

余璐璐,曹中权,朱秋杰,等. 二氧化氯在草莓采后保鲜中的作用[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):343-346.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.04.098

二氧化氯在草莓采后保鲜中的作用

余璐璐¹, 曹中权¹, 朱秋杰¹, 徐 飞^{1,2}

(1. 武汉生物工程学院生命科学与技术学院,湖北武汉 430415;2. 武汉生物工程学院应用生物技术研究中心,湖北武汉 430415)

摘要:二氧化氯(ClO_2)是一种安全、高效、绿色无毒的杀菌剂。通过不同浓度 ClO_2 处理,研究 ClO_2 对草莓(*Fragaria × ananassa* Duch)果实采后储藏保鲜的影响。结果表明, ClO_2 处理能明显减少草莓储藏期间的感病损伤, ClO_2 处理浓度越高,效果越好。但是,高浓度 ClO_2 处理对草莓果皮有漂白损伤作用,草莓储藏后期色泽较差。低浓度 ClO_2 处理在抑菌的同时能起到较好的果实保鲜效果,其中 20 mg/L ClO_2 处理效果最好,处理后的果实在常温(20 ± 1) °C 下的储藏时间达 6 d 以上。此外,20 mg/L ClO_2 处理组草莓采后储藏期间腐烂率明显降低,果实硬度、持水量、含糖量等均高于对照组,表明 ClO_2 在草莓果实保鲜中具有较好的应用前景。

关键词:二氧化氯;草莓;采后储藏;果实保鲜;腐烂率

中图分类号: TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)04-0343-04

草莓(*Fragaria × ananassa* Duch)系蔷薇科草莓属多年生常绿草本植物,原产于欧洲,于 20 世纪初引入我国。草莓为浆果类水果,其外观呈心形,果实呈红色,柔软多汁,酸甜可口,水果芳香浓郁,且富含花青素等多种活性成分,营养丰富,素有“水果皇后”之称,受到广大消费者的喜爱,市场需求量大^[1-2]。近年来,我国草莓设施栽培面积日益扩大,但设施栽培易形成高温多湿的小气候,草莓在采收前后极易感病,严重影响草莓的产量、品质。草莓病害主要包括灰霉病、白粉病、草莓炭疽病、烂果病等^[3-5]。其中,灰霉病是草莓设施生产及果实采后储藏过程中最主要的病害之一。灰霉病主要危害草莓花、果实,在适温高湿条件下易大量发生,病菌通过伤口侵入,造成发病,极大影响草莓种植及采后储藏^[6-8]。草莓果实含水量高,组织娇嫩,果皮薄,在采收、贮存过程中易受到机械损伤,常温下极不耐贮藏,放置 1~2 d 开始变色、变味,甚至腐烂,商品率迅速下降^[9]。目前,草莓储藏保鲜技术主要包

括低温、气调、辐射、化学试剂等。低温储藏草莓保鲜效果好,但成本高,长时间储藏易引起冻害,影响果实口感^[1]。气调保鲜是通过控制环境中氧气(O_2)与二氧化碳(CO_2)浓度,降低草莓呼吸速率,抑制微生物的繁殖和代谢活动,控制并减少乙烯、花青素、可溶性糖等物质的生成,从而延缓草莓生理代谢,延长草莓储藏时间^[10]。但常规气调储藏技术对仪器、技术要求较高,还会加大长途运销成本。辐射贮藏可以杀菌保鲜,但剂量过大易加速草莓果实组织软化^[9]。化学试剂普遍具有毒性,对环境及人体健康造成影响。因此,寻求更为安全、有效的草莓采后保鲜措施十分必要。二氧化氯(ClO_2)是联合国世界卫生组织(WHO)确认的安全、高效、广谱、强力无毒杀菌剂,其有效氯是氯气的 2.63 倍,杀菌能力是氯气的 5 倍,是次氯酸钠的 50 倍以上,由于它不会发生氯替代反应,因而不会产生致癌、致畸变的有机氯代产物,被 WHO 列为 A1 级安全消毒剂^[11]。近年来, ClO_2 在哈密瓜、蟠桃、荔枝、番茄、青椒等果蔬采后保鲜研究中效果明显,产生了巨大的经济效益、社会效益^[12-16]。本研究通过不同浓度 ClO_2 处理,研究 ClO_2 对草莓采后保鲜的影响,以期对草莓保鲜技术改进提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试草莓选购于武汉生物工程学院后街晶晶草莓园,品种中国蜂业,2010,61(4):10-13。

