

二氯异氰尿酸钠对猪源 DNA 和 RNA 病毒核酸降解效果的评价

张乃嘉¹, 黄晓慧², 王雪¹, 张亚坤¹, 陈家钰³, 王学生³, 朱浩¹, 高雯靖¹, 宋庆庆¹, Khalique ABDUL³, Muhammad Kashif SALEEMI⁴, 徐丽丽³, 杨元森³, 尉玉杰⁵, 王俊超⁶, 李朝阳³, 刘春国^{1*}

¹集团研发中心, 山东信得科技股份有限公司 山东青岛

²合肥市动物疫病预防控制中心 安徽合肥

³山东信得科技股份有限公司 山东诸城

⁴Department of Pathology, University of Agriculture Faisalabad, Pakistan

⁵莱阳市动物疫病预防控制中心 山东莱阳

⁶莱阳市高格庄畜牧兽医站 山东莱阳

【摘要】病毒性疾病对养猪业造成了严重威胁, 为了筛选有效消毒剂, 优化猪场消毒方案, 本研究采用荧光定量 PCR 方法, 测定在不同稀释度、作用时间、环境温度及放置时间等条件下二氯异氰尿酸钠(DCCNa)对伪狂犬病毒(PRV)和猪流行性腹泻病毒(PEDV)的核酸降解效果。以 Ct 值 ≥ 36 作为病毒核酸未检出的判定标准, 提示病毒灭活。结果显示, 在 1: 1000 稀释条件下, DCCNa 作用 5 min 即可使 PRV 与 PEDV 的 Ct 值达到 ≥ 36 ; 在 4 °C、15 °C 及 30 °C 条件下, DCCNa 均能使两种病毒的 Ct 值 ≥ 36 。然而, DCCNa 溶液在常温敞口放置 5 d 后, 有效氯含量下降至 95% 以下, 病毒核酸降解能力随之减弱。DCCNa (三种剂型) 与二氧化氯均表现出较佳的病毒核酸降解效果, 优于过硫酸氢钾复合物粉剂、强力泡沫清洗溶剂和戊二醛癸甲溴铵溶剂。综上所述, DCCNa 可作为猪场消毒体系建设的优选产品。本研究为猪场消毒剂的科学筛选与应用提供了可靠的数据支持, 但需指出, 本研究以 qPCR Ct 值作为间接指标, 反映的是病毒核酸的降解或失活趋势, 病毒是否完全丧失感染性尚需通过细胞培养实验进一步验证。

【关键词】消毒剂; 二氯异氰尿酸钠; 病毒核酸降解; PRV; PEDV

【收稿日期】2026 年 3 月 20 日 **【出刊日期】**2026 年 4 月 15 日 **【DOI】**10.12208/j.jafs.20260008

Evaluation of the degradation effect of sodium dichloroisocyanurate on nucleic acids of porcine-origin DNA and RNA viruses

Naijia Zhang¹, Xiaohui Huang², Xue Wang¹, Yakun Zhang¹, Jiazeng Chen³, Xuesheng Wang³, Hao Zhu¹, Wenjing Gao¹, Qingqing Song¹, Khalique ABDUL³, Muhammad Kashif SALEEMI⁴, Lili Xu³, Yuansen Yang³, Yujie Wei⁵, Junchao Wang⁶, Zhaoyang Li³, Chunguo Liu^{1*}

¹Group R&D Center, Shandong Sinder Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong

²Hefei Animal Disease Control Center, Hefei, Anhui

³Shandong Sinder Technology Co., Ltd., Zhucheng, Shandong

⁴Department of Pathology, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

⁵Laiyang Animal Disease Control Center, Laiyang, Shandong

⁶Gaogezhuang Animal Husbandry and Veterinary Station of Laiyang, Laiyang, Shandong

【Abstract】 Viral diseases pose a severe threat to the swine industry. To screen for effective disinfectants and optimize disinfection protocols in pig farms, this study evaluated the nucleic acid degradation efficacy of sodium dichloroisocyanurate (DCCNa) against pseudorabies virus (PRV) and porcine epidemic diarrhea virus (PEDV) under various conditions, including different dilution ratios, reaction times, environmental temperatures, and storage times,

作者简介: 张乃嘉 (1991-) 女, 山东烟台人, 硕士, 主要从事动物细菌病研究; 黄晓慧 (1986-) 女, 安徽滁州人, 硕士, 主要从事动物传染病研究。张乃嘉和黄晓慧为同等贡献作者;

