DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250321001
引用格式: 刘娜, 王亚萍, 任秀, 等. 不同种属菌株对 3 种食品用消毒剂的抗性比对研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(14): 285–290.
LIU N, WANG YP, REN X, *et al*. Comparative study on the resistance of different species strains to 3 kinds of food disinfectants [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(14): 285–290. (in Chinese with English abstract).

不同种属菌株对 3 种食品用消毒剂的抗性比对研究

刘　娜, 王亚萍, 任　秀, 赵　帅, 王学硕, 窦　越, 崔生辉*, 李景云*

(中国食品药品检定研究院, 北京　100050)

摘　要: 目的　比较 18 种菌株和 2 种指示微生物对含氯、过氧化氢及季铵盐类消毒剂的抗性差异。**方法**　选取食品、环境和人体来源的革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌及芽孢菌 3 类菌株(每类 6 种), 经基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱仪(matrix-assisted laser desorption ionization time of flight mass spectrometry, MALDI-TOF MS)和生化鉴定种属。以金黄色葡萄球菌 ATCC6538 和大肠杆菌 8099 2 种指示微生物为参考菌株, 制备 2.0×10^8~10.0×10^8 CFU/mL 菌悬液, 检测其对次氯酸钠(有效氯 0.00400%~0.00499%)、过氧化氢(7.5%)及苯扎溴铵(3.996 mg/mL)的耐受性, 作用时间均为 3 min。通过计算消毒剂对不同菌株的杀灭对数值(killing log value, KL), 比较不同种属菌株对 3 种消毒剂抗性差异。**结果**　消毒剂杀菌效力从强到弱为: 次氯酸钠、过氧化氢、苯扎溴铵; 不同菌种抗性存在显著差异, 且常见的 3 类菌株(革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌及芽孢菌)中, 均有对消毒剂抗性强于 2 种指示微生物的菌株。**结论**　次氯酸钠与过氧化氢的杀菌效果优于苯扎溴铵; 菌株抗性具有种属特异性, 不能单纯通过革兰氏分类预判; 指示微生物应依据实际需求扩大筛选范围。

关键词: 消毒剂; 指示微生物; 种属; 抗性; 差异

Comparative study on the resistance of different species strains to 3 kinds of food disinfectants

LIU Na, WANG Ya-Ping, REN Xiu, ZHAO Shuai, WANG Xue-Shuo, DOU Yue, CUI Sheng-Hui*, LI Jing-Yun*

(*National Institute for Food and Drug Control*, *Beijing* 100050, *China*)

ABSTRACT: Objective　To compare the resistance differences of 18 kinds of bacterial strains and 2 kinds of biological indicators to chlorine-containing disinfectants, hydrogen peroxide and quaternary ammonium compounds. **Methods**　Strains were selected from food, environment and human sources, including gram-negative bacteria,

收稿日期: 2025-03-21
基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF1103100)

第一作者: 刘娜(1988—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: xinyiliuna@163.com
***通信作者:** 崔生辉(1972—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: cuishenghui@aliyun.com
李景云(1972—), 男, 主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: lijingyun@nifdc.org.cn

gram-positive bacteria and spore-forming bacteria (6 kinds of strains per category). Species identification was performed using matrix-assisted laser desorption ionization time of flight mass spectrometry (MALDI-TOF-MS) and biochemical assays. The 2 kinds of biological indicators, namely *Staphylococcus aureus* ATCC6538 and *Escherichia coli* 8099 were used as reference strains. Bacterial suspensions (2.0×10^8–10.0×10^8 CFU/mL) were prepared to test their tolerance to sodium hypochlorite (available chlorine 0.00400%–0.00499%), hydrogen peroxide (7.5%), and benzalkonium bromide (3.996 mg/mL). All bacterial strains were treated with disinfectants for 3 minutes. By calculating the killing log value (KL) of disinfectants against different bacterial strains, the differences in resistance of different species of bacterial strains to 3 kinds of disinfectants were compared. **Results** The bactericidal efficacy ranked as sodium hypochlorite, hydrogen peroxide, benzalkonium bromide. Different species showed significant variations in resistance to disinfectants. Among 3 categories of bacterial strains (gram-negative bacteria, gram-positive bacteria and spore-forming bacteria), there were strains within each category that exhibit higher resistance to disinfectants than 2 kinds of biological indicators. **Conclusion** Sodium hypochlorite and hydrogen peroxide exhibit superior bactericidal effects compared to benzalkonium bromide. The resistance to disinfectant of bacteria is species-specific and cannot be predicted solely by gram classification. The screening scope for biological indicators should be expanded based on actual needs.