- [11] Yao L H, Jiang Y E, Singanusong R, et al. Flavonoids in Australian *Melaleuca*, *Guioa*, *Lophostemon*, *Banksia* and *Helianthus* honeys and their potential for floral authentication [J]. Food Research International, 2004, 37(2): 166-174.
- [12] 孙兰凤, 孙 倩, 穆春旭, 等. 蜂蜜中 7 种成分含量 HPLC 切换波长法测定[J]. 中国公共卫生, 2013, 29(4): 604-605.
- [13] Moniruzzaman M, Sulaiman S A, Azlan S A, et al. Two-year variations of phenolics, flavonoids and antioxidant contents in acacia honey[J]. Molecules, 2013, 18(12): 14694-14710.

收稿日期:2015-10-16

基金项目:国家自然科学基金(编号:31400242);湖北省教育厅指导性项目(编号:B2015395)。

作者简介:余璐璐,女,硕士,讲师,主要从事植物生理生态研究。
E-mail:785837433@qq.com。

通信作者:徐 飞,博士,副研究员,硕士生导师,主要从事植物抗逆与果蔬生理研究。E-mail:feixu666@hotmail.com。

- [7] Dina A, Nassima C, Meriem B, et al. Antioxidant capacity and phenol content of selected Algerian medicinal plants [J]. Food Chemistry, 2009, 112(2): 303-309.
- [8] Iurlina M O, Saiz A I, Fnit R, et al. Major flavonoids of Argentinean honeys: optimisation of the extraction method and analysis of their content in relationship to the geographical source of honeys [J]. Food Chemistry, 2009, 115(3): 1141-1149.
- [9] 张文霁, 和绍禹, 方敬会, 等. 蜂蜜中黄酮提取实验条件的研究 [J]. 蜜蜂杂志, 2009(8): 10-12.
- [10] 罗显来, 刘 吟, 黄 文. 湖北油菜蜂蜜的指纹图谱研究 [J].

种为法拉第,八成熟,正果大小均一。在草莓大棚中采摘果形正、果个适中、无病虫害、无机械伤的新鲜草莓,采摘时用剪刀剪取果柄,轻拿轻放,不损伤花萼及浆果,立即运回实验室备用。

1.2 草莓处理

ClO_2 气体制备参照 Guo 等的方法^[17]进行,用碘量法标定 ClO_2 气体浓度。 ClO_2 处理分为高浓度、低浓度 2 个处理组。高浓度处理组采用 100、200、400 mg/L ClO_2 处理,低浓度处理组采用 10、20、40 mg/L ClO_2 处理。处理组草莓和对照组草莓均放入 1 L 的保鲜盒中,置于 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 常温下储存,每组试验重复 3 次,每天拍照观察并测定草莓各项理化指标。

1.3 草莓果实品质测定

采用 GY-1 型手持式硬度计检测草莓果实硬度,每个试验组各挑取 3 个草莓,在草莓中间部位测量硬度并记录数据。参照 Xu 等的方法^[18]检测草莓果实失水量,每天定时称量每组草莓质量,并记录下来,换算出果实储藏期间的失水量变化情况。参照 Xu 等的方法^[19]测定草莓可溶性糖含量,称取 2 g 草莓果肉,研磨成匀浆,离心 5 min,用手持式糖度仪进行检测

并记录数据,每组平行测定 3 次取平均值。参照 Krüger 等的方法^[20]测定草莓可滴定酸含量。参照 Zhu 等的方法^[21]测定草莓维生素 C 含量。参照余璐璐等的方法^[22]测定草莓果实相对电导率。

1.4 数据分析

所有的数值都重复测定 3 次,并计算标准偏差,采用 Graphpad Prism 6.0 软件分析数值变化情况。

2 结果和分析

2.1 高浓度 ClO_2 处理对草莓保鲜的影响

从图 1 可以看出,对照组草莓储藏 2 d 后发生严重霉变,果实开始腐烂,4 d 后草莓霉菌进一步增多,6 d 后草莓完全变质。相比较而言,100、200、400 mg/L ClO_2 处理组草莓在采后储藏期间病害发生率明显降低。但是,高浓度 ClO_2 处理下草莓果实表面有泛白现象,果实品相及口味较处理前明显降低。100 mg/L ClO_2 处理组草莓储藏后第 4 天开始泛白,200、400 mg/L ClO_2 处理组草莓在储藏后第 2 天开始泛白,表明高浓度 ClO_2 处理在抑菌的同时,也对草莓造成了损伤。

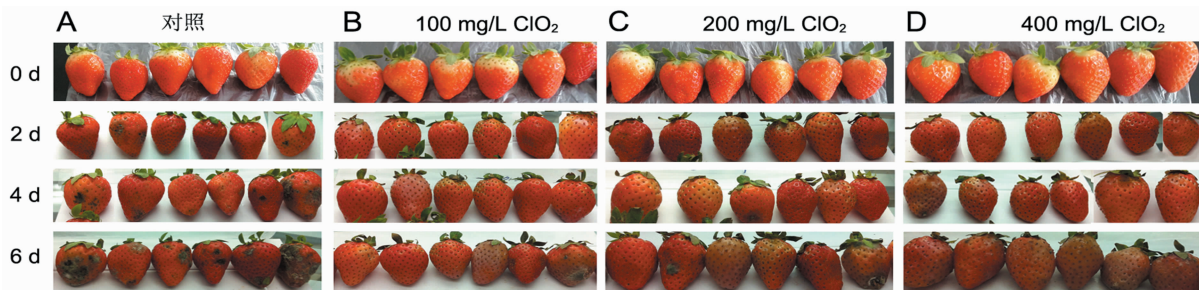


图1 高浓度 ClO_2 处理对草莓果实保鲜的影响

2.2 低浓度 ClO_2 处理对草莓果实保鲜的影响

鉴于高浓度 ClO_2 处理对草莓果实有一定的损伤作用,本试验接着采用较低浓度 ClO_2 (10、20、40 mg/L ClO_2) 处理进行研究,观察草莓的病害发生及果实保鲜情况。从图 2 可以看出,低浓度 ClO_2 处理草莓后,草莓在储藏前 4 d 保鲜效果较好,色泽艳丽,无明显病害。10 mg/L ClO_2 处理组草莓在储

藏第 6 天出现病菌,部分果实开始霉变腐烂。40 mg/L ClO_2 处理组草莓保鲜效果也较好,但在储藏后第 4 天果实表面有轻微的泛白现象,储藏后第 6 天,果实开始发生霉变腐烂。相比较而言,20 mg/L ClO_2 处理组草莓在储藏期间果实完好度及品相均较好,无明显的病变及腐烂损伤,由此可知,20 mg/L 为 ClO_2 的最佳处理浓度。