*通讯作者: 刘春国 (1978-) 男, 博士, 助理研究员, 主要从事动物疫病检测、流行病学及禽流感疫苗。

using quantitative real-time PCR (qPCR). A cycle threshold (Ct) value ≥ 36 was set as the threshold for complete nucleic acid degradation, indicating potential virus inactivation. The results showed that DCCNa at a 1:1000 dilution achieved Ct values ≥ 36 for both PRV and PEDV within 5 min. DCCNa achieved complete nucleic acid degradation of both viruses at 4 °C, 15 °C, and 30 °C. However, when the DCCNa solution was left uncovered at room temperature for 5 days, the available chlorine content dropped below 95%, and its nucleic acid degradation efficacy subsequently decreased. Compared with four other commonly used disinfectants, DCCNa (in three formulations) and chlorine dioxide demonstrated superior nucleic acid degradation efficacy. DCCNa is recommended as a preferred product for establishing disinfection systems on pig farms. This study provides reliable data to support the scientific selection and application of disinfectants in swine farming. It should be noted that qPCR Ct values serve as an indirect indicator of viral nucleic acid degradation or inactivation; whether the virus has completely lost infectivity requires further validation through cell culture experiments.

【Keywords】 Disinfectant; Sodium dichloroisocyanurate; Viral nucleic acid degradation; PRV; PEDV

1 引言

卤素类消毒剂因其有着广谱、高效和经济性的特点而在猪场中广泛应用。其中二氯异氰尿酸钠 (Sodium dichloroisocyanurate, DCCNa) 不仅能有效杀灭细菌^[1]、芽孢、病毒^[2]、真菌和原虫等多种病原, 还具有低毒和价廉等优点^[3], 已成为当前猪场消毒的重要选择之一^[4]。然而, 市售 DCCNa 产品种类繁多, 质量参差不齐, 加之缺乏统一的病毒灭活效能评估标准, 导致养殖单位在选择消毒剂时面临较大不确定性, 从而为生物安全带来潜在隐患。

本研究选取伪狂犬病毒 (Pseudorabies virus, PRV) 和猪流行性腹泻病毒 (Porcine epidemic diarrhea virus, PEDV) 作为模式病毒, 主要基于两者在养猪业中的重大经济影响^[5,6]。PEDV 可引起仔猪极高的死亡率, 是当前导致猪腹泻的主要病原。而 PRV 除本身作为重要猪传染性病原外, 在国际上常被用作非洲猪瘟病毒 (African swine fever virus, ASFV) 的替代病毒, 用于消毒剂评价研究^[7-9]。ASFV 作为有囊膜 DNA 病毒, 其培养与操作需在生物安全三级及以上实验室中进行, 限制较大^[10]。PRV 在病毒结构 (同为有囊膜 DNA 病毒)、大小及对消毒剂的敏感性方面与 ASFV 具有一定相似性, 而且更易于在常规实验室条件下操作, 因此是评估针对 ASFV 消毒方案的一个可靠且安全的模型^[7,11]。本研究旨在通过荧光定量 PCR 方法, 以病毒核酸 Ct 值变化为指标, 评估 DCCNa 对 PRV 和 PEDV 的核酸降解效果, 从而间接评估其在非洲猪瘟和其他猪病毒病生物安全体系中的应用潜力。需要说明的是, 本研究以 qPCR Ct 值作为消毒效果的评价指标, 该方法检

测的是病毒核酸的完整性, 而非病毒的感染活性。因此, 本研究结论中的“病毒灭活”应理解为“病毒核酸降解或失活”, 其实际感染性的丧失需通过细胞培养法进一步验证。

除选择代表性病毒作为指示病毒外, 本研究还系统评价了 DCCNa 在不同稀释度、作用时间、环境温度及存放时间条件下对 PRV 和 PEDV 的核酸降解能力, 旨在建立可重复和操作简便的消毒剂效能评估标准, 为猪场选择高效、稳定的消毒产品提供科学依据, 进而提升养殖业的生物安全水平。

2 材料与方法

2.1 供试消毒剂

DCCNa 粉剂、DCCNa 泡腾片剂和 DCCNa 粉剂 (添加发泡剂) 共 3 种消毒剂由山东信得科技股份有限公司提供; 泡腾消毒片剂 (ClO₂)、过硫酸氢钾复合物粉剂 A、过硫酸氢钾复合物粉剂 B、强力泡沫清洗溶剂和戊二醛癸甲溴铵溶剂 5 种消毒剂产品分别购自 5 个不同的厂家。

