

超声联合过氧乙酸清洗对生姜品质的影响

张 龙^{1,2}, 赵鑫淇¹, 任梓菲¹, 马海乐¹, 周存山^{1*}

(1. 江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013; 2. 南京神农园食品产业有限公司, 南京 211219)

摘 要: 目的 考查浸泡、振荡、超声单独或协同方式及其联合过氧乙酸(peroxide acetic acid, PAA)清洗对生姜表面泥沙、微生物(霉菌和酵母菌)去除效果及对贮藏品质的影响。**方法** 对水清洗、0.04% PAA 溶液清洗、超声清洗及其组合的 12 种清洗方式对生姜表面泥沙、霉菌和酵母菌、电解质泄漏率、呼吸强度、失重率、总酚含量、总黄酮含量、抗氧化活性等的影响进行对比分析, 得出最佳的清洗方式。**结果** 与水振荡清洗相比, 0.04% PAA 显著提高了泥沙清洁率(5.31%降低至 4.50%), 且与超声清洗协同可显著增加清洁率(4.50%降低至 1.85%), 清洗前浸泡显著提高泥沙清洁率(约 0.7%)。0.04% PAA 清洗降低生姜表面微生物约 0.80 log CFU/g, 而联合超声后可降低 2.20 log CFU/g。超声促进了电解质泄漏, 超声处理时间越长, 电解质泄漏率越高。储藏期间清洗的生姜失重率显著增加, 超声清洗 30 min 后生姜储藏期间呼吸强度显著升高。与水振荡清洗相比, 0.04% PAA 溶液对生姜总多酚、总黄酮含量没有显著影响, 但超声波清洗 30 min 总酚含量显著下降, 抗氧化活性变化趋势与之一致。**结论** 使用 0.04% PAA 溶液, 先浸泡, 然后超声 10 min 和振荡 10 min (超声和振荡处理无顺序之分)的联合清洗是生姜最佳的清洗方式。

关键词: 生姜; 超声清洗; 过氧乙酸; 泥沙; 微生物; 储藏品质

Effects of ultrasonic combined with peroxide acetic acid washing on the quality of ginger

ZHANG Long^{1,2}, ZHAO Xin-Qi¹, REN Zi-Fei¹, MA Hai-Le¹, ZHOU Cun-Shan^{1*}

(1. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 2. Nanjing Shennongyuan Food Industry Co., Ltd., Nanjing 211219, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of soaking, oscillation, ultrasonic cleaning alone or in combination with peracetic acid (PAA) on the removal of earth and microbial (mold and yeast) from ginger surface and storage quality of ginger. **Methods** The best cleaning method was obtained by comparing and analyzing the effects of 12 kinds of washing methods including water washing, 0.04% PAA solution washing, ultrasonic washing and their combinations on the surface earth, mold and yeast, electrolyte leakage rate, respiratory intensity, weight loss rate, total phenol content, total flavonoid content and antioxidant capacity of ginger. **Results** The 0.04% PAA significantly increased the earth washing rate (ash content decreased from 5.31% to 4.50%) compared with pure water oscillation washing, and significantly decreased the ash content in coordination with ultrasonic washing (ash content decreased from 4.50% to 1.85%), soaking before washing significantly increased the earth washing rate (about 0.7%).

基金项目: 安徽省科技重大专项(18030701152)、国家重点研发计划项目(2017YFD0400903)

Fund: Supported by the Major Science and Technology Project of Anhui Province (18030701152), and the National Key Research and Development Program of China (2017YFD0400903)

***通信作者:** 周存山, 教授, 主要研究方向为食品物理加工。E-mail: cunshanzhou@163.com

***Corresponding author:** ZHOU Cun-Shan, Professor, School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, 301 Xuefu Road, Zhenjiang, China. E-mail: cunshanzhou@163.com

0.04% PAA solution washing reduced the microorganisms on ginger surface by 0.80 log CFU/g, while combined ultrasonic reduced the microorganisms by 2.20 log CFU/g. Ultrasonic treatment promoted electrolyte leakage, and the longer the ultrasonic treatment time, the higher the electrolyte leakage rate. The weight loss rate of ginger washed during storage was significantly increased. After ultrasonic washing for 30 min, the respiratory intensity increased significantly during ginger storage. Compared with water oscillation washing, 0.04% PAA solution had no significant effect on the content of total polyphenols and flavonoids in ginger, but the content of total phenols decreased significantly after ultrasonic washing for 30 min, and the trend of antioxidant activity was consistent with that. **Conclusion** Using 0.04% PAA solution, soaking (10 min) first, then ultrasonic treatment (10 min) and shaking treatment (10 min) is the best way to wash ginger. There is no sequence between ultrasonic treatment and shaking treatment.