KEY WORDS: disinfectant; biological indicators; species; resistance; difference

0 引 言

自新冠病毒疫情暴发以来，微生物的潜在危害已引发社会各界的高度关注[1]。在食品生产、储存及销售的全链条流程中，微生物污染始终是威胁食品安全的关键风险因素[2–3]。科学应用消毒剂作为防控微生物污染的核心手段[4]，其有效性直接关系到食品全产业链的生物安全[5–6]。本研究聚焦食品领域常用消毒剂(含氯、过氧化物类及季铵盐类消毒剂)，选取了从食品、环境和人等分离的 18 种常见菌种，涵盖革兰氏阴性菌(具有外膜屏障结构)、革兰氏阳性菌(含致密肽聚糖层)及芽孢菌(具备厚壁保护结构)3 大类群，基于我国现行标准 WS/T 774—2021《新冠肺炎疫情期间现场消毒评价标准》，系统评估次氯酸钠(含氯消毒剂)、过氧化氢(过氧化物类消毒剂)[7]与苯扎溴铵(季铵盐类消毒剂)[8]的杀菌效果。通过建立多种属菌株消毒剂抗性评价体系，揭示不同种属菌株对上述 3 类消毒剂的耐受特征，为精准选择消毒剂类型及优化使用浓度提供科学依据；构建基于微生物抗性特征的消毒方案决策模型，有效规避传统消毒实践中因配伍不当导致的杀菌效能衰减或化学残留超标风险；建立消毒剂抗性预警机制，为防控多重耐消毒剂菌株的扩散提供技术支撑[9–10]。同时，以目前常用的 2 种指示微生物(金黄色葡萄球菌 ATCC6538 和大肠杆菌 8099)为参考菌株，通过计算比较消毒剂对不同种属菌株与指示微生物的杀灭对数值(killing log value, KL)，明确上述 3 种消毒剂在实际应用中的消杀微生物范围，也为今后筛选应用范围更广的指示微生物提供数据支撑。研究结果不仅可为食品企业建立全过程消毒质控体系提供理论指导，更能为监管部门完善行业标准、健全食品安全保障体系提供数据支持，从而推动食品产业在生物安全可控[11]的基础上实现高质量发展。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

平板计数琼脂(plate count agar, PCA)培养基、乳酸菌 MRS 琼脂培养基(De Man Rogosa Sharpe agar, MRS)、胰蛋白胨大豆琼脂(tryptic soy agar, TSA)(美国 BD 公司)；Bruker 标准溶剂(货号 900666)、次氯酸钠溶液(货号 239305)(美国 Sigma-Aldrich 公司)；*α*-氰基-4-羟基肉桂酸(*α*-cyano-4-hydroxycinnamic acid, HCCA)(货号 8255344，德国 Bruker 公司)；甲酸(纯度 98%，北京百灵威科技有限公司)；细菌基因组 DNA 提取试剂盒[天根生化科技(北京)有限公司]；革兰氏阳性(gram positive, GP)细菌鉴定卡、革兰氏阴性(gram negative, GN)细菌鉴定卡、需氧芽孢杆菌(*Bacillus*, BCL)鉴定卡(法国生物梅里埃公司)；30%过氧化氢溶液、吐温 80(上海沪试实验室器材股份有限公司)；复方新洁尔灭消毒液(苯扎溴铵)(货号 30701122，山东利尔康消毒科技股份有限公司)；硫代硫酸钠(分析纯，国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