2.2 供试样品

PEDV 和 PRV 阳性病料由山东信得科技股份有限公司检测中心保存, Ct 值分别为 24.48 和 25.51, 样品分装保存于 -80 °C 超低温冰箱中备用。

2.3 主要设备与试剂

-80 °C 超低温冰箱购自海尔生物医疗有限公司; 核酸提取仪购自南京诺唯赞生物科技股份有限公司; 荧光定量 PCR 仪购自上海宏石医疗科技有限公司; 核酸提取试剂盒购于南京诺唯赞生物科技股份有限公司; PEDV 和 PRV 荧光 PCR 检测试剂盒购于山东信达基因科技有限公司。

2.4 不同稀释度 DCCNa 对病毒核酸降解作用的影响

用自来水分别将 DCCNa 粉剂、泡腾片剂和添加发泡剂的粉剂三种剂型的消毒剂配制成 1: 200、1: 500、1: 1000、1: 2000、1: 4000 和 1: 6000 的溶液。将 PEDV 与 PRV 的阳性样品分别与各稀释度消毒剂溶液按 1: 9 的体积比混合, 常温条件下反应 10 min, 之后提取混合物中的病毒核酸, 并通过荧光定量 PCR 方法测定 Ct 值。Ct 值 ≥ 36 判定为病毒核酸未检出。同时设置未与消毒剂作用的病毒阳性对照, 自来水与阳性样品反应的实验对照, 以及自来水阴性对照。

2.5 不同作用时间对 DCCNa 降解病毒核酸作用的影响

将 PEDV 与 PRV 的阳性样品分别与 1: 1000 倍稀释的粉剂、泡腾片剂和添加发泡剂的粉剂按 1: 9 体积比混合, 分别在常温条件下作用 5 min、10 min、30 min 和 2 h, 每个时间节点分别取样 300 μL , 立刻置于 -80°C 超低温冰箱中速冻保存。待所有时间点取样完成后, 统一进行核酸提取, 并测定各时间点样品的 Ct 值。按照上述描述设置对照。

2.6 温度对 DCCNa 降解病毒核酸效果的影响

配制 1: 1000 倍稀释的 DCCNa 粉剂、泡腾片剂和添加发泡剂的粉剂, 以及 PEDV 与 PRV 的阳性样品分别置于 15°C 、 4°C 冰箱和 30°C 恒温箱中进行平衡, 达到相应温度后, 将阳性样品和各消毒剂溶液按 1: 9 体积比混合, 分别在 15°C 、 4°C 和 30°C 条件下作用 5 min 和 10 min, 每个时间节点分别取 300 μL 样品, 立刻置于 -80°C 超低温冰箱中速冻保存。待所有时间点取样完成后, 统一进行核酸提取, 并测定各时间点样品的 Ct 值。按照上述描述设置对照。

2.7 有效氯释放挥发对 DCCNa 降解病毒核酸效果的影响

将配制好的 1: 1000 倍稀释的 DCCNa 粉剂、泡腾片剂和添加发泡剂的粉剂置于常温锥形瓶中, 常温环境下敞口放置, 分别于放置后 1 d、2 d、3 d、4 d 和 5 d 取样 9 mL。每个时间节点取样后, 分别与 PEDV 与 PRV 的阳性样品按照 9: 1 的比例进行混合, 常温条件下分别作用 5 min 和 10 min, 每个时间节点分别取 300 μL 样品, 立刻置于 -80°C 超低温冰箱中速冻保存。待所有时间点的取样和消毒作用

完成后, 统一进行核酸提取, 并测定各时间点样品的 Ct 值。按照上述描述设置对照。

2.8 不同消毒剂产品对病毒核酸降解作用的能力比较

将 DCCNa (粉剂、泡腾片剂和添加发泡剂的粉剂) 分别按照 1: 500 和 1: 1000 倍进行稀释, 二氧化氯泡腾消毒片剂、过硫酸氢钾复合物粉剂 A、过硫酸氢钾复合物粉剂 B、强力泡沫清洗剂溶剂和戊二醛癸甲溴铵溶剂分别按照产品说明书推荐的 2 个稀释度进行稀释。将稀释好的消毒剂分别与 PEDV 与 PRV 的阳性样品按照 9: 1 的比例进行混合, 常温条件下作用 10 min, 分别取 300 μL 样品, 然后提取病毒核酸, 并测定样品的 Ct 值。按照上述描述设置对照。

