

超高压与微酸性电解水结合对鲜切果蔬的杀菌效果研究

张秋婷 林素丽 朱松明 王春芳 于勇

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

摘要: 鲜切果蔬由于切割等操作, 表面遭到破坏, 极易受到微生物的侵染, 引起品质劣变。为了延长鲜切果蔬的货架期, 通过单因素实验探究微酸性电解水的有效氯浓度、用量, 超高压处理的压力、保压时间等对鲜切胡萝卜的杀菌效果, 从而得到二者结合处理的工艺条件: 微酸性电解水有效氯质量浓度为 30 mg/L, 用量 200 mL; 超高压压力范围为 100 ~ 400 MPa, 保压时间 5 min, 总处理时间为 15 min。实验以鲜切胡萝卜、鲜切苹果为研究对象, 采用脑心浸液琼脂培养基和结晶紫中性红胆盐琼脂培养基对大肠杆菌进行检测, 以微酸性电解水替代高压过程中无菌水的方式, 探究超高压与微酸性电解水结合的杀菌效果, 结果表明结合处理能提高其杀菌效率, 但在低压下, 增强效果并不显著, 400 MPa 增强效果最为显著。超高压 400 MPa 与微酸性电解水结合处理时, 鲜切胡萝卜在 2 种培养基中均没有检出大肠杆菌, 而鲜切苹果在脑心浸液琼脂培养基中仍有少量大肠杆菌检出。同时对比 BHIA 和 VRBA 的实验结果发现: 微酸性电解水有明显的致死效应; 而超高压处理则同时存在亚致死和致死效应。

关键词: 鲜切果蔬; 超高压; 微酸性电解水; 杀菌效果; 脑心浸液琼脂培养基; 结晶紫中性红胆盐琼脂培养基

中图分类号: TS251.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)03-0338-07

Combined Effect of High Pressure and Slightly Acidic Electrolyzed Water on Sterilization of Fresh-cut Fruits and Vegetables

ZHANG Qiuting LIN Suli ZHU Songming WANG Chunfang YU Yong

(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Due to the operation of cutting, fresh-cut fruits and vegetables are susceptible to microbial infection. In order to extend the shelf life of fresh-cut fruits and vegetables, the effects of the concentration and amount of available chlorine of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and the pressure level and holding time of high pressure (HP) on sterilization of fresh-cut carrots were studied through single factor experiment. Consequently, the combination treatment conditions were as follows: the concentration of available chlorine of slightly acidic electrolyzed water was 30 mg/L and the amount of available chlorine of slightly acidic electrolyzed water was 200 mL; the pressure level ranged from 100 MPa to 400 MPa, holding time was 5 min and the total processing time was 15 min. Fresh-cut carrots and apples were treated by the different combined treatments, and both brain heart infusion agar (BHIA) and violet red bile agar (VRBA) were used for the detection of *E. coli*. With the aim to explore the inactivation effects of combination treatment, during the detection, the slightly acidic electrolyzed water was chosen instead of HP sterilized water to do further test. The result shows that combined treatment can improve the efficiency of inactivation, but the enhancement was not significant at lower pressure. At 400 MPa, HP treatment combined with SAEW displayed the most significant enhancement of inactivation efficiency, where *E. coli* could not be detected on fresh-cut carrot, but some *E. coli* was still detected on the fresh-cut apples in BHIA. When comparing the results in BHIA and VRBA, it can be seen that the SAEW showed significant lethal effect on *E. coli*, while HP showed both lethal and sublethal effect on *E. coli*.

Key words: fresh-cut fruits and vegetables; high pressure; slightly acidic electrolyzed water; sterilization effect; brain heart infusion agar; violet red bile agar

收稿日期: 2016-07-21 修回日期: 2016-09-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(31171779)和浙江省自然科学基金重点项目(LZ14C200002)

作者简介: 张秋婷(1986—), 女, 助理研究员, 博士, 主要从事食品非热加工应用技术研究, E-mail: qiuting_zhang@zju.edu.cn

通信作者: 于勇(1978—), 男, 副教授, 博士生导师, 主要从事非热加工技术与装备研究, E-mail: yuyuzju@zju.edu.cn

引言

鲜切果蔬又称为轻度或最少加工果蔬,是指把新鲜水果蔬菜的非食用部分去除后,经过清洗、去皮、切割、包装等处理,而得到的一种可直接进行食用或者烹饪的果蔬总称^[1-2]。它因新鲜、方便、营养等特点,成为果蔬采后研究的新领域,具有广阔的市场前景。

