

双氧水和银离子复配消毒剂的稳定性与经济性研究

黄永锋 (东莞东阳光科研发有限公司, 广东 东莞 523871)

摘要: 双氧水 (H_2O_2) 与银离子 (Ag^+) 复配消毒剂凭借高效协同杀菌作用, 在医疗、食品、环境消毒等领域具有广泛应用前景。本文聚焦其稳定性、杀菌性能与经济性核心问题进行研究, 通过实验分析复配体系的协同消毒机理, 探究储存温度、光照及添加剂对稳定性的影响; 对比了复配体系与单一组分的杀菌性能; 分析了应用领域适用性评估, 分析了复配消毒剂剂量、周期、复配工艺等对应用成本影响; 最终从原料利用率、制备成本及市场竞品对比层面, 量化其经济优势, 以期高效低成本消毒方案提供参考。

关键词: 复配消毒剂; 稳定性; 杀菌性; 经济性

中图分类号: TQ460.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 027-0058-03

Study on the Stability and Economy of Compound Disinfectant of Hydrogen Peroxide and Silver Ions

Huang Yongfeng (Dongguan Dongyangke R&D Co., Ltd., Dongguan Guangdong 523871, China)

Abstract: The compound disinfectant of hydrogen peroxide (H_2O_2) and silver ions (Ag^+) has a wide range of application prospects in medical, food, environmental disinfection and other fields due to its efficient synergistic bactericidal effect. This article focuses on the core issues of stability, sterilization performance, and economy. Through experimental analysis of the synergistic disinfection mechanism of the composite system, the effects of storage temperature, light, and additives on stability are explored; Compared the bactericidal performance of the composite system with that of a single component; Analyzed the applicability evaluation in the application field and analyzed the impact of dosage, cycle, and compounding process of compound disinfectants on application costs; Ultimately, by quantifying its economic advantages in terms of raw material utilization rate, preparation cost, and market competition, we aim to provide reference for efficient and low-cost disinfection solutions.

Keywords: Compound disinfectant; Stability; Bactericidal property; economic

H_2O_2 是一种高效氧化型杀菌剂, 分解后产生的自由羟基 ($\cdot\text{OH}$) 和活性衍生物, 它能对微生物的细胞膜脂质、蛋白质、核酸等破坏^[1]; Ag^+ 可以与微生物细胞膜表面的巯基 ($-\text{SH}$) 作用而使酶丧失活性、阻断呼吸链进行而发挥持续性的抑菌作用^[2-3], Ag^+ 与 H_2O_2 共同使用存在明显协同增效的作用, 因为 Ag^+ 可以促进 H_2O_2 分解生成 $\cdot\text{OH}$ 提高瞬时灭菌的速度, 而 H_2O_2 的氧化能力又能够破坏微生物对 Ag^+ 的耐药层使 Ag^+ 更易进入细胞内部, 从而形成的“氧化损伤-金属离子持续抑制”的协同作用, 不但解决了单纯使用 H_2O_2 本身分解快, 作用时间短的问题, 更弥补了 Ag^+ 杀菌慢、大剂量时容易产生毒性的不足, 使消毒的谱拓宽、持效期延长。

面对公共卫生突发事件以及各个领域对有效、安全、持久性的消毒剂的需求加剧, 单一组分的消毒剂受功效、稳定性、成本等方面因素的制约日趋明显。 H_2O_2 的氧化性相对较高, Ag^+ 的持久性杀菌功能则较强, 两者复配能够做到兼顾高效的杀菌、持久性抑菌功能, 相较普通消毒类产品, 其长周期的保鲜性能、低耗量的使用性能及减少重复使用的特性往往能够带来良好的效益, 其中尤以运营成本的低投入、高产出

极具优势, 这使得复合消毒体系的未来发展趋势备受研究及产业发展领域的关注与推崇。赵惠敏等^[4]对 H_2O_2 稳定剂的稳定机理归纳为吸附理论和络合理论两种。包卫华等^[5]研究了过氧化氢银离子消毒剂原液含过氧化氢对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和铜绿假单胞菌杀菌性能研究。大量研究人员在医疗器械^[6-7]、食品 (柑橘)、人体皮肤等领域了大量应用研究, 但缺乏经济性分析, 本文对其稳定性、杀菌性能、应用经济性进行较为系统的研究, 以期建立绿色高效、同时兼顾技术及效益的复合型消毒方案。

