

自发气调在鲜切果蔬包装中的应用研究进展

梁惜雯, 顾思彤, 姜爱丽, 徐冬颖, 周福慧

(大连民族大学 生命科学学院生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁 大连 116600)

摘要: **目的** 通过介绍自发气调包装在鲜切果蔬保鲜中的应用研究进展, 为自发气调包装在鲜切果蔬保鲜未来研究上和应用中提供合理建议。**方法** 综述国内外自发气调包装对鲜切果蔬品质影响的文献, 归纳总结自发气调的作用机理及其对鲜切果蔬品质和微生物的影响。**结果** 自发气调可以防止鲜切果蔬褐变, 减缓鲜切果蔬的生理代谢, 延迟衰老, 并延长其货架期, 维持鲜切果蔬的香气, 控制鲜切果蔬的水分, 减少其中微生物的滋生, 保持鲜切果蔬良好的品质。**结论** 自发气调包装是维持鲜切果蔬在贮藏和运输中良好品质的有效技术手段, 合理应用自发气调包装将会为鲜切果蔬贮藏及流通带来新的生机和希望。

关键词: 自发气调包装; 鲜切果蔬; 褐变; 生理代谢

中图分类号: TB485.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)15-0008-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.15.002

Research Progress in Application of Modified Atmosphere Packaging in Fresh-cut Fruits and Vegetables

LIANG Xi-wen, GU Si-tong, JIANG Ai-li, XU Dong-ying, ZHOU Fu-hui

(Key Laboratory of Biotechnology and Resource Utilization, Ministry of Education, College of Life Science, Dalian Minzu University, Dalian 116600, China)

ABSTRACT: This work aims to provide reasonable suggestions on the future research of modified atmosphere packaging for and its application in fresh-cut fruits and vegetables by introducing the research progress in application of modified atmosphere packaging in fresh-cut fruits and vegetables. Domestic and international literatures related to the influences of modified atmosphere packaging on fresh-cut fruits and vegetables were reviewed. The mechanism of modified atmosphere packaging and its effect on the quality and microorganism of fresh-cut fruits and vegetables were summarized. The modified atmosphere packaging could prevent the browning, delay the physiological metabolism and aging, prolong the shelf life, maintain the aroma, control the moisture and reduce the growth of microorganism of fresh-cut fruits and vegetables, so as to keep their good quality. Modified atmosphere packaging is an effective technical means to maintain the good quality of fresh-cut fruits and vegetables in storage and transportation. Rational application of modified atmosphere packaging will bring new vitality and hope to the storage and logistics transportation of fresh-cut fruits and vegetables.

KEY WORDS: modified atmosphere packaging; fresh-cut fruits and vegetables; browning; physiological metabolism

收稿日期: 2020-02-03

基金项目: 国家自然科学基金(31872908); “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0400903)

作者简介: 梁惜雯(1997—), 女, 大连民族大学硕士生, 主攻采后生物学与技术。

通信作者: 姜爱丽(1971—), 女, 博士, 大连民族大学教授, 主要研究方向为采后生物学与技术。

水果和蔬菜中含有丰富的营养物质,具有强抗氧化性,有助于预防多种慢性疾病^[1]。随着目前生活节奏的加快和消费需求的增加,鲜切果蔬产品近年来在我国发展迅速。国际农产品协会将鲜切果蔬定义为一种已去皮或切割成 100%可用的,经过包装后可以给消费者提供营养、方便,同时又可以保持新鲜的果蔬产品^[2]。由于鲜切果蔬在加工过程中会进行剥皮、切割等操作,易使其呼吸速率高于完整果实,导致质量迅速下降,会降低其商品价值,因此保鲜技术对鲜切果蔬来说是至关重要的。目前自发气调在一些现代工业发达国家已经应用并发展得十分完善,在我国一些城市的大型超市中也有应用。自发气调包装是一种物理保鲜的方法,具有操作简便、成本较低、食品安全性高等诸多优点,同时对鲜切果蔬自身品质不会造成太大影响,因此自发气调包装的应用可对延长鲜切果蔬的货架期起到有效作用。

1 自发气调的作用机理

1.1 定义

气调包装技术是用人为可控的不同气体成分的混合物代替原本贮藏食品的空气,并始终保持一定浓度,用于延长新鲜或者轻微加工的食品货架期的一种包装技术^[3]。根据气体的控制方法不同,可将气调包装分为主动式气调(Controlled Atmosphere Packaging, CAP)和自发性气调(Modified Atmosphere Packaging, MAP)^[4]。主动式气调是在其贮藏过程中依靠机械设备分阶段地改变贮藏环境中的气体成分,从而延长货架期的一种气调包装技术^[5]。MAP 则是利用果蔬自身的呼吸作用来降低贮藏环境中的 O_2 浓度,以及提高 CO_2 浓度,通过抑制呼吸代谢和减少乙烯的生物合成来保持果蔬原有品质的贮藏方式^[6]。

