

喹啉类化合物多官能团化进展及应用研究

卢远辉

玉林师范学院化学与食品科学学院, 广西 玉林

收稿日期: 2026年5月14日; 录用日期: 2026年6月22日; 发布日期: 2026年6月30日

摘要

喹啉以其独特的结构是一类重要的含氮杂环芳香化合物, 其广泛存在于各种活性小分子和许多功能有机小分子结构中。独特的含氮结构使得喹啉具有与众不同的化学性质, 往往能发生多种化学反应, 而在有机合成及药物化学领域具有广泛的应用。目前, 喹啉化合物的合成及官能团化研究已经有诸多文献报道, 本文对近年来喹啉类化合物多官能团化及应用的文献报道进行了归纳与总结, 期望对喹啉类化合物的合成与修饰来开发新型喹啉骨架功能小分子提供有效参考。

关键词

喹啉, 多官能团化, 应用

Advances in the Multifunctionalization of Quinoline Derivatives and Applications

Yuanhui Lu

College of Chemistry and Food Science, Yulin Normal University, Yulin Guangxi

Received: May 14, 2026; accepted: June 22, 2026; published: June 30, 2026

Abstract

Quinoline, with its unique structure, is an important class of nitrogen-containing heterocyclic aromatic compounds widely present in various bioactive small molecules and many functional organic molecular frameworks. Its distinctive nitrogen-containing structure endows quinoline with exceptional chemical properties, enabling it to participate in a wide range of chemical reactions and thus find broad applications in organic synthesis and medicinal chemistry. To date, numerous studies have been reported on the synthesis and functionalization of quinoline compounds. This article reviews and summarizes the recent literature on the functionalization of quinoline derivatives, aiming to provide an effective reference for the synthesis and modification of quinoline compounds to

develop novel functional small molecules based on the quinoline skeleton.

Keywords

Quinoline, Multifunctionalization, Applications

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

喹啉别名苯并吡啶，从结构上来看是由一分子的苯并上一分子的吡啶构成，独特的化学结构赋予其非同寻常的化学性质，在药物、染料、食品等领域具有广泛的应用[1]。喹啉的发现源于19世纪对煤焦油的系统研究。1834年，德国化学家弗里德里希·费迪南德·朗格(Friedlieb Ferdinand Runge)从煤焦油中分离出一种具有特殊气味的碱性油状液体，这就是后来命名的喹啉。之后随着抗疟疾药物奎宁的发现与结构确认，人们发现奎宁具有喹啉环结构，这一重要发现引起了科学家们的广泛关注，更多的科学家开始投入到喹啉类化合物的合成与活性研究[2]。喹啉及其衍生物的合成方法通常有以下几种：1) 传统合成法，其中经典的有Skraup合成法(斯克洛浦合成法)、Povarov合成法(波瓦罗夫合成法)以及Friedlander合成法(弗瑞德兰合成法)等[3]，以上的几种方法是利用苯胺及其衍生物与甘油或者酮等反应来合成喹啉类化合物；2) 微波辅助合成法，微波作为一种传输介质与热能方式，在有机合成中往往能起到缩短反应时间，减少反应副产物提升收率的效果[4]，所以近些年来也有用在喹啉类化合物的合成报道；3) 固体酸催化合成法，固体酸催化剂催化合成具有操作简便，反应后易分离产物，可实现反应后回收催化剂产生可观的经济效益等优点，所以也有相关的报道其应用在喹啉类化合物的合成[5]。

已见于报道的喹啉及其衍生物的生物活性有消炎、抗疟疾、抗肿瘤、抗菌等多种重要的药理作用(见图1)，如：麻醉药物地布卡因(Dibucaine)、消炎镇痛药物辛可芬(Cinchophen)、抗肿瘤活性药物8-羟基喹啉(8-Hydroxyquinoline)等。