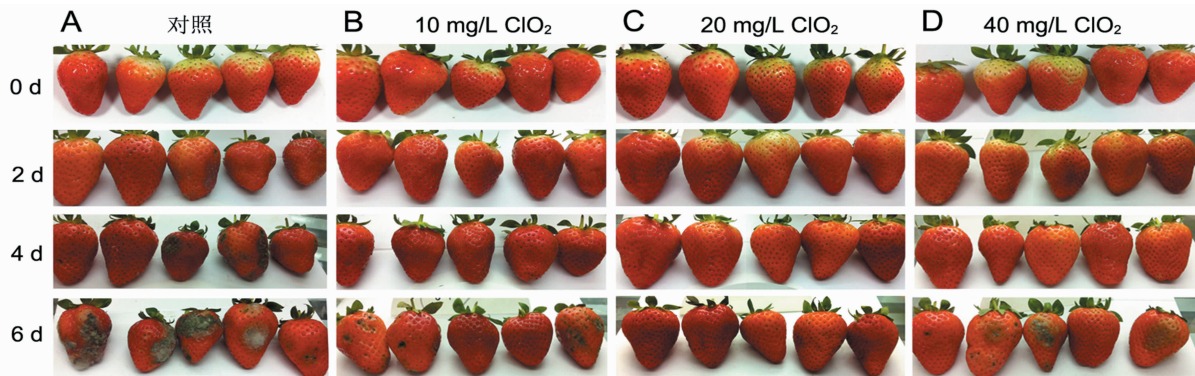


图2 低浓度 ClO_2 处理对草莓果实保鲜的影响

2.3 20 mg/L ClO_2 处理对草莓果实品质的影响

从图 3 可以看出,草莓采后贮藏期间,对照组和 20 mg/L ClO_2 处理组草莓的果实硬度、相对含水量均呈下降趋势,但 20 mg/L ClO_2 处理组果实的硬度、相对含水量下降速度缓慢且始终高于对照组。此外,在储藏期间,20 mg/L ClO_2 处理组

草莓果实的可溶性糖含量在储藏前 2 d 与对照组无明显区别,但在 4 d 后,对照组草莓果实可溶性糖含量明显下降,而处理组草莓果实含糖量呈上升趋势。对照组草莓果实在储藏期间可滴定酸含量逐渐下降,20 mg/L ClO_2 处理组草莓果实可滴定酸含量在储藏前 2 d 较稳定,第 4 天后开始下降,但下

降趋势明显低于对照组草莓。随着储藏时间的延长,对照组草莓果实维生素 C 含量逐渐减少,储藏后第 6 天,相比储藏前减少了近 3 倍。20 mg/L ClO_2 处理组草莓维生素 C 含量在储藏期间维持在较高水平,变化趋势较小。进一步检测对照组、20 mg/L ClO_2 处理组草莓相对电导率发现,对照组草莓在整

个储藏期间表现出明显的电解质渗漏现象,电导率在储藏期间逐渐上升,这可能与果实的霉变损伤有关。相反,20 mg/L ClO_2 处理组草莓的相对电导率始终低于对照组,表明 20 mg/L ClO_2 溶液能有效抑制果实氧化损伤,从而有效延长果实储藏期。