然而鲜切果蔬加工过程中,去皮、切割等处理会损坏细胞组织结构,使细胞自身免疫抵抗能力变弱,增加了被微生物侵染的可能性^[3],另一方面,切割所导致的营养物质随汁液大量外流,也为微生物的生长繁殖提供了有利条件^[4-6]。因此,鲜切果蔬的微生物安全问题不容忽视。

超高压处理作为一种食品非热加工技术,目前在日本、英国、美国等已经得到了广泛的应用^[7]。它能够破坏微生物的细胞壁、细胞膜,影响微生物的细胞形态结构、遗传物质等,在常温甚至更低温度下有效杀灭食品中的有害微生物,钝化食品中酶的活性,从而达到杀菌、钝酶以及改善食品功能特性等目的^[8]。细菌、酵母菌、霉菌是果蔬中常见的微生物,压力100~600 MPa处理5~10 min能够使一般细菌、酵母菌、霉菌的数量降低甚至完全灭活^[5,9-10]。超高压能有效杀灭食品中的微生物,且能较好地保持食品本身的营养和风味,是一种良好的鲜切果蔬杀菌处理方式。

微酸性电解水是指由稀盐或稀盐酸溶液经过电解而制备得到的pH值为5.0~6.5、有效氯质量浓度为10~30 mg/L^[11]的一类电解水的总称。研究表明,微酸性电解水对各类微生物均具有较强的杀菌作用,且同时具有瞬时、广谱、高效、无污染等特点,因此在食品加工中得到了广泛的应用^[12]。胡朝晖等^[13]以鲜切莲藕为研究对象,以强酸性电解水和次氯酸钠溶液作为对照,研究微酸性电解水对鲜切莲藕的杀菌效果。结果发现,微酸性电解水可以明显降低附着于鲜切莲藕表面的各类微生物,且与强酸性电解水相比,具有更强的杀菌效果。ISSA-ZACHARIA等^[14]研究发现微酸性电解水处理5 min后,芹菜、生菜、豆芽菜中的大肠杆菌相对于未处理分别下降了2.7、2.8、2.8个数量级,而沙门氏菌则下降了2.87、2.87、2.91个数量级,具有显著的杀菌效果。

目前国内外关于超高压和微酸性电解水在鲜切果蔬杀菌方面的研究日益增多,但对于二者结合处理的文章却鲜有报道。且微酸性电解水通常只能使果蔬中的菌落数降低1~3个数量级^[4,14-15],而超

压处理一般在较低压力下也不能完全灭活鲜切果蔬上的微生物^[16]。因此,本文以2种不同果蔬鲜切胡萝卜和鲜切苹果为实验材料,以微酸性电解水替代高压过程中无菌水的方式,探究二者协同的杀菌效果。同时采用脑心浸液琼脂培养基(非选择性培养基)和结晶紫中性红胆盐琼脂培养基(选择性培养基)2种不同的培养基来探究不同杀菌处理对大肠杆菌的致伤和致死效应。

1 材料与方法

1.1 实验材料

新鲜胡萝卜,“维桑”品种,产地江苏省;新鲜苹果,“富士85”品种,产地山东省。胡萝卜和苹果均于实验当天购于浙江大学紫金港校区附近的沃尔玛超市,室温(20℃)贮藏。

大肠杆菌 *E. coli* (ATCC 25922) 购于中国普通微生物菌种保藏管理中心;浓盐酸、结晶紫中性红胆盐琼脂培养基、脑心浸液琼脂培养基均购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器设备

5 L超高压处理设备(包头科发高压科技有限责任公司);MP6-00117型微酸性电解水机(日本森永工程公司);Seven Multi型pH/ORP计(梅特勒-托利多仪器有限公司);SW-CJ-1F型超净台(苏州安泰空气技术有限公司);YXQ-LS-50S II型高压灭菌锅(上海博迅实业有限公司医疗设备厂);SPX-450型恒温生化培养箱(宁波海曙赛福试验仪器厂);WH-861型涡旋振荡器(太仓市华利达实验设备有限公司);RC-3F型高浓度有效氯测定仪(日本笠原理化学工业株式会社);JYD-400型拍打式均质机(上海之信仪器有限公司)。

1.3 微酸性电解水的制备及其理化性质的测定

配制质量分数为9%的稀盐酸溶液,经MP6-00117型微酸性电解水机制备得到微酸性电解水。pH值采用Seven Multi型pH/ORP计测定;有效氯浓度(ACC)采用RC-3F型高浓度有效氯测定仪测定。

