

# 光催化技术在有机酸类中间体合成中的研究进展 与应用经济分析

周莹博 (山东欣民药业有限公司, 山东 寿光 262700)

李 伟 贾鹏飞 (山东优维和业企业管理咨询有限公司滨州市沾化区分公司, 山东 滨州 256800)

**摘 要:** 光催化技术通常利用光源引发催化剂而发生化学反应, 可将反应控制在常温和常压的条件下进行合成, 此技术可以降低能耗、减少污染。该文主要介绍了光催化技术的原理及不同类型的催化剂, 以及光催化在合成有机酸中间体方面的研究, 研究不同反应条件对反应速率及选择性的影响, 力求以此研究为基础, 将光催化技术更好地应用于有机酸中间体的合成, 为绿色化学的探索提供新思路。

**关键词:** 光催化技术; 有机酸类中间体; 绿色化学; 催化剂; 经济效益

**中图分类号:** TQ032.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5167 (2025) 033-0016-03

## Research progress and economic analysis of photocatalytic technology in the synthesis of organic acid intermediates

Zhou Yingbo (Shandong Xinmin Pharmaceutical Co., Ltd., Shouguang Shandong 262700, China)

Li Wei, Jia Pengfei (Shandong Youwei Heye Enterprise Management Consulting Co., Ltd., Zhanhua Branch, Binzhou Shandong 256800, China)

**Abstract:** Photocatalytic technology usually uses a light source to initiate a chemical reaction in a catalyst, which can be controlled under normal temperature and pressure conditions for synthesis. This technology can reduce energy consumption and pollution. This article mainly introduces the principle of photocatalytic technology and different types of catalysts, as well as the research on photocatalysis in the synthesis of organic acid intermediates. The influence of different reaction conditions on reaction rate and selectivity is studied, aiming to better apply photocatalytic technology to the synthesis of organic acid intermediates based on this research, and provide new ideas for the exploration of green chemistry.

**Keywords:** photocatalytic technology; Organic acid intermediates; Green chemistry; catalyzer; economic benefits

利用传统氧化法、酯化法等方法来制备有机酸中间体时, 普遍存在使用大量的化学试剂、反应处于高温高压环境中, 大量的化学物质和高要求的反应条件使得能源消耗巨大, 还容易形成大量废弃物, 产生环境污染。利用光催化技术就可以解决上述问题, 并具有更低能耗和更少污染产物性能, 还具有极高的选择性及收率, 能极大地节约能源和减少副产物形成, 契合环保绿色、可持续发展理念。

### 1 有机酸类中间体传统合成方法的局限性

传统化学生产多是在高温高压条件下合成, 用来促进反应, 这样一来, 会造成更多能耗和设备成本, 例如, 应用传统氧化法制备有机酸中间体时需要在高温与高氧条件下进行, 且对氧化剂浓度要求较高, 这样不仅增加能源消耗, 还会使工艺复杂难以掌控。

传统的有机酸制取一般采用高浓度危险化学试剂, 如强酸、强碱、重金属催化剂等<sup>[1]</sup>。这类化学物质在化学反应过程中, 除了会对生产环境造成破坏之外还会引发一系列有害副产品产生。而且, 化学试剂

在参与反应时, 也会与其他原料或副产物反应, 并生成有毒气体、液体或者固体垃圾。对于这些有毒废弃物的处理和清空需要消耗更多的能源和资金, 同时也会对土壤、水源和大气造成污染。

大部分传统合成工艺都是通过催化剂来加快反应速率, 但其一般具有效率低以及选择性差等缺点。例如, 经常使用的金属催化剂就很容易受外界环境的影响而导致活性降低, 从而引起副反应的发生, 使反应选择性以及产品品质降低。而且部分催化剂在应用结束后不易被回收, 浪费资源的同时也增加了制造成本。还有些催化剂则需要较高温度或是添加一些化学试剂来维持其活性, 这些催化剂进一步提升了能源消耗与化学试剂使用量。

### 2 光催化技术的基础理论

#### 2.1 光催化反应原理及特点

光催化反应是指通过光激发催化剂进而引发催化剂化学反应的行为。光催化行为依赖于催化剂对于光能的吸收能力, 一旦催化剂吸收到足够多的光子就可

以激发电子发生跃迁,产生电子-空穴对。该电子和空穴就可以在后续的化学反应中通过氧化还原作用加快反应过程。由于整个过程无需高温、高压,只需光源就能完成,因此光催化过程是一种绿色、节能的理想技术手段。

光催化反应的关键步骤在于催化剂对电子-空穴对的利用和调控,光催化材料受光照后,价带电子被激发迁移到导带,形成电子与空穴,电子和空穴作为催化过程中的活性因子,分别具有强还原功能和强氧化功能,空穴可有效地氧化水和溶剂等物质,形成 $\cdot\text{OH}$ 自由基,从而有助于有机物的氧化分解和其他氧化作用,而电子在催化剂表面形成还原性,可与溶液中的氧气反应后,形成强 $\cdot\text{O}_2^-$ 还原剂等,从而对其他物质进行还原。