Thermo1389 生物安全柜、Thermo 205050GC 恒温培养箱(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)；VITEK COMPACT 2 全自动微生物分析系统(法国梅里埃公司)；autoflex 基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱仪(matrix-assisted laser desorption ionization time of flight

mass spectrometry, MALDI-TOF MS)(德国 Bruker 公司); HYC-940 螺旋涂布仪(西班牙 IUL 公司)。

1.3 方　法

1.3.1 菌种信息

基于食品微生物安全研究的特殊性, 本研究菌株筛选遵循以下核心原则: (1)生物多样性; (2)食源性污染关联性; (3)符合 GB 4789 系列等国家标准要求且在食品接触表面高频检出; (4)对现行检测体系具有稳定响应特性。通过多源样本(食品原料、生产环境及从业人员)分离纯化, 成功构建包含 18 种特征菌株的实验菌种库(详见表 1), 充分体现食品污染微生物的种群多样性特征。参照 WS/T 774—2021 技术要求, 以 2 种指示微生物(金黄色葡萄球菌 ATCC 6538 及大肠埃希氏菌 8099)作为参考菌株, 通过建立实验组-对照组平行比对体系, 确保消毒剂效能评价结果的可比性与溯源性。

表 1　18 个种属菌株信息表

Table 1　Information table of 18 species and strains of bacteria

序号	微生物名称	原始标号	来源	类别
1	阪崎克罗诺杆菌	FC2942	食品	革兰氏阴性菌
2	弗氏柠檬酸杆菌	FC2251	市售鸽肉	
3	产气肠杆菌	FC4541	病人	
4	阴沟肠杆菌	FC1375	病人	
5	溶藻弧菌	FC1621	海水	
6	肺炎克雷伯菌	FC1382	病人	
7	单核细胞增生李斯特氏菌	FC11109	食品	革兰氏阳性菌
8	粪肠球菌	FC13911	食品	
9	藤黄微球菌	FC1737	空气	
10	鹑鸡肠球菌	FC6832	病人	
11	玫瑰考克氏菌	FC1763	空气	
12	纹带棒状杆菌	FC6831	病人	
13	拟蕈状芽孢杆菌	FC10418	天坛公园泥土	芽孢菌
14	蜡样芽孢杆菌	FC1052	天津市大饼鸡蛋	
15	枯草芽孢杆菌	FC3473	医院	
16	人参土芽孢杆菌	FC3461	药品辅料	
17	蕈状芽孢杆菌	FC3478	医院	
18	地衣芽孢杆菌	FC14167	食品	

1.3.2 18 个种属菌株鉴定

将各个菌株接种于 TSA 平板, 置于(36±1) ℃恒温培养箱中培养 18~24 h。挑取单菌落进行划线分离, 再次接种于 TSA 平板, 在相同条件下培养 18~24 h, 获得纯化菌株备用。

取上述纯化后的各菌株第二代新鲜培养物, 分别采用 VITEK COMPACT 2 全自动微生物鉴定系统和 MALDI-TOF MS 进行菌种鉴定分析, 以确定各菌株的种属分类。

1.3.3 18 个种属菌株对 3 种消毒剂的抗性测试

用无菌生理盐水将各菌株的二代新鲜培养物制备成 2.0×10^8~10.0×10^8 CFU/mL 的菌悬液, 备用。

次氯酸钠抗性实验中, 取 4 支 12 mL 无菌培养管, 分别加入以下试剂各 4.5 mL: 次氯酸钠溶液(有效氯 0.00400%~0.00499%)、无菌生理盐水、中和剂(1%硫代硫酸钠溶液, 设 2 个平行管), 分别加入 0.5 mL 备用菌悬液。其中, 消毒剂管作为试验组、生理盐水管作为阴性对照组。混匀后静置 3 min, 分别取 0.5 mL 混合液加入中和剂管中, 混匀后静置 10 min。各取 100 μL 涂布于 PCA 平板, (36±1) ℃培养 18~24 h 后计数菌落形成单位(CFU)。

过氧化氢抗性实验中, 采用次氯酸钠相同实验步骤, 使用 7.5%过氧化氢溶液作为实验组消毒剂, 中和剂仍为 1%硫代硫酸钠溶液。

苯扎溴铵抗性实验中, 使用 3.996 mg/mL 苯扎溴铵作为实验组消毒剂, 中和剂更换为含 3%吐温 80 和 1%卵磷脂的磷酸盐缓冲生理盐水(phosphate buffer saline, PBS), 其余条件保持不变。