1.4 菌悬液的制备

将 *E. coli* (ATCC 25922) 冻干粉活化,在37℃恒温振荡器中培养24 h后,保存于4℃冰箱中。菌种每14 d转接到新的培养基中,以保持其活性。每次使用菌种时用接种环取一环菌液接种于新的肉汤培养中,置于恒温振荡器中,在37℃条件下培养24 h,重复操作3次,使菌液中的活菌数量达到 10^8 CFU/mL^[17]。

1.5 样品的制备与接种

果蔬经自来水清洗后,转入超净工作台。为除去残留在表面的微生物,先用75%酒精擦洗表面,再用无菌刀切成大小均一、质量(10±1)g的块状,紫外灯下照射0.5h^[18]。

室温下将菌液与鲜切果蔬按液料比5mL/g进行混合,同时磁力搅拌,转速为500r/min,时间15min。均匀接种后,将鲜切果蔬于超净台内静置1h^[14]。

1.6 微酸性电解水对鲜切胡萝卜的杀菌实验

1.6.1 不同用量的微酸性电解水杀菌实验

在无菌条件下,将接种好的鲜切胡萝卜(10g/份)分别放置于加入了200、300、400、500mL的微酸性电解水(pH值为5.75,ACC质量浓度为30mg/L)的聚乙烯袋中,浸泡处理5min,以未处理作为对照。结束后取出,放入装有90mL无菌去离子水的聚乙烯袋中,采用JYD-400型拍打式均质机拍打2min,取拍打后的样液梯度稀释,进行微生物检测。

1.6.2 不同有效氯浓度的微酸性电解水杀菌实验

在无菌条件下,将接种好的鲜切胡萝卜(10g/份)分别置于含15、20、25、30mg/L的微酸性电解水200mL的聚乙烯袋中,浸泡5min,其他操作同1.6.1节。

1.7 超高压对鲜切胡萝卜的杀菌实验

1.7.1 不同保压时间的杀菌实验

将接种好的鲜切胡萝卜(10g/份)放置于含有200mL无菌去离子水的聚乙烯袋中,排尽空气,用手压式热封机将袋子封口后,进行超高压处理。压力为300MPa,保压时间分别为2、5、10min。保压结束后,将样品取出,后续操作同1.6.1节。

1.7.2 不同压力的杀菌实验

实验条件:保压时间5min,压力为100、200、300、400MPa。其他操作同1.7.1节。

1.8 超高压与微酸性电解水结合杀菌实验

将接种好的鲜切胡萝卜和鲜切苹果(10g/份)分别放入含有200mL微酸性电解水的聚乙烯袋中,排尽空气,热封后进行超高压处理。保压时间为5min,总处理时间为15min(加入微酸性电解水开始计时,包含升压、降压等时间),压力为100、200、300、400MPa。以无菌去离子水作为传压介质的样品作对照。

1.9 微生物的检测

微生物测定参照GB4789.2—2010《食品微生物学检验 菌落总数测定》,取0.5mL样液加入4.5mL无菌去离子水,用涡旋振荡器均质后,10倍梯度稀释,选取合适的3~5个梯度对样品进行检测。采用平板倾注法加入培养基,待培养基冷却后

将平板倒置放在37℃的恒温培养箱中培养24h,选择菌落数合适的梯度进行计数。每个稀释度用3个平板计数。

1.10 数据分析

采用Origin软件(Version8.0,OriginLab公司)进行制图分析和数据分析,采用SPSS软件(Version18.0,SPSS公司)进行ANOVA单因素方差分析和Duncan检验($p < 0.05$),数据结果均以平均值±标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 微酸性电解水对鲜切胡萝卜的杀菌实验

2.1.1 微酸性电解水用量的影响

为了探究微酸性电解水用量对鲜切胡萝卜杀菌效果的影响,分别用200、300、400、500mL的微酸性电解水处理鲜切胡萝卜,实验结果如图1所示。本实验采用了2种培养基:结晶紫中性红胆盐琼脂培养基(Violet red bile agar, VRBA),大肠杆菌的显色培养基,是一种选择性培养基,含有选择性成分,只有完全健康的大肠杆菌才能正常生长;脑心浸液琼脂培养基(Brain heart infusion agar, BHIA)是一种非选择性培养基,由于含有丰富的营养物质,亚致死的大肠杆菌仍可以得到修复并生长,因此用来检测包括健康和亚致死的全部存活大肠杆菌^[19]。

