

电解水技术在采后果蔬保鲜中的应用研究进展

谢慧琳^{1,2},唐金艳^{1,2},林育钊^{1,2},林河通^{1,2},陈艺晖^{1,2}

(1. 福建农林大学 食品科学学院,福建 福州 350002;

2. 亚热带特色农产品采后生物学福建省高校重点实验室,福建 福州 350002)

摘要:电解水已被证明是消灭微生物的有效杀菌剂,且不会对环境和人体造成危害。对电解水的制备原理和理化特性、电解水技术的优势,以及电解水技术在采后果蔬保鲜中的应用进行综述,并展望了电解水技术的研究趋势与方向。

关键词:电解水技术;果蔬;抑菌;保鲜

中图分类号:TS255.3;S667.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5322(2020)01-0061-06

我国是水果、蔬菜的生产大国,随着人们生活水平的不断提高,果蔬消费占比日益增大,采后果蔬保鲜显得尤为重要。然而,采后果蔬保鲜与果蔬采后生理代谢、采后处理方式、贮运条件等因素有关,尤其是保鲜剂的选择和使用浓度对采后果蔬保鲜效果及安全性问题影响较大。目前市场上使用的保鲜剂存在着成本高、化学残留、杀菌效果有限等缺点^[1-3]。因此,开发广谱、高效、安全、无残留的保鲜技术成为目前果蔬采后保鲜亟待解决的问题。

电解水(Electrolyzed oxidizing water, EOW)又称电生功能水、氧化还原电位水,是在一种特殊的装置中采用低压直流电电解一定浓度的稀盐或稀酸溶液,使溶液的pH值、氧化还原电位(Oxidation reduction potential, ORP)、有效氯浓度(Available chlorine concentration, ACC)等指标发生变化而产生的具有特殊理化性质的水溶液^[4-7]。根据pH值的不同,可将EOW分为酸性电解水(Acidic electrolyzed water, AEW)、微酸性电解水(Slightly acidic electrolyzed water, SAEW)和碱性电解水(Alkaline electrolyzed water, AIEW)^[6]。早在2002年,EOW已被日本列为允许使用的食品添加剂;2005年,美国环保署批准其在食品工业中使

用^[8-9]。

1 电解水的制备原理

电解水的制备主要在电解槽中进行。电解槽分为单槽、双槽,有隔膜、无隔膜式。如图1所示,目前一般采用隔膜式电解槽,其阳极室主要产生氧气(O₂)、氯气(Cl₂)、次氯酸根(ClO⁻)、次氯酸(HClO)和盐酸(HCl)等组成的AEW;而阴极室产生的氢氧根离子(OH⁻)与钠离子(Na⁺)结合生成AIEW^[10]。无隔膜式的电解槽与有隔膜式的相比,在制备微酸性电解水(SAEW)上有所不同:有隔膜式电解槽只能利用部分AEW来制备SAEW,而无隔膜式电解槽中的AEW和AIEW一经产生就马上混合,形成SAEW,大大提高了SAEW的生成率^[1,10]。

1.1 AEW

电解稀盐溶液产生的负电荷离子(例如Cl⁻和OH⁻)会移动到阳极以释放电子,并生成HCl、HClO、Cl₂和O₂等,进而形成AEW(pH 2.3~2.7, ORP >1 000 mV)。研究表明,AEW被广泛应用于农业、食品加工设备消毒、果蔬杀菌保鲜等领域^[11-12]。

收稿日期:2019-12-13

基金项目:福建农林大学国际科技合作与交流项目(KXGH17006);福建省财政厅项目(KLe16H01A, KLe16002A)。

作者简介:谢慧琳(1992—),女,福建三明人,硕士生,主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。

通信作者:陈艺晖(1982—),男,福建泉州人,副教授,博士,主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。

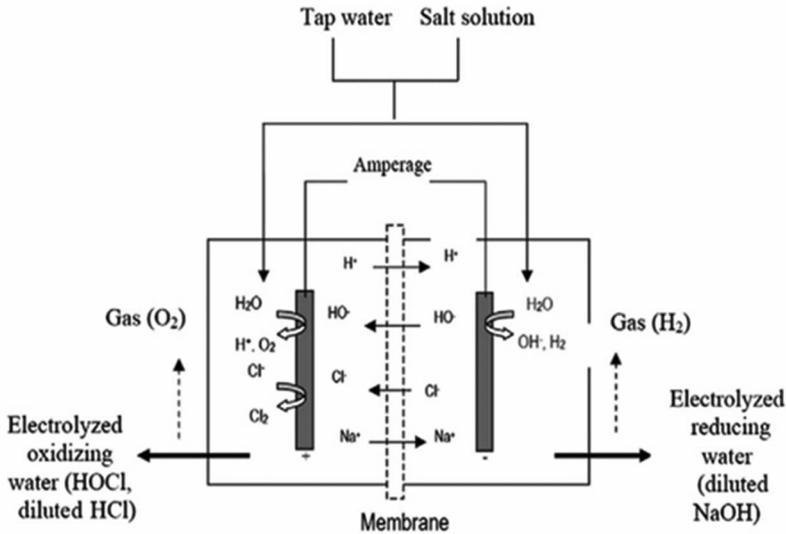
图 1 电解水发生器及其生成物示意图^[1]

Fig 1 Schematics of electrolyzed water generator and produced compounds

1.2 AIEW

在电解过程中,带正电的离子(Na^+ 和 H^+)向阴极移动,在阴极上获得电子,生成氢氧化钠(NaOH)和氢气(H_2),形成 AIEW,其 pH 最高可达 13,ORP 介于 $-800 \sim -900 \text{ mV}$ ^[12]。AIEW 主要用于去除果蔬中的农药残留、促进农作物生长,以及作为生活用水等^[13-15]。

1.3 SAEW

在电解水制备过程中,一部分的 AIEW 重新定向(回流)流入 AEW,中和得到由 HClO 和 HCl 组成 SAEW^[1,16]。研究表明,SAEW 被广泛应用于农业、果蔬杀菌等领域^[17-18]。

2 电解水的理化性质

2.1 pH

绝大多数微生物存活的 pH 范围为 $4 \sim 9$,AEW 具有较低的 pH 值,对微生物细胞的外膜有活化作用,导致其通透性增加而使 HClO 进入到微生物细胞,使细胞内部的酶遭到破坏以致死亡。

2.2 ORP

好氧微生物存活的最适 ORP 范围为 $+200 \sim +800 \text{ mV}$,厌氧微生物则为 $-700 \sim +200 \text{ mV}$,而 AEW 所具备的高 ORP 特性,会改变微生物细胞体内的电子流,造成细胞膜破裂,使其内部的酶被氧化而死亡。

2.3 ACC

ACC 主要是由 HCl 、 HClO 、 Cl_2 等共同组成,在制备过程中 Cl^- 在阳极附近被氧化形成 HClO ,

其在酸性溶液中杀菌能力远强于 ClO^- ;尤其是 HClO 不仅可以破坏细菌的细胞壁和病毒的外壳,甚至可以作用于细菌病毒内部的核酸和酶,从而起到杀死病原微生物的效果^[19]。

3 电解水技术的优势

随着科学技术的发展,非热力加工已经成为食品产业的发展趋势,如高压、高压脉冲电场、臭氧、紫外线、超声波、电解水等加工技术。其中,电解水作为一种新兴技术备受关注。电解水广泛应用于果蔬杀菌和保鲜领域,其作为杀菌剂具有瞬时、广谱、高效、安全、无残留的特点^[8,20];作为保鲜剂则有利于果蔬感官品质和营养价值的保持^[21]。谢军等^[16]研究认为,AEW 是一种有效杀灭微生物的抗菌剂。当 AEW 同有机物接触或被自来水稀释后,其含有的有效杀菌成分会被降解而重新变成普通的自来水。因此,它对人的健康和环境都无害。SAEW 具有 pH 接近中性,对人体无害,腐蚀性低,对运输和储存的材料要求不高等特点,便于推广应用^[6]。Ayebah 等^[22]的研究也表明了 pH 值为 $5.5 \sim 6.5$ 的 SAEW 腐蚀性低,且兼具杀菌效果、绿色环保等优点。

4 电解水技术在采后果蔬保鲜中的应用

4.1 离体条件下电解水对微生物直接抑制效果

研究表明,离体条件下 EOW 对微生物有直接的抑制效果。Khayankarn 等^[23]用不同 ACC (100 、 200 、 300 mg/L) 的 AEW 分别处理镰刀菌

(*Fusarium* sp.), 在 27 °C 的条件下培养 48 h。结果表明, 不同 ACC (100、200、300 mg/L) 的 AEW 均能完全抑制 *Fusarium* sp. 孢子的萌发。Guentzel 等^[24] 研究表明, 在 25 °C 的条件下, 用不同 ACC (20、50、100、120 mg/L) 的 SAEW (pH 6.5, ORP 800 ~ 900 mV) 分别处理大肠杆菌 (*Escherichia coli*)、鼠伤寒沙门菌 (*Salmonella typhimurium*)、金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、单核细胞增生李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*) 和粪肠球菌 (*Enterococcus faecalis*) 10 min。结果发现, 5 种微生物均 100% 灭活。Guentzel 等^[25] 进一步研究发现, SAEW (pH 6.3 ~ 6.5) 可使桃和葡萄果实表面的灰霉病菌 (*Botrytis cinerea*) 和褐腐病菌 (*Monilinia fructicola*) 失活。林婷等^[26] 研究了离体条件下, 不同 ACC (0、10、20、30、40、50 mg/L) 的 AEW 对 *L. monocytogenes* 和副溶血性弧菌 (*Vibrio parahaemolyticus*) 的抑制效果。结果表明, 当 ACC 为 30 mg/L 时, 0.5 min 内可完全杀灭 *V. parahaemolyticus*; 当 ACC 为 40 mg/L 时, 0.5 min 内可完全杀灭 *L. monocytogenes*。综上所述, EOW 对微生物的生长繁殖具有直接的抑制作用。

4.2 活体条件下电解水对果蔬的抑菌效果

Issa-Zacharia 等^[27] 研究发现, SAEW (pH 5.6 ~ 6.5, ORP 931 mV, ACC 22.1 mg/L) 可替代 NaOCl 溶液杀灭鲜切芹菜、生菜和萝卜苗中的 *E. coli* 和沙门氏菌 (*Salmonella*)。Raiputta 等^[28] 的研究发现, 在 AEW (pH 2.36, ACC 66 mg/L) 中浸泡 2 min 能有效抑制鲜切菠萝中的大肠菌群、酵母菌和霉菌。Al-Haq 等^[29] 用 SAEW (pH 5.8, ORP 990 mV, ACC 270 mg/L) 浸泡接种 *M. fructicola* 分生孢子的桃果实 5 min, 并于 26 °C 下贮藏。结果表明, 与对照组相比, SAEW 可有效控制桃果实的发病率。马焱娜等^[30] 用 SAEW (pH 6.86, ORP 937 mV, ACC 21 mg/L) 喷雾处理杨梅果实。结果表明, SAEW 能降低杨梅果实表面微生物的菌落总数, 保持果实采后品质。此外, Al-Haq 等^[31] 分别用三种 AEW (pH 2.6, ORP 1 170 mV, ACC 150 mg/L; pH 4.8, ORP 1 100 mV, ACC 250 mg/L; pH 4.8, ORP 1 020 mV, ACC 200 mg/L) 处理接种贝氏葡萄球菌 (*Botryosphaeria berengeriana*) 孢子的梨果实。结果表明, 与对照组相比, 不同 AEW 处理均有效降低梨果实的发病率。赵德锟等^[32] 探究 SAEW 对鲜切梨保鲜效果的影响。结果表明, ACC 为 20 mg/L 的 SAEW 浸泡鲜切梨表面 6

min, 其微生物菌落总数最少, 抑菌效果最佳。肖卫华等^[33] 用 AEW (pH 2.5, ORP 1 150 mV, ACC 100 mg/L) 处理“全明星”草莓果实, 并在 0 °C 冷藏 12 d。结果发现, AEW 可以显著抑制草莓果实表面霉菌的生长。

4.3 电解水对果蔬贮藏品质的影响

果蔬中含有丰富的营养物质, 如糖、酸、维生素、酚类物质等, 是满足人体日常所需营养物质的重要来源。然而, 果蔬在采后贮藏期间, 容易发生品质劣变现象, 如色泽转变、组织失水、质地软化、风味改变、微生物侵染等^[34]。研究表明, 电解水技术有利于保持果蔬的外观品质和营养价值^[35]。Raiputta 等^[28] 研究发现, 鲜切菠萝经过 AEW (pH 2.36, ACC 66 mg/L) 浸泡 2 min 能维持较高的维生素 C 含量。Chen 等^[36-37] 研究表明, 酸性电解水 (pH 2.8, ACC 48 mg/L, ORP 1 125 mV) 浸泡蓝莓果实 5 min, 能保持果实较高的花青素、总酚含量和抗氧化能力, 并降低多聚半乳糖醛酸酶 (Polygalacturonase, PG)、纤维素酶 (Cellulase, Cx) 等细胞壁相关酶的活性, 有效控制蓝莓果实腐烂和软化。Kim 等^[38] 研究发现, 不同电流电解产生的 AIEW 对鲜切苹果进行处理后, 均能有效抑制多酚氧化酶 (Polyphenol oxidase, PPO) 的活性, 延缓鲜切苹果片褐变的发生; 其中以 19 A 电流所产生的 AIEW 抑制 PPO 活性效果最佳。叶青青等^[39] 用 EOW 浸泡处理丑橘果实。结果发现, 与对照组相比, EOW 处理能维持果实较好的感官品质, 有效延缓果实失重率的上升。朱军伟等^[40] 的研究发现, AEW (ACC 90 ~ 100 mg/L) 能有效地抑制鲜切黄瓜褐变和腐烂, 延缓其失重和丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量的上升, 减少维生素 C 含量的下降, 保持较高的硬度, 有利于鲜切黄瓜货架期的延长。Zhou 等^[41] 研究了 AEW (pH 6.1, ACC 21 mg/L, ORP 947.6 mV) 对“Nanhui”桃果实的保鲜效果。结果发现, AEW 处理能保持新鲜桃果实的果肉品质, 抑制乙烯的产生; 同时还能抑制果肉 PPO 和 POD 活性, 保持较低的果肉 MDA 含量和细胞膜透性, 延长果实贮藏期。于晓霞等^[42] 研究表明, AEW (pH 2.87, ACC 103.6 mg/L, ORP 1 087 mV) 浸泡处理鲜切哈密瓜, 能维持较高的可溶性固形物 (Total soluble solids, TSS)、可滴定酸和维生素 C 含量, 抑制 MDA 含量的上升, 保持较好的感官品质, 有效维持鲜切哈密瓜的采后品质。李华贞等^[43] 的研究表明, AEW (pH

3.04, ACC 30.1 mg/L, ORP 1 117.3 mV)、SAEW (pH 5.68, ACC 26.6 mg/L, ORP 854.3 mV) 均能有效抑制菠菜中亚硝酸盐的积累,抑制硝酸盐向亚硝酸盐的转变,有利于保持菠菜的品质,显著提升其食用安全性;另外,SAEW 浸泡处理还能有效保持不同品种桃果实采后硬度和 TSS 含量,同时降低果实腐烂率和褐变指数,有利于果实贮藏期间品质的保持。综上所述,AEW 和 SAEW 处理均有利于保持果蔬采后贮藏品质,提高果蔬耐贮性。