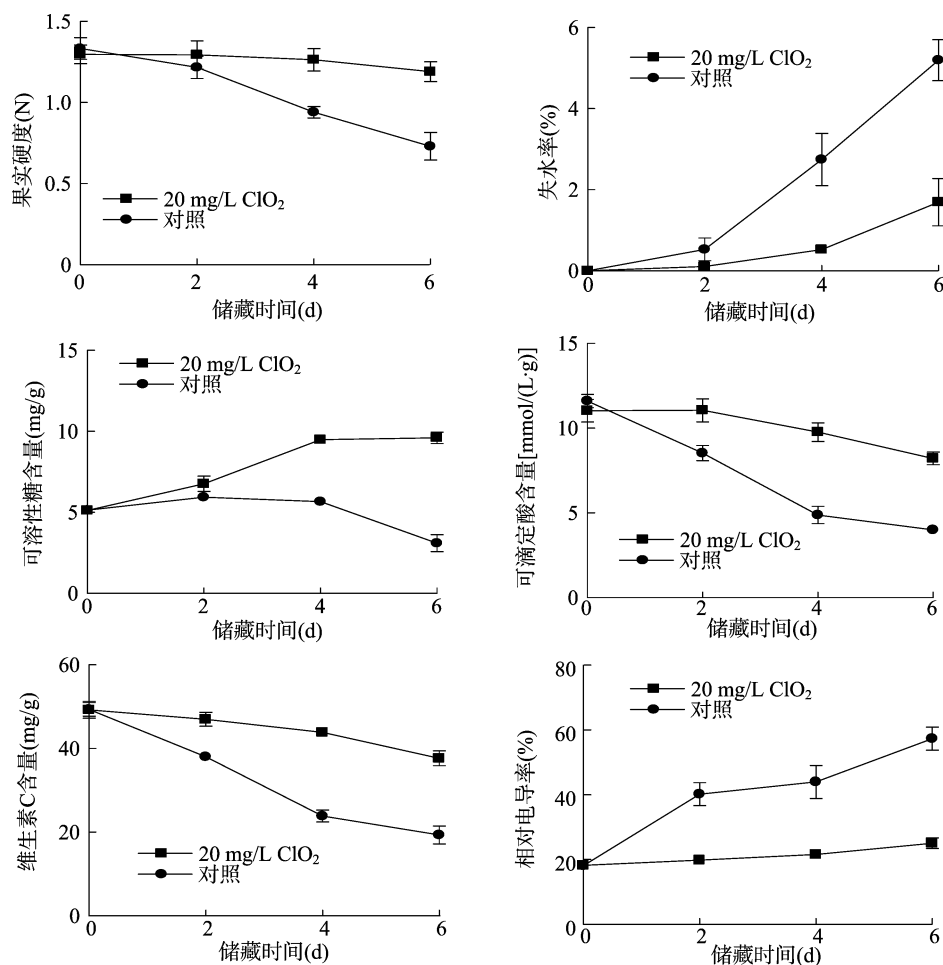


图3 草莓采后储藏期间果实代谢比较分析

3 结论与讨论

为了延长草莓的货架期,提高草莓贮运期间的果实品质,室温储藏技术是近年来草莓保鲜研究的重点。 ClO_2 是国际公认的安全、无毒、高效的杀菌剂,无残留,适用于果实保鲜。Guo 等在研究番茄果实病害过程中发现, ClO_2 能很好地抑制番茄果实真菌的发生,减少果实腐烂率,增加果实货架时间,为治理番茄病害提供了重要的技术支撑^[17]。本试验结果表明, ClO_2 处理能明显减少草莓储藏期间的感病损伤, ClO_2 处理浓度越高,效果越好。但是,高浓度(100、200、400 mg/L) ClO_2 处理对草莓果皮有漂白损伤作用,草莓储藏后期色泽、品相较差。低浓度(10、20、40 mg/L) ClO_2 处理在抑菌的同时能起到较好的果实保鲜效果,其中 20 mg/L ClO_2 处理效果最好,处理后的草莓果实在常温下储藏时间最长。钟梅等曾用 0.1 ~ 10.0 $\mu\text{L/L}$ ClO_2 处理草莓并在 4 $^{\circ}\text{C}$ 下保藏,结果显示, ClO_2 处理能明显降低果实的腐烂率并延长其货架期,其中 10 $\mu\text{L/L}$ ClO_2 处理组草莓的货架期延长至 7 d^[23]。相比较

而言,本试验采用 20 mg/L ClO_2 处理草莓,室温下 (20 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 可储藏近 1 周,表明 ClO_2 具有较好的保鲜效果、应用价值。

ClO_2 处理除能延长草莓采后储藏期,同时还能提高储藏期果实的品质。本试验结果表明,未处理的对照组草莓在采后第 2 天开始大面积腐烂长霉,果实硬度、含水量下降,维生素 C、含糖量降低。相反,处理组草莓在储藏第 6 天仍能保持较高的果实硬度、含水量、维生素 C 及含糖量,果实色泽较好,无明显腐烂状况。众所周知,草莓在储藏期间,易遭受真菌感染,感染灰霉病等^[7]。笔者发现,对照组草莓在储藏 2 d 后开始滋生灰霉病,4 d 后开始扩散并加重果实腐烂,果肉发黑,果皮变软,水分散失,果实相对电导率急剧上升。相反,低浓度 ClO_2 处理组草莓在常温下 (20 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 储藏前 4 d 均无病菌生长,果实艳丽,相对电导率较稳定,表明果实具有较高的完好度。值得注意的是,高浓度(100 ~ 400 mg/L ClO_2) 处理组草莓在储藏期间果皮泛白,储藏第 4 天果实开始变软,并有部分果实感染病菌。 ClO_2 是被公认的强杀菌剂,但同时也