1.2 作用机理

MAP 主要依靠薄膜的透气性来防止其中的 1 种或 2 种气体浓度过高或过低,目前主要有 2 种控制机制:一种是采取完整的膜来控制 CO_2 和 O_2 的流入或流出;另一种则采用多孔的薄膜或微穿孔薄膜作为气体交换的主要途径,薄膜在一定程度上限制了鲜切果蔬包装中的水蒸气扩散,从而保持了其原有的外观品质^[6]。MAP 的主要控制方法是利用薄膜对 O_2 和 CO_2 的渗透率来控制包装内果蔬的呼吸强度,同时结合薄膜的透湿率,使包装内产品处于适宜的气体环境和湿度条件下,从而控制鲜切果蔬的生理代谢,以延长其货架期。目前 MAP 所使用的包装通常是塑料薄膜,例如低密度聚乙烯、聚氯乙烯或聚丙烯,这些薄膜有助于减少水分流失,以保持鲜切果蔬质量^[7]。由于这些薄膜的气体选择范围通常较小,且其具有不能进行精准调控的特性,因此 MAP 仅适用于少数鲜切产品。

选择 MAP 时应考虑不同产品的最佳气体浓度、呼吸速率,进而选择适当的薄膜材料,以便为生产者和消费者实现利益最大化。

2 MAP 对鲜切果蔬的影响

鲜切果蔬在加工和运输过程中物理状态虽然发生了改变,但仍处于鲜活状态,其在加工过程中产生的创伤应激会提高鲜切产品的呼吸速率,加速果实内储存的糖等能量物质的代谢,降低营养价值^[8],同时高呼吸速率会导致鲜切果蔬的生理代谢的加快和衰老、腐烂的加剧,所以鲜切果蔬更易发生质地劣变,产生不良气味以及遭受微生物侵染,缩短其货架期,而其中颜色、香气、水分等是影响消费者选择鲜切产品的重要依据。

2.1 MAP 对鲜切果蔬品质的影响

2.1.1 MAP 对颜色变化的影响

鲜切果蔬的外观是直接影响消费者购买欲望的最重要属性。新鲜果蔬在经过切割损伤后会发生一系列物理和化学变化,导致其颜色发生改变,如褐变、褪绿、胡萝卜泛白以及葱属植物出现异色等现象^[9]。目前最常见的颜色变化以褐变为主,褐变的发生机制主要是由于植物细胞内酚类物质接触氧气后,被一些酶氧化形成醌类物质,聚集后产生褐色色素。切割等机械损伤会增加受伤细胞和其邻近细胞的膜透性,使原本包裹在细胞内的内源酚类物质流出,与空气接触后,更容易被细胞内原有的多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)等^[10]氧化形成醌类物质,醌类物质的聚集导致褐色色素的形成^[11]。适度的低浓度 O_2 和高浓度 CO_2 的气体环境,可以抑制苯丙氨酸解氨酶(PAL)的诱导作用,并可降低 PPO 活性以及抑制绿原酸和异绿原酸的合成和积累,从而控制褐变^[12]。有研究表明,自发气调包装可以有效地抑制与褐变相关的酶活性,从而抑制鲜切茄子^[13]、洋葱^[14]和生菜^[15]等的褐变。

2.1.2 MAP 对风味变化的影响

鲜切产品的风味取决于挥发性和非挥发性成分的复杂组合^[16]。挥发性化合物是果蔬香气的主要构成,是人们区分不同水果和蔬菜的独特风味特征,同时,非挥发性化合物会影响人们对于挥发性化合物的感知^[17]。果蔬在经过切割等一系列加工后,风味会损失,其中最主要的机制是香气的代谢和扩散^[18]。鲜切果蔬经过加工后,细胞破裂,会导致次生香气挥发物在果蔬中形成,并扩散出来。

Villalobos 等^[19]的研究发现,微穿孔 MAP 可以有效地延迟鲜切无花果剖面挥发性化合物的产生,同时对鲜切无花果的香气不产生有害影响,并可提高鲜切

无花果的货架期。有研究证明,采用 $O_2(70\text{ kPa}) + CO_2(10\text{ kPa}) + N_2(85\text{ kPa})$ 处理最大程度地保持了鲜切石榴中挥发性化合物的组成和含量,这使得其香气品质得以维持^[20]。

