

臭氧处理对果实采后生理和贮藏品质影响的研究进展

Research progress on effects of the ozone treatment on post-harvest physiology and storage quality of fruits

蒋 宝

JIANG Bao

(渭南职业技术学院, 陕西 渭南 714026)

(Weinan Vocational & Technical College, Weinan, Shaanxi 714026, China)

摘要:臭氧作为一种新的非热杀菌技术得到越来越广泛的应用。文章在分析影响臭氧贮藏保鲜效果的主要因素的基础上,重点综述臭氧处理对果实采后生理和贮藏品质影响取得的最新进展,为臭氧更好地应用于果实贮藏保鲜提供理论依据和参考。

关键词:臭氧;果实;生理特性;贮藏品质

Abstract: As a non-thermal technology, ozone is being applied to food and fruit which become more and more popular. On the basis of the analysis of the influencing factors for preservation effect of ozone, the latest process in effects of ozone on post-harvest physiology and storage quality of fruits were reviewed, providing a basis and reference for the ozone better applied to fruit storage and preservation.

Keywords: ozone; fruits; physiology property; storage quality

为提高果实采后贮藏质量和新鲜度,在传统保鲜技术的基础上,国内外学者长期以来一直在寻找更加安全、经济、高效、便捷和环保的果实保鲜新技术和新方法。其中,臭氧(O_3)处理技术因其在果实贮藏保鲜中表现出的突出优点,已在果实贮藏的应用中受到越来越多的重视并迅速发展。目前,臭氧处理技术已在葡萄^[1-2]、苹果^[3-4]、梨^[5-6]、猕猴桃^[7-8]、木瓜^[9-10]、草莓^[11-12]、柑橘^[13]、桑葚^[14]、冬枣^[15]等20余种果实上被使用,但由于与该技术相配套的诸多关键问题还未解决,导致这项技术多数情况下还仅仅局限在实验室范围内使用。利用臭氧处理采后贮藏期的果实,它的效果主要体现在以下4个方面:①臭氧作为果实保鲜剂,具有杀菌防腐的作用;②臭氧处理可以降解果实表面的农药残

留,提高果实的质量安全;③臭氧可以预防和降解某些霉菌代谢所产生的真菌毒素;④臭氧能抑制果实采后呼吸等生理活动,并氧化分解果实采后生理代谢所产生的催熟剂乙烯气体,延迟果实衰老。本文旨在通过对当前臭氧处理在果实采后应用中取得的进展及存在的问题进行综述,以期为其更好地应用于采后果实的贮藏保鲜提供参考。

1 臭氧的性质与产生

臭氧是氧气的同素异形体,在常温常压下为无色气体,当其浓度较高时,呈淡蓝色。臭氧化学性质不稳定,在水中极易分解,具有很强的氧化性,属于广谱、高效的杀菌消毒剂。同时,臭氧半衰期短(通常情况下仅为30~60 min),可自行分解为氧气,故不适于瓶装贮存,只能现制现用。

目前,生产臭氧的方法主要有:电晕放电型的臭氧发生器法、电解法、放射化学法和紫外照射法^[16],这4种方法各有特点,但电晕放电型的臭氧发生器法具有耗能较低、气源丰富、使用方便及臭氧产量大等优点,是工业化合成臭氧的主要方法。

2 臭氧的贮藏保鲜机理

2.1 杀菌作用

臭氧氧化能力极强,能有效杀死各种微生物。臭氧能破坏微生物的细胞壁和细胞膜,导致微生物的膜透性增加,胞内物质外泄;还可以使微生物细胞内的蛋白质变性,促使微生物死亡^[17]。

2.2 降解农药残留

臭氧是强氧化剂,在水中臭氧可以发生还原反应,产生氧化能力极强的羟基和单原子氧,它们可进一步分解水中的有机物质。臭氧与果实表面的农残物质反应,生成水溶性化合物,所以利用臭氧来降解果实表面的农残是安全可行的,被认为是未来解决果实表面农残的一项重要技术。

基金项目:陕西省科学技术发展研究计划项目(编号:2015KJXX-98);渭南市科技发展计划项目(编号:2015KYJ-4-3)