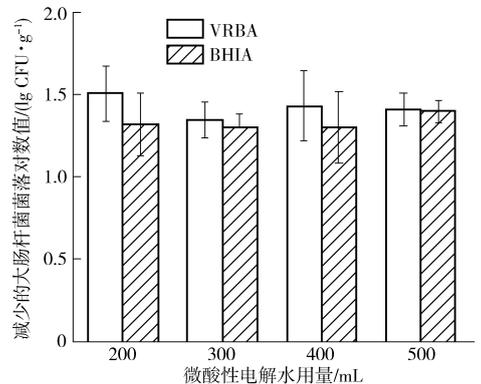


图1 不同用量微酸性电解水处理鲜切胡萝卜减少的大肠杆菌菌落对数

Fig. 1 Reduction of *E. coli* on fresh-cut carrot by different amounts of SAEW

如图1所示,在VRBA中,用200mL微酸性电解水浸泡处理5min后,大肠杆菌减少了1.50个数量级。随着微酸性电解水用量的增加,大肠杆菌相应减少了1.34、1.43、1.41个数量级,且它们之间没有显著性差异。同样在BHIA中,分别用200、300、400、500mL微酸性电解水对鲜切胡萝卜进行处理时,大肠杆菌相应减少了1.32、1.31、1.31、1.39个数量级,且它们之间没有显著性差异。以上数据表

明微酸性电解水的用量对其杀菌效果没有显著性影响。此结果与康维民等^[20]关于电解水对豆芽杀菌效果的实验结果一致,认为酸性电解水的使用量并不影响杀菌的效果,而不同处理组之间微量的菌落数差别可能是由每个处理组的初始菌数差异或者稀释造成的。同时对比 VRBA 与 BHIA 中的菌落数,发现二者之间并没有显著差异,表明微酸性电解水对大肠杆菌主要是致死效应。因此,考虑节约资源及成本,确定电解水用量为 200 mL。

2.1.2 微酸性电解水有效氯浓度的影响

有效氯浓度是影响微酸性电解水杀菌效果的重要因素。图 2 为不同有效氯质量浓度的微酸性电解水处理鲜切胡萝卜减少的大肠杆菌菌落对数实验结果。由图 2 可以看出,在 VRBA 中,当有效氯质量浓度分别为 15、20、25、30 mg/L 时,减少的大肠杆菌菌落数相应为 0.65、0.72、1.39、2.0 个数量级;而在 BHIA 中,减少的菌落数则分别为 0.55、0.70、1.24、2.08 个数量级。即在本研究范围内,随着有效氯质量浓度由 15 mg/L 增加至 30 mg/L 时,微酸性电解水的杀菌效果逐渐增强,此结论与李华贞等^[11]的研究结论相吻合。李华贞等^[11]用微酸性电解水对菠菜进行浸泡处理发现,当有效氯质量浓度由 7.85 mg/L 升至 31.37 mg/L 时,菠菜表面的微生物逐渐减少,杀菌效果逐渐增强;而当有效氯质量浓度继续升高至 67.96 mg/L 时,杀菌效果则无显著性变化,表明微酸性电解水有效氯质量浓度在 30 mg/L 左右时已达到较好的杀菌效率。同时对比 BHIA 与 VRBA 的实验结果发现,二者没有显著性差异,表明微酸性电解水杀菌处理对大肠杆菌主要为致死效应。

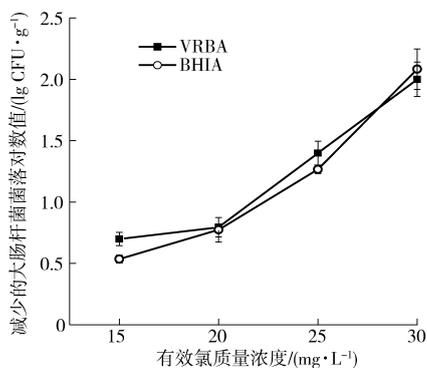


图 2 不同有效氯质量浓度的微酸性电解水处理鲜切胡萝卜减少的大肠杆菌菌落对数

Fig. 2 Reduction of *E. coli* on fresh-cut carrot by different ACC of SAEW

2.2 超高压处理对鲜切胡萝卜的杀菌实验

2.2.1 超高压保压时间的影响

超高压的杀菌效果与压力和保压时间有着密切

的关系。一般情况下,压力一定时,在一定范围内,随着保压时间的延长,杀菌效果越来越显著。但也有些研究指出,延长保压时间对杀菌效果并没有显著的影响^[21]。因此本实验采用压力 300 MPa,分别进行保压时间为 2、5、10 min 的处理,探究超高压保压时间对鲜切胡萝卜杀菌效果的影响。实验结果如表 1 所示。