1 复配消毒剂稳定性研究

1.1 实验目的

为了探究储存温度、光照对过氧化氢-银离子组合型消毒液稳定性的影响, 比较单组分和组合消毒液的抗衰变能力, 确定不同的缓释剂对组合消毒液长期稳定性的影响作用, 确定组合消毒液的储存条件以及配方的改进方向, 为实际应用时有效期限控制提供依据。

1.2 实验方案

实验选取 4 组样品: A 组为纯 5% 双氧水溶液、B 组为 5% 双氧水 +0.0625% 银离子复配体系、C 组为 5% 双氧水 +0.0625% 银离子 +0.3% 焦磷酸钠、D 组为

表 1 杀菌结果

产品编号	作用浓度 %	菌种	作用时间	杀灭率 % (平均值)	杀灭对数 (平均值)
复配消毒液	5%H ₂ O ₂ +0.0625%Ag ⁺	大肠杆菌 8099	5min	99.9999	> 5.00
		金黄色葡萄球菌 ATCC 6538		99.9999	> 5.00
		白色念珠菌 ATCC 10231		99.999	> 5.59
		铜绿假单胞菌 ATCC 15442		99.9999	> 5.00
单一双氧水	5% H ₂ O ₂	大肠杆菌 8099	5min	99.99%	4
		金黄色葡萄球菌 ATCC 6538		99.99%	4
		白色念珠菌 ATCC 10231		99.99%	4
		铜绿假单胞菌 ATCC 15442		99.99%	4

5% 双氧水 +0.0625% 银离子 +0.3%EDTA。每组样品均分为 6 份，分别置于 3 种温度条件（25℃、35℃、45℃）和 2 种光照条件（避光、4000lux 持续光照）的恒温培养箱中，每组设置 3 次重复。实验周期为 30 天，分别在第 0、5、10、15、20、30 天取样，采用高锰酸钾滴定法测定双氧水浓度，原子吸收光谱法测定银离子浓度，计算各组分的残留率。

1.3 稳定性结果分析

从 H₂O₂ 残留率的情况来看，组别 A（未添加缓释剂）25℃避光时第 5 天为 82.6%，第 30 天为 41.3%，高温强光时只下降到 12.5%，组别 Ag⁺ 数据缺省，设为对照组，验证复配体系。对照发现，组别 B（添加 Ag⁺，不添加缓释剂），25℃避光时第 30 天 H₂O₂ 残留率 63.5%，比组 A 增加了 22.2%，说明银离子的协同稳定作用已经开始；然而高温强光时仍然继续下降，仅为 28.9%。而此时 Ag⁺ 残留率仅为第 5 天时的 90.5% 下降到 76.3%，说明银离子自身也存在一定程度的损耗。进一步地，组别 C，D 添加缓释剂，稳定效果更为明显。在 25℃避光情况下第 30 天 H₂O₂ 残留率 78.6%，Ag⁺ 为 92.5%；高温强光时依然分别保持了 45.2% 和 83.8% 的含量，表明缓释剂在减缓 H₂O₂ 分解和减少 Ag⁺ 迁移以及抑制沉淀方面起了重要的作用；D 组与 C 组情况大致相同，也证明了配方缓释剂使用量以及反应工艺对提高稳定性起到了积极作用。

综上，H₂O₂ 在强光高温下贮存明显低于避光常温贮存的稳定性，但是通过合理的搭配 Ag⁺ 和缓释剂延缓其降解速度，特别是 C 组残留率无论是强光高温或是避光常温贮存均高于其他组，因此表明该复配体系稳定性强；银离子相对 H₂O₂ 来说，在任何状态下基本也是稳定的，但是也会受到外界环境的作用，所以提高对银离子的络合稳定性是关键。这一研究可以对复配消毒剂的贮存及运输提供配方方面的指导，具有重要的经济意义及应用价值。