所有实验均设置 2 株指示微生物作为参考菌株, 与 18 株实验菌株同步进行抗性测试, 每组实验重复 3 次。

1.4 数据处理

计算 18 个种属菌株与 2 种指示微生物的 KL 值, 采用 Microsoft Excel 2021 进行数据分析, 每个实验重复 3 次。

$$KL=\lg(N_0)-\lg(N_t) \quad (1)$$

注: N_0 为消毒前初始微生物数量; N_t 为消毒后存活的微生物数量。

2 结果与分析

2.1 18 个种属菌株的鉴定结果

18 个种属菌株经生化和 MALDI-TOF-MS 的鉴定结果见表 2, 与预期结果一致。

2.2 18 个种属菌株对 3 种消毒剂抗性测试结果

本研究通过不同种属菌株的 KL 值, 系统评估了各类菌株的消毒剂抗性特征, 具体结果见表 3。

革兰氏阴性菌中, 次氯酸钠处理后, 所有菌株 KL 值均高于参考菌株, 表明其对次氯酸钠的抗性弱于参考菌株。过氧化氢处理的弗氏柠檬酸杆菌和肺炎克雷伯菌的 KL 值介于大肠杆菌 8099 与金黄色葡萄球菌 ATCC 6538 之间, 显示其抗性强于大肠杆菌但弱于金黄色葡萄球菌; 其余 4 株菌的 KL 值均超过参考菌株, 即抗性弱于对照菌株。苯扎溴铵处理的产气肠杆菌 KL 值低于两株参考菌, 呈现最强抗性; 阴沟肠杆菌与大肠杆菌 8099 抗性相当, 均显著强于金黄色葡萄球菌; 肺炎克雷伯菌抗性表现与过氧化氢处理后抗性一致; 克罗诺杆菌等 3 株菌抗性弱于参考菌。

表 2 18 个种属菌株的鉴定结果
Table 2 Identification results of 18 species and strains of bacteria

菌种名称	鉴定结果	
	生化方法	MALDI-TOF MS 方法
阪崎克罗诺杆菌	阪崎克罗诺杆菌	阪崎克罗诺杆菌
弗氏柠檬酸杆菌	弗氏柠檬酸杆菌	弗氏柠檬酸杆菌
产气肠杆菌	产气肠杆菌	产气肠杆菌
阴沟肠杆菌	阴沟肠杆菌	阴沟肠杆菌
溶藻弧菌	溶藻弧菌	溶藻弧菌
肺炎克雷伯菌	肺炎克雷伯菌	肺炎克雷伯菌
单核细胞增生李斯特氏菌	单核细胞增生李斯特氏菌	单核细胞增生李斯特氏菌
粪肠球菌	粪肠球菌	粪肠球菌
藤黄微球菌	藤黄微球菌	藤黄微球菌
鹑鸡肠球菌	鹑鸡肠球菌	鹑鸡肠球菌
玫瑰考克氏菌	玫瑰考克氏菌	玫瑰考克氏菌
纹带棒状杆菌	纹带棒状杆菌	纹带棒状杆菌
拟蕈状芽孢杆菌	拟蕈状芽孢杆菌	拟蕈状芽孢杆菌
蜡样芽孢杆菌	蜡样芽孢杆菌	蜡样芽孢杆菌
枯草芽孢杆菌	枯草芽孢杆菌	枯草芽孢杆菌
人参土芽孢杆菌	人参土芽孢杆菌	人参土芽孢杆菌
蕈状芽孢杆菌	蕈状芽孢杆菌	蕈状芽孢杆菌
地衣芽孢杆菌	地衣芽孢杆菌	地衣芽孢杆菌

表 3 18 个种属菌株对 3 种消毒剂的抗性测试结果
Table 3 Resistance test results of 18 species and strains of bacteria to 3 kinds of disinfectants

