [6] 戴红, 赵元飞, 牛平. 1-{4-[(2-氰基亚胺基-1,3-噻唑烷-3-基)甲基]-噻唑-2-基}-3-取代苯甲酰基脲类化合物的合成及其生物活性[J]. 有机化学, 2013, 33(17): 1568-1572.
- [7] 卢世超, 冯家阳, 李常凯, 等. 吡啶类农药合成研究新进展[J]. 农药, 2020, 59(6): 397-406.
- [8] 寿凯胜. 农药合成中使用各种有机单元反应的统计分析[J]. 农药科学, 2006, 37(3): 20-22.
- [9] 张敏恒, 李淼. 氰酸钠与农药合成[J]. 农药, 2013, 52(2): 79-82.
- [10] 王翔, 汤承浩, 谭荣. 酰胺类化合物的合成及农药生物活性研究进展[J]. 精细化工中间体, 2016, 46(6): 7-14.
- [11] 程志明. 农药合成中有用的几种有机反应: 酯化, 酰化和磺酰化[J]. 世界农药, 2002, 24(6): 7-8.
- [12] 徐英, 郝树林, 张金波, 等. 偶联反应在农药合成中的应用[J]. 农药, 2012, 51(5): 317-322.
- [13] 唐系封. 关于炔烃亲电加成与亲核加成本质的探讨[J]. 高等函授学报, 2001, 14(1): 26-29.