## 2.2 常见光催化剂类型与性能

光催化效率高,又价格便宜的半导体光催化剂,如钛白粉、氧化锌等,已经成为众多光催化剂中当之无愧的首选。钛白粉因带隙大的特点,可以高效吸收紫外光,同时具有很好的化学稳定性、安全性和经济性而被广泛应用在水处理、空气净化以及有机污染物降解等领域<sup>[2]</sup>。当钛白粉被紫外光照射时,它会产生电子-空穴对,其中空穴会参与氧化反应,电子与氧气发生反应可以生成还原剂,进而起到降解污染物的作用。氧化锌因其带隙小且催化性优良的优势也成为众多半导体光催化剂的佼佼者,其主要优势在于其具有非常高的活性及机械性能。

金属-有机框架材料是一种新型光催化剂,它具有高度可调性、高孔隙率和高表面活性等特点。这种催化剂一般是由金属离子、金属团簇和有机配组成,三者形成三维网状结构,可以提供大量的活性位点支持光催化反应过程。由于其具有较高比表面积、较多孔隙结构和良好的可调性,可以在有需要的情况下,将金属离子和有机配体进行合理调整,进而为光吸收能力与催化能力的提升提供更多空间。金属-有机框架材料的应用通常包括光催化反应中的有机污染物处理、 $\text{CO}_2$ 还原以及水分解等。该材料的金属中心往往作为光催化反应的主要位点,其对促进电子转移、促进氧化还原反应有着重要作用。

纳米光催化剂一般拥有较大的比表面积、较高的表面活性与较强的催化性能,可有利于提升光催化的反应效率。将不同类型的纳米材料(如半导体、贵金属、碳材料等)加以复合,达成彼此间协同的互补作用,进而改善光催化性能。如把贵金属负载于半导体上,可促进电子分离、削弱电子-空穴对的复合作用,以增强催化活性。如石墨烯、碳纳米管等碳材料因其

具有优良的导电性能,作为电子载体使用,能大幅度提高光催化剂的导电性与稳定性。复合材料还可以通过扩展光催化剂对光的吸收范围(尤其是在可见光区域),提升光催化剂的实际应用范围。

## 3 光催化技术在有机酸类中间体合成中的研究进展

### 3.1 光催化合成不同有机酸中间体的研究进展

醋酸作为应用较为广泛的有机酸,在化学、食品和医药行业都有着相当广的市场需求。由于光催化反应在醋酸合成中的应用越来越广,目前已成为醋酸合成中效率高、无污染的制备方式。这种方法主要就是借助紫外线或是可见光的照射,激发催化效应,使催化剂能够在低温条件下进行反应,在很大程度上提高了反应的选择性和效率。半导体催化剂如钛白粉、氧化锌等,能够通过紫外线照射有效地实现乙醇向醋酸的转化,该方法最大的优点就是反应条件较为温和,极大地降低了能源的消耗,同时生成的副产物也比较少<sup>[3]</sup>。近年来,通过对催化剂粒径、表面修饰以及反应条件的改进,使得光催化合成醋酸的速度和选择性均得到很大提高。

苯甲酸也是一种较为重要的化工原料,通常作为生产塑料、人造香料、合成药物的主要原料。近年来,利用光催化制备苯甲酸的研究发展迅速,使用钛白粉、氧化锌等作为催化剂,利用紫外或可见光源,实现了从苯到苯甲酸的顺利转化。利用光催化生产苯甲酸的优点很多,比如反应条件较温和,不需利用强氧化剂,使生产工艺更加绿色环保和节能。

草酸作为重要的有机酸中间体,广泛应用于工业除锈、颜料和药物制造等行业。近来发现,光催化法可以有效生产草酸,使用钛白粉、氧化锌等半导体催化剂,在可见光的作用下将乙醇、醛类等物质转化成草酸。其既具有较好的环境适应性,还能节能降耗、不使用含毒试剂的优点,符合绿色化学的要求。

### 3.2 光催化反应条件的优化

通常来说,光催化反应的最适温度为常温,高温条件不利于催化剂的热稳定,严重还会造成催化剂发生失活现象。除此以外,高温还会引发其他化学反应,从而使目标产物选择性减小。当然,温度的适当升高也能在一定程度上提高反应速率,尤其是反应体系中有挥发较慢的溶剂时,比如在有机污染物的光催化降解中,适当提高温度能提高光催化反应速率,但温度过高对催化剂的长期稳定性不利。因此合适的温度条件应根据具体的反应体系进行选择,以实现催化剂稳定性与反应速率的平衡。

溶剂对于反应物的溶解率和催化剂的分布有着重



要影响,同时也会对反应可操作性产生影响,例如有较高极性的溶剂(如水或乙醇等)可以更好地使离子型反应物溶解,从而加快光催化反应的进行<sup>[4]</sup>。但对于非极性反应物来说,苯或四氯化碳之类的非极性溶剂更适用。有时,在进行水分解和降解有机物污染物过程中,通常用水来作为溶剂,因为水既可以作为溶剂使用又可以提供 $\cdot\text{OH}$ 自由基参加反应。

对于光催化反应过程来说,催化剂浓度的影响作用是两面的,如果催化剂浓度太低,就不能提供足够的活性位点吸附反应物,从而减小光催化效率。但如果催化剂浓度太高,会使催化剂粒形成颗粒团聚现象,影响催化剂比表面积与活性位点,进而产生催化剂复合效应,使催化剂的催化效率降低。在一定的催化剂浓度范围内,随着催化剂浓度的增大,光催化反应速率也随之提高,但当超过此临界浓度范围之后,其反应速率将会趋于稳定或下降。所以确定合适的催化剂浓度是改善光催化效率的重要步骤。

### 3.3 高效催化剂的设计与制备策略

对于催化剂来说,对其表面进行改善或对其构造进行调整,都可以极大地提高其比表面积、活性位点数目和光吸收效率。例如,纳米化处理催化剂表面,能够增加它的活性位点,提高反应能力。催化剂表面还可以利用掺杂金属或引入缺陷等方式,进行优化以提高其光催化活性。

复合催化剂的使用是提高光催化性能的有效方式之一,复合不同的材料,如半导体、贵金属或碳材料等,来实现协同互补。如将金属-有机框架材料和半导体催化剂复合,可提升催化剂对光的吸收区间,提高催化剂稳定性,同时促进电子-空穴对分离,提高催化效能。石墨烯、碳纳米管等碳材料也常常应用在复合催化剂中,因其具有良好的电子导电性与比表面积,可大幅度提升催化剂稳定性及反应速率。

## 4 光催化技术的应用经济分析

### 4.1 与传统合成方法相比的成本优势

传统依赖高温、高压、氧化剂和还原剂的合成方法,虽然可以高效地进行合成,但同时也会耗用极大的能量和高价原料及化学试剂。由于传统方法需要定期进行催化剂更换,也会加重生产费用。而光催化技术最具优势的一个方面就是能源效率,其不仅可以在常温常压下运转,还只需要提供太阳光或者人工光源就可以进行,大大降低了能量消耗。特别是以可见光和太阳光为能源进行光催化,基本上不需要其他能源投入,大量节省了生产能耗支出。由于光催化反应所需的催化剂能循环使用,不需要催化剂频繁更换,成本也得到很好的控制。

### 4.2 光催化在水处理的经济效益分析

传统的废水净化会大量使用化学品和一些耗能大的机器设备,例如活性炭吸附或化学氧化法等,不但提升了经济成本,还会引发二次环境污染。而采用光催化水处理技术,不仅可在常温常压下运行,还不需要追加其他化学品,更不需要对处理后的废弃物进行处理。它能彻底地将废水中有机有毒物质转化为无毒物质,净化效果好,还能保持系统较低成本运行。部分污水处理机构已将光催化技术运用到常规物理化学处理中去,用以降解有机污染物和染料等,减少能耗,提升效率。一些纺织厂引入光催化反应系统后,成功达成染料处理成本降低30%左右,废水排放的有害物质大量减少,满足国家相关环境标准。

### 4.3 光催化在能源转换中的经济效益

光催化在能源转换过程中也较大的有商业价值,比如利用太阳能和催化剂将水分离为氢气和氧气,而氢能源拥有较大的应用潜力。常规的制氢过程需要高温、高压和电力消耗,与常规方式不同,光催化分离制氢只利用太阳作为能源,大幅度减轻耗能。实验成果显示,光催化制氢与普通电解水相比,仅成本就降低了30%~40%。随着光催化技术的不断发展,催化剂成本在不断降低,催化反应性能也越来越好,因此光催化的经济效益有望在现有基础上继续扩大,为制氢产业提供了一条切实可行的路径。

## 5 结论

综上所述,光催化技术作为一种高效的有机酸类中间体合造方法,可以在常温、常压环境中进行,有效降低了能耗与有毒副产物的生成,具有比传统制造方式更强的经济效益。通过对催化剂改进、增大光源利用度及改造光催化反应器结构等,该技术在化工、环境保护、能源转化等领域具有广泛的应用潜力,在不久的将来,伴随着催化剂造价低廉、高稳定性、高回收利用率等优点,该技术有望在工业制造中普及,并为绿色化学与可持续发展方案做出贡献。

### 参考文献:

- [1] 马有良. 光催化技术在环境与能源领域中的应用研究[J]. 当代化工研究, 2024(23):121-123.
- [2] 杨杰, 陈香, 刘昌昊, 李朝升, 卞振锋, 陈春城. 光催化技术在能源环境中的发展与应用[J]. 太阳能, 2024(07):50-61.
- [3] 严凡. 光催化技术在水处理领域的应用进展与挑战[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(06):7-9.
- [4] 徐达. 一维纳米复合光催化剂的设计、构筑及性能研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2024.