4.4 电解水技术与其他保鲜技术结合

张秋婷等^[44]研究 SAEW (pH 5.75, ACC 30 mg/L)、超高压 (100、200、300、400 MPa)、SAEW 与超高压结合 3 种保鲜方式对鲜切胡萝卜杀菌效果的影响。结果表明,SAEW 结合超高压技术随着压力的增强,抑菌效果越好;当压力达 400 MPa 时,杀菌效果最为显著,且杀菌效果高于单独使用 SAEW 或超高压。支欢欢等^[45]研究发现,SAEW (pH 5.9, ACC 29.8 mg/L, ORP 907.2 mV) 与 1% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 联合浸泡处理桃果实,可降低果肉细胞膜透性,保持较高的果实硬度,有效降低果实采后腐烂率,延长果实保鲜期。乔永祥等^[46]的研究发现,AEW (pH 2.3, ACC 60 mg/L) 联合气调包装 (5% O_2 和 10% CO_2) 可有效抑制鲜切生菜微生物的生长和繁殖,有效延缓叶绿素、TSS 和维生素 C 含量的降低,减少水分的流失,维持较高的感官

品质。周然等^[47]研究发现,水蜜桃果实经 SAEW (pH 6.1, ACC 21 mg/L, ORP 947.6 mV) 结合壳聚糖复合处理后,能有效抑制 PPO 活性和果肉的变色,提高采后果实贮藏品质。综上所述,电解水与其它保鲜技术联合使用是电解水技术的发展方向。

5 展望

电解水技术与传统保鲜手段相比,具有安全、高效、制取简便、成本低廉等特点。然而,电解水技术也存在一定的局限性:①电解水主要由盐酸、次氯酸、氢氧化钠等化合物组成,相关食品安全的法律法规有待进一步完善;②温度和光照是影响电解水保存的重要因素,有效氯会随着溶液温度的升高而损失,这将直接影响电解水的杀菌和保鲜效果;③当前电解水技术应用于食品加工设备的清洁和消毒研究主要集中在低粘度流体(如牛奶、饮料、啤酒等),深入研究电解水技术并将其应用到高粘度流体(如番茄酱、芥末、酸奶等)加工设备的清洁和消毒是未来发展的趋势^[35,48-49]。随着人们对电解水认识的提高及对电解水研究的不断深入,电解水技术将在各领域,尤其是果蔬保鲜领域具有广泛的推广和应用价值,这对于保障采后果蔬质量安全具有重大意义。

参考文献:

- [1] HUANG Y R, HUNG Y C, HSU S Y, et al. Application of electrolyzed water in the food industry[J]. Food Control, 2008, 19(4):329-345.
- [2] ÖLMEZ H, KRETZSCHMAR U. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(3):686-693.
- [3] 罗海波,姜丽,余坚勇,等. 鲜切果蔬的品质及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(3):307-311.
- [4] HAO J X, LI H Y, WAN Y F, et al. Combined effect of acidic electrolyzed water (AcEW) and alkaline electrolyzed water (AlEW) on the microbial reduction of fresh-cut cilantro[J]. Food Control, 2015, 50:699-704.
- [5] 徐娟,张昭寰,肖莉莉,等. 食品工业中新型杀菌技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16):378-383.
- [6] 章恩明,杜林,黄鸿志. 电解水杀菌技术及其应用[J]. 食品与机械, 1999, 15(3):30-31.
- [7] NISOLA G M, YANG X H, CHO E, et al. Disinfection performances of stored acidic and neutral electrolyzed waters generated from brine solution[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2011, 46(3):263-270.
- [8] GIL M I, GÓ MEZ-LÓPEZ V M, HUNG Y C, et al. Potential of electrolyzed water as an alternative disinfectant agent in the fresh-cut industry[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(6):1336-1348.
- [9] RAHMAN S, KHAN I, OH D H. Electrolyzed water as a novel sanitizer in the food industry: current trends and future perspectives[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2016, 15(3):471-490.
- [10] HSU S Y. Effects of flow rate, temperature and salt concentration on chemical and physical properties of electrolyzed oxidizing water[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(2):171-176.