3 结果

3.1 不同稀释度 DCCNa 对病毒核酸降解作用的影响

在不同稀释度的 DCCNa 与病毒作用 10 min 后, 提取病毒核酸测定 Ct 值, Ct 值 ≥ 36 判定为阴性。结果显示, 在 1: 200 至 1: 4000 的稀释范围内, 所有剂型的 DCCNa 均能使 PRV 和 PEDV 的 Ct 值 ≥ 36 。然而, 当稀释度提高至 1: 6000 时, 泡腾片剂型的 DCCNa 未能使 PRV 和 PEDV 的 Ct 值 ≥ 36 (PRV Ct 值 35.54, PEDV Ct 值 35.91); 此外, 在此稀释度下, DCCNa 对 PRV 的核酸降解效果低于对 PEDV 的核酸降解效果 (表 1)。

3.2 不同作用时间对病毒核酸降解效果的影响

1: 1000 稀释度下三种剂型的 DCCNa 均可在 5 min 内完全降解 PRV 和 PEDV 核酸, 而且降解效果持续至 2 h 无衰减 (表 2)。

3.3 温度对 DCCNa 消毒剂降解病毒核酸效果的影响

在 4°C 至 30°C 的温度范围内, 1: 1000 稀释度的 DCCNa 均能在 5 min 内使 PRV 和 PEDV 两种病毒的 Ct 值达到 ≥ 36 (表 3)。

3.4 有效氯释放挥发对病毒核酸降解效果的影响

三种剂型 DCCNa 稀释后敞口放置 4 d 内均可使两种病毒的 Ct 值达到 ≥ 36 , 5 d 起所有剂型消毒效果显著下降, Ct 值上升至 30~37 之间; 残留有效氯对 PRV 的核酸降解效果优于对 PEDV 的核酸降解效果 (表 4)。

表 1 不同稀释度 DCCNa 对病毒核酸降解作用

分组	稀释度	PRV (Ct 值)		PEDV (Ct 值)	
DCCNa 粉剂	1: 200	-	-	-	-
	1: 500	-	-	-	-
	1: 1000	-	-	-	-
	1: 2000	-	-	-	-
	1: 4000	-	-	-	-
	1: 6000	-	-	-	-
	1: 200	-	-	-	-
DCCNa 泡腾片剂	1: 500	-	-	-	-
	1: 1000	-	-	-	-
	1: 2000	-	-	-	-
	1: 4000	-	-	-	-
	1: 6000	35.54	35.54	35.91	35.91
DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)	1: 200	-	-	-	-
	1: 500	-	-	-	-
	1: 1000	-	-	-	-
	1: 2000	-	-	-	-
	1: 4000	-	-	-	-
1: 6000	-	-	-	-	
病毒阳性对照	/	26.36	26.36	24.85	24.85
自来水稀释对照	/	28.82	28.82	28.09	28.09
自来水阴性对照	/	-	-	-	-
试剂盒阴性对照		-	-	-	-
试剂盒阳性对照		21.31	21.31	24.21	24.21

注: “-” 代表阴性 (Ct 值 \geq 36 或无扩增曲线), “/” 代表未处理。

表 2 DCCNa 作用不同时间对病毒核酸降解作用

分组	PRV (Ct 值)				PEDV (Ct 值)			
	5 min	10 min	30 min	2 h	5 min	10 min	30 min	2 h
DCCNa 粉剂	-	-	-	-	-	-	-	-
DCCNa 泡腾片剂	-	-	-	-	-	-	-	-
DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)	-	-	-	-	-	-	-	-
病毒阳性对照	25.91	26.36	26.90	27.34	24.77	24.85	27.15	27.67
自来水稀释对照	28.78	28.82	29.93	30.89	28.42	28.90	31.05	31.25
自来水阴性对照	-	-	-	-	-	-	-	-
试剂盒阴性对照		-	-	-		-	-	-
试剂盒阳性对照		21.31	21.31	21.31		24.21	24.21	24.21

