

鲜切即食果蔬冷杀菌技术研究进展

胡叶静¹, 李保国¹, 石茂占², 张敏², 谢效剑²

(1.上海理工大学, 上海 200093; 2.上海鑫博海农副产品加工有限公司, 上海 201516)

摘要: **目的** 为保证鲜切即食果蔬的品质和安全, 需要在低温条件下去除果蔬携带的微生物和农药残留。**方法** 对鲜切即食果蔬的物理杀菌、化学杀菌及其联合杀菌等冷杀菌技术的研究进行综述。**结果** 目前, 杀菌剂与物料的质量比为 5:1, 鲜切果蔬以质量浓度为 100 mg/L 和 150 mg/L 的次氯酸钠 (NaClO) 溶液结合物理鼓泡式清洗的方式, 分阶段杀菌为主, 对比各种研发的新型杀菌方法, 发现质量浓度为 30 mg/L 的弱酸性电解水对鲜切果蔬杀菌效果较好, 且对人体无毒副作用, 将其与物理杀菌方法相结合, 将会成为未来鲜切果蔬加工杀菌的趋势, 并且具有成本低的优势。**结论** 将化学方法与物理方法联合使用, 可以显著降低化学杀菌剂使用量, 减少残留危害, 并能对鲜切果蔬保鲜产生更好的杀菌效果, 保证鲜切果蔬的品质安全。

关键词: 即食食品; 鲜切果蔬; 清洗; 杀菌; 保鲜

中图分类号: TS255.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)07-0043-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.07.006

Research Progress of Cold Sterilization Technology of Fresh-cut Ready-to-eat Fruits and Vegetables

HU Ye-jing¹, LI Bao-guo¹, SHI Mao-zhan², ZHANG Min², XIE Xiao-jian²

(1.University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2.Shanghai Xinbohai Agricultural and Sideline Products Processing Co., Ltd., Shanghai 201516, China)

ABSTRACT: The work aims to necessarily remove the microorganisms and pesticide residues in fresh-cut fruits and vegetables at low temperature, so as to ensure the quality and safety of fresh-cut ready-to-eat fruits and vegetables. The research on physical sterilizations, chemical sterilizations and their combined sterilizations of fresh-cut ready-to-eat fruits and vegetables was reviewed. At present, the fresh-cut fruits and vegetables were sterilized by sodium hypochlorite (NaClO) solution with mass concentrations of 100 mg/L and 150 mg/L combined with physical bubble method, when the ratio of bactericide to material was 5:1. Compared with various new sterilization methods, it was found that weakly acidic electrolytic water with mass concentration of 30 mg/L had better germicidal effect on fresh-cut fruits and vegetables and non-toxic side effects on the human body. Combining it with physical sterilization method would become the trend of processing sterilization of fresh-cut fruits and vegetables in the future and cheap in the cost. Combination of chemical and physical methods can significantly cut down the dosage of chemical fungicides, reduce residual hazards and produce better germicidal effect on the preservation of fresh-cut fruits and vegetables, so as to ensure the quality and safety of fresh-cut fruits and vegetables.

收稿日期: 2019-10-12

基金项目: 上海市科技创新行动计划 (19391904000); 上海市联盟计划 (LM201855)

作者简介: 胡叶静 (1993—), 男, 上海理工大学硕士生, 主攻果蔬加工贮藏。

通信作者: 李保国 (1961—), 男, 博士, 上海理工大学教授、博导, 主要研究方向为食品与农产品加工技术。

KEY WORDS: ready-to-eat food; fresh-cut fruits and vegetables; cleaning; sterilization; preservation

鲜切即食果蔬食品是新鲜蔬菜和水果原料经清洗、修整、鲜切、杀菌、拼盘等工序,最后以塑料盒盛装,消费者拆封即可食用的一种果蔬加工产品。我国对鲜切果蔬的研究起步晚,特别是鲜切果蔬的杀菌技术还不成熟,目前针对鲜切果蔬产品还没有相关的标准,随着人们对食品安全意识的不断提升,以及对食品营养的重视,鲜切果蔬作为一种新兴食品工业产品,具有新鲜、方便的特点,适应当下生活快节奏的生活方式,尤其是迎合了白领消费者方便快捷的饮食需求,鲜切即食果蔬作为新兴产业发展迅速。由于鲜切即食果蔬经切割加工后,存在切口损伤大、汁液流出污染以及不易采用高温杀菌等,且其极易受到环境温度、湿度、气体成分等的影响而发生品质变化,存在食品安全风险^[1-2]。由此可见,选择合适的保鲜方法,保证鲜切即食果蔬产品的品质和延长货架期是人们研究的重点。

果蔬经鲜切处理后,内部组织结构遭到破坏,组织液流出,并将切口暴露于环境中^[3-4],会为微生物提供一个利于生长的环境,促进微生物的生长繁殖,因此,需要对鲜切即食果蔬采取即时杀菌处理,才能保证产品货架期和新鲜度。果蔬表面常见细菌有霉菌、大肠杆菌等^[5],目前用于果蔬消毒剂有次氯酸钠溶液、臭氧水溶液、二氧化氯、弱酸性电解水等,均能够对果蔬表面微生物产生良好的杀灭作用。物理杀菌有高压脉冲电场、紫外线杀菌、微波杀菌等。

1 物理杀菌

1.1 高压脉冲电场技术

高压脉冲电场技术(PEF)是一种新型的冷杀菌技术,其原理是通过高压电场破坏食品中微生物的细胞膜,使微生物失活,达到果蔬保鲜效果^[6]。高压脉冲电场技术具有灭菌时间短、保持果蔬品质、安全高效、节能环保的优点。PEF技术对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、单核细胞增生李斯特菌和酵母菌等均有较好的杀灭效果^[7]。贾晓昱等^[8]对葡萄腐烂的问题采用PEF技术杀菌,发现脉冲电场技术可延缓葡萄的腐烂。王婷玉^[9]将PEF技术与过氧化氢对鲜切苹果的杀菌效果进行对比研究,PEF技术对大肠杆菌和沙门氏菌的杀灭率可达99%以上,而经氧化氢杀菌处理,对2种菌的杀灭效果均在90%以下,PEF对果蔬处理后的感官品质也优于过氧化氢处理。

1.2 紫外灯照射杀菌技术

紫外灯照射杀菌技术,是一种物理冷杀菌方法,适合即食食品的杀菌工艺。陈敏等^[10]以苹果为实验材

料,以苹果表面微生物数量和苹果的品质作为检测指标,将紫外照射和次氯酸钠溶液杀菌进行了比较,发现紫外照射的杀菌效果优于质量分数为0.36%的次氯酸钠杀菌效果,在品质上二者区别不大。实验发现随着紫外照射剂量的增加,微生物减少到一定程度后不会继续变化,杀菌不彻底。宣萍等^[11]在冰箱中安装紫外LED灯,对菠菜和韭菜进行保鲜实验,分别测定了二者在贮藏过程中的叶绿素、Vc、可溶性蛋白等含量,结果表明,贮藏期可延长达原贮藏期的1倍以上,经紫外杀菌处理效果良好。龚媛^[12]设计了臭氧与紫外复合处理枸杞干果中微生物的实验,证明两者结合使用的杀菌效果要好于单一方式杀菌效果,杀菌率可达98%以上,并且对枸杞的外观品质起到一定保护作用。罗惟^[13]进行了紫外灯结合乳酸菌对鲜切苹果保鲜实验,乳酸菌在紫外照射下具有极强的生长能力,通过紫外照射杀菌,同时结合乳酸菌对其他菌种生长的拮抗作用,达到了高效杀菌目的。

1.3 超声波杀菌技术

超声杀菌的机理是在空气或溶液中空化产生的强烈机械作用,可以有效杀死细菌和病毒^[14]。超声波在介质中传播,当声强超过一定阈值时,声强使细胞内部形成“空化”状态,使细胞液产生瞬间高温、高压变化,导致细胞塌陷,进而使微生物死亡^[15]。王洁茹等^[16]利用超声波的方法对产自阿拉尔市的枸杞干果进行杀菌处理,抑菌率达98.21%。柴军^[17]将超声波与化学杀菌剂结合,对饮用水进行灭菌实验。超声辐射使得大肠杆菌的细胞结构破坏,水体中的氯进入到细胞内部,提高灭菌率。超声波是一种自身具有杀菌功能的辅助灭菌方法,将其和化学杀菌剂结合,能够提高化学杀菌剂的杀菌效果。Birmpa等^[18]将紫外线照射和超声波技术作为冷杀菌应用于即食食品中微生物的灭活,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、单核细胞增生李斯特氏菌、链球菌等均有良好的杀灭效果,将这2种技术应用于果蔬的保鲜有良好的应用前景。

1.4 超高压杀菌技术

超高压杀菌是利用压力改变原子间距离^[19],导致微生物的形态结构、生物化学反应、基因机制以及细胞壁膜发生多方面的变化,钝化酶的活性和使DNA等遗传物质发生改变,导致蛋白质变性^[20]。从而影响微生物原有的生理活动机能,甚至原有功能被破坏或发生不可逆变化,导致微生物死亡。该技术与热杀菌相比,维持了果蔬的感官特性、风味品质等,实现短时间杀菌效果,但设备操作要求高,价格贵,普适性较低。

1.5 振动喷淋清洗杀菌技术

振动喷淋技术具有高效、节水等优点^[21],减少了人工清洗果蔬环节,提高了清洗效率。将振动喷淋技术与化学杀菌剂结合使用,在避免对人皮肤造成伤害的同时,可对果蔬清洗杀菌处理,并达到初步去除农残的效果。目前,工厂化鲜切果蔬多采用振动喷淋鼓泡式清洗,并在清洗槽中添加杀菌剂,以提高清洗效果。高英武等^[22]对振动喷淋式蔬菜清洗机的原理和结构进行了分析,实验表明,其对块茎类蔬菜没有损伤,对叶菜类蔬菜损伤极小。将该设备与杀菌剂结合应用,可在清洗阶段起到良好的杀菌作用。

2 化学杀菌

化学药物对微生物的作用机理,先是药物分子与胞外膜相接触,进行吸附,药物分子穿过细胞膜进入原生质体发挥药效,进而抑制细胞生长繁殖或直接将细胞杀死。

2.1 含氯杀菌剂

传统的含氯杀菌剂有 Cl_2 , NaClO , $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, ClO_2 等,一般要求有效氯含量为 100~200 mg/kg,溶液中形成的次氯酸易分解,产生新生态氧,起到杀菌消毒作用。 ClO_2 的杀菌机理主要是利用其独特的强氧化性,能够迅速破坏病毒衣壳上蛋白质中的酪氨酸,从而抑制病毒的特异性吸附,阻止对宿主细胞的感染。 ClO_2 对病毒和细菌具有良好的杀灭作用,但对动植物机体却不产生毒性。已有实验证明 ClO_2 的杀菌效果是一般含氯溶液的消毒剂杀菌效果的 2.5 倍,在水溶液 (pH=7) 中,质量浓度仅为 0.1 mg/L 的 ClO_2 在 5 min 内即可杀灭肠道细菌。

2.1.1 二氧化氯杀菌剂

ClO_2 对大肠杆菌具有良好的杀灭效果^[23-24],其作用 pH 范围较大,pH 在 6~10 范围内对其杀菌作用几乎没有影响。经过毒理学实验, ClO_2 对高等动物细胞结构无影响,无致畸、致癌、致突变作用。 ClO_2 在水中的溶解度高,广泛应用于自来水的消毒,其见光易分解,通过将 ClO_2 溶解在惰性稳定剂溶液中,形成有效的稳定性二氧化氯溶液,便于贮存和运输,对采后蔬菜的病菌防治具有良好的效果^[25-26],可抑制蔬菜的腐烂。刘仲霞等^[27]用含 100 mg/L 的二氧化氯消毒液浸泡黄瓜,作用 15 min,对黄瓜上污染的大肠杆菌的杀灭超过 3 lg CFU/g。龚魁杰等^[28]将 ClO_2 应用于鲜食玉米保鲜,可降低木质素的积累,保证了玉米的口感质量,如将其与壳聚糖结合使用,杀菌效果更佳。曹凡^[29]等针对猕猴桃表面溃疡病菌,采用质量浓度为 115 mg/L 的 ClO_2 溶液 (pH=4) 处理 8 min,对丁香假单孢杆菌猕猴桃致病变种 (Psa) 的杀菌率

可达 100%。同时保持了猕猴桃的感官品质。 ClO_2 在果蔬加工中的应用,既能起到杀菌作用,同时又保持品质,应用前景广泛。

2.1.2 次氯酸钠杀菌剂

次氯酸盐对多数微生物都具有杀灭能力,对病毒、无芽孢细菌、耐酸性细菌、细菌芽孢、霉菌、藻类、原虫类等都有效。次氯酸钠杀菌主要是利用次氯酸的氧化作用,次氯酸钠水解生成次氯酸 (HClO),而次氯酸进一步分解产生新生态氧,其极强的氧化性能使菌体和病毒的蛋白质变性,从而杀死病原微生物。次氯酸钠常用于自来水的消毒,杀菌后于水体中残留余氯具有持续的消毒能力。次氯酸钠溶液稳定性好,可将其应用于鲜切果蔬的冷杀菌。赵琳^[30]以水样中的大肠埃希氏菌为杀灭目标,紫外照射与次氯酸钠结合具有良好的杀菌效果。Lee N Y^[31]将 NaClO 应用于生菜表面的杀菌,可有效杀灭单增李斯特菌。由于 NaClO 作用后,会产生三氯甲烷等对人体有害物质,张文德^[32]对 NaClO 的作用机理以及产物安全性进行了评价与分析,认为 NaClO 的使用存在安全隐患,须严格控制使用。

2.2 氧化类杀菌剂

2.2.1 过氧化氢杀菌剂

过氧化氢溶液能够形成氧化能力极强的自由基,对微生物具有广谱杀菌作用,对细胞内酶系统的破坏作用不可逆,从而达到灭菌目的。在达到杀菌作用后,自身会很快分解为氧气和水,不会有有毒物质残留,是一种环保型消毒剂。目前多用于乳制品加工的杀菌。近来,过氧化氢的毒性引起了人们的重视,显著减少了其在食品中的直接使用。秦宗权^[33]采用不同浓度的过氧化氢溶液对哈密瓜进行表面杀菌处理后于低温下贮藏,结果显示:过氧化氢溶液对哈密瓜表面微生物有良好的杀灭作用,能延长哈密瓜的贮藏期,并可抑制果肉变软,减少营养损失。赖绮华^[34]等研究不同浓度的过氧化氢溶液处理麒麟菜,发现质量分数 0.3% 的过氧化氢溶液处理 10 min 效果最佳,保质期可延长至 10 d。

2.2.2 过氧乙酸杀菌剂

过氧乙酸遇有机物或酶即放出新生态氧,通过使菌体蛋白质变性、凝固,以及氧化还原反应损害酶蛋白的活性基团,抑制酶的活性,达到杀菌的目的。过氧乙酸对细菌、芽孢、真菌、病毒等均有高效杀灭作用。低浓度过氧乙酸溶液及其气雾可用于果蔬、禽蛋等的消毒。宋虎卫^[35]进行了过氧乙酸对采后枇杷的保鲜实验研究,进行不同浓度的过氧乙酸溶液保鲜枇杷,采用质量浓度为 600 mg/L 的过氧乙酸溶液经 4 min 处理,即可产生良好的保鲜效果,在低温贮藏

期间,维生素C含量稳定,保持了其硬度等口感,营养价值不受影响。

2.2.3 臭氧杀菌剂

臭氧杀菌技术是现代食品工业采用的冷杀菌技术之一,臭氧具有突出的杀菌、降解农药的作用。近年来,臭氧消毒技术广泛应用于水处理、空气净化、食品加工、医疗卫生、水产养殖等方面^[36—37]。它可使细菌、真菌等菌体蛋白质外壳氧化变性,对病毒的杀灭主要是直接破坏其RNA和DNA物质。对大肠杆菌、粪链球菌、金黄色葡萄球菌等,杀灭率可达99%,因此,将其用于鲜切果蔬的低温杀菌具有良好的效果。乔永祥^[38]研究发现将臭氧与次氯酸钠结合使用,可有效延长散叶生菜的保质期至12天。在鲜切果蔬加工过程中,用臭氧水喷淋杀菌、沥水、进行无菌包装,可达到保质保鲜的作用。陈梦曦等^[39]对黄瓜和生菜进行真空臭氧杀菌实验,结果表明:真空臭氧对生鲜蔬菜具有良好的杀菌效果,杀菌时间越长效果越好,且杀菌率接近100%。对不同类型果蔬,可采用臭氧水浸泡、臭氧气体熏蒸2种不同形式^[40]。乔彩云等^[41]研究了臭氧在果蔬杀菌保鲜中的机理,臭氧可抑制细胞呼吸,延长果蔬的保藏期;对果蔬采摘后成熟激素的乙烯具有降解作用,延缓成熟和衰老。

2.3 弱酸性电解水杀菌剂

日本厚生劳动省已经批准低浓度的微酸性电解水可用于果蔬的杀菌消毒,Koide等^[42]研究了电解水对鲜切白菜的处理效果,发现有效氯质量浓度为20 mg/L的弱酸性电解水(pH=6.1)与传统杀菌剂NaClO有效氯质量浓度为150 mg/L(pH=9.6)时所产生的抑菌效果相近,弱酸性电解水可使好氧菌减少1.5 lg CFU/g、使霉菌和酵母菌数减少1.3 lg CFU/g,并验证了电解水见光易分解的理论。Rahman等^[43]研究了多种杀菌剂的杀菌效果,发现5 mg/L的弱酸性电解水和50 mg/L的强酸性电解水作用于菠菜叶的消毒效果相近,均好于100 mg/L的NaClO溶液的消毒效果。Park等^[44]研究发现,有效氯质量浓度为30 mg/L的弱酸性电解水对生菜叶、菊苣叶、紫苏叶和甘蓝叶有较好的杀菌效果,且作用时间少于传统的次氯酸钠溶液消毒。Tian^[45]对比了弱酸性电解水和其他常见消毒剂对蘑菇中食源性致病菌的抑制效果,与Koide等学者研究结果接近,弱酸性电解水杀菌效果均优于其他含氯杀菌剂,还与体积分数为1%的柠檬酸溶液和5 mg/L的臭氧水溶液对比,效果仍最好。弱酸性电解水能使好氧菌数减少1.35 lg CFU/g,使酵母菌、霉菌数量减少1.08 lg CFU/g,使致病菌数量减少2 lg CFU/g。Zhang等^[46]对弱酸性电解水处理芹菜和香菜的杀菌效果研究结果显示,30 mg/L的弱酸性电解水处理5 min即可将酵母菌和霉菌减少至检出限以

下,且不会对样品的感官品质产生变化。丁年平等^[47]应用电解水对黄瓜进行杀菌,并对其安全性进行了评价,研究结果显示,可显著减少大肠杆菌及其他微生物,通过毒理学实验证明电解水安全。Mansur^[48]将超声波中水介质用弱酸性电解水替换,促进了电解水的杀菌效果,明显好于电解水单独使用时对鲜切甘蓝中病菌的杀灭作用。张秋婷^[49]实验研究电解水在超高压条件下产生的效果优于电解水单独使用时所产生的效果。杨越^[50]研究了弱酸性电解水对生菜的抑菌效果,有望为实际生产提供理论指导。

2.4 天然杀菌剂

天然杀菌剂是指从植物中经蒸馏、萃取等提取具有杀菌作用的物质,称为植物精油,如天然肉桂醛、柠檬醛、山苍子油、丁香酚、茴香油、薄荷油等,该类物质经熏蒸或涂膜的方法可实现杀菌的目的,但因其提取难度大,成本高,此方法对鲜切蔬菜的杀菌保鲜研究较少,还没有得到推广利用。

3 结语

将物理杀菌方法与化学杀菌方法相结合用于鲜切果蔬杀菌,可避免物理杀菌的不彻底、杀菌时间长,减少化学杀菌剂的使用量,提高杀菌的稳定性,确保鲜切果蔬的品质安全。文中对近年来鲜切果蔬杀菌保鲜技术进行了综述,尽管国内外对鲜切果蔬的杀菌技术研究较多,但仍存在一些制约因素限制了其应用推广。

1) 物理杀菌方法因存在杀菌不彻底,应与化学方法的结合使用,这样既可促进杀菌效果,又可以减少化学试剂的使用量,保证食品安全。

2) 次氯酸钠杀菌处理时间较长,效率低。应将其与相关方法结合使用,并进行杀菌效率及安全性评价相关研究。结合生产的应用情况,降低化学杀菌剂的浓度,减少处理时间,提高效率。

3) 弱酸性电解水的有效成分是次氯酸,见光不稳定,易分解。对该技术的应用应综合评价其效果和安全性。为鲜切果蔬发展提供理论基础,推进该领域的发展。

参考文献:

- [1] 张懋,冯彦君. 果蔬生物保鲜新技术及其研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(5): 449—455.
ZHANG Min, FENG Yan-jun. New Technology and Research Progress of Fruit and Vegetable Biological Preservation[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2017, 36(5): 449—455.
- [2] 程丽林,吴波,袁海君,等. 鲜切果蔬贮藏保鲜技术

- 研究进展[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(1): 147—152.
- CHENG Li-lin, WU Bo, YUAN Hai-jun, et al. Research Progress of Fresh-cut Fruits and Vegetables Storage and Preservation Technology[J]. Preservation and Processing, 2019, 19(1): 147—152.
- [3] BERTHOLD P A, GARBOWSKA M, STEFANSKA, et al. Microbiological Quality of Selected Ready-to-eat Leaf Vegetables, Sprouts and Non-pasteurized Fresh Fruit-vegetable Juices Including the Presence of Cronobacter Spp[J]. Food Microbiology, 2017, 65: 221—230.
- [4] 张婷婷, 时月, 和朝军, 等. 货架陈列期间光照处理对鲜切青椒品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(21): 216—221.
- ZHANG Ting-ting, SHI Yue, HE Chao-jun, et al. Effect of Light Treatment on the Quality of Fresh-cut Green Pepper During Shelf Display[J]. Food Science, 2019, 40(21): 216—221.
- [5] 杨震宇, 文卓琼, 谢川, 等. 壳聚糖-肉桂精油复合膜对鲜切雪莲果保鲜效果的影响[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(6): 50—52.
- YANG Zhen-yu, WEN Zhuo-qiong, XIE Chuan, et al. Effect of Chitosan Cinnamon Essential Oil Composite Film on Fresh-keeping Effect of Fresh-cut Snow Lotus Fruit[J]. Cereals and Oils, 2019, 32(6): 50—52.
- [6] 张涛. 高压脉冲电场灭菌参数及电穿孔机制研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2018: 4—8.
- ZHANG Tao. Study on the Sterilization Parameters and Electroporation Mechanism of High Voltage Pulsed Electric Field[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2018: 4—8.
- [7] 蒋宝. 高压脉冲电场在苹果汁加工中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(1): 177—181.
- JIANG Bao. Application of Pulsed Electric Fields in Apple Juice Processing[J]. Food and Machinery, 2018, 34(1): 177—181.
- [8] 贾晓昱, 杨维巧, 潘艳芳, 等. 红提葡萄 SO₂ 脉冲式防腐保鲜技术[J]. 包装工程, 2019, 40(9): 22—27.
- JIA Xiao-yu, YANG Wei-qiao, PAN Yan-fang, et al. Red Pulse Grape SO₂ Pulse Preservation Technology[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(9): 22—27.
- [9] 王婷玉. 高压脉冲电场技术对鲜切苹果中病原菌杀菌效果及品质影响研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017: 20—26.
- WANG Ting-yu. High Voltage Pulsed Electric Field Technology on Germicidal Efficacy and Quality of Fresh-cut Apple[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2017: 20—26.
- [10] 陈敏, 兰维杰, 罗惟, 等. 双面紫外照射对鲜切苹果表面微生物及品质的影响[J]. 分子植物育种, 2017, 15(9): 3660—3666.
- CHEN Min, LAN Wei-jie, LUO Wei, et al. The effects of Two-sided UV Irradiation on the Surface Microorganism and Quality of Fresh-cut Apple[J]. Molecular Plant Breeding, 2017, 15(9): 3660—3666.
- [11] 宣萍, 刘鹏, 阚苗, 等. 冰箱紫外杀菌技术对蔬菜贮藏效果的研究[J]. 家电科技, 2015(12): 68—70.
- XUAN Ping, LIU Peng, KAN Miao, et al. Study on the Effect of Ultraviolet Sterilization of Refrigerators on Vegetable Storage[J]. Appliance Science and Technology, 2015(12): 68—70.
- [12] 龚媛. 臭氧与紫外复合处理对枸杞干果微生物及活性成分的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2016: 7—15.
- GONG Yuan. Effects of Combined Ozone and Ultraviolet Treatment on the Microorganism and Active Ingredients of Lycium Barbarum Dry Fruit[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2016: 7—15.
- [13] 罗惟. 紫外结合乳酸菌处理在鲜切苹果安全控制中的应用[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015: 41—52.
- LUO Wei. Application of Ultraviolet Combined with Lactic Acid Bacteria Treatment in Fresh-cut Apple's Safety Control[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2015: 41—52.
- [14] 肖容雍, 赵鹤飞, 李铭. 常温即食食品的主要杀菌技术研究进展[J]. 农产品加工, 2018(12): 64—69.
- XIAO Rong-yong, ZHAO He-fei, LI Ming. Research Progress in Main Sterilization Techniques for Ready-to-eat Foods at Ambient Temperature[J]. Agricultural Products Processing, 2018(12): 64—69.
- [15] 郑云芳, 王晓雯, 钟丽琪. 冷杀菌技术在食品中的应用[J]. 现代食品, 2017(13): 67—68.
- ZHENG Yun-fang, WANG Xiao-wen, ZHONG Li-qi. Application of Cold Sterilization Technology in Food[J]. Modern Food, 2017(13): 67—68.
- [16] 王洁茹, 喻文丽, 李颖, 等. 阿拉尔市枸杞干果的污染菌相调查与防控措施[J]. 包装工程, 2019, 40(13): 41—45.
- WANG Jie-ru, YU Wen-li, LI Ying, et al. Investigation and Control Measures of Contamination of Dry Fruits of Lycium Barbarum in Alar City[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(13): 41—45.
- [17] 柴军. 连续式超声场耦合化学杀菌剂对饮用水的杀菌去污效果研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018: 50—56.
- CHAI Jun. Continuous Ultrasonic Field Coupled with Chemical Fungicides for Disinfection and Decontamination of Drinking Water[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018: 50—56.
- [18] BIRMPA A, SFIKA V, VANTARAKIS A. Ultraviolet Light and Ultrasound as Non-thermal Treatments for the Inactivation of Microorganisms in Fresh Ready-to-eat Foods[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 167(1): 96—102.
- [19] 贾蒙, 成传香, 王鹏旭, 等. 超高压技术在果蔬汁杀菌中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(12): 257—264.
- JIA Meng, CHENG Chuan-xiang, WANG Peng-xu, et al. Application of Ultra-high Pressure Technology in

- Sterilization of Fruit and Vegetable Juice[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(12): 257—264.
- [20] 侯养全. 超高压食品灭菌技术研究进展与应用[J]. 山西科技, 2018, 33(1): 106—108.
- HOU Yang-quan. Research Progress and Application of Ultra-high Pressure Food Sterilization Technology[J]. Shanxi Technology, 2018, 33(1): 106—108.
- [21] 何幸保, 高英武, 汤楚宙, 等. 我国蔬菜清洗技术的研究现状与展望[J]. 湖南农机, 2009, 36(3): 1—2.
- HE Xing-bao, GAO Ying-wu, TANG Chu-zhou, et al. Research Status and Prospect of Vegetable Cleaning Technology in China[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2009, 36(3): 1—2.
- [22] 高英武, 刘毅君, 任述光, 等. 振动喷淋式蔬菜清洗机的研究[J]. 农业工程学报, 2000(6): 92—95.
- GAO Ying-wu, LIU Yi-jun, REN Shu-guang, et al. Research on Vibratory Sprinkling Vegetable Washing Machine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000(6): 92—95.
- [23] 牛璐, 易欣欣. 鲜切生菜中食源性致病微生物的感染研究[J]. 北京农学院学报, 2015, 30(1): 132—136.
- NIU Lu, YI Xin-xin. Infection of Foodborne Pathogenic Microorganisms in Fresh-cut Lettuce[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2015, 30(1): 132—136.
- [24] SUN Xiu-xiu, BALDWIN E, BAI Jin-he. Applications of Gaseous Chlorine Dioxide on Postharvest Handling and Storage of Fruits and Vegetables-a Review[J]. Food Control, 2019, 95: 18—26.
- [25] 甄凤元. 二氧化氯对杭白菜采后软腐病的抑制效果及其贮藏品质的研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2017: 8—11.
- ZHEN Feng-yuan. Inhibition Effect of Chlorine Dioxide on Postharvest Soft Rot Disease of Chinese Cabbage and Its Storage Quality[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2017: 8—11.
- [26] FU Mao-run, ZHANG Xiao-ming, JIN Tong, et al. Inhibitory of Grey Mold on Green Pepper and Winter Jujube by Chlorine Dioxide (ClO₂) Fumigation and Its Mechanisms[J]. Lebensmittel-wissenschaft und Technologie/Food Science and Technology, 2019, 100: 335—340.
- [27] 刘仲霞, 苏伟东, 陆武韬. 二元制剂二氧化氯消毒剂对瓜果蔬菜消毒效果的研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, 23(7): 1739—1740.
- LIU Zhong-xia, SU Wei-dong, LU Wu-tao. Disinfectant Effect of Two Component Preparation Chlorine Dioxide Disinfectant on Fruits and Vegetables[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2013, 23(7): 1739—1740.
- [28] 龚魁杰, 陈利容, 祁国栋, 等. ClO₂ 杀菌复合壳寡糖涂膜对鲜食糯玉米的保鲜效果[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 279—284.
- GONG Kui-jie, CHEN Li-rong, QI Guo-dong, et al. Fresh-keeping Effect of ClO₂ Sterilization Compound Chitosan Oligosaccharide Coating on Fresh-eating Waxy Corn[J]. Food Science, 2018, 39(21): 279—284.
- [29] 曹凡, 高贵田, 王铎, 等. ClO₂ 对猕猴桃表面溃疡病菌的杀菌作用及果实货架期品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(1): 88—95.
- CAO Fan, GAO Gui-tian, WANG Duo, et al. Effects of ClO₂ on the Germicidal Efficacy and Shelf-life Quality of Kiwifruit Canker Pathogen[J]. Journal of Nuclear Agriculture Sciences, 2019, 33(1): 88—95.
- [30] 赵琳. 紫外与次氯酸钠消毒效果及影响因素研究[J]. 环境污染与防治, 2014, 36(7): 41—45.
- ZHAO Lin. Study on Disinfection Efficacy and Influence Factors of Ultraviolet and Sodium Hypochlorite[J]. Environmental Pollution and Control, 2014, 36(7): 41—45.
- [31] LEE N Y, KIM S W, HA S D. Synergistic Effects of Ultrasound and Sodium Hypochlorite (NaOCl) on Reducing Listeria Monocytogenes in Broth, Stainless Steel, and Iceberg Lettuce[J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2014, 11(7): 581—587.
- [32] 张文德. 蔬菜用次氯酸钠消毒产生三氯甲烷与安全性[J]. 预防医学情报杂志, 2009, 25(10): 865—867.
- ZHANG Wen-de. Disinfection of Vegetables with Sodium Hypochlorite to Produce Trichloromethane and Its Safety[J]. Journal of Preventive Medicine Information, 2009, 25(10): 865—867.
- [33] 秦宗权. 哈密瓜采后表面杀菌处理对其贮藏效果及品质影响的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2011: 15—31.
- QIN Zong-Quan. Effect of Post Harvest Surface Sterilization on Hami Melon's Storage Effect and Quality[D]. Shihezi: Shihezi University, 2011: 15—31.
- [34] 赖绮华, 黄燕洪, 潘江球. 麒麟菜即食风味食品杀菌技术研究[J]. 热带农业科学, 2013, 33(12): 66—69.
- LAI Qi-hua, HUANG Yan-hong, PAN Jiang-qiu. Germicidal Technology of Instant Food of Chinese Cabbage[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2013, 33(12): 66—69.
- [35] 宋虎卫, 杨立明, 郑永华, 等. 过氧乙酸对枇杷采后品质的保鲜作用[J]. 食品科技, 2014, 39(3): 236—241.
- SONG Hu-wei, YANG Li-ming, ZHENG Yong-hua, et al. Fresh-keeping Effect of Peracetic Acid on Postharvest Quality of Loquat[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(3): 236—241.
- [36] 敖卫, 陈天, 梅荣, 等. 臭氧消毒技术在反渗透净水器中的研究与应用[J]. 家电科技, 2018(8): 31—35.
- AO Wei, CHEN Tian, MEI Rong, et al. Research and Application of Ozone Disinfection Technology in Reverse Osmosis Water Purifier[J]. China Appliance Technology, 2018(8): 31—35.
- [37] 陶雷, 余玲, 吕龙, 等. 水产养殖现状及臭氧消毒技术研究进展[J]. 南方农机, 2018, 49(4): 29—39.

- TAO Lei, YU Ling, LYU Long, et al. Status of Aquaculture and Research Progress of Ozone Disinfection Technology[J]. South Agricultural Machinery, 2018, 49(4): 29—39.
- [38] 乔永祥, 谢晶, 雷昊, 等. 复合清洗方式对鲜切散叶生菜品质的影响[J]. 包装工程, 2017, 38(11): 11—16.
- QIAO Yong-xiang, XIE Jing, LEI Hao, et al. The Effect of Compound Cleaning Methods on the Quality of Fresh-cut Lettuce[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(11): 11—16.
- [39] 陈梦曦, 孙东雷, 代黄梅, 等. 真空臭氧消毒机对生鲜蔬菜消毒效果的实验研究[J]. 现代预防医学, 2018, 45(22): 4139—4143.
- CHEN Meng-xi, SUN Dong-lei, DAI Huang-mei, et al. Experimental Study on Disinfection Effect of Vacuum Ozone Sterilizer on Fresh Vegetables[J]. Modern Preventive Medicine, 2018, 45(22): 4139—4143.
- [40] 彭红, 周刚, 施庆珊. 臭氧不同作用方式杀菌效果比较[J]. 中国消毒学杂志, 2017, 34(9): 827—829.
- PENG Hong, ZHOU Gang, SHI Qing-shan. Comparison of Germicidal Efficacy of Different Ways of Ozone[J]. Chinese Journal of Disinfection, 2017, 34(9): 827—829.
- [41] 乔彩云, 李建科, 惠伟, 等. 臭氧技术及其在消毒杀菌和果蔬保鲜方面的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(10): 432—435.
- QIAO Cai-yun, LI Jian-ke, HUI wei, et al. Advances in Ozone Technology and its Application in Disinfection, Sterilization and Preservation of Fruits and Vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(10): 432—435.
- [42] 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.
- [43] RAHMAN S M E, DING T, OH D H. Inactivation Effect of Newly Developed Low Concentration Electrolyzed Water and Other Sanitizers Against Microorganisms on Spinach[J]. Food Control, 2010, 21(10): 1383—1387.
- [44] PARK K J, LIM J H, JUNG H, et al. Disinfection Efficacy of Slightly Acidic Electrolyzed Water (SlAEW) Against Some Fresh Vegetables[J]. Korean Journal of Food Preservation, 2017, 24: 312—319.
- [45] TIAN D, RAHMAN S M E, OH D H. Inhibitory Effects of Low Concentration Electrolyzed Water and Other Sanitizers Against Foodborne Pathogens on Oyster Mushroom[J]. Food Control, 2011, 22(2): 318—322.
- [46] ZHANG Chun-ling, CAO Wei, HUNG Yen-con, et al. Disinfection Effect of Slightly Acidic Electrolyzed Water on Celery and Cilantro[J]. Food Control, 2016, 69: 147—152.
- [47] 丁年平, 夏枫耿, 赵培静, 等. 微酸性电解水对黄瓜的消毒效果及安全性评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(4): 930—934.
- DING Nian-ping, XIA Feng-geng, ZHAO Pei-jing, et al. Evaluation of Disinfection Effect and Safety of Slightly Acidic Electrolytic Water on Cucumbers[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(4): 930—934.
- [48] MANSUR A R, OH D H. Combined Effect of Thermosonication and Slightly Acidic Electrolyzed Water to Reduce Foodborne Pathogens and Spoilage Microorganisms on Fresh-cut Kale[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(6): 1277—1284.
- [49] 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.
- ZHANG Qiu-ting, LIN Su-li, ZHU Song-ming, et al. Study on the Bactericidal Effect of Ultra-high Pressure Combined with Slightly Acidic Electrolytic Water on Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(3): 338—344.
- [50] 杨越. 清洗方式对鲜切生菜和樱桃番茄处理效果的应用研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2017: 5—15.
- YANG Yue. Application of Cleaning Methods to Fresh-cut Lettuce and Cherry Tomato[D]. Shihezi: Shihezi University, 2017: 5—15.