KEY WORDS: ginger; ultrasonic washing; peroxide acetic acid; earth; microorganism; storage quality

0 引 言

生姜是一种常用的食品香辛料,其采收时附着的泥沙难以去除,尤其是窝眼和缝隙处的泥沙。毛滚刷清洗机水洗的传统方式易造成表皮擦伤,且窝眼和缝隙处的泥沙仍难以完全去除,泥沙中含有微生物,不仅影响其商品品质,也易引发贮藏期间霉变、腐烂^[1]。生姜贮藏温度在 12~15 °C 较为适宜,贮藏期间霉变腐败主要由镰刀菌属及被孢霉属病原菌引起,尤其在表皮擦伤的部位和缝隙处易生长霉菌^[2-3]。因此探究既能去除泥沙和有害微生物又能减少表皮破损的生姜柔性清洗技术具有重要的意义。

工业生产中,农产品的清洗常添加化学消毒剂过氧乙酸(peroxide acetic acid, PAA)^[4]、臭氧^[5]、次氯酸钠^[6]等,以同时达到去除泥沙和杀灭微生物的目的。臭氧清洗需配备相应的发生装置,存在一定应用局限性。次氯酸钠是一种有效的杀菌剂,但是易残留且易与蔬菜成分反应产生有毒副产物三氯甲烷。PAA 是一种强氧化剂,分解后产生过氧化氢和乙酸,含量不超过 80 mg/L 的条件下会被环境降解,也因此被允许当作间接的食品添加剂使用^[7]。PAA 可通过产生活性氧来有效灭活各种病原体,可破坏其 DNA 和脂质结构,从而破坏微生物的细胞膜并且造成其酶和运输系统的阻滞^[8]。超声波(ultrasound, US)清洗已广泛应用于果蔬等食品的表面净化,超声辅助化学消毒剂对微生物在果蔬表面形成的生物膜具有显著的强化作用^[9-11]。超声波引发的空化效应能够形成射流同时强化传质作用,更有利于去除窝眼和缝隙处泥沙,也促使消毒剂进入微生物的生物膜内部,从而从去泥沙、杀菌两个方面提升清洗效率,且对果蔬表面无显著损伤^[7]。生姜的超声清洗是一种绿色高效的物理加工技术,但超声与 PAA 的联合清洗生姜研究尚未见报道。因此本研究探究 PAA 联合超声清洗技术对表面泥沙和微生物的去除效率及其对贮藏品质的影响,以期生姜超声清洗研究和潜在的产业化应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜生姜购于当地东风农贸市场(江苏省镇江市),挑

选形状结构较为相似、表面泥土分布均匀且无机械损伤、无虫害的生姜作为试验材料,试验前将其置于(4±1) °C 的冰箱中保存,并且在 24 h 之内完成清洗实验。

氢氧化钠(NaOH)、浓硫酸、无水乙醇、过硫酸钾、氯化铝、亚硝酸钠(NaNO₂)、硝酸铝[Al(NO₃)₃]、福林酚(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);1,1-二苯基-2-苦基肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS]、芦丁标准品(纯度 99.9%)[阿拉丁试剂(上海)有限公司];过氧乙酸(A、B 液)(陕西三桥精细化工有限公司)。

1.2 仪器与设备

KQ-300DE 数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);CR-400 手持式色差仪(德国 Associates Laboratory 公司);HR1500-A2 生物安全柜(青岛海尔特种电器有限公司);HYL-C2 组合式摇床(太仓市强乐试验设备有限公司);DL-5C 离心机(上海安亭科学仪器厂)。

1.3 试验方法

1.3.1 过氧乙酸溶液的制备

取过氧乙酸 A 剂和 B 剂以 2:1 混合在一起,静置 24 h 后得到 PAA 试剂备用。

1.3.2 清洗方式

选取大小均匀的生姜称重后置于烧杯中,按照料液比 1:10 (g/mL)加入去离子水或 PAA 溶液,按照表 1 清洗方式进行分组和样品处理。

1.3.3 储藏条件

将清洗后的生姜样品放入恒温恒湿储藏箱中,在温度为(14±1) °C、湿度为(25±1)%的条件下储藏,分别在储藏 0、10 和 21 d 测定其霉菌和酵母菌、电解质泄漏、呼吸强度、失重率、总多酚、总黄酮等品质参数变化。

1.3.4 清洁率

通过测定样品的灰分比评定生姜样品的清洁率,灰分越大说明泥沙含量越大,也即清洁率越低。按照公式(1)计算灰分^[12]:

$$\text{灰分}/\% = W_{\text{ash}}/W_{\text{sample}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, W_{ash} 表示最后得到灰分的质量, mg; W_{sample} 表示样品的初始质量, mg。

表 1 生姜清洗试验
Table 1 Washing test of ginger

清洗方式分组	浸泡处理 /min	超声时间 /min	振荡时间 /min
水振荡*	/	/	30
AA 振荡*	/	/	30
水超声 [#]	/	30	/
PAA 超声 [#]	/	30	/
水浸泡+振荡*	10	/	20
PAA 浸泡+振荡*	10	/	20
水浸泡+超声 [#]	10	20	/
PAA 浸泡+超声 [#]	10	20	/
水浸泡+振荡*+超声 [#]	10	10	10
PAA 浸泡+振荡*+超声 [#]	10	10	10
水浸泡+超声 [#] +振荡*	10	10	10
PAA 浸泡+超声 [#] +振荡*	10	10	10