表 1 300 MPa 下,不同保压时间处理鲜切胡萝卜减少的大肠杆菌菌落对数

Tab. 1 Reduction of *E. coli* on fresh-cut carrot at 300 MPa by different holding time lg CFU/g

保压时间/min	BHIA	VRBA
2	1.07 ± 0.12 ^a	1.18 ± 0.12 ^a
5	1.74 ± 0.15 ^b	1.66 ± 0.08 ^b
10	1.65 ± 0.10 ^b	1.81 ± 0.13 ^c

注:同列数据不同字母表示差异显著,下同。

由表 1 可知,当保压时间为 2 min 时,鲜切胡萝卜在 BHIA 和 VRBA 中减少的菌落数是最小的,分别是 1.07 和 1.18 个数量级。随着保压时间增加到 5 min,减少的菌落数分别增加到了 1.74 和 1.66 个数量级;随着保压时间继续增加,减少的菌落数在 BHIA 中略微下降,为 1.65 个数量级,但与 5 min 处理结果无显著性差异,而在 VRBA 中,减少的菌落数则继续增加至 1.81 个数量级。可见,随着保压时间的延长,杀菌效果逐渐增强,但延长至 5 min 后,随着保压时间继续增加,在 BHIA 中,杀菌效果不再显著增强。对比 BHIA 与 VRBA 的实验结果发现,超高压处理对大肠杆菌有亚致死作用,当用富含营养物质的 BHIA 培养时,大肠杆菌可以得到恢复继续生长,因此减少的大肠杆菌菌落数少于 VRBA 中的数量。

2.2.2 超高压处理压力的影响

为了探究压力对杀菌的影响,本实验采用保压时间 5 min,压力为 100、200、300、400 MPa,结果如表 2 所示。随着压力的增大,减少的大肠杆菌菌落数增加,即在一定保压时间下,超高压的杀菌效果随着压力的增大而增大。在 BHIA 中,当压力小于 300 MPa 时,随着压力的增大,减少的大肠杆菌菌落数分别为 0.7、1.16、1.35 个数量级,增强效果并不显著,400 MPa 减少的菌落数增加到 2.32 个数量级;而在 VRBA 中,减少的大肠杆菌数量级则随着压力的增大而显著增大,400 MPa 处理时,减少的大肠杆菌菌落对数值为 6.32。同时由图中可以看出鲜切胡萝卜在 BHIA 中减少的菌落对数明显小于 VRBA 中的数量,这表明超高压对大肠杆菌进行处理时,对一部分大肠杆菌只是亚致死,并没有完全致

表2 保压时间5 min,不同压力处理鲜切胡萝卜减少的大肠杆菌菌落对数

Tab.2 Reduction of *E. coli* on fresh-cut carrot at 5 min by different pressure lg CFU/g

处理压力/MPa	BHIA	VRBA
100	0.70 ± 0.17 ^a	1.61 ± 0.23 ^a
200	1.16 ± 0.23 ^b	2.03 ± 0.23 ^b
300	1.35 ± 0.21 ^b	2.63 ± 0.18 ^c
400	2.32 ± 0.31 ^c	6.32 ± 0.38 ^d

死。胡菲菲等^[22]以鲜榨胡萝卜汁为原料,采用BHIA和VRBA 2种培养基研究脉冲式超高压对大肠杆菌杀菌的致伤致死效应,发现脉冲式超高压处理大肠杆菌同时存在致伤和致死效应。且在一定压力下,随着处理压力的增大,大肠杆菌的致伤和致死效应均显著增加。

2.3 超高压与微酸性电解水结合杀菌实验

为了探究超高压与酸性电解水结合的杀菌效果,分别对鲜切胡萝卜、鲜切苹果进行微酸性电解水、超高压、超高压与微酸性电解水结合3种不同方式的杀菌处理。实验的各项参数为:微酸性电解水pH值为5.75,有效氯质量浓度为30 mg/L;保压时间5 min,总处理时间为15 min,压力为100、200、300、400 MPa。

图3为不同杀菌方式处理鲜切胡萝卜减少的大肠杆菌菌落对数。在BHIA中,微酸性电解水和100 MPa超高压单独处理时,减少的大肠杆菌分别为1.11和0.7个数量级,而当二者结合处理时,减少的大肠杆菌数量级为1.34,比单独处理分别增加了0.23和0.64个数量级;随着压力的增大,结合处理减少的菌落对数逐渐增加,400 MPa结合处理达到了最显著的增强效果。与微酸性电解水和超高压单独处理相比,减少量分别增加了5.53和4.32个数量级;同时发现该处理条件下,大肠杆菌被完全灭活,没有大肠杆菌在BHIA中被检出。