2 复配消毒剂杀菌性能实验研究

2.1 对细菌、病毒类目标的消杀效率测试

综合测试复配消毒液的微生物杀灭效果，以悬

液定量杀菌试验为手段，以典型菌、病毒作为靶生物进行不同杀菌时间处理后测试微生物杀灭率。目标细菌为大肠杆菌（8099）、金黄色葡萄球菌（ATCC6538）、白色念珠菌（ATCC 10231）、铜绿假单胞菌（ATCC 15442）、4 种目标菌，病毒为流感病毒（H1N1）和脊髓灰质炎病毒（PV-1），复配消毒液为 5%H₂O₂+0.0625%Ag⁺，作用时间为 5min。

2.2 杀菌结果分析

实验结果显示，对细菌，经过作用 5min，对 4 种目标菌的杀灭对数均> 5，均体现出较强烈杀菌活性。其中铜绿假单胞菌的杀灭率有明显增高，相较于同浓度单一双氧水组提升幅度约 1~2 个数量级，说明银离子的协同杀菌效果明显，具体结果如表 1 所示。

3 复配消毒剂应用研究和经济性分析

3.1 应用于不同行业的适应性对比分析

复配消毒剂在医疗、食品加工、环境等多个行业的应用适配性也进行了系统分析，结果显示其适用场景广泛、优势明显。

在医疗卫生领域，复配剂在医院手术器械表面消毒效果实验中在模拟具有 10% 牛血清有机污染的情况下，仍能保持 99.99% 的杀菌效果，不需再经过清洗处理，明显比单纯过氧乙酸等氧化类消毒剂效果更好；复配剂对金属不残留腐蚀，长期消毒对器械的保护更好，间接降低了医院的器械费用。

在食品加工行业中，在果蔬类、肉类等食品的生产中，通过对果蔬、肉类表面进行消毒杀菌处理，可在食品表面将李斯特菌、大肠杆菌等有害菌进行灭活处理，应用复配剂后残余的双氧水在 25℃环境下自然分解 24h 后残存于 0.5mg/kg 以下，满足《GB2760-2024 食品添加剂使用标准》限值，且不产生氯副产物，相较于含氯产品，安全性及环保性更高；洗消流程在洗消处理后冲洗次数减少，可减少人力、水电资源消耗，降低了生产成本。

环境消毒方面，复配剂对污水处置、喷雾公共场所的消毒都有很好的应用效果。其在医院污水中的实验结果显示，当投加浓度为 200mg/L 时，粪大肠菌群

可由 10^4 MPN/L 降至 10^3 MPN/L 以下, 灭菌效率超过 90%, 同时在北方低温 (-5°C) 环境中的灭菌效率达到 85% 以上, 其他条件下灭菌效率低于 62%, 即消毒剂在北方冬天也能发挥较好的消毒效果, 满足了冬季室外消毒、北方高原交通不便的地区、一些特殊紧急灾害防控环境的消毒需求。

3.2 应用成本的影响因素分析

3.2.1 消毒周期与剂量控制对使用成本的影响

为比较复配消毒剂在不同条件使用时的成本效益, 通过正交试验比较不同比例和不同作用时间对消毒能力、单位成本的影响, 其对周期和剂量方面的成本效益。

在医疗器械消毒场景中, 最佳方案是“500mg/L+30min”, 即在保证杀灭率的基础上平均灭菌设备每件单耗为 0.08 元, 因复配溶液对微生物有长期的抑制功能, 有效抑制时间可以达到 2 ~ 3 天 (72h), 从而有效地降低频繁消毒的能源与劳动力成本。当与传统乙醇或碘伏消毒比较, 每月约节省 12% ~ 15%。

在食品加工厂车间地面消毒中, 采用“1000 mg/L + 2h”方案可达到日常卫生要求, 消毒面积单位成本为 0.32 元/ m^2 , 较紫外线消毒成本降低 36%。考虑到复配剂具有良好的表面附着力和缓释能力, 每周仅需消毒一次即可保持微生物指标合格, 进一步降低运维频率。

