

碳基非金属催化剂在电催化乳糖酸绿色合成中的创新方法

陈红辉

(浙江晟格生物科技有限公司 浙江金华 321000)

摘要: 本文旨在深入探究碳基非金属催化剂于电催化乳糖酸绿色合成中的革新实践。通过详尽概述了乳糖酸的合成路径及其在医药与食品工业领域不可或缺的应用价值, 彰显了其广阔市场前景与科研意义。随后针对传统乳糖酸合成方法暴露出的局限性进行了深刻剖析, 聚焦于碳基非金属催化剂的卓越特性与优势, 指出了碳基非金属催化剂在电催化乳糖酸绿色合成中的具体应用, 为乳糖酸的绿色合成提供了创新思路。

关键词: 催化剂; 绿色合成; 创新方法; 碳基非金属

前言

在当今全球对可持续发展日益增长的需求背景下, 绿色化学作为实现环境保护与经济效益双赢的关键学科, 正引领着化学工业向更加清洁、高效的方向转型。其中, 电催化技术凭借其在能源节约、减少废物排放以及提高反应选择性等方面的显著优势, 已成为绿色化学研究的热点领域之一。乳糖酸, 作为新一代果酸家族的重要成员, 因其在医药、化妆品及食品工业中的广泛应用而备受瞩目。然而, 传统的乳糖酸合成途径往往伴随着能耗高、副产品多、环境污染等问题, 这不仅限制了其大规模生产, 也与绿色化学的核心理念背道而驰。鉴于此, 本文旨在探索碳基非金属催化剂在电催化乳糖酸绿色合成中的创新方法, 以期在乳糖酸的工业化生产提供新的解决方案, 同时为绿色化学的发展注入新的活力。

1 背景

1.1 乳糖酸的合成方法及应用

乳糖酸是一种重要的有机酸, 广泛应用于医药和食品工业中。传统的乳糖酸合成方法主要包括化学合成和微生物发酵两种方式。化学合成方法虽然反应速度快, 但存在反应条件苛刻、产物纯度低等问题, 同时还会产生大量的废弃物, 对环境造成污染。微生物发酵虽然具有较高的产物纯度和较低的废弃物排放量, 但是反应时间长、生产成本高等问题限制了其在工业生产中的应用。

为了解决传统合成方法存在的问题, 近年来, 绿色合成方法备受关注。电催化合成方法因其具有高效、环保、可控性强等优点, 成为了绿色合成方法中的一种重要方式。在电催化乳糖酸绿色合成中, 碳基非金属催化剂被广泛应用。这种催化剂具有催化活性高、稳定性好、可再生等特点, 能够有效地促进反应的进行, 同时还能够减少废弃物的产生, 对环境友好。通过对反应机理、反应条件、产物纯度等方面的研究, 可以为绿色合成方法的发展提供新思路和新方法, 同时也为乳糖酸的工业生产提供了一种更加环保、高效的合成方法。

1.2 传统合成方法存在的问题

一种传统电氧化制备乳糖酸方法的主要的发明构思在于: 阳极和阴极电极均为石墨, 在直流电场的作用下, 双极膜中间界面层内水电离为 H^+ 和 OH^- 离子, H^+ 透过 SSBS-g-AA 阳膜进入阴极室中, 与水电解产生的 OH^- 结合生成 H_2O , 而生成的 OH^- 透过 SBS-g-DMAEMA 阴膜进入阳极室中, 与乳糖电氧化生成乳糖酸过程中产生的 H^+ 结合生成 H_2O , 从而促使反应正向进行。KBr 为间接电催化氧化反应的媒介, Br^- 在阳极被氧化为 Br_2 , 继而将乳糖氧化成乳糖酸, 自身被还原为 Br^- 。从上述反应过程可知, 一方面存在副

反应, 导致电流效率不高, 二是产物中引入溴离子, 不方便分离。

2 碳基非金属催化剂的特点和优势

2.1 催化活性高

碳基非金属催化剂具有高催化活性。碳基非金属催化剂的催化活性高是指其在化学反应中能够有效地促进反应的进行, 使得反应速率大大加快。这是由于碳基非金属催化剂具有较高的表面积和活性位点, 能够提供足够的反应场所和反应能量, 从而使得反应物分子之间的相互作用更加容易发生。此外, 碳基非金属催化剂还具有较好的催化选择性, 能够选择性地促进目标产物的生成, 减少副反应的发生, 提高反应的效率和产物的纯度。这些特点使得碳基非金属催化剂在化学合成中具有广泛的应用前景, 特别是在绿色合成领域中, 可以有效地替代传统的有毒有害催化剂, 实现绿色、环保的化学合成过程。

2.2 稳定性好

碳基非金属催化剂具有高的热稳定性和化学稳定性。碳基非金属催化剂的稳定性是其在电催化乳糖酸绿色合成中的重要优势之一。相比于传统的金属催化剂, 碳基非金属催化剂具有更好的耐腐蚀性和耐高温性, 能够在较为苛刻的反应条件下保持催化活性。碳基非金属催化剂能够在反应过程中不易失活或分解, 从而保证了反应的稳定性和可重复性。这些优势使得碳基非金属催化剂在电催化乳糖酸绿色合成中具有更广泛的应用前景, 能够有效地提高反应的效率和产物的纯度。因此, 研究碳基非金属催化剂的稳定性对于推动绿色合成方法的发展具有重要意义。