注: “-” 代表阴性 (Ct 值 \geq 36)。

表 3 不同温度下 DCCNa 作用不同时间对病毒核酸降解作用

环境温度	分组	PRV (Ct 值)		PEDV (Ct 值)	
		5 min	10 min	5 min	10 min
15°C	DCCNa 粉剂	-	-	-	-
	DCCNa 泡腾片剂	-	-	-	-
	DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)	-	-	-	-
	病毒阳性对照	25.91	25.95	24.85	24.72
	自来水稀释对照	29.38	29.19	31.49	31.48
4°C	DCCNa 粉剂	-	-	-	-
	DCCNa 泡腾片剂	-	-	-	-
	DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)	-	-	-	-
	病毒阳性对照	25.34	25.83	24.75	24.52
	自来水稀释对照	31.16	29.17	31.26	32.33
30°C	DCCNa 粉剂	-	-	-	-
	DCCNa 泡腾片剂	-	-	-	-
	DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)	-	-	-	-
	病毒阳性对照	26.54	26.30	25.31	25.50
	自来水稀释对照	30.78	30.72	31.28	32.13
	试剂盒阴性对照	-	-	-	-
	试剂盒阳性对照	21.31		25.36	

注: “-” 代表阴性 (Ct 值≥36)。

表 4 DCCNa 放置不同时间后对病毒核酸降解作用

剂型	放置时间	PRV (Ct 值)		PEDV (Ct 值)	
		5 min	10 min	5 min	10 min
DCCNa 粉剂	1 d	-	-	-	-
DCCNa 泡腾片剂		-	-	-	-
DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)		-	-	-	-
病毒阳性对照		25.91	26.36	24.77	24.85
自来水稀释对照		28.78	28.82	28.42	28.90
DCCNa 粉剂	2 d	-	-	-	-
DCCNa 泡腾片剂		-	-	-	-
DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)		-	-	-	-
病毒阳性对照		26.31	26.87	25.82	25.29
自来水稀释对照		29.13	29.08	30.01	30.55
DCCNa 粉剂	3 d	-	-	-	-
DCCNa 泡腾片剂		-	-	-	-
DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)		-	-	-	-
病毒阳性对照		26.93	27.02	26.47	26.18
自来水稀释对照		30.76	31.24	31.28	32.05
DCCNa 粉剂	4 d	-	-	-	-
DCCNa 泡腾片剂		-	-	-	-
DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)		-	-	-	-
病毒阳性对照		27.48	27.59	26.82	27.93
自来水稀释对照		33.58	33.94	35.61	36.07
DCCNa 粉剂	5 d	34.82	35.86	30.01	32.49
DCCNa 泡腾片剂		35.07	35.98	31.35	32.62
DCCNa 粉剂 (添加发泡剂)		36.18	36.89	30.62	31.22
病毒阳性对照		27.76	27.29	27.64	27.51
自来水稀释对照		34.32	34.59	38.91	38.23
试剂盒阴性对照		-	-	-	-
试剂盒阳性对照		21.72		24.47	

注: “-” 代表阴性 (Ct 值≥36)。

依据“有效氯在酸性条件下可氧化碘化钾并析出碘，以淀粉溶液为指示剂，使用硫代硫酸钠标准溶液滴定析出的碘（即硫代硫酸钠滴定法）”这一原理，对含氯消毒剂样品中的有效氯含量进行测定。计算公式如下：

$$\text{有效氯含量} = \frac{M \times V \times 0.03545}{W} \times 100\%$$

式中：

M——表示硫代硫酸钠标准滴定溶液的浓度（mol/L）；

V——表示滴定消耗的硫代硫酸钠溶液的体积（mL）；

W——表示碘量瓶中样液的体积（mL）。

以 DCCNa 粉剂为实验对象，自配置之日起连续 7 d 测定其有效氯保留率（相对标示量），结果如下：

DCCNa 在敞口放置前 4 d 内有效氯保留率保持在 95% 以上，第 5 d 起有效氯保留率（93.1%）显著下降，7 d 下降至 88.7%（表 5），有效氯保留率与时间呈现明显的负相关关系（ $R^2=0.98$ ）。

3.5 不同消毒剂产品对病毒核酸降解作用的能力比对

结果显示，DCCNa 和二氧化氯为优等消毒剂，在低浓度（1: 1000）下即可使病毒 Ct 值达到 ≥ 36 ；戊二醛癸甲溴铵溶剂和强力泡沫清洗溶剂效果相对较差（表 6）。