作者简介:蒋宝(1981—),男,渭南职业技术学院副教授,博士。

E-mail: treebaojiang@163.com

收稿日期:2017-12-22

2.3 降解真菌毒素

真菌毒素是某些霉菌在生长过程中产生的次级代谢产物,多数具有毒性,例如黄曲霉毒素B₁、B₂、G₁和G₂。它们主要存在于无花果、开心果和花生等含油量高的食物中,对人体健康造成严重威胁。臭氧可以通过自身的强氧化作用改变真菌毒素的分子结构,进而改变其生物活性,从而起到降解真菌毒素的作用^[18]。

2.4 抑制新陈代谢

呼吸作用作为果实采后最主要的生理代谢活动,一方面消耗果实的营养物质,降低果实品质,加快果实的衰老;另一方面随着果实的逐渐衰老,乙烯不断产生,同样加速了果实的成熟,使果实变软腐烂,新鲜度下降。而臭氧具备的强氧化能力,能迅速氧化分解果实自身产生的乙烯,从而抑制果实的新陈代谢,延迟果实的后熟,延长果实的保鲜期。此外,臭氧也可以诱导果实表皮气孔变小,降低水分的蒸腾作用,进而降低果实的养分损耗^[13-14]。

3 影响臭氧贮藏保鲜效果的主要因素

在果实采后贮藏保鲜过程中,影响臭氧贮藏保鲜效果的因素有多种,按照来源不同,主要可以分为三类:①果实本身特点,即因果实品种、成熟度和硬度等的不同,对臭氧处理效果所造成的差异;②果实贮藏条件差异,即臭氧处理前后果实贮藏环境的温度、湿度、氧气浓度及果实包装方法和包装材料不同所造成的差异;③臭氧处理方式的不同,包括臭氧处理的浓度、时长、频次及是否与其它保鲜技术相结合等。长期以来,国内外学者围绕着第三类因素开展了大量的研究,其中以臭氧处理浓度不同作为试验因子是目前研究的热点。表1列举了部分文献中关于影响臭氧贮藏保鲜效果的因素。

4 臭氧处理对果实采后生理特性和贮藏品质的影响

4.1 臭氧处理对果实采后生理特性的影响

4.1.1 呼吸作用 呼吸作用是果实采收贮藏过程中最重要

的生理活动之一,通常随着呼吸作用的持续进行和呼吸强度的增加,采后果实的品质不断下降,所以有效抑制采后果实的呼吸作用是延长果实保鲜期,提高果实贮藏品质的重要手段之一。葡萄果实经一定浓度臭氧处理后,其呼吸速率较未处理对照果实显著地降低^[28],类似研究结果在猕猴桃^[8]、桑葚^[20]、板栗^[27]、冬枣^[29]、黄梨^[30]和金橘^[31]等果实上也已被证实。果实经臭氧处理后其呼吸速率降低的原因可能是乙烯与其受体的结合受抑制,因而阻断了乙烯诱导的生理生化反应。

4.1.2 乙烯 内源乙烯是果实在贮藏过程中释放出的代谢产物。随着内源乙烯生成速率的增加,果实的衰老进程加快^[32]。有研究表明,臭氧处理可以抑制黄梨^[30]和哈密瓜^[33]内源乙烯的释放。而Mei等^[10]的研究结果又显示,当臭氧处理浓度>3.5 μL/L时,相对于未经臭氧处理的对照样品,经臭氧处理的样品在贮藏期其乙烯的释放量增加,所以臭氧对果实乙烯释放量的影响,与臭氧处理的浓度有密切关系。

4.1.3 相对电导率与丙二醛 细胞膜的完整性是果实维持细胞微环境和正常代谢的重要保障。但通常随着果实贮藏期组织的后期衰老,细胞膜的完整性受到损坏,导致细胞正常功能受损,膜的通透性增加和胞内电解质外渗,引起果实提取液相对电导率逐步增加^[34]。前人^[35]研究表明,与未经臭氧处理果实相比,经适当浓度臭氧处理后的沙糖橘在整个贮藏期都有较低的相对电导率。类似的结果在黄梨^[6,30]、猕猴桃^[8]、冬枣^[29]和金橘^[30]等果实的研究中也有发现。说明臭氧处理能延缓果实的衰老,进而延长果实的保鲜期。

丙二醛(MDA)是植物组织中膜脂过氧化的主要产物之一,其含量是衡量植物体衰老程度的重要标志。此外,植物组织中MDA含量通常与其相对电导率变化同步,即MDA含量越高,植物组织的相对电导率值也越大。对臭氧处理后的梨^[6,29]、猕猴桃^[8]、草莓^[11]、葡萄^[28]、金橘^[31]和沙糖桔^[35]等的研究证明了上述结论,同时也说明臭氧能抑制贮藏期果实组织的膜脂过氧化反应,从而延缓组织的衰老进程。

4.1.4 植物酶系统 POD(过氧化物酶)、SOD(超氧化物歧化酶)、CAT(过氧化氢酶)、PPO(多酚氧化酶)和APX(抗坏血酸氧化酶)等是植物体内的重要酶类,具有维持氧代谢平衡和保护细胞膜结果完整性等功能,因而与采后果实的成熟衰老密切相关。研究表明,适宜浓度的臭氧处理能使猕猴桃^[8]、葡萄^[28]、金橘^[31]、血橙^[36]和蓝莓^[37]等果实在贮藏期间维持较高的抗氧化酶POD、SOD和CAT活性,减轻果实的失重与腐烂,延缓果实的衰老。

PPO和APX是与采后果实中酚类物质和抗坏血酸含量直接相关的调控酶。Mei等^[10]对木瓜和章宁瑛等^[37]对蓝莓的研究均表明适宜浓度的臭氧处理可以抑制PPO和APX的下降,与张有林等^[29]对冬枣和张海伟等^[38]对蓝莓的研究结论不一致,可能是研究者们选取的果实样品贮藏时间和臭氧处理浓度不同所致。

4.2 臭氧处理对果实贮藏品质的影响

4.2.1 可溶性固形物和总酸 可溶性固形物直接反映果实

表1 影响臭氧贮藏保鲜效果的因素
Table 1 Factors for affecting the preservation and storage effect of ozone

因素类型	研究对象	试验因素	参考文献
果实本身特点	葡萄	果实品种	[1]
	葡萄	果实成熟度	[1]
果实贮藏条件差异	猕猴桃、葡萄	果实温度	[2,7]
	草莓	氧气浓度	[11]
	冬枣	包装材料	[19]
	葡萄、猕猴桃、木瓜、桑葚、树莓、枸杞	臭氧处理浓度	[2,8~10,20~22]
臭氧处理方式不同	荔枝	臭氧处理时长	[23]
	无花果	臭氧处理频次	[24]
	枸杞、水蜜桃、板栗	是否与其它保鲜技术结合	[25~27]

的成熟度和品质状况,而总酸则对果实的口味、pH和加工特性等具有重要的影响。通常把糖酸比作为衡量果实品质和贮藏保鲜效果的指标。对葡萄^[2]、草莓^[11]、桑葚^[20]、树莓^[21]、无花果^[24]、黄花梨^[30]、血橙^[36]和蓝莓^[37]等果实的研究表明,适宜浓度的臭氧处理可以推迟后熟型果实的后熟作用,并延缓后熟型和非后熟型果实的后期衰老过程;而李文生等^[1]和齐馨等^[28]对葡萄果实的研究结果表明,臭氧处理对果实的可溶性固形物含量变化无显著影响。此外,臭氧处理能延缓草莓^[11]、桑葚^[20]和血橙^[36]等果实在贮藏期间总酸的下降速率,而李珍等^[2]对葡萄和蒋家伟等^[30]对无花果的研究结果则与此相反。这些研究结果的差异可能是研究者们选取的果实样品贮藏时间长短与臭氧处理浓度不同所致。

4.2.2 硬度 硬度是衡量采后果实耐贮性的重要指标之一。一般由于原果胶和纤维素等物质的变化,果实采收后的硬度会随着贮藏时间的延长而逐渐下降。适宜浓度的臭氧处理可以延缓葡萄^[2,28]、草莓^[11]、桑葚^[20]、树莓^[24]、金橘^[31]、血橙^[36]、蓝莓^[37]、金柑^[39]、苹果^[40]和河套蜜瓜^[41]等果实硬度的下降速度。这可能与臭氧处理有助于抑制组织中原果胶和纤维素等的降解,维持果实细胞壁的完整性有关。

4.2.3 抗坏血酸 抗坏血酸又称为V_C,它是果实中一种重要的营养物质,其含量与变化是衡量果实采后保鲜效果的重要指标。经适宜浓度臭氧处理后的冬枣^{[15]31-33}、黄花梨^[30]、金柑^[39]、巨峰葡萄^[42]和无花果^[43]等在贮藏期V_C含量较对照下降速率减慢,Pérez等^[44]对草莓的研究也获得了相同结果。而李文生等^[1]对红提、夏黑、辽峰和玫瑰香4个品种葡萄的研究则表明,臭氧处理对上述品种葡萄贮藏期的V_C含量变化没有显著影响。前后研究结果的差异可能是臭氧处理浓度不同所致。说明试验过程中,臭氧处理浓度过低,会造成试验效果不明显;但臭氧浓度过大,则会加速果实在贮藏期V_C的分解,故选取适宜浓度的臭氧来处理果实是影响试验效果的关键因素。

4.2.4 总酚与抗氧化能力 酚类物质是果实中重要的功能性成分,与果实的品质,尤其是果实的抗氧化能力密切相关。Ali等^[9]和齐馨等^[28]的研究分别表明,适宜浓度的臭氧处理有助于降低木瓜(1~16 d)和红提葡萄(0~120 d)总酚含量的下降速度,并提高前者的抗氧化水平,Yeoh等^[45]对鲜木瓜和Minas等^[46]对猕猴桃的研究也获得了相同的结论;而李文生等^[1]对红提葡萄(0~9 d)的研究则表明,臭氧处理对葡萄贮藏期总酚含量的变化没有显著影响,究其原因可能是不同试验的臭氧处理浓度与果实贮藏时间存在较大差异所致,所以适宜浓度的臭氧处理能有效提高果实贮藏过程中总酚含量,从而显著抑制果肉膜脂过氧化物的进程。

4.3 臭氧处理对果实农药残留的影响

果实采后的农药残留是目前引起中国果品质量安全的主要因素之一。臭氧作为一种强氧化剂,可与果实中残留的大部分农药发生反应,生成相应的酸、醇或胺等可溶性物质,因而用臭氧处理果实可以降低果实表面的农残含量^[47-49]。徐维微^[50]研究发现,8 mg/L的臭氧水处理可使草莓果实中多菌灵和百菌清残留的降解率达85%以上;杨娟等^[51]、王琼

等^[52]和朱玲凤等^[53]分别用臭氧处理马水桔、哈密瓜和柑橘的研究表明,臭氧处理可以有效降低果实中有机磷和拟除虫菊酯类农药残留的含量,提高果实的采后贮藏品质。

5 结语与展望

臭氧作为一项新的非热杀菌技术得到越来越广泛的应用,而臭氧处理对果实采后生理特性和贮藏品质的影响作用不可忽视。近20年来,国内外学者围绕着臭氧与果实品质关系的研究取得了一定的成果,但仍存在一些尚待研究的内容,主要包括:①臭氧作为一种有毒气体,在实际操作过程中需要提高处理技术的安全性;②为了提高对臭氧处理检测结果的追溯性和便于不同研究者彼此间比较研究结果,应进一步加强检测手段和分析技术的标准化程度;③为不断提高臭氧处理效果,需要进一步确定臭氧的最佳使用浓度、处理时间和处理方式等;④臭氧处理对果实贮藏期感官品质的影响。

参考文献

- [1] 李文生,王宝刚,侯玉茹,等.臭氧气体熏蒸对鲜食葡萄品质的影响[J].北方园艺,2017(15):108-111.
- [2] 李珍,王宁,邓冰,等.冰温结合臭氧对销地红提葡萄保鲜效果研究[J].核农学报,2016,30(2):275-281.
- [3] 牛锐敏.不同采收期及臭氧处理对红富士苹果贮藏品质和生理生化变化的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2006:25-28.
- [4] 伍小红,李建科,惠伟.臭氧处理对苹果保鲜的影响研究[J].食品科学,2006,37(7):252-254.
- [5] 徐晓燕,惠伟,关军锋,等.臭氧对砀山酥梨采后生理及腐烂效果的影响[J].食品与生物技术学报,2012,31(6):628-633.
- [6] 杨青松,蔺经,常有宏,等.臭氧处理浓度与时间及与1-MCP的结合方式对翠冠梨货架期的影响[J].江苏农业科学,2012,40(1):214-216.
- [7] 李子龙,罗安伟,桂海龙,等.臭氧处理对猕猴桃汁酶活性的影响[J].食品工业,2014,35(8):67-70.
- [8] 曹彬彬,董明,赵晓佳,等.不同浓度臭氧对皖翠猕猴桃冷藏过程中品质和生理的影响[J].保鲜与加工,2012,12(2):5-8.
- [9] ALI A, ONG M K, FORNEY C F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage[J]. Food Chemistry, 2014, 142(2): 19-26.
- [10] MEI K O, ALI A, ALDERSON P G, et al. Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defence-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 179(24): 163-169.
- [11] 赵晓丹,傅达奇,李莹.臭氧结合气调冷藏对草莓保鲜品质的影响[J].食品科技,2015,40(6):24-28.
- [12] 李梦钗,冯薇,杨丽娜.臭氧处理对草莓保鲜效果的影响[J].中国农学通报,2011,27(16):240-243.
- [13] GARCÍA-MARTÍN J F, OLMO M, GARCÍA J M. Effect of ozone treatment on postharvest disease and quality of different citrus varieties at laboratory and at industrial facility[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 137(3): 77-85.
- [14] HAN Qiang, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, et al.

- Precooling and ozone treatments affects postharvest quality of black mulberry (*Morus nigra*) fruits[J]. Food Chemistry, 2017, 221(4): 1 947-1 953.
- [15] 王侠轶. 臭氧冰膜处理对冬枣采后品质及生理影响的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2011.
- [16] KIM J G, YOUSEF A E, DAVE S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review[J]. Journal of Food Protection, 1999, 62(9): 1 071-1 087.
- [17] KOMANAPALLI I R, LAU B H. Ozone-induced damage of *Escherichia coli* K-12[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1996, 46(5/6): 610-614.
- [18] HE Jian-wei, ZHOU Ting, YOUNG J C, et al. Chemical and biological transformations for detoxification of trichothecene mycotoxins in human and animal food chains: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(2): 67-76.
- [19] 李梦钗, 温秀军, 王玉忠, 等. 冬枣采后臭氧去感染技术研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(28): 169-173.
- [20] 韩强, 邵海燕, 陈杭君, 等. 臭氧处理对桑葚采后生理品质的影响及机理[J]. 中国食品学报, 2016, 16(10): 147-153.
- [21] 张娜, 李昆仑, 王文生, 等. 应用臭氧浓度精准控制熏蒸装置提高树莓贮藏品质[J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 295-301.
- [22] 龚媛, 刘敦华, 曲云卿, 等. 响应面法优化臭氧与紫外复合处理枸杞干果杀菌工艺[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 254-258.
- [23] 靳曼, 余小林, 胡卓炎. 不同臭氧处理时间对荔枝汁杀菌效果及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(9): 66-69.
- [24] 蒋家伟, 温渝洁, 赵敏, 等. 臭氧不同频次对无花果冷藏期保鲜效果的影响[J]. 中国食品添加剂, 2014(9): 127-132.
- [25] 龚媛, 刘敦华. 臭氧与紫外复合处理对枸杞干果风味化合物及其功能性成分含量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(6): 159-163.
- [26] 王新颖, 江志伟, 方龙音, 等. 氯化物与臭氧水果保鲜方法及杀菌效果探究[J]. 食品工业, 2014, 35(3): 1-4.
- [27] 贾爱军, 韩艳文, 邓冰, 等. 保鲜剂与臭氧处理对冰温 MA 贮藏板栗生理及品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(18): 100-103.
- [28] 齐馨, 杨晨茜, 徐乐艺, 等. 臭氧与海藻酸钠涂膜对葡萄的保鲜效果及其贮藏生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2016, 36(12): 2 477-2 483.
- [29] 张有林, 韩军岐, 张润光. 低温、减压和臭氧对冬枣保鲜的生理效应研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(10): 2 102-2 110.
- [30] 朱克花, 杨震峰, 陆胜民. 臭氧处理对黄梨果实贮藏品质和生理的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4 315-4 323.
- [31] 黎继烈, 彭湘莲, 钟海雁. 臭氧保鲜处理对金橘采后生理的影响[J]. 中国食品学报, 2007, 7(3): 112-115.
- [32] 郑永华, 应铁进, 席巧芳, 等. 振动胁迫对杨梅果实采后衰老生理的影响[J]. 园艺学报, 1996, 23(3): 231-234.
- [33] 陈存坤, 高芙蓉, 薛文通, 等. 臭氧处理对新疆厚皮甜瓜贮藏品质和生理特性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 215-220.
- [34] KARAKURT Y, HUBER D J. Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28(2): 219-229.
- [35] 牛锐, 王愈, 郝利平. 臭氧处理对沙糖橘保鲜效果的研究[J]. 食品科技, 2014, 39(9): 56-59.
- [36] 折弯弯, 程玉娇, 唐彬, 等. 臭氧结合间歇热处理对‘塔罗科’血橙变温物流保鲜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(4): 272-279.
- [37] 章宁瑛, 邵海燕, 陈杭君. 臭氧处理对蓝莓贮藏品质及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(8): 170-176.
- [38] 张海伟, 张晓晴, 张雨露. 前处理方式对蓝莓贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 105-108.
- [39] 黎继烈, 彭湘莲, 李忠海, 等. 臭氧对金柑贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(12): 157-159.
- [40] LIU Cheng-hui, MA Tao, HU Wen-zhong, et al. Effects of aqueous ozone treatments on microbial load reduction and shelf life extension of fresh-cut apple[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(5): 1 099-1 109.
- [41] 王丽. 臭氧处理对河套蜜瓜采后生理及贮藏品质影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2005: 10-11.
- [42] 王秋芳, 乔勇进, 乔旭光, 等. 臭氧处理对巨峰葡萄品质与生理生化的影响[J]. 果树学报, 2010, 27(1): 63-68.
- [43] 赵伟君. 不同气调条件及臭氧处理对无花果贮藏生理及品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2015: 29-30.
- [44] PEREZ A G, SANZ C, RÍOS J J, et al. Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality[J]. Journal of Agriculture & Food Chemistry, 1999, 47(4): 1 652-1 656.
- [45] YEOH W K, ALI A, FORNEY C F. Effects of ozone on major antioxidants and microbial populations of fresh-cut papaya[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 89(3): 56-58.
- [46] MINAS I S, KARAOGLANIDIS G S, GEORGE A M, et al. Effect of ozone application during cold storage of kiwifruit on the development of stem-end rot caused by *Botrytis cinerea*[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(3): 203-210.
- [47] 肖海燕, 黄思涵, 丘泰球, 等. 超声波/臭氧降解有机磷农药的研究进展[J]. 现代食品科技, 2007, 23(12): 67-70.
- [48] 孔凡春, 陆胜民, 王群. 臭氧在果蔬保鲜和农残降解上的应用[J]. 食品与机械, 2003, 19(5): 24-26.
- [49] GLOWACZ M, COLGAN R, REES D. The use of ozone to extend the shelf-life and maintain quality of fresh produce[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2015, 95(4): 662-671.
- [50] 徐维微. 臭氧处理对草莓果实中多菌灵、百菌清的降解及品质的影响[D]. 天津: 天津农学院, 2016: 51-52.
- [51] 杨娟, 李拥军, 司徒满泉, 等. 臭氧处理对采后马水桔有机磷农药残留降解的研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(11): 98-101.
- [52] 王琼, 姜微波, 曹建康, 等. 臭氧溶解特性及对哈密瓜中农药残留降解的研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(25): 207-212.
- [53] 朱玲凤, 李高阳, 张菊花, 等. 高浓度臭氧水对柑橘多菌灵的降解及其精油品质的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 49-53.