- [11] SHARMA R R, DEMIRCI A. Treatment of *Escherichia coli* O157:H7 inoculated alfalfa seeds and sprouts with electrolyzed oxidizing water[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 86(3):231-237.
- [12] AL-HAQ M I, SUGIYAMA J, ISOBE S. Applications of electrolyzed water in agriculture & food industries[J]. Food Science and Technology Research, 2005, 11(2):135-150.
- [13] KOSEKI M, FUJIKI S, TANAKA Y, et al. Effect of water hardness on the taste of alkaline electrolyzed water[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(4):S249-S253.
- [14] 郝建雄,李里特. 电生功能水消除蔬菜残留农药的实验研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(5):164-166.
- [15] 刘瑞,于章龙,宋昱,等. 电解水在黑小麦发芽中的应用研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(6):265-270, 297.
- [16] 谢军,孙晓红,潘迎捷,等. 酸性电解水及其在食品工业中的应用[J]. 食品工业科技, 2010, 31(2):366-368, 373.
- [17] 曹薇,张春玲,李保明. 喷洒微酸性电解水对荞麦芽菜生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9):159-164.
- [18] 李华贞,刘海杰,宋曙辉,等. 微酸性电解水杀灭菠菜表面微生物的影响因素[J]. 食品科学, 2011, 32(17):95-99.
- [19] GIL M I, GÓMEZ-LÓPEZ V M, HUNG Y C, et al. Potential of electrolyzed water as an alternative disinfectant agent in the fresh-cut industry[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(6):1336-1348.
- [20] 朱志伟,李保明,张玥,等. 不同处理对酸性电解水物理化学特性的影响[J]. 食品科技, 2008, 33(5):119-122.
- [21] 高鲁璇,谢晶,周然,等. 羧甲基壳聚糖对水蜜桃贮藏保鲜作用的研究[J]. 湖南农业科学, 2011(23):105-107.
- [22] AYEBAH B, HUNG Y C. Electrolyzed water and its corrosiveness on various surface materials commonly found in food processing facilities[J]. Journal of Food Process Engineering, 2005, 28(3):247-264.
- [23] KHAYANKARN S, UTHAIBUTRA J, SETHA S, et al. Using electrolyzed oxidizing water combined with an ultrasonic wave on the postharvest diseases control of pineapple fruit cv. Phu Lae[J]. Crop Protection, 2013, 54:43-47.
- [24] GUENTZEL J L, LAM K L, CALLAN M A, et al. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water[J]. Food Microbiology, 2008, 25(1):36-41.
- [25] GUENTZEL J L, LAM K L, CALLAN M A, et al. Postharvest management of gray mold and brown rot on surfaces of peaches and grapes using electrolyzed oxidizing water[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 143(1/2):54-60.
- [26] 林婷,王敬敬,潘迎捷,等. 酸性电解水对纯培养及食品中食源性致病菌杀菌效果比较研究[J]. 食品科学, 2013, 34(15):69-74.
- [27] ISSA-ZACHARIA A, KAMITANI Y, MIWA N, et al. Application of slightly acidic electrolyzed water as a potential non-thermal food sanitizer for decontamination of fresh ready-to-eat vegetables and sprouts[J]. Food Control, 2011, 22(3/4):601-607.
- [28] RAIPUTTA J, SETHA S, SUTHILUK P. Microbial reduction and quality of fresh-cut 'phulae' pineapple (*Ananas comosus*) treated with acidic electrolyzed water[J]. Acta Horticulturae, 2013(1012):1049-1055.
- [29] AL-HAQ M I, SEO Y, OSHITA S, et al. Fungicidal effectiveness of electrolyzed oxidizing water on postharvest brown rot of peach[J]. HortScience, 2001, 36(7):1310-1314.
- [30] 马焱娜,李娇,徐沁,等. 弱酸性电位水在杨梅防腐保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2016, 37(14):253-257.
- [31] AL-HAQ M I, SEO Y, OSHITA S, et al. Disinfection effects of electrolyzed oxidizing water on suppressing fruit rot of pear caused by *Botryosphaeria berengeriana*[J]. Food Research International, 2002, 35(7):657-664.
- [32] 赵德锬,李凌飞,谭雷妹,等. 微酸性电解水对鲜切云南红梨贮藏品质影响研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(1):243-251.
- [33] 肖卫华,李里特,李再贵,等. 电生功能水对草莓的保鲜试验研究[J]. 食品科学, 2003, 24(5):152-155.
- [34] BRUMMELL D A, DAL C V, CRISOSTO C H, et al. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(405):2029-2039.
- [35] HRICOVA D, STEPHAN R, ZWEIFEL C. Electrolyzed water and its application in the food industry[J]. Journal of Food Protection, 2008, 71(9):1934-1947.
- [36] CHEN Y H, HUNG Y C, CHEN M Y, et al. Effects of acidic electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage[J]. LWT- Food Science & Technology, 2017, 84:650-657.
- [37] CHEN Y H, HUNG Y C, CHEN M Y, et al. Enhanced storability of blueberries by acidic electrolyzed oxidizing water application may be mediated by regulating ROS metabolism[J]. Food Chemistry, 2019, 270:229-235.

- [38] KIM M J, HUNG Y C. Effect of alkaline electrolyzed water as an inhibitor of enzymatic browning in red delicious apples [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2014, 38(6):542-550.
- [39] 叶青青,李亚娜,何宸.不同处理对丑橘品质的影响[J].*食品科技*,2017,42(4):46-49.
- [40] 朱军伟,谢晶,林永艳,等.清洗条件对切割黄瓜贮藏品质和安全性的影响[J].*食品工业科技*,2012,33(20):320-323.
- [41] ZHOU R, ZHANG G X, HU Y S, et al. Reductions in flesh discolouration and internal morphological changes in Nanhui peaches (*Prunus persica* (L.) Batsch, cv. Nanhui) by electrolysed water and 1-methylcyclopropene treatment during refrigerated storage[J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(3):985-992.
- [42] 于晓霞,李燕,宋星,等.不同清洗液对鲜切哈密瓜品质的影响[J].*食品工业科技*,2015,36(4):324-327,333.
- [43] 李华贞,郑淑方,宋曙辉,等.酸性电解水对果蔬杀菌及保鲜效果的研究[J].*现代食品科技*,2011,27(3):361-365.
- [44] 张秋婷,林素丽,朱松明,等.超高压与微酸性电解水结合对鲜切果蔬的杀菌效果研究[J].*农业机械学报*,2017,48(3):338-344.
- [45] 支欢欢,李小娟,刘琦琦,等.微酸性电解水结合钙处理对采后桃果实组织结构及水分迁移的影响[J].*食品工业科技*,2017,38(18):279-284.
- [46] 乔永祥,谢晶,雷昊,等.酸性电解水联合气调包装对鲜切生菜品质的影响[J].*食品与机械*,2017,33(2):111-115.
- [47] 周然,谢晶,高启耀,等.微酸性电解水结合壳聚糖对水蜜桃护色保鲜的效果[J].*农业工程学报*,2012,28(18):281-286.
- [48] 谢军,孙晓红,潘迎捷,等.电解水的保存特性及杀菌效果[J].*江苏农业学报*,2010,26(5):1053-1059.
- [49] WANG X, DEMIRCI A, PURI V M. Electrolyzed oxidizing water for food and equipment decontamination[M].//*Handbook of Hygiene Control in the Food Industry*. Elsevier, 2016:503-520.

Research Progress on Electrolyzed Oxidizing Water Technology and Its Application in Postharvest Preservation of Fruits and Vegetables

XIE Huilin^{1,2}, TANG Jinyan^{1,2}, LIN Yuzhao^{1,2}, LIN Hetong^{1,2}, CHEN Yihui^{1,2}

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002, China;
2. Key Laboratory of Postharvest Biology of Subtropical Special Agricultural Products (Fujian Agriculture
and Forestry University), Fujian Province University, Fuzhou Fujian 350002, China)

Abstract: Electrolyzed oxidizing water (EOW), also known as electrolyzed functional water, has been shown to be an effective antimicrobial agent for destroying microorganisms, and poses no threat to the environment and humans. This research progress briefly reviewed the preparation principles and physical and chemical characteristics of EOW, the advantages of EOW technology, and its application in postharvest preservation of fruits and vegetables. In addition, the potential areas for future research and development of EOW technology were suggested.

Keywords: electrolyzed oxidizing water technology; fruits and vegetables; sterilization; preservation

(责任编辑:熊璐璐)