表 5 DCCNa 放置不同时间后的有效氯的保留率

检测项目	放置时间（d）						
	1	2	3	4	5	6	7
有效氯保留率	105.5%	100%	98.2%	95.3%	93.1%	90.4%	88.7%

表 6 不同消毒剂对病毒核酸降解效果比较

分组	稀释度	PRV（Ct 值）	PEDV（Ct 值）
DCCNa 粉剂	1: 500	-	-
	1: 1000	-	-
DCCNa 泡腾片剂	1: 500	-	-
	1: 1000	-	-
DCCNa 粉剂（添加发泡剂）	1: 500	-	-
	1: 1000	-	-
泡腾消毒片剂（ClO ₂ ）	1: 500	-	-
	1: 1000	-	-
过硫酸氢钾复合物粉剂 A	1: 100	32.22	30.88
	1: 200	29.70	29.21
过硫酸氢钾复合物粉剂 B	1: 100	35.70	35.76
	1: 200	34.94	34.89
强力泡沫清洗溶剂	1: 50	29.46	27.01
	1: 100	28.91	27.00
戊二醛癸甲溴铵溶剂	1: 500	29.90	28.44
	1: 1000	29.33	28.30
病毒阳性对照	/	26.39	26.50
自来水稀释对照	/	28.32	29.49
试剂盒阴性对照		-	-
试剂盒阳性对照		20.42	21.31

注：“-”代表阴性（Ct 值 ≥ 36 ），“/”代表未处理。

4 讨论

本研究选取 PRV 和 PEDV 作为模式病毒，旨在评估 DCCNa 对不同类型病毒核酸的广谱降解效果。

从病毒学分类与消毒剂抗性研究的角度，PRV 和 PEDV 具有高度的代表性。PRV 是 DNA 病毒，PEDV 是 RNA 病毒，两者均为有囊膜的病毒，通常比无囊

膜病毒对消毒剂更敏感^[12-14]，但它们的根本区别在于遗传物质类型不同。本研究中，在 1: 6000 稀释度下，DCCNa 对 PRV 的核酸降解效果略低于对 PEDV 的效果（PRV Ct 值 35.54 vs PEDV Ct 值 35.91），这可能与 PRV 的 DNA 基因组对氯制剂的敏感性差异有关，也可能与病毒囊膜结构对消毒剂渗透的影响有关。这一结果也印证了同时涵盖有囊膜和无囊膜病毒对于全面评价消毒剂效能的重要性。当然，本研究也存在一定的局限性。最为突出的是，所评估的病毒种类相对有限。本研究选取 PRV 和 PEDV 作为指示病毒，主要基于其在养猪业中的重要经济地位及作为 ASFV 替代病毒的安全性优势。但要更全面地论证 DCCNa 的广谱消毒效果，未来研究应进一步拓展测试病毒的种类，如其他无囊膜 DNA 病毒（如猪圆环病毒和猪细小病毒等），以及其他 RNA 病毒（如猪瘟病毒和猪繁殖与呼吸综合征病毒等）。以构建更为完善的消毒剂效能评估体系，从而为 DCCNa 在复杂现场环境下的应用提供更精确的指导^[15]。此外，本研究以 qPCR Ct 值作为评价消毒剂效果的指标，检测的是病毒核酸的完整性变化。需要明确的是，qPCR 方法检测的是病毒核酸的残留量，而非病毒的感染活性。消毒剂可能通过破坏病毒包膜、衣壳或核酸等多种机制发挥作用，而 qPCR 仅能反映核酸水平的降解或失活情况，不能完全等同于病毒的感染性灭活。因此，实际感染性的丧失需通过细胞培养法（如 TCID₅₀测定）进一步验证。

三种剂型 DCCNa 在显著低于产品指导浓度（1: 200 和 1: 500）的 1: 2000 和 1: 4000 稀释条件下，在实验环境中依然能够完全降解目标病毒核酸。这一结果并非说明标签有误，而是深刻地揭示了实验室理想条件与现实复杂应用场景之间存在巨大区别。消毒剂的最终效果是其化学效力与应用场景物理条件共同作用的结果^[16]。不同应用场景下的接触方式截然不同，这直接决定了所需浓度的差异，比如器械消毒，通常采用浸泡方式，这种方式确保了消毒剂与器械表面的全方位和持续接触，作用时间可以精确控制（如 10~30 min）。在这种“强制接触”模式下，即使浓度较低（如 1: 2000），只要能保证足够的作用时间，也能达到理想的降解病毒核酸的效果。而车辆与环境消毒，常规喷雾消毒存在液滴滞留时间短、容易流淌、覆盖不均等问题，此时，采