是强氧化剂^[24]。因此,本试验结果表明,高浓度的 ClO_2 处理虽有较好的杀菌效果,但易造成氧化损伤,还会引起病菌二次感染,不利于草莓的储藏保鲜。

低温、涂膜、化学保鲜技术是目前国内外发展比较成熟的草莓贮藏保鲜方法,关于采后草莓果实气调保鲜技术的研究较少。常规气调保鲜通过控制环境中 CO_2 、 O_2 浓度,从而降低果实呼吸速率,减缓果实代谢,从而达到延长果实储藏期的目的。顾采琴等采用 10%、20% CO_2 处理草莓果实,并分别贮藏于低温 (5 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 和常温 (20 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 条件下,结果表明,高浓度 CO_2 处理的草莓在低温下贮藏 7 d 后的好果率为 80% ~ 90%^[25]。但贮藏环境中的 CO_2 浓度过高会导致果实无氧呼吸加剧,从而引起果实乙醇中毒^[2]。同样,涂膜保鲜技术会导致果实变硬,严重影响果实口感,绿色无污染的涂膜材料也成为了涂膜技术的瓶颈。液体化学试剂处理残留多,毒副作用强,加之草莓皮薄肉嫩,液体试剂处理会加剧草莓病变腐烂。气体 ClO_2 具有很强的扩散性、穿透性、使用均匀性,因此,气体 ClO_2 比液体 ClO_2 具有更广泛的杀菌面积、更强的杀菌效果,在果实储藏保鲜方面应用效果更好^[26]。Jin 等用不同浓度气体 ClO_2 处理青椒,结果表明,采用气体 ClO_2 处理可极大地降低青椒的腐烂率^[27]。Chomkitichai 等采用 10 mg/L ClO_2 气体熏蒸处理龙眼,能显著提高龙眼储藏期间的抗氧化酶类活性,减轻果皮褐变程度^[28]。 ClO_2 在果蔬保鲜研究领域具有广阔的应用前景,20 mg/L ClO_2 具有较好的保鲜效果,安全性好、成本低,应用价值较强。

参考文献:

- [1] 袁云香. 草莓的储藏保鲜技术研究进展[J]. 北方园艺, 2015, 39 (1): 187 - 189.
- [2] 张正周, 郑旗, 李娟, 等. 草莓果实采后无害化保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2013, 13 (2): 53 - 57.
- [3] Kumar A, Avasthe R K, Rameash K, et al. Influence of growth conditions on yield, quality and diseases of strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.) var. Ofra and chandler under mid hills of Sikkim Himalaya [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130 (1): 43 - 48.
- [4] Pan L Q, Zhang W, Zhu N, et al. Early detection and classification of pathogenic fungal disease in post-harvest strawberry fruit by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Research International, 2014, 62 (8): 162 - 168.
- [5] Wei Y Y, Mao S B, Tu K. Effect of preharvest spraying *Cryptococcus laurentii* on postharvest decay and quality of strawberry [J]. Biological Control, 2014, 73 (3): 68 - 74.
- [6] Huang R, Che H J, Zhang J, et al. Evaluation of sporidiobolus pararo-seus strain YCXT3 as biocontrol agent of *Botrytis cinerea* on post-harvest strawberry fruits [J]. Biological Control, 2012, 62 (1): 53 - 63.
- [7] Schestibratov K A, Dolgov S V. Transgenic strawberry plants expressing a thaumatin II gene demonstrate enhanced resistance to *Botrytis cinerea* [J]. Scientia Horticulturae, 2005, 106 (2): 177 - 189.
- [8] Ugolini L, Martini C, Lazzeri L, et al. Control of postharvest grey mould (*Botrytis cinerea* Per. : Fr.) on strawberries by glucosinolate-derived allyl-isothiocyanate treatments [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 90: 34 - 39.
- [9] 李梦钗. 草莓保鲜技术研究进展[J]. 北方园艺, 2010, 34 (12): 210 - 212.
- [10] 吕恩利, 陆华忠, 杨洲, 等. 果蔬气调保鲜运输技术发展研究[J]. 农机化研究, 2010, 32 (6): 225 - 228.
- [11] López-Gálvez F, Allende A, Truchado P, et al. Suitability of aqueous chlorine dioxide versus sodium hypochlorite as an effective sanitizer for preserving quality of fresh-cut lettuce while avoiding by-product formation [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55 (1): 53 - 60.
- [12] 杜金华, 傅茂润, 李苗苗, 等. 二氧化氯对青椒采后生理和贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39 (6): 1215 - 1219.
- [13] 郭芹, 张玉丽, 王吉德, 等. 二氧化氯处理对荔枝采后贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2013 (6): 46 - 50, 53.
- [14] 史孟凡, 尹明安, 沈建鹏, 等. 二氧化氯溶液清洗对覆膜包装櫻桃番茄货架品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41 (11): 105 - 112.
- [15] 钟梅, 吴斌, 王吉德. ClO_2 气体抑菌性能及对新疆甜瓜品质的影响[J]. 食品科技, 2009 (4): 63 - 66.
- [16] 肖丽梅, 钟梅, 吴斌, 等. 1-甲基环丙烯和二氧化氯对新疆蟠桃保鲜效果的研究[J]. 食品科学, 2009, 30 (12): 276 - 280.
- [17] Guo Q, Lv X, Xu F, et al. Chlorine dioxide treatment decreases respiration and ethylene synthesis in fresh-cut 'Hami' melon fruit [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2013, 48 (9): 1775 - 1782.
- [18] Xu F, Yuan S, Zhang D W, et al. The role of alternative oxidase in tomato fruit ripening and its regulatory interaction with ethylene [J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63 (15): 5705 - 5716.
- [19] Xu F, Zhang D W, Wang J H, et al. N-propyl gallate is an inhibitor to tomato fruit ripening [J]. Journal of Food Biochemistry, 2012, 36 (6): 657 - 666.
- [20] Krüger E, Dietrich H, Schöpplein E, et al. Cultivar, storage conditions and ripening effects on physical and chemical qualities of red raspberry fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 60 (1): 31 - 37.
- [21] Zhu T, Tan W R, Deng X G, et al. Effects of brassinosteroids on quality attributes and ethylene synthesis in postharvest tomato fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 100: 196 - 204.
- [22] 余璐璐, 曹中权, 刘龙山, 等. 盐芥 CAS 基因的生物信息学分析及在盐胁迫下的表达[J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (7): 25 - 29.
- [23] 钟梅, 吴斌, 武建明, 等. 二氧化氯对草莓营养成分及果实品质的影响[J]. 食品科技, 2009, 34 (5): 46 - 49.
- [24] 李江阔, 张鹏, 侯彪, 等. 二氧化氯在蔬菜保鲜中的应用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2011, 11 (3): 36 - 39.
- [25] 顾采琴, 朱冬雪. 高 CO_2 对草莓果实采后生理变化的影响[J]. 西南农业学报, 2000, 13 (3): 73 - 76.
- [26] 耿鹏飞, 高贵田, 薛敏, 等. 气体二氧化氯在果蔬杀菌保鲜方面的研究与应用[J]. 食品工业科技, 2014, 35 (6): 387 - 391.
- [27] Du J H, Fu M R, Li M M, et al. Effects of chlorine dioxide gas on postharvest physiology and storage quality of green bell pepper (*Cap-sicum frutescens* L. var. *longrum*) [J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6 (2): 214 - 219.
- [28] Chomkitichai W, Faiyue B, Rachtanapun P, et al. Enhancement of the antioxidant defense system of post-harvested 'Daw' longan fruit by chlorine dioxide fumigation [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 178: 138 - 144.