注: /表示无此项; PAA 质量浓度为 0.04%; *振荡摇床转速 180 r/min;
[#]超声清洗机频率设置为 40 kHz, 超声功率密度 60 W/L。

1.3.5 微生物检测

将样品称重后, 加入料液比 1:50 (g/mL)的无菌生理盐水中, 振荡 5 min 后取出样品, 测定微生物(霉菌和酵母菌)含量^[2,6]。

1.3.6 电解质泄漏率测定

植物细胞衰老影响膜通透性, 可通过电解质泄漏率表征。精确称量 5.0 g 样品, 加入 100 mL 去离子水, 随后在 25 °C以 180 r/min 振荡。在一定时间内取出样品, 用电导率仪探针深入溶液中进行测定, 电解质泄漏率 (electrolyte leakage, EL)按照公式(2)计算^[13]:

$$EL/\% = \frac{C_{60} - C_1}{T_c} \times 100\% \quad (2)$$

式中: C_1 表示样品振荡 1 min 时的电导率, $\mu\text{S}/\text{cm}$; C_{60} 表示 60 min 后样品的电导率, $\mu\text{S}/\text{cm}$; T_c 表示样品在 121 °C高压灭菌 25 min 后冷却之后的总电导率, $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

1.3.7 失重率

经过处理后的生姜样品在储藏期间进行称重, 按照公式(3)计算质量损失百分比^[14]:

$$W_L/\% = (W_0 - W_t)/W_0 \times 100\% \quad (3)$$

式中: W_L 为质量损失百分比; W_0 为样品的初始质量, g; W_t 是样品储藏期间的质量, g。

1.3.8 呼吸强度的测定

将样品放入装有 250 mL 0.4 mol/L 的 NaOH 溶液的烧杯中, 在密封的干燥器中放 30 min 后加入两滴酚酞, 用 2 mol/L 草酸滴定残留的 NaOH, 呼吸强度(respiration intensity, RI)根据草酸消耗量计算^[15-16], 见公式(4):

$$RI = \frac{\Delta V \times C \times 44}{W \times t} \quad (4)$$

式中: ΔV 表示草酸消耗量, L; C 表示草酸浓度, mol/L; W 表示样品重量, g; t 表示实验时间, min。

1.3.9 生姜提取物的制备

将储藏到特定天数的生姜切块, 准确称量 10.0 g 样品置于磨浆机中, 加入 100 mL 无水乙醇研磨成浆, 在超声功率密度 60 W/L 频率 40 kHz 下控温(25 °C)处理 30 min, 将混合物进行离心并过滤, 收集滤液并将其储存在-20 °C以下, 供总酚、总黄酮含量以及抗氧化活性检测^[17]。

1.3.10 总酚含量的测定

通过 Folin-Ciocalteu 比色法^[18]测定样品中总酚的含量。准确量取提取液 0.4 mL, 加入 2.0 mL 稀释 10 倍的 Folin 酚试剂, 混合均匀, 加入 3.0 mL 质量分数为 10%的 Na_2CO_3 溶液。混合均匀后在常温下避光反应 2 h。以乙醇作为空白对照, 于 765 nm 的波长处测定其吸光值。总酚含量以相当没食子酸毫克数表示(GAE, mg/g d.w.)。

1.3.11 总黄酮含量的测定

取 2.0 mL 提取液转至 10 mL 容量瓶, 加入 5%的 NaNO_2 溶液 0.3 mL, 摇匀后在常温下反应 6 min, 加入 10%的 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液 0.3 mL, 继续反应 6 min, 加入 2.0 mL 的 4% NaOH 溶液, 常温下继续反应 15 min 后加去离子水定容至 10 mL。以无水乙醇作对照, 测定其在 510 nm 处的吸光值。样品中的总黄酮含量以毫克芦丁当量表示(mg/g d.w.)^[18]。

1.3.12 抗氧化活性的研究

(1) DPPH 自由基清除能力测定

用无水乙醇将 1.3.9 中的生姜提取物按体积稀释 1 倍, 取 0.4 mL 加入 3.6 mL 0.14 mmol/L 的 DPPH 溶液, 混匀后在室温下避光反应 30 min, 测定其在 510 nm 处的吸光值 A_1 。以无水乙醇作空白, 以加入 0.4 mL 乙醇的 DPPH 作对照, 相同条件下反应 30 min 后测定其在 510 nm 处的吸光值为 A_0 。样品的 DPPH 自由基清除率公式(5)如下^[19]:

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100\% \quad (5)$$

(2) ABTS 自由基清除能力测定

将 100 mL 7 mmol ABTS 与 5 mL 2.45 mmol 的过硫酸钾混合, 在室温下避光反应 12~16 h 后作为储藏液备用。在测定前用 20 mmol/L, pH 4.5 的醋酸缓冲液按照 1: 37 稀释 ABTS 储藏液, 使得溶液在 734 nm 处的吸光度为 0.7 ± 0.002 , 得到 ABTS 工作液。取 3.6 mL 的工作液与 0.4 mL 提取液混合, 于暗处反应 1 h 后在 734 nm 下测定其吸光度 B_1 。以无水乙醇作空白, 以加入 0.4 mL 乙醇的 ABTS 阳离子自由基作对照, 相同条件下反应 1 h 后测定其在 734 nm 处的吸光值为 B_0 。样品的 ABTS 阳离子自由基清除率公式(6)如下^[20]:

$$\text{ABTS 阳离子自由基清除率}/\% = \frac{(B_0 - B_1)}{B_0} \times 100\% \quad (6)$$

1.3.13 数据统计分析

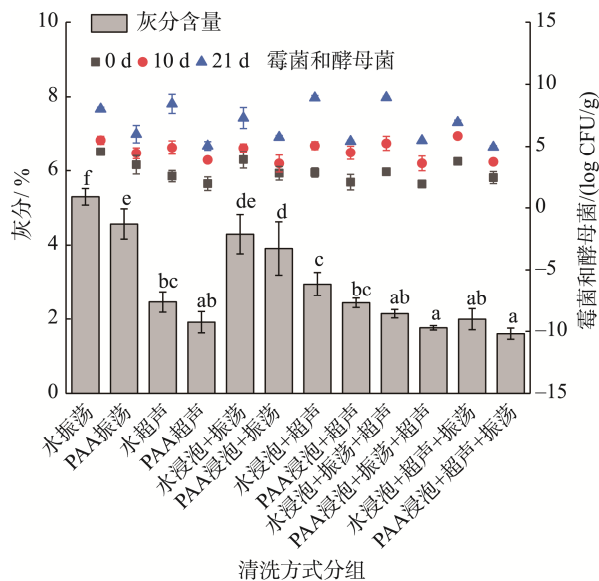
数据采用 Excel 2010 和 Origin 2017 软件进行数据处理和统计分析, 使用 SPSS 20.0 软件进行方差统计分析。每个样品重复测定 3 次, 结果表示为平均值 $\pm$ 标准偏差。数据之间的显著差异通过 Tukey 检验分析在 95%置信水平下确定($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 清洁率

各组清洁率结果如图 1 所示, 无论是哪种清洗方式的清洁率均显著高于水振荡清洗组($P<0.05$), PAA 溶液振荡清洗时, 提高灰分从水振荡清洗的 5.31%降低至 4.50%, 但水或 PAA 浸泡 10 min 后, 再分别联合振荡的清洗方式在泥沙清洁率上并无显著差异($P>0.05$), 但均显著提高了泥沙清洁率(约 0.7%), 说明 PAA 溶液对泥沙有一定分散效果且清洗前的浸泡是有必要的。PAA 超声用于生姜清洗时, 与 PAA 振荡相比, 清洁率显著($P<0.05$)提升(灰分从 4.50%降低至 1.85%), 说明超声和 PAA 溶液对于清洁率的提升起到重要的协同作用^[9], 且此时水超声处理组和 PAA 超声处理组的清洁率无显著差异($P>0.05$)。

PAA 浸泡+超声+振荡的联合清洗方式的清洁率与水浸泡+超声+振荡、PAA 超声清洗均无显著差异($P>0.05$), 但显著高于水超声、水浸泡+超声和 PAA 浸泡+超声清洗组($P<0.05$), 说明清洗中浸泡和振荡都是有必要的, 可保证清洁率的同时, 能有效降低超声时间。联合清洗方式有利于泥沙清洁率提升, 浸泡有利于分散软化泥沙, 振荡和超声空化作用促进了泥沙的剥离^[21], 但先振荡再超声还是先超声再振荡对泥沙清洁率无显著影响。



注: 不同小写字母表示各组之间差异显著, $P<0.05$, 下同。

图 1 不同清洗处理后生姜的灰分以及储藏期间的霉菌和酵母菌菌落数变化($n=3$)

Fig.1 Ash content of ginger after different washing treatments and the changes in the number of mold and yeast colonies during storage ($n=3$)

2.2 霉菌和酵母菌变化

如图 1 所示, 与水振荡清洗方式相比, PAA 处理后样品的生姜霉菌和酵母菌减少了 0.78~1.32 log CFU/g, 这与 PAA 作为洗涤剂能够较大幅度地杀灭物料表面及洗涤液中的微生

物有关^[22]。相关文献表明, 在加入洗涤剂如 PAA 后, 由于溶液的 pH 发生改变, 溶液中的部分质子和离子发生氧化反应, 对细菌造成氧化损伤, 进而使其失活^[23]。本研究显示, PAA 振荡清洗降低生姜表面微生物约 0.80 log CFU/g, 而超声与 PAA 协同处理后酵母菌减少了 2.20 log CFU/g, 有着最高的微生物灭活效果。超声作用时间越长, 微生物数量越少。这是因为超声波的空化效应产生的自由基作用于微生物细胞的 DNA, 造成 DNA 链断裂, 进而达到微生物的去除和灭活功效^[10]。