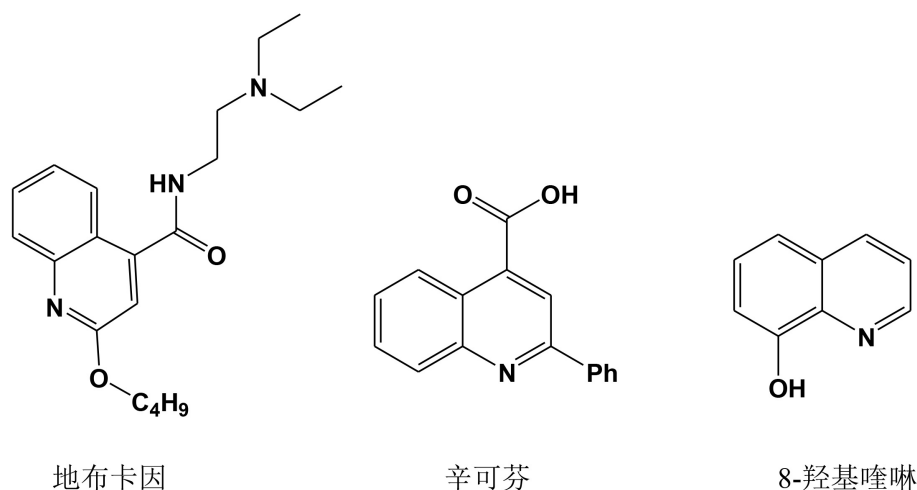


Figure 1. Quinoline drugs
图 1. 喹啉类药物

2. 喹啉类多官能团化及应用进展

2.1. 喹啉的环化反应

喹啉的环化反应对于丰富喹啉小分子类型及推动喹啉类化合物在有机合成和材料科学等领域的应用具有重要意义[6]。因此,深入研究喹啉环化反应的机理及反应条件对开发新型的喹啉类活性小分子及功能材料等具有十分重要的研究价值。

2025年,Liu课题组[7]报道了一种非典型的1,3-偶极环加成反应(见图2),经典的1,3-偶极环加成反应通过1,3-偶极子同不饱和烯/炔烃之间的环加成生成五元环结构,Liu课题组创新性地以饱和胺作为传统不饱和烯的等价物,使其能够与*N*-亚氨基喹啉反应从而高效、高选择性地构建吡啶喹啉融合喹啉衍生物结构化合物,该反应具有反应温和、操作简便同时具有优异的官能团兼容性等优势。根据文章反应机理的研究发现*N*-亚氨基喹啉叶立德不仅在反应中作为底物参与反应同时还充当光敏剂;反应过程中底物饱和胺的光诱导条件下通过氮原子的单电子氧化生成烯胺中间体,从而促进反应的进行。

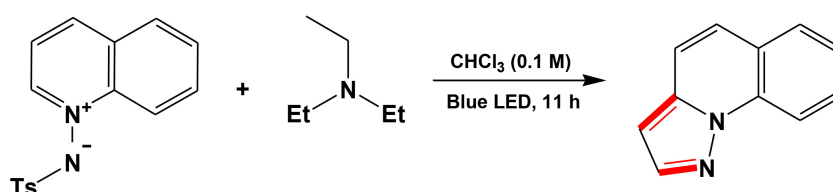


Figure 2. Light-Induced [3+2] Cycloaddition Reactions of *N*-Iminoquinolinium Ylides
图2. 光诱导的*N*-亚胺基喹啉叶立德[3+2]环加成反应

2025年,Debnath课题组[8]报道了一种以氧原子作为弱导向基团的Rh催化喹啉与环丙烯酮的[3+3]环化反应(见图3),该反应以当量的Ag₂O作为氧化剂在90℃、惰性气体保护条件下反应2h得到2-喹诺酮,但底物特殊、需要当量的Ag₂O氧化剂及贵金属催化等是有待改进之处。

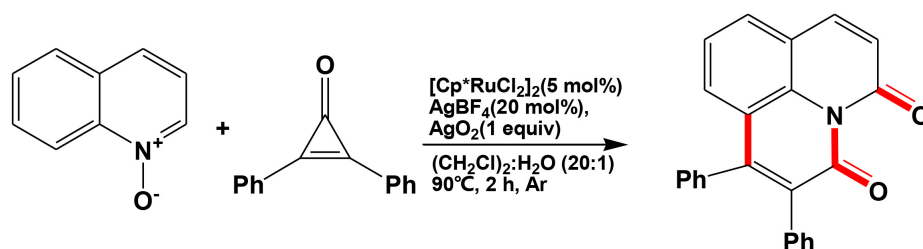


Figure 3. Rh-catalyzed [3+3]-annulation of quinolines with cyclopropanones
图3. 铑催化的喹啉与环丙烯酮的[3+3]环化反应

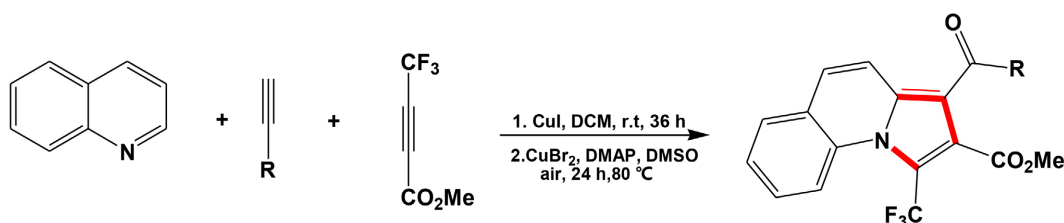


Figure 4. Copper-catalyzed intramolecular cyclization cascade for the synthesis of Trifluoromethylated Pyrrolo [1,2-a] quinolines