用发泡型制剂是一个关键创新^[17]。泡沫极大地延长了消毒剂在垂直或倾斜表面的挂壁时间，创造了持续湿润的微环境，从而将有效接触时间从几十秒延长至数分钟甚至更久^[18]，盲目使用高浓度不仅造成消毒剂浪费和成本增加，还可能带来设备腐蚀、环境污染、引发过敏及微生物耐药性等潜在风险。因此，根据应用场景进行浓度分级与流程优化至关重要^[19]。综上所述，消毒剂产品标签上的指导浓度是一个为确保广泛适用性而设定的、偏于保守的安全值。猪场需要精细区分应用场景，并充分利用如发泡延长作用时间等物理增效手段，从而实现科学减量使用，在保证效果的同时兼顾经济性与安全性。姚学军等^[20]的比对试验发现，强效消毒剂（如氢氧化钠和过氧乙酸）虽杀菌效果尚可，但对金属器具具有强腐蚀性，而且效力衰减较快；而二氯异氰尿酸钠则表现出高效、持久和低腐蚀的优良特性。这为本研究倡导的“根据应用场景进行浓度分级与流程优化”提供了重要佐证。达到可以在更低浓度下实现有效降解病毒核酸。这为制定更加科学、经济和可持续的消毒方案提供了重要依据，推动了消毒实践从“经验化”向“精准化”转变。

值得注意的是，表 1 和表 2 中自来水稀释对照组的 Ct 值（28.82~31.25）高于病毒阳性对照组（24.48~27.67），且随时间推移呈逐渐升高趋势。这一现象可能由以下因素导致：自来水中的余氯或其他成分对病毒核酸产生轻度降解作用；样品在 -80℃ 保存和反复冻融过程中发生的核酸降解；实验操作过程中的核酸损失。尽管对照组 Ct 值升高，但均远低于 36 的判定阈值，不影响实验结论的可靠性。后续研究中需增加更多重复实验以进一步提高数据的统计学可靠性。

与之前的研究相比，本研究不仅验证了 DCCNa 在常规条件下的消毒效能，还深入探讨了不同环境温度（4℃、15℃和 30℃）下 DCCNa 的稳定性，发现温度变化未对其灭活效果产生显著影响，表明 DCCNa 具有良好的环境适应性，这一点在先前研究中较少涉及^[21]。此外，本研究首次明确 DCCNa 溶液在敞口放置 4 d 内有效氯含量保持在 95%以上，核酸降解效果稳定，但从第 5 d 起有效氯含量与核酸降解能力显著下降（ $R^2=0.98$ ），这一结果为消毒液现配现用的实际操作提供了明确依据。

另外，相比其他常用消毒剂，DCCNa 在低浓度

下即可实现病毒核酸完全降解 (Ct 值 ≥ 36), 优于过硫酸氢钾及戊二醛癸甲溴铵溶液。二氧化氯与 DCCNa 的核酸降解效果虽然相当, 但其使用成本及稳定性仍逊于 DCCNa。

本研究所有试验均在实验室条件下完成, 未能完全模拟猪场复杂的现场环境, 而且对 DCCNa 的长期毒性及环境影响未做深入评估, 存在一定局限性。此外, 本研究以 qPCR Ct 值作为唯一评价指标, 仅能反映病毒核酸的降解情况, 不能完全证明病毒已丧失感染性。针对上述局限, 建议后续研究开展现场试验, 验证 DCCNa 在不同猪场环境下的实际消毒效果; 进行细胞培养实验 (TCID₅₀), 直接验证消毒后病毒的感染性丧失情况; 还需要进行毒理学和环境残留检测, 全面评估其应用安全性^[22]。

5 结论

综上所述, DCCNa 是一种高效、稳定和适应性强的消毒剂, 在 1: 1000 稀释条件下 5 min 内即可使 PRV 和 PEDV 的病毒核酸 Ct 值达到 ≥ 36 (判定为核酸未检出)。本研究为其在猪场中的科学使用提供了系统的实验依据, 对提升动物疫病防控能力具有重要的实践价值。但需强调, 本研究结论基于病毒核酸降解指标, 病毒是否完全丧失感染性尚需通过细胞培养法进一步验证。