2.3 可再生

碳基非金属催化剂还具有可再生性, 可以通过简单的再生方法进行再生。传统的催化剂在反应过程中往往会失去催化活性, 需要频繁更换或添加催化剂, 这不仅增加了成本, 还会产生大量的废弃物。而碳基非金属催化剂具有良好的可再生性, 可以通过简单的再生步骤恢复催化活性, 从而降低了催化剂的使用量和废弃物的产生。此外, 碳基非金属催化剂的再生过程也比较简单, 通常只需要进行简单的洗涤和干燥即可。碳基非金属催化剂的可再生性不仅有助于降低成本和减少废弃物的产生, 还有助于提高催化剂的使用效率和环境友好性。

3 碳基非金属催化剂在电催化乳糖酸绿色合成中的应用

3.1 反应机理

本文研究了碳基非金属催化剂在电催化乳糖酸绿色合成中的创新应用。在反应机理方面, 碳基非金属催化剂通过提供活性位点, 促进了反应物之间的相互作用, 从而降低了反应的活化能, 加速了

反应速率。碳基非金属催化剂通过吸附反应物分子,使其在催化剂表面形成中间体,然后通过电子转移、质子转移等反应步骤,促进了反应物之间的化学反应,最终得到产物。碳基非金属催化剂还可以通过调节反应条件,如温度、pH 值等,来控制反应的方向性和产物的选择性。碳基非金属催化剂在电催化乳糖酸绿色合成中的应用,为绿色合成方法的发展提供了新思路和新方法。

3.2 条件优化

为了提高乳糖酸的产率和纯度,以下关键参数需要精心优化:催化剂选择,不同的碳基非金属催化剂具有不同的活性位点和催化性能,选择最适宜的催化剂对提高反应效率至关重要;pH 值调控,溶液的酸碱性直接影响乳糖分子和催化剂的表面性质,进而影响反应速率和产物的选择性。通过调整 pH 值,可以优化反应条件,促进乳糖酸的生成;反应温度,温度对反应速率有显著影响,过高或过低的温度都可能导致催化活性下降或副反应增多。寻找最佳反应温度是提高乳糖酸产率的关键;电极电位控制,电极电位直接影响电子转移的速率和方向。精确控制电极电位有助于提高催化效率,减少能量消耗。

4 碳基非金属催化剂新型制备方法

4.1 碳基非金属催化剂电化制备乳糖酸的方法

阳极电极和阴极电极置于中间置有阳离子交换膜的电解槽两侧,其中阳极电极将片状碳纤维布作为碳骨架,表面修饰有氮掺杂氧化石墨烯;阴极电极为石墨电极;电解槽阳极一侧注有乳糖,其中乳糖的浓度为 1mo l/L 至 1.5mo l/L;在 25℃至 40℃下电解氧化 180min 至 240min;氧化电流密度为 20mA · cm⁻² 至 35mA · cm⁻²;通电后,阳极电极作为碳骨架的碳纤维布表面和石墨烯表面掺杂的氮原子活化电解产生的氧气为活性基团氧化乳糖为乳糖酸;阳极电极产生的氢离子通过阳极电极和阴极电极之间的阳离子交换膜进入至阴极电极一侧通过溶液与阴极电极表面产生的氢氧根结合为水分子;阳极电极一侧形成单一乳糖酸。

阳极电极的制备方法:S11、将经过清洁的碳纤维布置于强酸中浸泡,碳纤维布表面负载-COOH;S12、使用聚苯胺改性氧化石墨烯;S13、将尿素和表面修饰有聚苯胺的氧化石墨烯置于去离子水中,伴随着搅拌,尿素的-NH₂与碳纤维布和经聚苯胺修饰的氧化石墨烯边缘的-COOH 脱水缩合形成酰胺键,氧化石墨烯通过尿素的-NH₂化学键连接于碳纤维布;S14、将 S13 所得碳纤维布-尿素-聚苯胺修饰的氧化石墨烯自组装结构置于聚四氟乙烯反应釜中进行水热反应,煅烧,获得氮掺杂的碳纤维布和氧化石墨烯作为阳极电极。有效在氧化石墨烯的表面均匀通过负载的聚苯胺掺杂氮原子,促进 O₂ 分子吸附以及活化。

4.2 聚苯胺修饰氧化石墨烯的方法

S121、将 100mg 的氧化石墨烯置于去离子水中,加入 10ml 浓度为 1mo l/L 的 HCl 搅拌均匀,逐滴加入过量的 0.4ml 苯胺,超声分散 1h;S122、将混合液置于冰水浴锅中分别加入 30ml 浓度为 1mo l/L 的 HCl 和 0.25g 过硫酸铵混合均匀,通入氩气保护气氛;S123、保持冰水浴,浸泡反应 24 小时,使用乙醇清洗,除去多余未反应的苯胺,得到聚苯胺修饰的氧化石墨烯。

S121 中苯胺与氧化石墨烯通过 $\pi-\pi$ 键的吸附作用均匀分布在氧化石墨烯的表面并在过硫酸铵的作用下,苯胺单体聚合形成链状的聚苯胺。S13 中形成酰胺键的反应时间为 6 小时至 12 小时。在 S12 过程提供充足的反应时间促进酰胺键的形成,保证所得共价键的充分形成。S14 中水热反应反应的温度为 120℃至 140℃,反应时间为 12 小时至 18 小时。本通过水热反应形成相对稳定的碳纤维布-聚苯胺修饰的氧化石墨烯。S14 中煅烧在氮气的保护下进行,包括第一阶段和第二阶段;其中第一阶段的工艺参数为:升温到 250℃

至 300℃,保温 2 小时至 4 小时;第二阶段的工艺参数为:继续升温至 750℃至 800℃,保温 2 小时至 4 小时,得到氮掺杂氧化石墨烯。在乳糖电化学氧化为乳糖酸的过程中,阳极电极一侧的溶液的 pH 值维持在 5.8 至 6.8 之间。本发明中阳极一侧不断产生的 H⁺通过扩散不断的通过阳离子交换膜与阴极一侧的 OH⁻相接触结合为水分子,整个反应体系的 pH 值相对变化不大,对乳糖氧化的影响小。随着乳糖氧化为乳糖酸的不进行,消耗水分形成阳极一侧溶液的浓缩。

4.4 新型制备方法的有益效果

碳基非金属催化剂通过化学键连接于碳纤维布的表面作为电解槽的阳极电极,阴极电极为石墨电极;阳极电极和阴极电极置于中间置有阳离子交换膜的电解槽两侧,其中阳极电极将片状碳纤维布作为碳骨架,表面修饰有氮掺杂氧化石墨烯;在乳糖氧化的过程中,阳极电极表面掺杂有氮原子的氧化石墨烯通过提升电子导电性,掺杂有氮原子的氧化石墨烯有效将电解水中产生的氧气活化为固液界面的 O₂⁻,即通电后,阳极电极作为碳骨架的碳纤维布表面和石墨烯表面掺杂的氮原子活化电解产生的氧气为活性基团氧化乳糖为乳糖酸,由于使用催化剂不同于金属离子存在不同价态变化,反应过程温和,抑制副反应,提高电催化制备乳糖酸过程的转化率和电流效率。

电解槽阳极一侧注有乳糖的浓度为 1mo l/L 至 1.5mo l/L,在 25℃至 40℃下电解氧化 180min 至 240min,氧化电流密度为 20mA · cm⁻² 至 35mA · cm⁻²,乳糖的转化率接近约 80%,且伴随着电解过程中阳极电极产生的氢离子通过阳极电极和阴极电极之间的阳离子交换膜进入至阴极电极一侧通过溶液与阴极电极表面产生的氢氧根结合为水分子,阳极电极一侧形成单一乳糖酸。本发明大大降低了氢氧化钾或者是碳酸钠等碱性物质的使用,也大大降低了后续的物质分离、浓缩的工作量。

结语

本文通过系统地研究碳基非金属催化剂在电催化乳糖酸绿色合成中的应用,不仅揭示了这一新型催化剂的卓越性能,还为乳糖酸的绿色合成提供了切实可行的路径。使用碳基非金属催化剂可以显著提高乳糖酸的产率和纯度,同时大幅降低能源消耗和废弃物产生,充分体现了绿色化学的精髓所在。随着碳基非金属催化剂研究的不断深入,我们有理由相信,这一领域的突破将不仅局限于乳糖酸的合成,更可能扩展至其他化学品的绿色制造中,为构建一个更加可持续发展的化学工业体系奠定坚实的基础。本文的研究成果,不仅为乳糖酸的绿色合成工艺带来了革命性的进展,也为绿色化学的长远发展开辟了新的视野,预示着一个更加清洁、高效的化学工业时代的到来。

参考文献

- [1]氮氮共掺杂多孔碳纳米片的制备及其储钾性能研究[J]. 蒋江民;郑欣冉;孟雅婷;贺文杰;陈亚鑫;庄全超;袁加仁;鞠治成;张校刚.化学学报, 2023 (04)
- [2]锰催化剂催化芳香酮、脂肪醇发生甲基化反应的理论研究[D]. 武泽宇.河北大学, 2022
- [3]分级结构碳纳米笼高效催化苯胺氧化偶联制 N-苄基丁胺[J]. 曾誉;吕品;蔡跃进;高福杰;卓欧;吴强;杨立军;王喜章;胡征.化学学报, 2021 (04)
- [4]固相有机合成在化工生产中的应用效果研究[J]. 杜晓晗.天津化工, 2021
- [5]可溶性氧化-还原介质促进分级结构碳纳米笼的锂氧电池性能[J]. 张静;汤功奥;曾誉;王保兴;刘力玮;吴强;杨立军;王喜章;胡征.化学学报, 2020 (0)