在储藏期间(10、21 d), 可能是由于样品的损伤、氧气浓度的变化或者样品表面存在着利于微生物生长的营养物质^[15], 微生物含量均明显增加。与 PAA 溶液清洗相比, 用去离子水清洗样品不会减少微生物的增加, PAA 溶液处理后的样品获得较高的微生物灭活功效, 这一结果也说明了本研究中 PAA 的适用性。尤其是 PAA 协同超声清洗, 有着更低的微生物量, 这是因为超声空化和传质作用促进 PAA 能够进入到微生物的细胞内部, 使抗菌性增强^[24]。

2.3 电解质泄漏率

电解质泄漏率反映了细胞膜的损伤程度^[17]。由图 2 可知, 未经过超声处理样品 EL 值显著低于超声处理样品($P<0.05$), 使用超声作用的时间越长, EL 值越高, 因为超声波的空化作用会造成细胞壁塌陷和果胶的分解, 因此导致了组织结构的损坏, 进而导致了离子迁移率的增加^[16]。

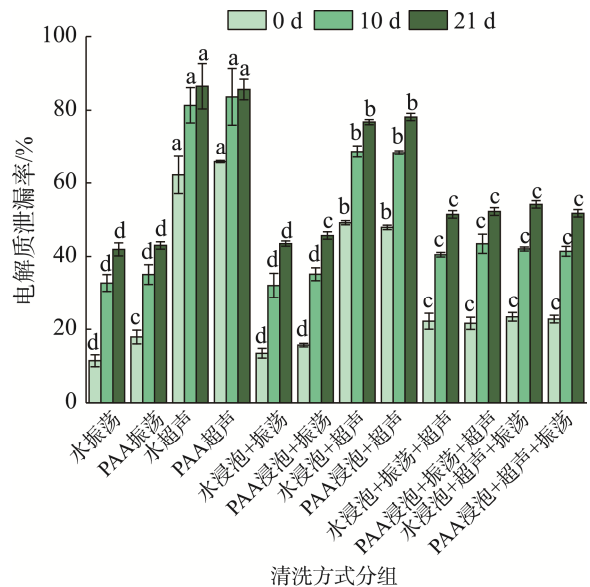


图 2 不同清洗处理后生姜储藏期间的电解质泄漏率($n=3$)
Fig.2 Electrolyte leakage rates of ginger during storage after different washing treatments ($n=3$)

在储藏期间, 所有处理后样品的电解质泄漏率均有所增加。在储藏的初始阶段(10 d), EL 急剧增加, 尤其是超声作用后的样品, 增加幅度显著高于未使用超声的样品。在储藏后期(21 d), 未经超声处理的样品依旧呈现出较高

的增加速率,这说明储藏期间细胞膜强度持续降低,这与 WU 等^[25]的研究一致。而经过超声处理的样品增加缓慢,表现出低于未经超声处理样品的增量,这意味着组织损伤的减缓,进而有可能促进保质期的延长。

2.4 失重率

生姜储存期间的质量损失反映了不良的生理变化。储藏 10、21 d 的生姜失重率结果见图 3, 处理后生姜样品的质量损失增加,第 10 d 超声清洗、PAA 超声清洗、水浸泡振荡清洗、PAA 浸泡振荡清洗的失重率显著增加,而至第 21 d,4 组失重率缓慢增加,PAA 超声作用 30 min 后的样品失重率最高。超声作用能够保护样品中水分子之间的氢键键合能力,能够减少样品在储藏期间的失重率^[26],但长时间超声对细胞产生一定破坏作用,使水分损失增加,故而 10 min 的超声处理失重率相对较低。

2.5 呼吸强度

呼吸强度反映了样品的衰老程度,呼吸作用越强,衰老越严重,会缩短储藏期^[27]。呼吸强度结果如图 3 所示。结果表明,超声作用 30 min 后样品的呼吸强度在储藏初期显著升高,储藏后期升高缓慢,这可能是由于超声作用时间过长,对样品的组织结构造成了一定的破坏,因此在初期出现了较高的呼吸强度。超声作用 20 min 后样品的呼吸强度次之,而超声辅助 PAA 作用 10 min 后样品的呼吸强度相对较低,抑制呼吸作用的效果最好,这可能是由于超声作用时间较短,未能严重破坏组织结构,同时与 PAA 协同降低了多种酶的活性。呼吸作用是酶促反应的综合体现^[27]。