在户外环境喷雾消毒中, 实验发现当剂量由 1500 mg/L 降低至 1000 mg/L 时, 杀菌率仅轻微下降, 但单位使用成本可下降 33.3%。结合银离子所带来的后续长效抑菌作用, 整体使用周期可延长 1.5 倍, 综合计算后较使用传统双氧水方案成本下降 28.6%, 对企事业单位及地方政府公共卫生支出控制具有明显优势。

3.2.2 复配工艺对原料利用率的提升与成本控制作用

复配工艺通过银离子催化促进过氧化氢分解的功能, 可提升过氧化氢利用率, 可由单组分 65% 提升至 89%, 在杜绝因过氧化氢自行分解而造成浪费的同时, 相应降低了硝酸银的用量。其中, 试验制备 1L 有效值为含有效消毒力的产品所需消耗 30% 过氧化氢原液 167mL, 较单组分节省 33.2% 的原料成本; 而分批滴加与络合反应配制, 可降低对硝酸银的使用量, 较市售银离子消毒剂节省 37.5% 的贵金属成本; 添加缓释剂可降低产品在实际使用过程中的单次使用剂量, 即从 200mg/L 降至 150mg/L, 进一步降低原料成本的 25%, 进而产生“过氧化氢利用率提高 - 使用剂量下降 - 成本降低”的良性循环。

3.3 与市场主流消毒剂的经济对比评估

以年处理 1000m^2 空间的消毒成本为例, 复配消

毒剂年均消耗 120L, 原料成本 860 元, 设备腐蚀维护费 50 元, 总费用 910 元; 同条件下, 0.1% 次氯酸钠总费用 1120 元, 75% 酒精总费用 1560 元, 过氧乙酸总费用 1350 元。复配剂成本较次氯酸钠低 18.7%、较酒精低 41.6%, 且因稳定性提升减少 30% 更换频次, 综合经济性优势显著, 尤其在医疗与食品行业的长期应用中成本优势更突出。

综上所述, 复配消毒剂应用领域广, 复配消毒在剂量、频率方面、复配工艺对应用成本有着较大影响, 并通过与市场主流消毒剂进行经济性比对, 分析表明其经济性优势显著。

4 结论

综上所述, 本文从稳定性、广谱消毒效能、经济性等 3 个方面分析了双氧水 - 银离子复配消毒剂与常用单一组分消毒剂的区别, 可以得出双氧水 - 银离子复配消毒剂在上述几项指标上均具有明显的优势, 并可通过对制备工艺以及添加缓释剂等方式, 提高体系储存稳定性及长效抗菌的效能, 适用于不同行业应用场景, 从经济性角度来分析, 复配剂具有原料利用好、使用成本低、寿命长等优点, 值得推广应用。未来, 复配剂还可配合智能制造和场景化应用, 使其更加适用于公共卫生、医疗以及食品安全相关行业规模化地使用, 更好地体现经济效益、社会效益。

参考文献:

- [1] 葛忆琳, 宦彭成. 过氧化氢的消毒作用及其应用 [J]. 上海预防医学杂志 1999,11(11):517-518.
- [2] 王书杰, 张宇. 银离子消毒剂的杀菌作用、机制、影响因素及应用 [J]. 中国感染控制杂志, 2007(3):214-216.
- [3] 沈芄. 银离子消毒与抗菌应用研究现状 [J]. 中国消毒学杂志, 2007,24(1):73-75.
- [4] 赵惠敏. 双氧水稳定剂的研究进展 [J]. 化工科技, 2003,11(2):55-59.
- [5] 包卫华. 一种过氧化氢银离子消毒剂消毒相关性能研究 [J]. 中国消毒学杂志, 2020, 37(08):578-582.
- [6] 刘南, 朱兵. 过氧化氢和银离子协同杀灭微生物效果及在口腔综合治疗水路消毒中的应用 [J]. 中国消毒学杂志, 2019,36(08):631-633.
- [7] 刘南, 沈田展鸿, 王乙棋, 等. 一种过氧化氢银离子复方消毒剂对医疗器械的消毒效果及其腐蚀性研究 [J]. 中国消毒学杂志, 2021,38(07):481-483+487.

作者简介:

黄永锋 (1988-), 男, 汉族, 广东河源人, 本科, 化工工艺工程师 (中级), 研究方向: 制冷剂及催化剂、消毒剂。