类别	菌种名称	KL		
		次氯酸钠	过氧化氢	苯扎溴铵
革兰氏阴性菌	克罗诺杆菌	≥5.00	≥5.00	4.10
	弗氏柠檬酸杆菌	4.60	4.01	3.93
	产气肠杆菌	4.46	≥5.00	2.17
	阴沟肠杆菌	≥5.00	4.40	2.82
	溶藻弧菌	≥5.00	≥5.00	4.49
	肺炎克雷伯菌	≥5.00	3.82	3.00
革兰氏阳性菌	单核细胞增生李斯特氏菌	≥5.00	≥5.00	1.77
	粪肠球菌	≥5.00	3.00	2.98
	藤黄微球菌	4.19	≥5.00	4.45
	鹑鸡肠球菌	≥5.00	≥5.00	≥5.00
	玫瑰考克氏菌	≥5.00	≥5.00	2.40
	纹带棒状杆菌	≥5.00	≥5.00	3.37
芽孢菌	拟蕈状芽孢杆菌	2.70	≥5.00	≥5.00
	蜡样芽孢杆菌	2.39	2.59	1.46
	枯草芽孢杆菌	3.32	2.91	1.88
	蕈状芽孢杆菌	2.71	≥5.00	1.78
	人参土芽孢杆菌	≥5.00	≥5.00	≥5.00
	地衣芽孢杆菌	≥5.00	≥5.00	2.48
参考菌株	大肠杆菌 8099	3.15	4.37	2.82
	金黄色葡萄球菌 ATCC6538	2.90	3.13	3.78

通过对比 3 类消毒剂对典型革兰氏阴性菌的杀灭效果发现，次氯酸钠和过氧化氢表现出卓越的杀菌效能，其对克罗诺杆菌、溶藻弧菌的 KL≥5.00，达到高水平消毒标准。相比之下，苯扎溴铵的杀菌效能较低，其对产气肠杆菌和阴沟肠杆菌的 KL 仅为 2.17 和 2.82，尚未达到高效消毒要求(表 3)。

革兰氏阳性菌中，经次氯酸钠溶液和过氧化氢溶液处理后，所有菌株 KL 显著高于参考菌株(除粪肠球菌)，抗性整体弱于参考菌株。苯扎溴铵处理后，单核细胞增生李斯特氏菌和玫瑰考克氏菌抗性最强(KL 最小)；粪肠球菌和纹带棒状杆菌抗性介于两个参考菌之间；藤黄微球菌和鹑鸡肠球菌抗性最弱(KL 最大)。强氧化性消毒剂次氯酸钠与过氧化氢对单核细胞增生李斯特氏菌和鹑鸡肠球菌等典型菌株的 KL≥5.00。而季铵盐类消毒剂苯扎溴铵的杀菌效能呈现显著分化：对藤黄微球菌表现出良好杀灭效果(KL 为 4.45)，但对单核细胞增生李斯特氏菌(KL 为 1.77)和玫瑰考克氏菌(KL 为 2.40)明显弱于另外两种消毒剂。

芽孢菌中，次氯酸钠溶液处理后的拟蕈状芽孢杆菌、蜡样芽孢杆菌和蕈状芽孢杆菌抗性强于参考菌；枯草芽孢杆菌、人参土芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌 3 株抗性较弱。过氧化氢溶液处理后的蜡样芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌呈现较强抗性；拟蕈状芽孢杆菌、蕈状芽孢杆菌、人参土芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌的抗性均弱于参考菌株。苯扎溴铵溶液处理后的蜡样芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、蕈状芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌抗性强于参考菌，拟蕈状芽孢杆菌和人参土芽孢杆菌抗性则弱于参考菌。

3 讨论与结论

革兰氏阴性菌作为重要的致病菌及条件致病菌，其有效灭活是公共卫生防控的关键环节[12]。革兰氏阴性菌对化学消毒剂的固有抗性源于其独特的细胞结构及防御机制：(1)外膜屏障系统。由脂多糖(lipopolysaccharide，LPS)构成的疏水性外膜可有效阻隔疏水性消毒剂的渗透[13]，外膜孔蛋白通过分子筛效应选择性排斥大分子及带电物质[14]；(2)动态防御体系。外排泵介导的消毒剂主动外排机制成分[14]，生物膜形成的物理性防护屏障[15−16]以及特异性酶介导的消毒剂降解系统[17]等；(3)遗传调控网络。基因表达调控影响外膜成分合成及抗性相关蛋白表达调控[18]。菌株内部通过多个方面共同调控对化学消毒剂抗性[19]。值得注意的是，虽都属于革兰氏阴性菌，不同种属间菌株对消毒剂的敏感性存在显著差异。这种差异性可能由于上述抗性机制的不同而造成。实验数据显示，强氧化剂(次氯酸钠)通过破坏外膜完整性并氧化细胞内容物实现快速杀菌[20−21]，而过氧化氢则通过羟基自由基攻击 DNA 及酶系统发挥杀灭作用[22−23]，因此效果更优。季铵盐类消毒剂有效成分属于表面活性剂[24]，消毒效果不如强氧化剂类消毒剂。此外，微生物生理状态或存在环境也可能影响其对消毒剂的抗性[25]。