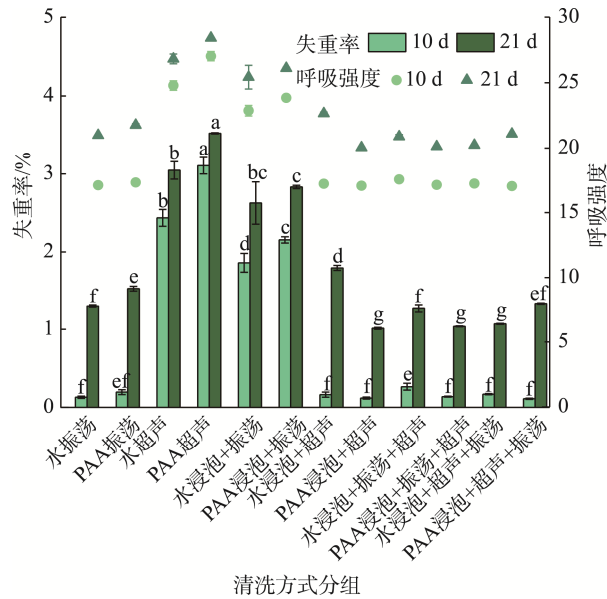


图 3 不同清洗处理后生姜储藏期间的质量损失和呼吸强度(n=3)
Fig.3 Weight lose and RI of ginger during storage after different washing treatments (n=3)

2.6 总酚、总黄酮含量

清洗处理后生姜储藏期间的总酚和总黄酮含量见图 4。与水振荡清洗相比,PAA 振荡清洗对生姜中的总酚和总黄酮含量没有显著影响($P>0.05$),但 PAA 超声清洗 30 min 后,样品的酚类物质显著下降($P<0.05$),有研究显示,超声波处理产生的羟基自由基等活性氧能够降解酚类等物质,从而降低新鲜农产品的抗氧化活性^[10]。在储藏前期,生姜中的总酚、总黄酮含量快速增加,这可能是由于超声作用促进了生物活性成分的提取^[28]。与水超声清洗 30 min 相比,超声作用 10 和 20 min 后样品的总酚、总黄酮含量均有所增加,但是二者之间无显著性差异($P<0.05$),且在储藏过程中,所有处理后的样品均表现出先快速增长后缓慢增加的趋势。

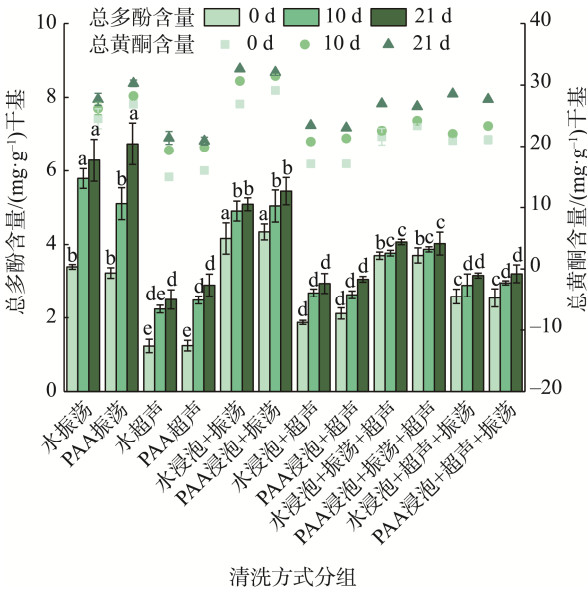


图 4 不同清洗处理后生姜储藏期间的总酚和总黄酮含量(n=3)
Fig.4 TPC and TFC content of ginger during storage after different washing treatments (n=3)

2.7 抗氧化活性分析

抗氧化活性物质通过阻碍氧化反应的发生,能够抑制或延缓生物分子的氧化,在抗腐败方面起着重要的作用^[29-30]。DPPH 自由基、ABTS 自由基的清除率变化如图 5 所示。结果表明,与总酚、总黄酮含量变化趋势相似,超声波清洗 30 min 后样品的抗氧化活性显著降低($P<0.05$)。在贮藏过程中所有样品的抗氧化性均随贮藏时间的延长而增加,这可能是由于细胞壁的破坏促进了细胞膜通透性,同时生物应激反应导致了多酚氧化酶活性增加^[30]。超声作用 10 和 20 min 后样品之间的抗氧化活性无显著性差异($P>0.05$),二者均显著高于超声处理 30 min 的样品,与前文总酚和总黄酮变化趋势一致。因此 10、20 min 超声清洗较为合适。

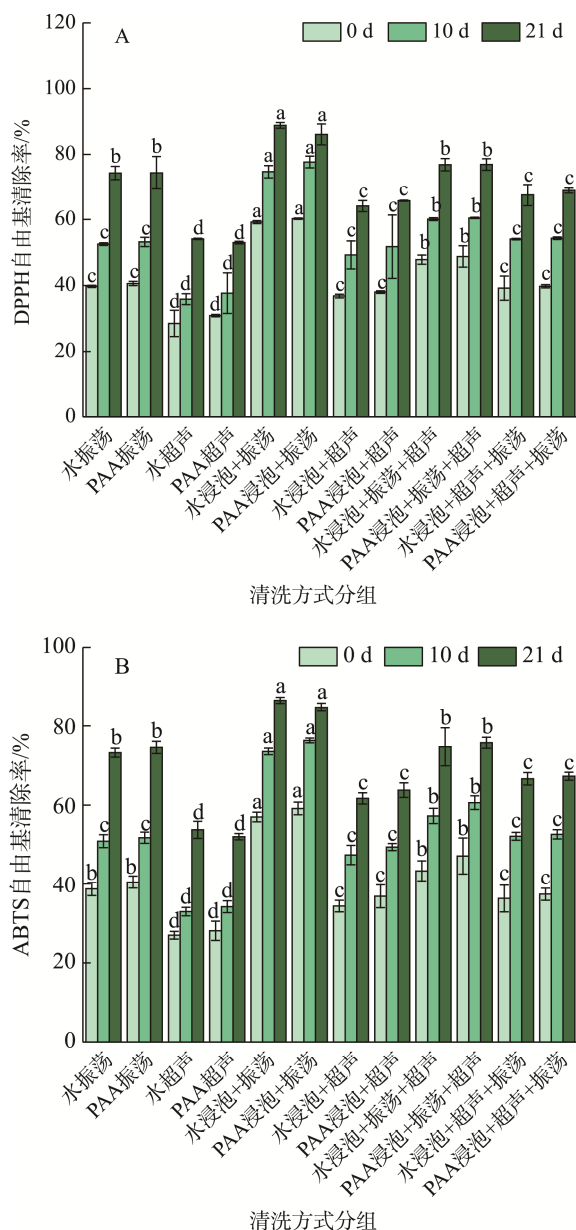


图 5 不同清洗处理后生姜储藏期间对 DPPH (A) 和 ABTS (B) 自由基的清除率 (n=3)

Fig.5 DPPH (A) and ABTS (B) free radicals scavenging abilities of ginger during storage after different washing treatments (n=3)

3 结 论

本研究通过考察不同清洗组合方式对生姜清洁率及储藏过程中霉菌和酵母菌、电解质泄漏、呼吸强度、失重率、总多酚、总黄酮等品质参数的影响,发现清洗前的浸泡有助于样品中泥沙的分散和去除。与水洗相比, PAA 表现出更好的微生物灭活效果,同时作为清洗液有助于泥沙的分散。超声清洗相比于振荡清洗有更好的泥沙清洁率和表面微生物去除率,主要是超声的空化作用形成的机械振

动、湍流将缝隙中的泥沙和微生物洗脱,而超声联合 PAA 清洗方式有着较好的泥沙清洁率以及微生物灭活率。

PAA 清洗影响生姜储藏期间的呼吸强度,而其他活性成分及电解质泄漏率等指标主要受超声作用的影响。添加 PAA 后,浸泡、超声、振荡的联合清洗方式与较长时间超声清洗相比,去泥沙效果无显著差异但储藏品质得到提升。本研究条件下,使用 PAA 溶液先浸泡然后超声和振荡(无先后顺序之分)是生姜清洗最佳方式,为形状特殊且窝眼、缝隙处泥沙较多的块茎类蔬菜清洗提供了参考。

参考文献

- [1] 朱丹实, 刘仁斌, 杜伟, 等. 生姜成分差异及采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 375-380.
- [2] 刘继, 严静, 何靖柳, 等. 生姜贮藏期病原菌分离鉴定及精油抑菌效果[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 172-177.
- [3] SAKAMURA F. Changes in volatile constituents of *Zingiber officinale* Rhizomes during storage and cultivation [J]. Phytochemistry, 1987, 26(8): 2207-2212.
- [4] DUNKIN N, COULTER C, WENG S, et al. Effects of pH variability on peracetic acid reduction of human norovirus GI, GII RNA, and infectivity plus RNA reduction of selected surrogates [J]. Food Environ Virol, 2019, 11(1): 76-89.
- [5] MUSTAPHA AT, ZHOU CS, AMANOR R, et al. Kinetic modeling of inactivation of natural microbiota and *Escherichia coli* on cherry tomato treated with fixed multi-frequency sonication [J]. Ultrasonics Sonochem, 2020, 64: 105035.
- [6] AIENYOREGE EA, MA H, AYIM I, et al. Reduction of *Listeria innocua* in fresh-cut Chinese cabbage by a combined washing treatment of sweeping frequency ultrasound and sodium hypochlorite [J]. LWT-Food Sci Technol, 2019, 101: 410-418.
- [7] LIPPMAN B, YAO S, HUANG R, et al. Evaluation of the combined treatment of ultraviolet light and peracetic acid as an alternative to chlorine washing for lettuce decontamination [J]. Int J Food Microbiol, 2020, 323: 108590.
- [8] BANACH JL, SAMPERS I, VAN HS, et al. Effect of disinfectants on preventing the cross-contamination of pathogens in fresh produce washing water [J]. Int J Environ Res Public Health, 2015, 12(8): 8658-8677.
- [9] SHU Q, LOU HH, WEI TY, et al. Synergistic antibacterial and antibiofilm effects of ultrasound and MEL-A against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. Ultrasonics Sonochem, 2021, 72: 105452.
- [10] SAO JJ, ANDRADE N, RAMOS A, et al. Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables [J]. Food Control, 2014, 45: 36-50.
- [11] BARBA FJ, KOUBAA M, PRADO L, et al. Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review [J]. Trends Food Sci Technol, 2017, 66: 20-35.
- [12] ZHAO Y, HOU B, TANG Z, et al. Application of ultrasounds to enhance the efficiency of cleaning *Thelephora ganbajun* [J]. Ultrasonics Sonochem, 2009, 16 (2): 209-211.

- [13] HUANG G, CHEN S, DAI C, *et al.* Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity [J]. *Ultrasounds Sonochem*, 2017, 37: 144–149.
- [14] TEMIZKAN R, ATAN M, BURAK M, *et al.* Efficacy evaluation of ultrasound treatment on the postharvest storability of white nectarine by both physicochemical and image processing analyses [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2019, 154: 41–51.
- [15] JIANG T, FENG L, LI J. Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan-glucose complex coating under cold storage [J]. *Food Chem*, 2012, 131(3): 780–786.
- [16] SZADZINSKA J, KOWALSKI SJ, STASIAK M. Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency [J]. *Int J Heat Mass Trans*, 2016, 103: 1065–1074.
- [17] 张墨池. 酶辅助法提取生姜中姜辣素和生姜综合利用技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2020.
- ZHANG MC. Production of gingerol by enzyme assisted ethanol extraction and comprehensive use of ginger [D]. Jinan: Shangdong Univerisity, 2020.
- [18] ZHANG L, YU XJ, MUJUMDAR AS, *et al.* Effect of freeze-thaw pretreatment combined with variable temperature on infrared and convection drying of lotus root [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2022, 154: 112804.
- [19] ALI AM, ELNOUR ME, YAGI S. Total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) rhizome, callus and callus treated with some elicitors [J]. *J Genetic Eng Biotechnol*, 2018, 16(2): 677–682.
- [20] RE R, PELLEGRINI N, PROTEGGENTE A, *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay [J]. *Free Radical Biol Med*, 1999, 26: 1231–1237.
- [21] JIANG Q, ZHANG M, XU B. Application of ultrasound technology in postharvested fruits and vegetables storage: A review [J]. *Ultrasounds Sonochem*, 2020, 69: 105261.
- [22] GE C, BOHREROVA Z, LEE J. Inactivation of internalized *Salmonella typhimurium* in lettuce and green onion using ultraviolet C irradiation and chemical sanitizers [J]. *J Appl Microbiol*, 2013, 114: 1415–1424.
- [23] HUANG R, VRIES D, CHEN H. Strategies to enhance fresh produce decontamination using combined treatments of ultraviolet, washing and disinfectants [J]. *Int J Food Microbiol*, 2018, 283(20): 37–44.
- [24] DUARTE AL, DO ROSÁRIO DK, OLIVEIRA SB, *et al.* Ultrasound improves antimicrobial effect of sodium dichloroisocyanurate to reduce *Salmonella typhimurium* on purple cabbage [J]. *Int J Food Microbiol*, 2018, 269: 12–18.
- [25] WU W, GAO H, CHEN H, *et al.* Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasound treatments on shelf-life and nutritional quality of bokchoy (*Brassica chinensis*) [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2019, 101: 957–1763.
- [26] WANG J, FAN L, WANG J, *et al.* Effect of ultrasound treatment on microbial inhibition and quality maintenance of green asparagus during cold storage [J]. *Ultrasounds Sonochem*, 2019, 58: 104631.
- [27] 王清, 杨娜, 郭李维, 等. 1-甲基环丙烯处理对胡萝卜储藏期间品质的影响[J]. *食品科学*, 2011, (S1): 6–10.
- WANG Q, YANG N, GUO LW, *et al.* Effects of 1-methylcyclopropene on quality of carrot during storage [J]. *Food Sci*, 2011, (S1): 6–10.
- [28] GOLMOHAMADI A, MÖLLER G, POWERS J, *et al.* Effect of ultrasound frequency on antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin content of red raspberry puree [J]. *Ultrasounds Sonochem*, 2013, 20(5): 1316–1323.
- [29] ZHANG L, YU XJ, YAGOUR AE, *et al.* Effects of low frequency multi-mode ultrasound and it's washing solution's interface properties on freshly cut cauliflower [J]. *Food Chem*, 2022, 366: 130683.
- [30] WANG W, MA X, MINGMING Z, *et al.* Effects of ultrasound on spoilage microorganisms, quality, and antioxidant capacity of postharvest cherry tomatoes [J]. *J Food Sci*, 2015, 80(10): 2117–2126.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

作者简介

张 龙, 博士研究生, 主要研究方向
为物理加工技术, 果蔬保鲜与加工。
E-mail: foodfriend@126.com

周存山, 教授, 主要研究方向为食品
物理加工。
E-mail: cunshanzhou@163.com