而在VRBA中,当压力为100 MPa和200 MPa时,与各自单独处理相比,结合处理减少的大肠杆菌对数只有略微增加,并不显著;当压力增加至300 MPa时,结合处理杀菌效果显著增强,与微酸性电解水和超高压单独处理相比,分别增加了5.22和3.69个数量级,并且结合处理此时已经没有大肠杆菌被检出。同样400 MPa高压单独处理和400 MPa超高压与微酸性电解水结合处理在VRBA中也没有大肠杆菌检出,而根据BHIA的实验结果知道,300 MPa结合处理和400 MPa高压单独处理的条件下,大肠杆菌并未完全灭活,仍有一部分大肠杆菌在BHIA被检出,说明此时这部分大肠杆菌为亚致死

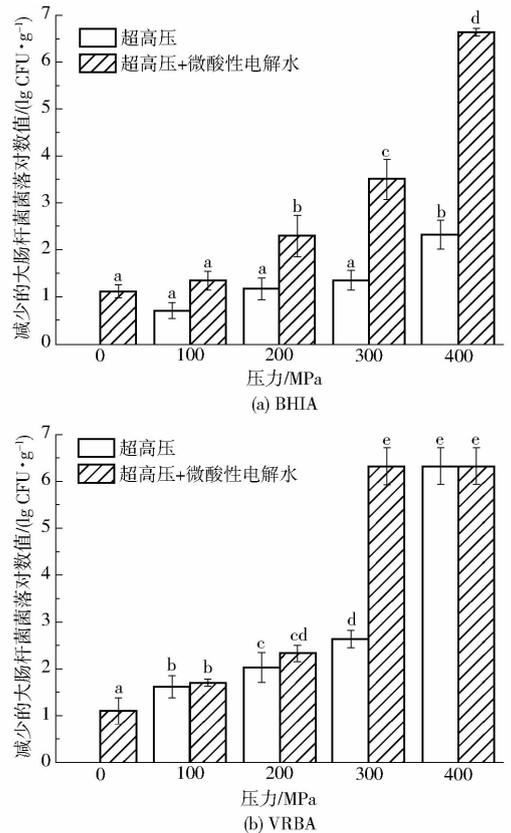


图3 超高压与微酸性电解水结合处理鲜切胡萝卜减少的大肠杆菌对数

Fig.3 Reduction of *E. coli* on fresh-cut carrot by HHP treated in combination with SAEW

状态。而400 MPa超高压与微酸性电解水结合处理的条件下,大肠杆菌被完全灭活,在2种培养基中均没有被检出。

图4为不同杀菌方式处理鲜切苹果减少的大肠杆菌菌落对数。从图中可以看出,与鲜切胡萝卜实验结果相似,在2种培养基下,随着压力的增大,结合处理减少的大肠杆菌数量级增加,但在低压下增加效果并不显著。在BHIA中,鲜切苹果用微酸性电解水单独处理时,减少的大肠杆菌为1.52个数量级,超高压100 MPa单独处理为1.15个数量级,而当二者结合处理时,杀灭的大肠杆菌为1.51个数量级,与各自单独处理无显著性差异;随着压力增加到200、300、400 MPa时,结合处理减少的大肠杆菌对数与单独微酸性电解水处理相比分别增加了0.5、1.28、4.58个数量级,而与相应单独超高压处理对比,则增加了0.49、0.95、0.71个数量级。VRBA的实验结果与BHIA相似,随着压力增大,结合处理效果增强。在400 MPa结合处理时,VRBA中已经没有大肠杆菌被检出,而BHIA中仍有少量大肠杆菌检出,该实验结果表明400 MPa结合处理鲜切苹果并不能完全灭活大肠杆菌。

超高压与微酸性电解水结合处理鲜切胡萝卜,

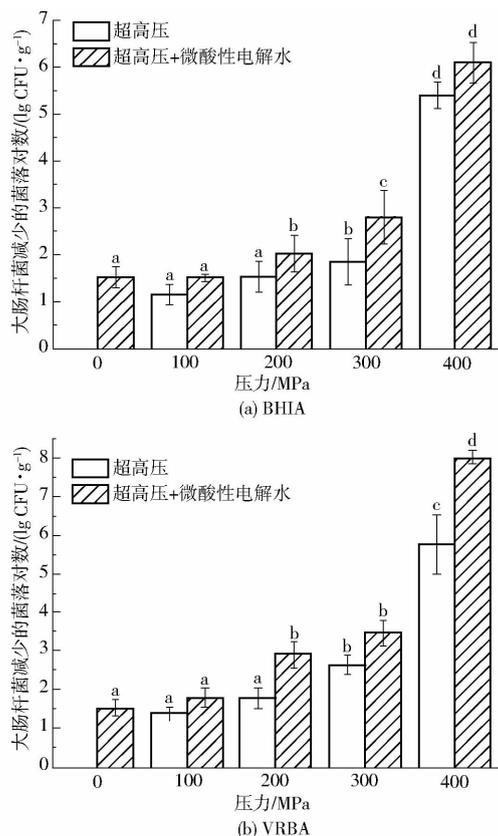


图4 超高压与微酸性电解水结合处理鲜切苹果减少的大肠杆菌对数

Fig. 4 Reduction of *E. coli* on fresh-cut apple by HHP treated in combination with SAEW

在BHIA中相对于单独超高压处理,减少的大肠杆菌菌落数分别增加了0.64、1.13、2.15、4.32个数量级,相对于单独微酸性电解水处理,减少的大肠杆菌

菌落数则分别增加了0.23、1.18、2.39、5.54个数量级;而鲜切苹果在BHIA中,与单独超高压处理相比,减少的大肠杆菌对数值分别增加了0.36、0.49、0.95、0.71,与单独微酸性电解水处理相比,结合处理减少的大肠杆菌对数值则分别增加了0.5、1.28和4.58。该实验结果说明超高压与微酸性电解水结合处理能有效提高其杀菌效率。

3 结论

(1)微酸性电解水对鲜切胡萝卜进行杀菌处理时,不同用量的杀菌效果无显著性差异;随着有效氯浓度的增加,杀菌效果逐渐增强,当有效氯质量浓度达到30 mg/L时,能达到良好的杀菌效果。

(2)超高压对鲜切胡萝卜进行杀菌处理时,压力一定,随着保压时间增加,杀菌效果逐渐增强,但到达5 min后,随着保压时间增加,在BHIA中的杀菌效果不再显著增强;保压时间一定时,随着压力增大,杀菌效果先缓慢增加,达到300 MPa后,显著增加。

(3)超高压结合微酸性电解水处理鲜切果蔬,能有效提高其杀菌效率。但低压增强效果并不显著,当压力高于300 MPa,结合处理杀菌效果显著增强;超高压与微酸性电解水结合处理在400 MPa时,鲜切胡萝卜在2种培养基中均没有大肠杆菌检出,而鲜切苹果在BHIA培养基中仍有少量大肠杆菌检出。

(4)对比BHIA和VRBA的实验结果发现,微酸性电解水对大肠杆菌有明显的致死效应;而超高压则同时存在亚致死和致死效应。

参 考 文 献

- 纪懿芳, 胡文忠, 姜爱丽. 应用于鲜切果蔬中的保鲜技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7):2403-2408.
JI Yifang, HU Wenzhong, JIANG Aili. Application of preservation technologies in fresh-cut fruits and vegetables[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(7):2403-2408. (in Chinese)
- 李超, 冯志宏, 陈会燕, 等. 鲜切果蔬保鲜技术的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(1):3-6.
LI Chao, FENG Zhihong, CHEN Huiyan, et al. Research progress on storage technique of fresh-cut fruits and vegetables[J]. Storage and Process, 2010, 10(1):3-6. (in Chinese)
- NGUYEN-THE Christophe, CARLIN Frédéric. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 1994, 34(4):371-401.
- KOIDE S, TAKEDA J I, SHI J, et al. Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water on fresh cut cabbage[J]. Food Control, 2009, 20(3):294-297.
- 周春丽, 刘伟, 袁驰, 等. 高静压处理对鲜切南瓜杀菌效果与品质的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(6):227-236. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20140635&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.06.035.
ZHOU Chunli, LIU Wei, YUAN Chi, et al. Effects of high hydrostatic pressure processing on microbial inactivation and quality of fresh-cut pumpkin [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(6):227-236. (in Chinese)
- ABADIAS M, USALL J, ANGUERA M, et al. Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 123(1-2):517-522.
- 任杰, 胡志和. 超高压技术在乳品加工中的应用[J]. 核农学报, 2013, 27(8):1189-1194.
REN Jie, HU Zhihe. Application of ultra high-pressure technology in dairy products processing[J]. Journal of Nuclear Agricultural