革兰氏阳性菌对消毒剂的响应也呈现显著种属特异性, 其对消毒剂抗性机制与阴性菌类似: 包括(1)结构性屏障。厚肽聚糖层构成物理阻隔层, 其三维网状结构可阻滞大分子消毒剂渗透; 细胞壁磷壁酸通过静电作用吸附带正电荷季铵盐类物质, 显著降低其生物利用度; (2)动态防御系统。外排泵介导消毒剂主动外排; 过氧化氢酶等应激酶系可分解特定消毒剂成分; 形成生物膜通过物理阻隔和化学中和双重机制降低消毒剂渗透效率; (3)基因调控系统。而造成不同种属之间对消毒剂抗性差异的原因也是上述机制的不同[26]。

一般而言, 芽孢菌体(即营养细胞)对消毒剂的抗性弱于其对应芽孢, 但是强于非芽孢菌。这是由于芽孢菌的细胞壁通常含有更多交联程度高的肽聚糖层、细胞壁外可能有厚的荚膜或黏液层、细胞膜中有高含量能保持高强度流动性和稳定性的饱和脂肪酸、存在特殊的转运蛋白和泵系统、菌体内多种抗氧化酶、快速调整代谢途径等原因造成的[14,27]。但是由于细胞壁结构、生物膜形成能力、酶系统、外排泵系统以及基因调控等方面的不同, 也会造成不同芽孢菌对消毒剂抗性不同[14]。芽孢所独有的多层结构, 诸如皮质层、芽孢衣等, 如同坚实的堡垒, 能够有效抵御化学消毒剂的渗透。以次氯酸钠和过氧化氢为例, 需要调配更高的浓度, 或者延长其作用时间, 才有可能破坏芽孢的防御体系。

综合实验结果和分析, 本研究中消毒剂效果从强到弱为: 次氯酸钠、过氧化氢、苯扎溴铵, 且不同种属的菌株对消毒剂抗性存在明显差异; 在革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌和芽孢菌中, 均有对消毒剂抗性强于参考菌株的存在。在实际的医疗、卫生防疫与食品加工等诸多领域, 不能一概而论地使用同一种消毒剂及相同浓度、作用时间, 否则很可能出现对部分细菌消杀彻底[28], 却未除去另一些抗性强的细菌[29], 进而引发感染风险或产品污染隐患[30], 所以精准识别与区别对待不同菌株的抗性特点势在必行[31]。在筛选指示微生物时, 应该合理加大筛选范围。

参考文献

[1] KAMEDA T, OKA S, IGAWA J, *et al*. Can hypochlorous acid be a powerful sanitizer to replace alcohol for disinfection?—Its bactericidal, degradation of the solutions under various storage condition, and steel rust effects [J]. Dental Materials Journal, 2021, 41(1): 167–183.

[2] RIBEIROA MSS, SILVAB OF, CASTRO IM, *et al*. Efficacy of sodium hypochlorite and peracetic acid against *Aspergillus nomius* in Brazil nuts [J]. Food Microbiology, 2020, 90: 1–8.

[3] ARIENZO A, GALLO V, TOMASSETTI F, *et al*. Implication of sodium hypochlorite as a sanitizer in ready-to-eat salad processing and advantages of the use of alternative rapid bacterial detection methods [J]. Foods, 2023, 12: 1–11.

[4] GURTLER JB. Two generally recognized as safe surfactants plus acidulants inactivate *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* in suspension or on dip-inoculated grape tomatoes [J]. Journal of Food Protection, 2020, 83(4): 637–643.

[5] MCWHORTER A, WEERASOORIYA G, KUMAR S, *et al*. Comparison of peroxyacetic acid and acidified sodium chlorite at reducing natural microbial contamination on chicken meat pieces [J]. Poultry Science, 2023, 102: 1–9.

[6] TEFANELLO A, FRACARI JC, SILVA M, *et al*. Influence of type, concentration, exposure time, temperature, and presence of organic load on the antifungal efficacy of industrial sanitizers against *Aspergillus brasiliensis* (ATCC 16404) [J]. Food Microbiology, 2021, 97: 1–5.

[7] ABDELSHAFY AM, NEETOO H, ASMARI FA, *et al*. Antimicrobial activity of hydrogen peroxide for application in food safety and COVID-19 mitigation: An updated review [J]. Journal of Food Protection, 2024, 87: 1–14.

[8] 林梦丹, 詹清, 周阿容, 等. 5 种消毒剂对微生物实验室环境分离菌的消毒效果验证及应用[J]. 福建农业科技, 2024, 55(4): 39–45.
LIN MD, ZHAN Q, ZHOU AR, *et al*. Verification and application of disinfection effect of five disinfectants on the environmental isolated bacteria from microbiology laboratories [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2024, 55(4): 39–45.

[9] GAO ZJ, JHA A, HUDSON CL, *et al*. Efficacy of sodium hypochlorite and peracetic acid in reducing cross-contamination during washing of baby spinach at different water quality levels [J]. Food Science, 2025, 90: 1–12.

[10] WATSON SC, NEUJAHR AC, CHAVES BD, *et al*. Environmental monitoring of nebraska ready-to-eat meat processing establishments resulted in the isolation of *Listeria alongside pseudomonas* highly resistant to quaternary ammonia sanitizer [J]. Journal of Food Protection, 2024, 87: 1–12.

[11] 吴上, 杨阳, 孙嘉笛, 等. 消毒剂胁迫鼠伤寒沙门氏菌 ATCC 14028s 的抗性及耐药性测定[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2021, 52(1): 13–18.
WU S, YANG Y, SUN JD, *et al.* The resistance and drug resistance of *Salmonella typhimurium* ATCC 14028s by disinfectants stress [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 52(1): 13–18.

[12] THAMIZHSELVAN S, GEEVARETNAM J, ROBINSON JS, *et al*. Effect of antibiotics and sanitizers on *Salmonella biofilms* associated with seafood contact surfaces [J]. Microbiological Research, 2023, 266: 1–11.

[13] WANG R, ZHOU Y, NORASAK K, *et al*. Effectiveness and functional mechanism of a multicomponent sanitizer against biofilms formed by *Escherichia coli* O157:H7 and five salmonella serotypes prevalent in the meat industry [J]. Journal of Food Protection, 2020, 83(4): 568–575.

[14] LIM ES, NAM SJ, KOO OK, *et al*. Protective role of acinetobacter and bacillus for *Escherichia coli* O157:H7 in biofilms against sodium hypochlorite and extracellular matrix-degrading enzymes [J]. Food Microbiology, 2023, 109: 1–11.

[15] WANG R, ZHOU Y, KALCHAYANAN N, *et al*. Consecutive treatments with a multicomponent sanitizer inactivate biofilms formed by *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* and remove biofilm matrix [J]. Journal of Food Protection, 2021, 84(3): 408–417.

[16] LIN ZJ, WANG GS, LI SS, *et al*. Dual-species biofilms formed by *Escherichia coli* and *Salmonella* enhance chlorine tolerance [J]. Applied

and Environmental Microbiology, 2022, 88(22): 1–13.

[17] CHEN QY, PALANISAMY V, WANG R, *et al*. *Salmonella*-induced microbiome profile in response to sanitation by quaternary ammonium chloride [J]. Microbiology Spectrum, 2024, 12(2): 1–12.

[18] 潘柄霖, 王思楠, 姚国忠, 等. 猪源携带 *tet(X4)*基因大肠杆菌的消毒剂抗性分析[J]. 畜牧兽医学报, 2024, 55(12): 5880–5885.
PAN BL, WANG SN, YAO GZ, *et al*. Disinfectant susceptibility analysis of *tet(X4)*-containing porcine *Escherichia coli* [J]. Acta Veterinaria Et Zootechnica Sinica, 2024, 55(12): 5880–5885.

[19] 叶顾萍, 葛忆琳, 吴景芳. 多重耐药肺炎克雷伯菌和鲍曼不动杆菌对常用消毒剂抗性的相关性研究[J]. 大健康, 2023, 10: 99–101.
YE GP, GE YL, WU JF. Study on the correlation of resistance to common disinfectants between multidrug-resistant *Klebsiella pneumoniae* and *Acinetobacter baumannii* [J]. Global Health & Wellness, 2023, 10: 99–101.

[20] BHAUMIK SK. Covid-19 pandemic: Need to exercise caution while using hypochlorite sanitizer in manufacturing industries [J]. Journal of Failure Analysis and Prevention, 2020. DOI: org/10.1007/s11668-020-01082-7

[21] LIN ZJ, CHEN T, LH ZHOU, *et al*. Effect of chlorine sanitizer on metabolic responses of *Escherichia coli* biofilms “big six” during cross-contamination from abiotic surface to sponge cake [J]. Food Research International, 2022, 157: 1–13.

[22] BRAULT A, RAPHAEL N, PRADOS J, *et al*. Cellulosic copper nanoparticles and a hydrogen peroxide–based disinfectant trigger rapid inactivation of pseudoviral particles expressing the spike protein of SARS-CoV-2, SARS-CoV, and MERS-CoV [J]. Metallomics, 2022, 14: 1–16.

[23] CHAVES RD, KUMAZAWA SH, KHANEGHAH AM, *et al*. Comparing the susceptibility to sanitizers, biofilm-forming ability, and biofilm resistance to quaternary ammonium and chlorine dioxide of 43 *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* strains [J]. Food Microbiology, 2024, 117: 1–8.

[24] 于千帆, 王金鹏, 曹锦轩, 等. 冷链食品病毒控制及其次生危害研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(17): 276–284.
YU QF, WANG JP, CAO JX, *et al*. Research progress of virus control and secondary hazards in cold chain food [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(17): 276–284.

[25] 刘青, 郭玲, 仉伟, 等. 野生动物笼舍环境中大肠埃希氏菌对抗生素和消毒剂的抗性分析[J]. 野生动物学报, 2023, 44(3): 688–694.
LIU Q, GUO L, JI W, *et al*. Analysis of *Escherichia coli* resistance to antibiotics and disinfectants in wild animal cages [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2023, 44(3): 688–694.

[26] 孟含, 李庆, 贺苏皖, 等. 市售猪肉金黄色葡萄球菌的分离及菌株耐消毒剂基因的检测[J]. 现代食品科技, 2020, 36(4): 296–303.
MENG H, LI Q, HE SW, *et al*. Isolation of *Staphylococcus aureus* from pork source and the detection of disinfectant resistance genes [J]. Modern Food Science & Technology, 2020, 36(4): 296–303.

[27] YIM JH, SONG KY, KIM H, *et al*. Effectiveness of calcium hypochlorite, quaternary ammonium compounds, and sodium hypochlorite in eliminating vegetative cells and spores of *Bacillus anthracis* surrogate [J]. Journal of Veterinary Science, 2021, 22(1): 1–7.

[28] 罗致茜. 猪场消毒剂效果评价及细菌对消毒剂抗性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
LUO ZQ. Evaluation of the efficacy of disinfectants and research on resistance to disinfectant of bacteria from pig farms [D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.

[29] 屈云, 贺苏皖, 朱成林, 等. 不同胁迫条件对食品源 MRSA 菌株生长、毒力和抗性基因表达的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(3): 8–17.
QU Y, HE SW, ZHU CL, *et al*. Effects of stress conditions on the growth, virulence and resistance gene expression of food-sourced MRSA strains [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(3): 8–17.

[30] LUANA MF, GUSTAVO LPAR, ROGERIO CRM, *et al*. Tolerance of foodborne *Acinetobacter* sp to sanitizer agents [J]. Journal of Infection in Developing Countries, 2022, 15(12): 1845–1851.

[31] 叶青, 成于伽, 林丽开. 国内外微生物对消毒剂抗性研究热点和发展趋势的可视化分析[J]. 中华传染病杂志, 2020, 38(9): 556–563.
YE Q, CHENG YJ, LIN LK. Visual analysis of the focuses and trends of research on microbial resistance to disinfectants in China and abroad [J]. Chinese Journal of Infectious Diseases, 2020, 38(9): 556–563.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)