图4. 铜催化的分子内环化串联实现三氟甲基化吡咯并[1,2-a]喹啉的合成

2016年, Xu课题组[9]报道了一种铜催化喹啉环化反应(见图4), 该反应以喹啉、末端炔烃、4,4,4-三氟丁-2-炔酸甲酯为底物高效、高选择性地合成了CF₃取代的吡咯并[1,2-a]喹啉, 但是该反应是一锅两步法合成的目标产物。首先是CuI催化介导末端炔烃与喹啉反应形成炔基取代的1,2-二氢喹啉, 之后CuBr₂催化分子内的环化反应形成目标产物, 该反应条件温和、操作简便具有良好的官能团兼容性, 产率较高。

2022年, Guan课题组[10]报道了一种金属Ru催化的三组份反应一步合成稠合四氢喹啉(见图5), 该反应以喹啉盐、吲哚、多聚甲醛为底物, Ru催化的氢化物转移引发的喹啉骨架串联官能化, 选择性地合成高对映选择性的稠合四氢喹啉, 反应条件温和、官能团耐受性良好、产物选择性高。

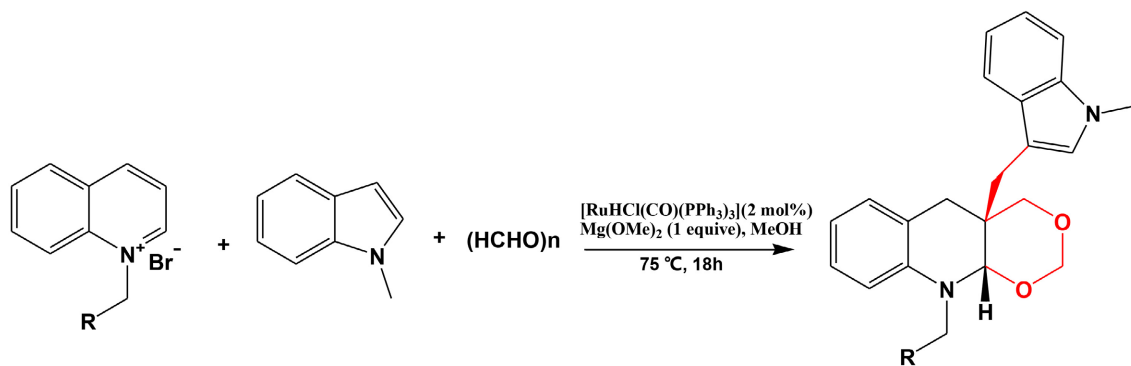


Figure 5. Ruthenium-catalyzed hydride-transfer-initiated tandem functionalization of quinolines to access fused tetrahydroquinolines

图 5. 金属 Ru 催化氢负离子转移引发的喹啉串联官能化构建稠合四氢喹啉

2020年, Ponce课题组[11]报道了一种以2,3-二卤代喹啉为原料, 通过卤素原子位点选择性Pd催化交叉偶联的分子内环化反应得到噻吩并[2,3-h]-/[3,2-h]-和[2,3-f]喹啉, 该反应过程有Brønsted酸的参与(见图6), 但反应需要预装卤素原子、多步骤合成、原子经济性低等是其不可回避的不足之处。

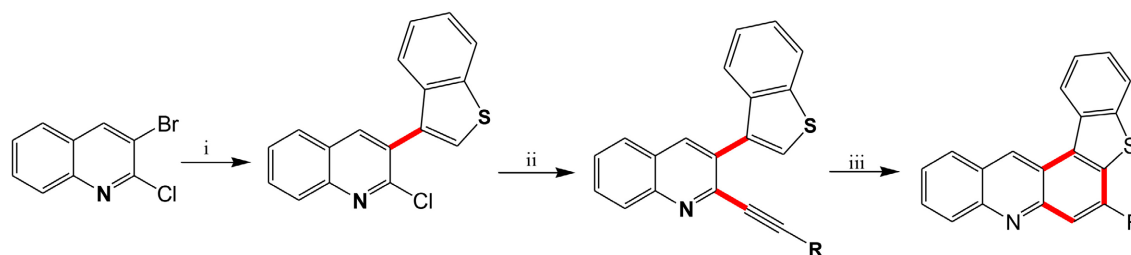


Figure 6. Palladium-Catalyzed Brønsted Acid-Mediated Cycloisomerization to Access Thieno [2,3-h]-/[3,2-h]quinolines and Thieno [2,3-f] quinolines

图 6. Pd 催化 Brønsted 酸介导的环异构化反应合成噻吩并[2,3-h]-/[3,2-h]喹啉及噻吩并[2,3-f]喹啉

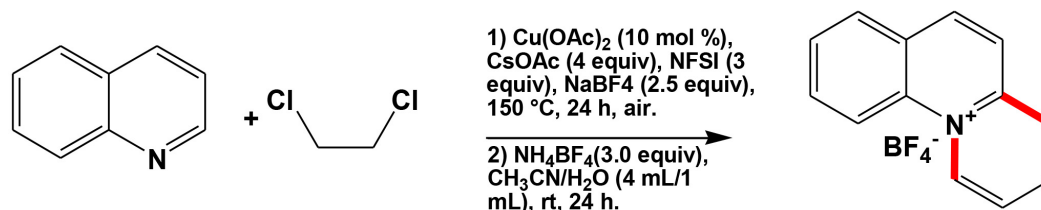


Figure 7. Copper-catalyzed construction of Benzoquinoliniziniums from quinolines and dichloroethane

图 7. 铜催化喹啉与二氯乙烷构建苯并喹啉鎓盐

2022年, Ji 课题组[12]报道了一种铜催化氧化 C-H 键环化制备苯并喹啉盐的方法, 该反应以喹啉与 1,2-氯乙烷(DCE)为反应底物, DCE 不仅是溶剂还是喹啉 C2-H 的原位活化剂, 而且还作为乙烯基等价物参与构成六元氮环盐(见图 7)。

2.2. 喹啉多官能团化进展

喹啉作为重要的生物活性小分子骨架是许多药物及功能材料的核心分子结构[13], 喹啉类化合物的合成及修饰一直是科学家们重要的研究课题, 与此同时, 随着近些年来光诱导催化、电化学催化等多种催化体系的应用, 许多传统的过渡金属催化, 有机/无机氧化剂或者酸碱催化等方式不能发生的反应已经能够在有机实验室中发生, 新型催化体系的应用为喹啉类化合物的合成与修饰提供了强有力的技术支持。经过科学家们多年来持之以恒的研究, 喹啉骨架上单一位点的修饰及功能化已经得到了广泛的发展[14], 但同时引入两种不同的基团对喹啉骨架的修饰却鲜有报道, 两种不同基团在同一反应体系中往往不能兼容, 这是由于基团本身的结构、电子排布、基团大小等多种因素影响, 多组分反应比传统的两组分反应更具有挑战性。此处, 我们将对近年来喹啉类化合物双官能团化研究进行系统的总结与归纳, 期望对该方面的研究提供有益的参考。

2020年, He 课题组[15]公开了一种铜盐催化的喹啉类化合物与烷基卤化物和不同末端炔烃的多组串联反应来合成 1,2-双官能团化喹啉类化合物(见图 8), 在该反应条件下最先生成的喹啉盐类化合物, 由于喹啉盐本身就是高反应活性的物质往往作为反应中间体存在, 末端炔烃在铜离子的诱导下与缺电子的喹啉 2 号位结合进而发生氧化反应生成目标化合物。

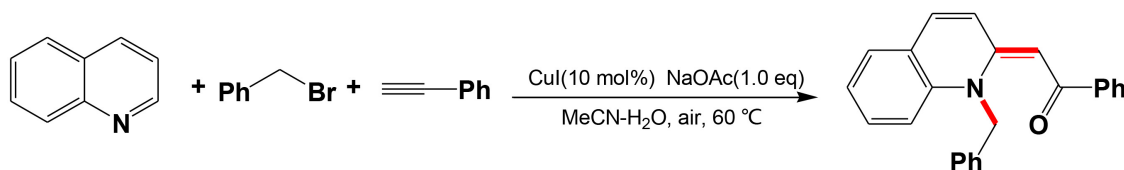


Figure 8. Copper-Catalyzed Selective 1,2-Difunctionalization of quinolines via multicomponent tandem reaction
图 8. 铜催化喹啉多组分串联实现选择性 1,2-双官能化

2025年, Xie 课题组[16]报道了一种 2-碘酰基苯甲酸(IBX)催化的一步合成 C3,6-二硫代喹啉-2-酮类化合物的方法(见图 9), 反应以 *N*-苯基四氢喹啉和二硫化物为底物, IBX 为氧化剂, 水参与的温和条件下实现了高选择性地喹啉 C-H 键选择性双硫代化, 反应过程涉及了氮、硫等原子自由基在氧气条件下的生成与转化, 但氧化体系往往产物复杂提高了分离纯化的难度。

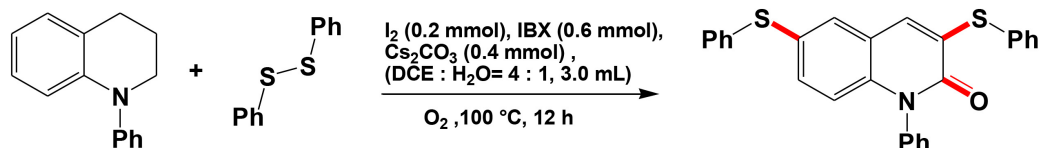


Figure 9. IBX-Catalyzed One-Pot Synthesis of C3,6-Dithioquinolin-2-ones
图 9. IBX 催化的一锅法合成 C3,6-二硫代喹啉-2-酮

早在 2015 年, Pappoppula 课题组[17]公开了一种溴化亚铜催化的三组份反应来实现喹啉的双官能团化, 该工作是较早涉及到喹啉盐的产生与转化之一(见图 10), 因为喹啉盐具有较高的反应活性能够与铜介导的末端炔烃发生反应, 从而生成目标化合物。

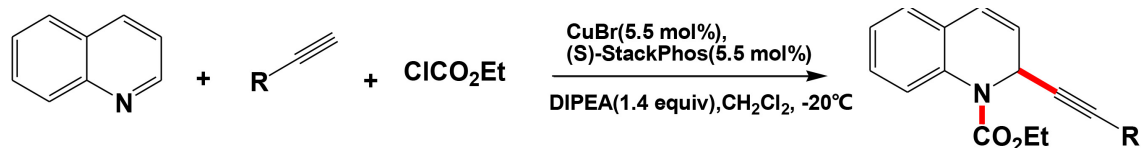


Figure 10. Copper-catalyzed multicomponent quinoline alkylation
图 10. 铜催化多组分的喹啉炔基化反应

2024 年, He 课题组[18]提供了一种方便的合成氟烷基化喹啉衍生物的方法, 该方法以苯胺及 1,3-二羰基化合物为原料简单便捷地合成了 2,4-双(氟烷基)喹啉衍生物(见图 11)。尽管以大宗商品苯胺为底物、反应操作简便、原子经济性高等是其明显的优点, 但是特殊 1,3-二羰基化合物限制了其应用的范围。

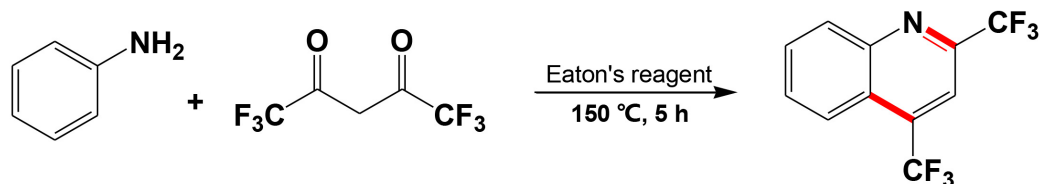


Figure 11. A concise method for the synthesis of 2,4-Bis (fluoroalkyl) quinoline derivatives from anilines
图 11. 一种苯胺简便合成 2,4-双(氟烷基)喹啉衍生物的方法

2021 年, Gao 课题组[19]开发了一种新型的 NiH 催化体系实现了炔烃的选择性加氢胺化合成双官能团化的喹啉类化合物(见图 12)。NiH 可活化常见的炔烃同 2,1-苯并异恶唑发生加氢胺化环化反应得到各种喹啉化合物, 反应条件温和, 操作简单耐受各种末端和内部、芳基和烷基、卤素、缺电子和富电子的炔烃, 但特定的催化剂、溶剂、配体等条件限制了其大规模应用的可能。

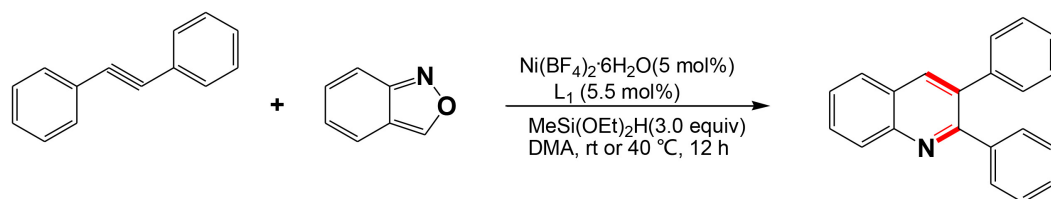


Figure 12. NiH-Catalyzed Hydroamination/Cyclization Access to Quinolines
图 12. NiH 催化的胺化/环化策略构建喹啉类化合物