参考文献

- [1] Martin A, Doyle N, and O'Mahony TF. Sodium dichloroisocyanurate: a promising candidate for the disinfection of resilient drain biofilm[J]. *Infection Prevention in Practice*, 7(1):100446.
- [2] Jang Y, Lee J, So B, *et al.* 2014. Evaluation of changes induced by temperature, contact time, and surface in the efficacies of disinfectants against avian influenza virus[J]. *Poultry Science*, 93(1):70-76.
- [3] Zou Q, Meng W, Wang C, *et al.* 2023. Sodium dichloroisocyanurate: improving broiler health by reducing harmful microbial levels in the waterline[J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 10:1234949.
- [4] 张志国. 规模化猪场消毒措施及注意事项[J]. *湖北畜牧兽医*, 2019, 40(12):37-38.
- [5] Gao W, Zhang M, and Zhu Z. 2025. The prevalence of pseudorabies virus in China from 2010 to 2024: a systematic review and meta-analysis. [J]. *BMC veterinary research*, 21(1):513.
- [6] Li J, Lu H, Hu G, *et al.* 2025. How does porcine epidemic diarrhea virus escape host innate immunity? [J]. *Pathogens*, 14(10):971
- [7] Ni Z, Chen L, Yun T, *et al.* 2023. Inactivation performance of pseudorabies virus as African swine fever virus surrogate by four commercialized disinfectants[J]. *Vaccines (Basel)*, 11(3):579
- [8] 杨汉春. 猪伪狂犬病的流行现状与特点[J]. *猪业科学*, 2016, 33(1):38.
- [9] 牛登云, 马利芳, 冯敬敬, 等. 以伪狂犬病毒为标识物的四种消毒剂的评估比较[J]. *中国动物传染病学报*, 2021, 29(6):74-81.
- [10] Sukmanadi M, Khairullah AR, Mustofa I, *et al.* 2025. African swine fever: A highly fatal disease that is spreading globally[J]. *Open Veterinary Journal*, 15(8):3399-3418.
- [11] 孙怀昌. 非洲猪瘟病毒研究进展[J]. *中国预防兽医学报*, 2006(01):117-120.
- [12] Narula P, Lokshman MK, Pathak SB, *et al.* 2024. Chemical inactivation of two non-enveloped viruses results in distinct thermal unfolding patterns and morphological alterations[J]. *BMC Microbiology*, 24(1): 413.
- [13] 张可玟, 胡泓, 陈刚. 微生物消毒剂抗性机理[J]. *生物化学与生物物理进展*, 2022, 49(1):34-47.
- [14] Lin Q Y, Lim J Y C, Xue K, *et al.* Sanitizing agents for virus inactivation and disinfection[J]. *View(Beijing)*, 2020, 1 (2) : e16.
- [15] 伍少钦, 肖有恩, 邓福昌, 等. 浅述生物安全体系建设对规模猪场的影响 ——以良圻原种猪场为例[J]. *畜牧与兽医*, 2021, 53(05):143-150.
- [16] Bombelli A, Araya-Cloutier C, Abee T, *et al.* 2024. Disinfectant efficacy of glabridin against dried and biofilm cells of *Listeria monocytogenes* and the impact of residual organic matter[J]. *Food Research International*, 191:114613.
- [17] 武文海, 曹红收, 王者勇. 畜禽养殖场常用消毒剂的合理

- 使用[J]. 山东畜牧兽医,2019,40(03):40-41.
- [18] Severa J, Cabal J, and Hartmanová M. 2025. Foams as disinfectant carriers[J]. *Epidemiologic Mikrobiologic Imunologie*, 54(4):161-165.
- [19] 周德刚,张晓东,高艳艳,等. 泡沫消毒剂在养殖场的临床应用研究[J]. *养禽与禽病防治*,2019(3):20-23.
- [20] 姚学军,薛勇,赵长光,等. 5 种常用消毒剂杀菌效力及腐蚀性的比对试验[J]. *中国兽医杂志*,2014,50(9):96-97.
- [21] 秦涛,皇甫丹丹,汪川韦,等. 低温环境对常用消毒剂灭活禽流感病毒的影响[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*,2021,42(1):19-23.
- [22] 柴真真,王静,聂珍贵. 化学消毒剂及其消毒效果评价的发展和应[J]. *质量与安全检验检测*,2023,33(3):81-84.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS