

臭氧水在鲜切蔬菜贮藏保鲜中应用的研究进展

王宏延¹, 曾凯芳^{1,*}, 贾凝², 王文生²

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.国家农产品保鲜工程技术研究中心,

天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要: 鲜切蔬菜属于生鲜食品, 是一种新兴的蔬菜加工产品, 而去皮、切分会破坏蔬菜结构, 给鲜切蔬菜带来不利的物理影响, 还会导致引发一系列不利的生理生化反应, 导致鲜切蔬菜货架期降低, 阻碍鲜切蔬菜的加工与销售。臭氧及臭氧水在食品冷杀菌应用方面极具潜力, 也是有效的绿色灭菌新方法, 非常适合鲜切蔬菜的杀菌保鲜。本文综述臭氧水处理对鲜切蔬菜品质的影响, 以期臭氧水在鲜切蔬菜工业中的应用提供一些依据。

关键词: 鲜切蔬菜; 去皮; 切分; 生理生化反应; 臭氧水

Recent Advances in Applications of Ozone Water in Storage and Preservation of Fresh-Cut Vegetables

WANG Hong-yan¹, ZENG Kai-fang^{1,*}, JIA Ning², WANG Wen-sheng²

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, National Engineering and Technology Research Center of Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

Abstract: Fresh-cut vegetables are a type of emerging processed vegetable products. The structure of fresh-cut vegetables can be destroyed due to peeling and cutting, resulting in adverse physical effects and some adverse physiological and biochemical responses so that the shelf life will be shortened and consequently limit processing and distribution. Ozone and ozone water have great potential for applications in cold sterilization of foods and can provide a new, effective, green technique that is very suitable for the sterilization of fresh-cut vegetables. This paper reviews the effect of ozone water on the quality of fresh-cut vegetables, which will provide references for the application of ozone water in the fresh-cut vegetable industry.

Key words: fresh-cut vegetables; peeling; cutting; physiological and biochemical responses; ozone water

中图分类号: TS205.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)21-0355-04

鲜切蔬菜又称半加工蔬菜, 是指将新鲜蔬菜挑选整理、浸泡清洗、去皮切分、保鲜杀菌以及包装贮藏等处理后, 可直接烹调(即用型)或直接食用(即食型)的新鲜蔬菜制品。鲜切蔬菜具有品质新鲜、食用方便、营养丰富、清洁卫生、可食率接近100%等优点^[1]。鲜切加工可使蔬菜价格增加1~5倍, 发达国家已形成了规模巨大的鲜切蔬菜加工业, 而我国蔬菜商品化处理率仅为25%^[2]。鲜切蔬菜的加工过程就是蔬菜的物理、化学及微生物特性的改变过程。鲜切蔬菜经过去皮、切分等处理, 蔬菜原有的组织结构和保护系统被破坏, 受伤的组织和破损的细胞为微生物生长繁殖提供了营养和保护性环境^[3]; 此外, 还产生一系列不利于鲜切蔬菜贮藏保鲜的生理生化反应, 例如诱导组织内源乙烯产生^[4]、提高呼吸作用和蒸腾作用、提高酶活性等, 最终影响鲜切蔬菜的货架期和品质。

臭氧可以破坏微生物的生物结构, 使菌体蛋白变

性, 破坏菌体酶系统, 还能够改变细胞膜通透性^[5], 使微生物失去生存能力, 当臭氧的浓度超过一定阈值时, 消毒杀菌可瞬间完成, 这与一般杀菌剂积累性的杀菌功能不同。臭氧在杀菌消毒过程中仅产生无毒的氧化物, 多余的臭氧最终被还原成氧气, 不存在二次污染, 这是其他杀菌剂无法比拟的优点。湿度的提高及温度的降低可以增强臭氧的杀菌作用, 臭氧水比臭氧气体有更强、更快的杀菌消毒作用。臭氧及臭氧水的消毒灭菌技术在食品工业中的应用已被美国等许多国家批准, 2001年美国FDA又将臭氧列为可直接和食品接触的添加剂范围^[6], 臭氧水能明显改善食品质量, 延长贮存期与货架期^[7-8], 目前, 国外已采用臭氧水循环系统对果蔬清洗消毒^[9]。本文综述臭氧水处理对鲜切蔬菜品质的影响, 以期臭氧水在鲜切蔬菜加工业中的应用提供一些依据。