2.3. 喹啉类化合物应用进展

喹啉骨架存在于自然界中诸多生物活性有机小分子中[20], 最初是由德国科学家从煤焦油中分离得到, 但当时人们并没有意识到其在药物、材料、染料、食品等领域的重要作用。随着抗疟疾类药物奎宁的发现和对其结构的解析才重新认识到喹啉骨架的重要性[21]。喹啉类化合物在医药中的应用, 喹啉因其骨架的独特性的平面刚性结构和电子排布而拥有许多重要的生物活性。喹啉骨架在药物设计中被称为“优势骨架”, 其中抗疟疾、抗肿瘤、抗菌等方面具有广泛应用, 如最早人们在金鸡纳树皮的提取物中发现的金鸡纳碱又称奎宁结构里发现了核心的喹啉骨架, 并由此开发了多种的抗疟疾药物如: 氯喹、阿莫地喹、甲氟喹、首喹等都是重要的抗疟疾药物[22] (见图 13)。喹啉环结构在抗癌药的开发中是重要的药物骨架, 喜树碱及其衍生物被称为 21 世纪最具潜力的抗癌药物设计骨架, 喜树碱中就有喹啉环骨架[23], 已经批准上市的喜树碱类抗癌药物就有拓扑替康、伊立替康和贝洛替康成功的应用在实际治疗中,

同时还有多种喜树碱类衍生物正在临床开发阶段。总而言之，喹啉类含氮杂环化合物已经在许多药物开发领域表现出令人惊喜的表现[24]。

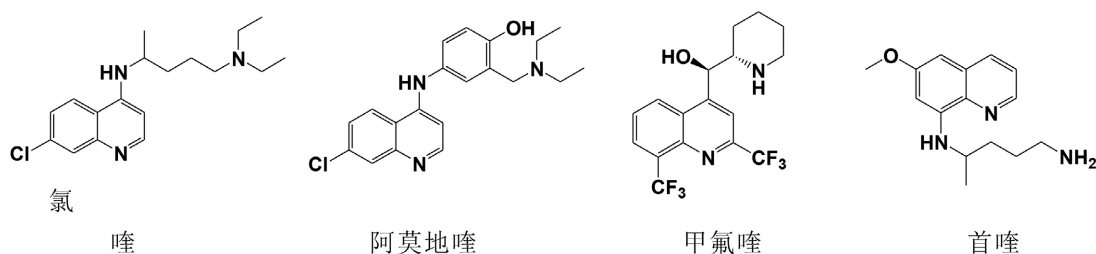


Figure 13. Quinoline antimalarial drugs

图 13. 喹啉抗疟疾药物

喹啉类化合物在染料中的应用，喹啉环是由一个苯环同吡啶环稠合而成，其本身构成了大 π 键共轭体系，电子在体系中可以发生跃迁和回落，在这个过程中，能够吸收特定波长的光(主要为紫外线)，并发射出人眼可见的鲜艳荧光(通常为蓝色到绿色)，这为喹啉环作为染料提供了理论基础[25]。生活和工业上常用的喹啉类染料有喹哪啶红(Quinaldine Red)，是一种经典染料，色泽鲜艳，用于塑料和油墨着色[26]，分散黄 64 (Disperse Yellow 64)是一种塑料和涤纶纤维染色的重要品种[27] (见图 14)。喹啉及其衍生物广泛的应用于生产生活中的各种场景，如医药、农业、材料等领域，越来越多的具体应用例子已经证明了喹啉环骨架巨大的应用价值，各种喹啉类化合物合成及修饰方法为喹啉类化合物的应用提供了强有力的支持。

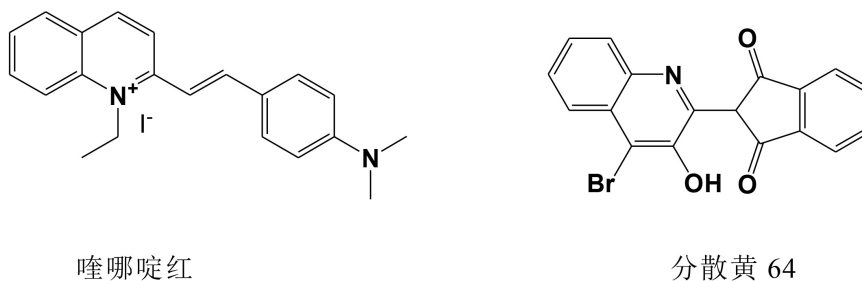


Figure 14. Quinoline dyes

图 14. 喹啉类染料

3. 结论与展望

喹啉类化合物其独特的化学结构赋予其大的芳香环刚性平面为其在药物设计方面留下了丰富的想象空间，又因为氮原子的引入活化了整个苯环形成氮杂环结构为其发生氧化、还原、取代等反应提供了可能性。

近年来，喹啉类化合物的合成与修饰已经形成了多元化技术路线，涉及过渡金属催化、光催化、电催化等，如 2025 年，Liu 课题组开发的饱和胺作为不饱和烃的替代品与高活性的 *N*-亚氨基喹啉反应发生 [3+2] 环加成反应[7]，实现了在光诱导条件下的脂肪胺的高值化利用，反应官能团兼容性良好耐受卤素、苯基、碳碳双键等活性官能团，为光诱导条件下实现非活泼小分子参与喹啉类化合物的合成与修饰提供了有意义的参考方案。2025 年，Xie 课题组为喹啉类化合物双官能团化研究提供了另一种思路[16]，不同于以往直接对喹啉骨架的双官能团化，Xie 课题组以四氢喹啉为底物在氧化体系下实现了非杂化苯环的

官能团化, 同时四氢喹啉氧化成喹啉酮, 该方案为以四氢喹啉做底物来实现喹啉类化合物的官能团化及构建新型喹啉骨架提供了另一种新的思路。

尽管当前的研究已经取得了许多引人瞩目的成果, 但喹啉类化合物的合成与修饰及应用仍然存在着许多急需解决的问题, 如当前的喹啉合成方法多数不涉及不对称合成, 但在许多药物开发中往往涉及到手性的问题, 因此发展不对称多官能团化反应以构建手性喹啉药物是当前喹啉类多官能团化研究急需解决的问题之一, 手性催化剂有望解决喹啉不对称合成中的手性选择性问题实现高对映选择性合成。

参考文献

- [1] Saadeh, H., Sweidan, K. and Mubarak, M. (2020) Recent Advances in the Synthesis and Biological Activity of 8-Hydroxyquinolines. *Molecules*, **25**, Article No. 4321. <https://doi.org/10.3390/molecules25184321>
- [2] 宁虎林, 郭易华, 李凤凤, 等. 2-苯氨基喹啉衍生物的设计、合成及其抗肿瘤活性研究[J]. 湖南中医药大学学报, 2024, 44(5): 802-810.
- [3] 徐小娜, 王晓霞, 李祯, 等. 喹啉化合物的合成及应用进展[J]. 化学工程师, 2023, 37(11): 89-93.
- [4] 杨金元, 索自立, 陈倩, 等. 微波合成 8-羟基喹啉[J]. 南昌大学学报(理科版), 2015, 39(4): 390-392+397.
- [5] Narasimhulu, M., Reddy, T.S., Mahesh, K.C., Prabhakar, P., Rao, C.B. and Venkateswarlu, Y. (2007) Silica Supported Perchloric Acid: A Mild and Highly Efficient Heterogeneous Catalyst for the Synthesis of Poly-Substituted Quinolines via Friedländer Hetero-Annulation. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, **266**, 114-117. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2006.10.049>
- [6] 牛雁宁, 严文轩, 张洁, 等. 银催化的环化反应合成异喹啉的研究进展[J]. 合成化学, 2023, 31(1): 67-81.
- [7] Liu, M., Yu, W., Li, J., Hua, J., Wang, L. and Duan, Z. (2025) Light-Promoted C(sp³)-H Functionalization: Alkyl Amines as C2 Synthons in Formal [3+2] Cycloaddition with *n*-Imino(iso)quinolinium Ylides. *Organic Letters*, **27**, 10259-10264. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.5c02268>
- [8] Debnath, B., Mandal, S., Saha, S., Karjee, P. and Punniyamurthy, T. (2025) Rh-Catalyzed [3+3]-Annulation of Quinolines with Cyclopropanones: Access to Functionalized 2-Quinolones. *Chemical Communications*, **61**, 7875-7878. <https://doi.org/10.1039/d5cc01183c>
- [9] Xu, Z., Ni, F., Han, J., Tao, L., Deng, H., Shao, M., *et al.* (2016) Copper-Catalyzed C-H Alkynylation/Intramolecular Cyclization Cascade for the First Synthesis of Trifluoromethylated Pyrrolo[1,2-*a*]quinolines. *European Journal of Organic Chemistry*, **2016**, 2959-2965. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201600449>
- [10] Guan, R., Zhao, H. and Zhang, M. (2022) Construction of Fused Tetrahydroquinolines by Catalytic Hydride-Transfer-Initiated Tandem Functionalization of Quinolines. *Organic Letters*, **24**, 3048-3052. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.2c01001>
- [11] Ponce, M.B., Rodríguez, E.T., Flader, A., Ehlers, P. and Langer, P. (2020) Synthesis of Thieno[2,3-*h*]-/[3,2-*h*]quinolines and Thieno[2,3-*f*] Quinolines by Brønsted Acid Mediated Cycloisomerisation. *Organic & Biomolecular Chemistry*, **18**, 6531-6536. <https://doi.org/10.1039/d0ob01194k>
- [12] Ji, J., Jiang, L., Wang, Z., Bin, Z., You, J. and Yang, Y. (2022) Copper-Catalyzed Oxidative C-H Annulation of Quinolines with Dichloroethane toward Benzoquinoliniziniums Using an *in Situ* Activation Strategy. *Organic Letters*, **24**, 6256-6260. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.2c02342>
- [13] 李雯, 陈佳妍, 顾珍珠, 等. 4-苯氧基喹啉衍生物的合成及抗肿瘤活性[J]. 化学试剂, 2025, 47(3): 106-111.
- [14] 王凯娟, 许利清, 王栋. 吡啶及喹啉氮氧化物 C2-H 键官能团化反应的最新进展[J]. 中国科学: 化学, 2023, 53(8): 1369-1376.
- [15] He, Q., Xie, F., Xia, C., Liang, W., Guo, Z., Zhu, Z., *et al.* (2020) Copper-Catalyzed Selective 1,2-Difunctionalization of *n*-Heteroaromatics through Cascade C-N/C=C/C=O Bond Formation. *Organic Letters*, **22**, 7976-7980. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.0c02910>
- [16] Xie, Y., Meng, X., Liu, C., Zhang, X., Zhang, Z. and Liang, T. (2025) Hypervalent Iodine-Mediated One-Pot Synthesis of C3,6-dithioquinolin-2-ones. *Organic Chemistry Frontiers*, **12**, 4439-4444. <https://doi.org/10.1039/d5qo00337g>
- [17] Pappoppula, M., Cardoso, F.S.P., Garrett, B.O. and Aponick, A. (2015) Enantioselective Copper-Catalyzed Quinoline Alkynylation. *Angewandte Chemie International Edition*, **54**, 15202-15206. <https://doi.org/10.1002/anie.201507848>
- [18] He, Y., Zhang, W. and Hu, J. (2024) Concise Synthesis of 2,4-Bis(fluoroalkyl)quinoline Derivatives from Arylamines. *Tetrahedron*, **162**, Article ID: 134046. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2024.134046>
- [19] Gao, Y., Yang, S., Huo, Y., Chen, Q., Li, X. and Hu, X. (2021) NiH-Catalyzed Hydroamination/Cyclization Cascade:

- Rapid Access to Quinolines. *ACS Catalysis*, **11**, 7772-7779. <https://doi.org/10.1021/acscatal.1c02055>
- [20] 董力. 喹啉酮衍生物的制备及抗菌活性测试[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2024.
- [21] 冷元红, 万莉, 袁萍, 等. 抗疟疾药物的发现与发展[J]. 化学教育, 2013, 34(7): 6-9.
- [22] 宋旭峰, 丁俊威, 刘明亮, 等. 喹啉杂合体的抗疟疾活性[J]. 国外医药(抗生素分册), 2017, 38(5): 257-266.
- [23] 张伟中, 张毅. 喜树碱及其衍生物的合成研究进展[J]. 上海医药, 2025, 46(8): 88-95.
- [24] 王邓拓. 新型喜树碱衍生物的设计合成及其抗肿瘤活性评价[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2025.
- [25] 王攀. 基于喹啉盐的新型磷光染料及荧光检测探针的开发[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2016.
- [26] Das, D., Sen, V., Chakraborty, G., Pillai, V., Tambade, R., Jonnalagadda, P.N., *et al.* (2024) Quinaldine Red as a Fluorescent Probe for Determining the Melting Temperature (T_m) of Proteins: A Simple, Rapid and High-Throughput Assay. *Analytical Methods*, **16**, 950-956. <https://doi.org/10.1039/d3ay01941a>
- [27] Calnan, C.D. (1977) Textile Dye Disperse Yellow 64. *Contact Dermatitis*, **3**, 209-210. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0536.1977.tb03650.x>