- Sciences, 2013, 27(8):1189-1194. (in Chinese)
- 8 王春芳, 毛明, 王为民, 等. 微生物在超高压下的致变机理和影响因素研究现状[J]. 中国食品学报, 2013, 13(7):164-169.
WANG Chunfang, MAO Ming, WANG Weimin, et al. Research status of micro-organisms' mutagenic mechanism and influencing factors by the ultra-high pressure[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(7):164-169. (in Chinese)
- 9 纵伟, 李晓, 赵光远. 超高压保鲜鲜切哈密瓜片的研究[J]. 江苏农业科学, 2008(5):256-257.
ZONG Wei, LI Xiao, ZHAO Guangyuan. Study on preservation of fresh cut 'Hami' melon slices by ultra-high pressure treatment [J]. Jiangsu Agricultura Science, 2008(5):256-257. (in Chinese)
- 10 易建勇, 董鹏, 丁国微, 等. 超高压对双孢蘑菇的杀菌效果和动力学的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9):78-81.
YI Jianyong, DONG Peng, DING Guowei, et al. Study on effect of high hydrostatic pressure on microbial inactivation and inactivation kinetics in mushroom[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(9):78-81. (in Chinese)
- 11 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.
LI Huazhen, LIU Haijie, SONG Shuhui, et al. Factors affecting the bactericidal effect of slightly electrolyzed oxidizing water on spinach surface [J]. Food Science, 2011, 32(17):95-99. (in Chinese)
- 12 王春芳, 于勇, 和劲松, 等. 酸性电解水杀菌技术在农业中的应用[J]. 农业工程, 2012, 2(9):33-37.
WANG Chunfang, YU Yong, HE Jinsong, et al. Acidic electrolyzed water sterilization technology in application of agriculture [J]. Agricultural Engineering, 2012, 2(9):33-37. (in Chinese)
- 13 胡朝晖, 吴彤娇, 李慧颖, 等. 微酸性电解水用于鲜切莲藕杀菌处理的实验研究[J]. 河北工业科技, 2016(1):40-45.
HU Zhaohui, WU Tongjiao, LI Huiying, et al. Experimental study on the disinfection of fresh-cut lotus root using slightly acidic electrolyzed water[J]. Hebei Journal of Industrial Science & Technology, 2016(1):40-45. (in Chinese)
- 14 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.
- 15 MANSUR A R, WANG J, PARK M S, et al. Growth model of *Escherichia coli* O157:H7 at various storage temperatures on kale treated by thermosonication combined with slightly acidic electrolyzed water[J]. Journal of Food Protection, 2014, 77(1):23-31.
- 16 张学杰, 叶志华. 高压处理对鲜切果蔬品质与微生物影响的研究进展[J]. 中国农业科学, 2014, 47(21):4328-4340.
ZHANG Xuejie, YE Zhihua. Advances in study of the effect of high pressure on quality and microbes of fresh-cut fruits and vegetables[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(21):4328-4340. (in Chinese)
- 17 和劲松, 祁凡雨, 叶章颖, 等. 微酸性电解水储藏和杀菌过程中有效氯衰减的动力学模型[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15):263-270.
HE Jinsong, QI Fanyu, YE Zhangying, et al. Decay kinetics model of available chlorine in slightly acidic electrolyzed water in storage and disinfection process [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(15):263-270. (in Chinese)
- 18 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.
LIN Ting, WANG Jingjing, PAN Yingjie, et al. Comparison of the bactericidal activity of acidic electrolyzed water against foodborne pathogenic bacteria in pure culture and foods[J]. Food Science, 2013, 34(15):69-74. (in Chinese)
- 19 RAMASWAMY H S, RIAHI E, IDZIAK E. High-pressure destruction kinetics of *E. coli* (29055) in apple juice[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(5):1750-1756.
- 20 康维民, 周丽艳, 蔡金星. 酸性电解水对蔬菜杀菌效果的研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(7):22-23.
KANG Weimin, ZHOU Liyan, CAI Jinxing. Study on effect of acidic electrolyzed water on vegetable sterilization[J]. Science and Technology of Food Industry, 2003, 24(7):22-23. (in Chinese)
- 21 赵光远, 李亚威, 赵亚许, 等. 超高压处理对鲜牛奶主要品质影响[J]. 食品工程, 2007(3):54-56.
ZHAO Guangyuan, LI Yawei, ZHAO Yaxu, et al. The effect of ultra high pressure (UHP) on the main quality of fresh milk[J]. Food Engineering, 2007(3):54-56. (in Chinese)
- 22 胡菲菲, 朱瑞, 杨楠, 等. 胡萝卜汁中大肠杆菌脉冲式超高压杀菌动力学研究[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(1):178-183. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20140128&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.01.028.
HU Feifei, ZHU Rui, YANG Nan, et al. Pulse mode high-pressure destruction kinetics of *E. coli* in carrot juice [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1):178-183. (in Chinese)