收稿日期: 2011-10-18

基金项目: 天津农业科学院院长基金项目(09015); 重庆市自然科学基金项目(CSTC2011BB1014)

作者简介: 王宏延(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品贮藏工程。E-mail: wo05056@126.com

*通信作者: 曾凯芳(1972—), 女, 教授, 博士, 研究方向为农产品贮藏工程。E-mail: zengkaiyang@163.com

1 臭氧水对鲜切蔬菜贮藏品质的作用

1.1 臭氧水对鲜切蔬菜微生物的作用

表1 氧化剂及其氧化电势^[10]

Table 1 Oxidizing agents and their oxidation potential^[10]

氧化剂	氟	臭氧	高锰酸盐	二氧化氯	次氯酸	氯气
氧化电势/mV	3.06	2.07	1.67	1.50	1.49	1.36

微生物可引起鲜切蔬菜腐败变质和货架期降低, 最终影响经济价值。蔬菜的pH值在5~7之间, 引起鲜切蔬菜变质的微生物主要是细菌和霉菌。由表1可知, 臭氧是仅次于氟的强氧化剂, 其氧化电势是2.07mV, 臭氧的杀菌谱比其他所有的消毒杀菌剂都广^[11], 能有效杀灭或抑制细菌、霉菌、酵母菌、寄生物和病毒。利用臭氧水替代传统的消毒剂在鲜切蔬菜工业中具有巨大的优越性, 0.3mg/L臭氧水处理大肠杆菌和金黄色葡萄球菌1min, 杀灭率达到100%; 1.5mg/L臭氧水处理1min可杀灭全部的黑曲霉和酵母^[12]。高翔等^[13]用0.3mg/L的臭氧水处理鲜切西洋芹10min, 贮藏至第9天菌落总数可控制在 10^5 CFU/g左右, 比对照低两个数量级, 几乎检不出大肠菌群。富新华^[14]用1.0mg/L的臭氧水处理鲜切芹菜5min, 第3天时鲜切芹菜表面细菌总数控制在 2.5×10^3 CFU/g以内, 大肠菌群数控制在70最大可能数(most probable number, MPN)/100g以内。张立奎等^[15]采用0.18mg/L臭氧水处理鲜切生菜可使细菌总数下降1.5个数量级, 大肠菌群数低于0.3CFU/g。Zhang Likui等^[16]用臭氧水处理鲜切芹菜, 微生物的生长得到了显著抑制, 与Lu Zhaoxin等^[17]的实验结果一致。

1.2 臭氧水对鲜切蔬菜生理生化反应的作用

1.2.1 臭氧水处理对鲜切蔬菜呼吸强度的作用

呼吸作用是蔬菜采后主导性的生理活动, 导致蔬菜质量减轻, 组织衰老。呼吸强度是衡量呼吸作用强弱和新陈代谢的一个重要指标, 是估计产品贮藏能力的依据。呼吸强度反应了物质变化, 通常情况下蔬菜的呼吸作用越强, 营养物质的消耗也越快; 而臭氧水处理鲜切蔬菜能够消除乙烯, 降低呼吸强度($O_3 + C_2H_4 \rightarrow HCOH + HCOOH$; $RCOOH + O^- \rightarrow CO_2 + H_2O$)。吴建生等^[18]用不同质量浓度的臭氧水处理鲜切甘蓝, 发现增加臭氧水质量浓度有利于抑制呼吸速率, 但对膜通透性不利。高翔等^[13]用0.3mg/L的臭氧水处理鲜切西芹, 结果表明在贮藏的第3天, 对照组的呼吸强度是臭氧水处理组的4~6倍。王瑾等^[19]研究发现臭氧水处理与对照处理相比, 在贮藏的各个时期均明显抑制了花椰菜的呼吸强度。

1.2.2 臭氧水处理对鲜切蔬菜酶活性的作用

蔬菜中的蛋白质主要是催化各种代谢反应的酶类, 主要包括多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)、果胶酶

和脂氧合酶(LOX)等。鲜切加工使蔬菜细胞组织破碎, 破坏了酶与底物分布的区域化, 酶活性上升, 促进各种氧化和水解反应, 导致产品色、香、味、质地及营养价值下降; 马海燕等^[20]用不同质量浓度的臭氧水处理西兰花, 研究发现POD活性随臭氧水质量浓度增大而降低, 徐斐燕等^[21]发现在贮藏的前7d, 臭氧水处理抑制了鲜切西兰花中PPO的活性。An Jiansheng等^[22]用1mg/L的臭氧水处理鲜切绿芦笋, 可抑制苯丙氨酸解氨酶、超氧化物歧化酶、抗坏血酸过氧化物酶的活性。

1.2.3 臭氧水处理对鲜切蔬菜质量损失率的作用

鲜切蔬菜质量损失包括干物质和水分两方面的损失, 其中水分损失主要由蒸腾作用引起。鲜切蔬菜质量损失不仅造成直接经济损失, 还影响蔬菜的生理生化反应, 因为水是蔬菜组织进行一系列生理活动的介质, 蔬菜脱水是一种逆境条件, 会加强水解作用和糖酵解, 引起氧化磷酸化解偶联, 从而刺激呼吸并加速衰老, 减弱蔬菜的耐贮性和抗病性, 引起品质的劣变。去皮切分破坏了蔬菜的周皮或角质层, 使水分损失的屏障较少或消除, 并且鲜切蔬菜体积减小, 比表面积增加, 加工贮藏过程中鲜切蔬菜的质量损失比蔬菜原料更严重。臭氧水能使果蔬表皮的气孔缩小, 从而减少水分蒸腾, 高文庚等^[23]用0.3mg/L的臭氧水处理绿芦笋15min, 结果表明第9天质量损失率是对照的1/5。贾文君等^[24]用臭氧水处理草菇, 发现处理组的质量损失率显著低于对照组。

1.3 臭氧水对鲜切蔬菜营养成分的作用

蔬菜中含有多种营养物质和生理活性物质, 是维持人体正常生理机能、保持健康所必需的物质, 用臭氧水处理蔬菜的过程中, 臭氧会无选择地对易氧化的营养物质产生一定的影响。臭氧将还原型VC转变为氧化型VC, 曲春香等^[25]用臭氧水处理菠菜和小白菜, 处理组总VC含量比对照组略有下降, 但差异不显著, 而还原型VC含量降低极显著($P < 0.01$), 另一种重要的营养物质胡萝卜素含量降低显著($0.01 < P < 0.05$)。余向阳等^[26]研究发现臭氧水处理后青菜中类胡萝卜素含量明显降低, 而VC含量几乎无变化, 与吴继国等^[27]的研究结果相一致。孔凡春等^[28]研究发现臭氧水处理对还原糖纯品和青椒中的还原糖含量均无影响。王瑾等^[29]用臭氧水处理鲜切西兰花, 发现臭氧延缓了组织代谢, 在整个贮藏过程中, 处理组的VC和蛋白质含量降低得到了有效控制, 但是从保护营养成分的角度, 宜采用低质量浓度的臭氧水处理鲜切蔬菜。

1.4 臭氧水对鲜切蔬菜叶绿素的作用

绿色蔬菜的叶绿体中含有绿色的叶绿素和黄色的胡萝卜素与叶黄素, 其中叶绿素的含量最高, 绿色的鲜切蔬菜在贮藏过程中会出现脱绿黄化现象, 这是判断蔬菜衰老的一个表现特征。蔬菜绿色消退而黄化的根本原因

是叶绿素降解,其中酶降解是叶绿素降解的一个重要途径,此外有研究指出乙烯能促进叶绿素的降解,采用臭氧水处理鲜切蔬菜,可利用臭氧对叶绿素水解酶的钝化作用和臭氧对乙烯的氧化作用而减缓叶绿素的降解。潘磊庆等^[30]用1.54mg/L的臭氧水处理芹菜,研究发现芹菜的黄花率明显低于对照,臭氧水处理有利于保持芹菜的绿色。徐斐燕等^[21]用2.4mg/L的臭氧水处理鲜切西兰花,发现在贮藏末期叶绿素含量比对照高53%。陆胜民等^[31]也发现臭氧水处理能延缓叶绿素的降解,并能抑制类胡萝卜素合成,有利于保持鲜切菜的绿色。

除上述作用之外,臭氧水应用于鲜切蔬菜还能降低农残,臭氧极强的氧化性可以破坏农药分子的结构,使双键断裂。臭氧水质量浓度越大其去农残能力越强,白梅等^[32]发现臭氧水浸泡5min,乐果和马拉硫磷的去除率分别达到63.5%和87.5%,陆胜民^[33]发现15mg/L的臭氧水浸泡5min,约有80%的残留乐果被去除。

2 臭氧水应用的制约因素

表2 臭氧的水溶性与温度的关系

Table 2 Relationship between temperature and ozone solubility

温度/℃	0	15	27	40	60
溶解度	0.640	0.456	0.270	0.112	0.000

注:溶解度表示每升水中含有多少升的臭氧。

臭氧水稳定性是制约臭氧水应用的主要因素,臭氧在常温条件下极易分解,在水中的半衰期为20min^[34],由表2可知,可以通过降低水温来提高臭氧水的稳定性。水质、pH值等也会影响臭氧水的稳定性,王芳等^[35]研究发现有机物存在时臭氧水的杀灭率显著降低,在磷酸盐缓冲液中的微生物能被臭氧迅速灭活。高元惠等^[36]研究发现水的电导率越低、温度越低,臭氧水的稳定性越好;方敏等^[37]研究发现碱性水、强酸性水中臭氧的分解会加快,而偏酸性水中臭氧比较稳定。

3 结 语

臭氧水应用于鲜切蔬菜工业可与超声波处理、化学试剂保鲜等相结合。陈育彦等^[38]用臭氧水和超声波两者结合处理鲜切韭薹,表明超声波能促进臭氧分散,使其形成小气泡,增加接触面积,使臭氧最大程度发挥灭菌能力,超声波还可以加强氧化还原作用,两者结合处理比臭氧水单独处理保鲜效果更好。臭氧水与褐变抑制剂相结合,在臭氧水中加入0.01%~0.06%植酸、0.01%柠檬酸、0.2%乳酸钙,既可以增加臭氧水稳定性,又可以在保鲜的同时达到护色、保脆的目的。

臭氧及臭氧水杀菌技术是现代鲜切蔬菜工业采用的

冷杀菌技术之一,是一种绿色杀菌技术。臭氧水处理不仅能够起到良好的杀菌防腐作用,还能够氧化乙烯、降低呼吸强度,延缓蔬菜后熟、有效控制质量损失率和营养物质消耗,此外臭氧水还能有效降解蔬菜上残留的农药、化肥、洗涤剂等有机物。臭氧化水应用于鲜切工业中具有多功能性,能简化鲜切蔬菜生产工序,臭氧水清洗、浸泡的过程既是消毒、杀菌、保鲜的过程,又是除臭、降农残的过程。20世纪80年代以来美国、欧洲等发达国家已将臭氧广泛用于与食品贮藏保鲜,但我国对臭氧及臭氧水研究尚有许多不足之处,例如从事臭氧及臭氧水研究的人员较少,用于臭氧质量浓度测定的仪器和设备缺乏等。臭氧水在实验阶段的研究已经取得了一定成果,但臭氧及臭氧水大规模应用于鲜切蔬菜的实际生产还很有限,存在许多不足之处,亟待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 吴远彬. 鲜切蔬菜加工及流通[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 1-2.
- [2] 农业部种植业管理司. 全国蔬菜重点区域发展规划(2009—2015年)[J]. 长江蔬菜, 2009(13): 1-8.
- [3] 胡文忠. 鲜切果蔬科学、技术与市场[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 70-72.
- [4] 陈功, 余文华. 净菜加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 133-135.
- [5] 李翠莲, 黄中培, 方北曙. 臭氧杀菌消毒技术在食品工业中的应用[J]. 湖南农业科学, 2008(4): 119-121.
- [6] 王文生, 罗云波, 石志平. 臭氧在果蔬贮藏保鲜中的研究与应用[J]. 保鲜与加工, 2004, 4(1): 4-7.
- [7] KELLS S A, MASON L J, MAIER D E, et al. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize[J]. Journal of Stored Products Research, 2001, 37(4): 371-382.
- [8] MANOUSARIDIS G, NERANTZAKI A, PALEOLOGOS E K, et al. Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels[J]. Food Microbiology, 2005, 22(1): 1-9.
- [9] XU Liangji. Use of ozone to improve safety of fresh fruits and vegetables[J]. Food Technology, 1999, 53(10): 58-61.
- [10] GUZEL-SEYDİM Z B, GREENE A K, SEYDİM A C. Use of ozone in the food industry[J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37(4): 453-460.
- [11] GRAHAM D M. Use of ozone for food processing[J]. Food Technol, 1997, 51(6): 72-75.
- [12] 高翔. 鲜切菜“冷杀菌”技术的研究[J]. 微生物学杂志, 2003, 23(5): 56-59.
- [13] 高翔, 陆兆新, 张立奎, 等. 臭氧在鲜切西洋芹保鲜中应用的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(12): 131-134.
- [14] 富新华. 臭氧水处理对鲜切芹菜表面微生物及感官品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(15): 207-208.
- [15] 张立奎, 陆兆新, 郁志芳. 臭氧水处理鲜切生菜贮藏期间的品质变化[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(3): 128-131.
- [16] ZHANG Likui, LU Zhaoxin, YU Zhifang, et al. Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water[J]. Food Control, 2004, 16(3): 279-283.
- [17] LU Zhaoxin, ZHANG Likui, LU Fenxia, et al. Model of microbial growth on fresh-cut lettuce treated with chlorinated water during storage under different temperatures[J]. Journal of Food Process

- Engineering, 2007, 30(1): 106-118.
- [18] 吴建生, 姚勇芳, 陈祖佑, 等. 鲜切甘蓝O₃处理与保鲜效果研究[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 452-456.
- [19] 王瑾, 林向阳, 阮榕生, 等. 高浓度臭氧水对鲜切花椰菜保鲜的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 607-611.
- [20] 马海燕, 张慇, 孙金才. 臭氧水和超声波协同作用在速冻西兰花中的应用研究[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(4): 538-543.
- [21] 徐斐燕, 蒋高强, 陈健初. 臭氧在鲜切西兰花保鲜中应用的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(5): 254-257.
- [22] AN Jiansheng, ZHANG Min, LU Qirui. Changes in some quality indexes in fresh-cut green asparagus pretreated with aqueous ozone and subsequent modified atmosphere packaging[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(1): 340-344.
- [23] 高文庚, 杨萍芳. 臭氧水处理对绿芦笋贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(10): 167-169.
- [24] 贾文君, 何金银, 徐步前. 臭氧处理对草菇采后外观品质的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(7): 245-249.
- [25] 曲春香, 宋卫平, 许宏庆, 等. 臭氧水处理对蔬菜中维生素C和胡萝卜素含量的影响[J]. 现代食品科技, 2005, 21(2): 80-81.
- [26] 余向阳, 陈峰, 徐敦明. 臭氧对青菜中3种有机磷农药去除效果及VC和类胡萝卜素含量的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(11): 150-154.
- [27] 吴继国, 栾天罡, 陈玉成, 等. 低质量浓度臭氧水对小白菜营养成分的影响[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2008, 47(6): 48-51.
- [28] 孔凡春, 沈群, 刘月, 等. 臭氧处理对果蔬中L-抗坏血酸和还原糖的影响[J]. 食品科技, 2003(10): 88-90.
- [29] 王瑾, 徐春涛, 林向阳, 等. 臭氧水对鲜切花椰菜保鲜的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(12): 213-215.
- [30] 潘磊庆, 屠康, 贾明敏, 等. 臭氧水处理对芹菜保鲜效果的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(3): 348-352.
- [31] 陆胜民, 孔凡春, 王群. 臭氧对鲜切青菜品质的影响[J]. 食品科技, 2003(8): 34-36.
- [32] 白梅, 刘万山, 张丽薇, 等. 臭氧水对蔬菜残留有机磷农药去除率[J]. 中国卫生工程学, 2005, 4(6): 358-359.
- [33] 陆胜民. 臭氧降解蔬菜中乐果残留及其品质的影响[J]. 中国食品学报, 2006, 6(1): 129-132.
- [34] 翁佩芳, 吴祖芳, 陈济东. 臭氧水在食品工业中的应用的研究[J]. 食品与机械, 2000(6): 19-21.
- [35] 王芳, 刘育京. 有机物、酸碱度、温度对臭氧水杀菌效果影响的研究[J]. 中华医院感染学杂志, 2000, 10(5): 338-340.
- [36] 高元惠, 王文生, 陈存坤, 等. 影响高浓度臭氧化水稳定性若干因素的探讨[J]. 保鲜与加工, 2008, 8(6): 32-34.
- [37] 方敏, 沈月新, 方竞, 等. 臭氧水稳定性的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(9): 39-43.
- [38] 陈育彦, 屠康, 施建辉. 超声波和臭氧在鲜切韭薹保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(9): 110-112.