2.1.3 MAP 对鲜切果蔬水分流失的影响

水分流失会导致食品外观、风味发生不良变化,因此水分流失是限制鲜切果蔬货架期的重要影响因素之一^[7]。蒸腾作用是鲜切果蔬主要的失水途径,水以水蒸气的形式散失并凝结到 MAP 包装表面^[21],此时须根据鲜切果蔬的不同呼吸速率和含水量选择适宜透湿率的包装材料,透湿率过大或过小都会引起食品质量的改变^[22]。鲜切果蔬的蒸腾速率受贮藏温度的影响^[21],气调贮藏鲜切果蔬应选择能降低蒸腾速率的最适温度。高分子量的氙气 MAP 用于鲜切香菇保鲜时,氙气溶于水形成“笼形”化合物,这种笼形的多面体空穴结构能够通过限制水分活度来抑制相关酶的活性,从而抑制呼吸速率,降低蒸腾作用,并保持可溶性固形物含量,抑制香菇软化,较好地维持鲜切香菇的品质^[23]。

2.2 MAP 对鲜切果蔬抗氧化性的影响

当植物组织发生创伤应激时,会触发 2 种类型的酚类代谢反应^[24]:一类是质膜的破坏会诱导酚类化合物与氧化酶系统结合,导致酚类物质被氧化和组织褐变^[25];另一类是质膜破坏引起或膜脂过氧化增强,因活性氧过量产生或脂质过氧化物酶的活化,会催化多不饱和脂肪酸氧化成脂质氢过氧化物^[26],而 POD、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)是控制脂质过氧化的 3 种主要的抗氧化酶^[27]。切割会诱导鲜切果蔬的抗氧化潜力^[28],提高抗氧化酶活性。另外,当发生创伤应激时,植物所产生的损伤信号会诱导产生更多的次级代谢物,包括酚类抗氧化剂以防御和修复损伤^[29],目前有研究表明,酚类物质的积累会导致 PAL 活性增加^[30]。由此可见,根据酚类合成和氧化之间的平衡,切割引起的伤口应力可以增加酚类物质含量,并提高鲜切果蔬的抗氧化活性。

Oms-Oliu 等^[31]发现采用 $O_2(2.5\text{ kPa}) + CO_2(7\text{ kPa})$ 处理能够显著维持鲜切甜瓜的维生素 C、总酚含量以及抗氧化能力,并延长其货架期。臭氧水与 MAP 相结合的处理方式有效地抑制了鲜切芦笋中相关抗氧化酶活性的降低,对生理代谢有减缓作用并延缓衰老^[32],因此,MAP 有维持鲜切果蔬抗氧化能力的作用。

2.3 MAP 对鲜切果蔬微生物的影响

病原微生物一直存在于新鲜的果蔬产品中,包括脉管系统、细胞间组织和角质层的气孔或裂缝,以及包埋在裂缝内^[33]。鲜切加工过程的操作会导致果蔬表面细胞、应力组织受损^[34],暴露出细胞质,为微生物

提供更易生长的环境^[35],此因素与果蔬本身具有的高含水量以及中酸性的 pH 特性相结合,会促进微生物的快速生长^[36]。与鲜切果蔬密切相关的微生物主要有 2 类:一类是以好氧微生物为主的致腐菌;另一类是食源性病原微生物。

目前提高包装中的 CO_2 浓度是 MAP 处理的一种主要机制。 CO_2 溶于水后形成的弱碳酸可以抑制各种病原菌和引起腐败的微生物的生长,有研究证明,高浓度 CO_2 MAP 处理可以显著抑制鲜切苹果中致腐菌的生长,减缓腐败变质的发生,延长货架期^[37]。诸如单增李斯特菌这种食源性病原菌属于厌氧微生物,或兼性厌氧微生物,高浓度 CO_2 条件非但不会抑制其生长反而会促进其生长。Jaime 等^[38]的研究发现,95 kPa 的 O_2 气调包装可以抑制鲜切芹菜中单核细胞增生李斯特氏菌的生长与繁殖,但高浓度的 CO_2 在贮藏前 10 d 内则促进了该菌的生长^[39]。目前所使用的高浓度 CO_2 MAP 虽然具有一定的抗菌作用,但过高浓度的 CO_2 也可能促进厌氧微生物的生长,危害鲜切果蔬的品质,故选用自发气调包装的方式来抑制产品微生物生长时,应根据微生物特性选用适宜气体浓度。栅栏技术是一种通过抑制微生物生长来延长食品货架期的抑菌防腐技术,其通过多个栅栏因子的共同调控,改变微生物生长环境,降低微生物数量,以此来提高食品的品质、安全性和贮藏性,将 MAP 运用在栅栏技术中有望成为控制鲜切果蔬微生物生长,保障食品安全的有效途径^[40]。

3 MAP 的应用前景与展望

随着人们对健康和方便快捷的生活方式的追求日臻增加,鲜切果蔬的消费量也日益增长^[41]。由于鲜切果蔬产业在我国起步较晚,其加工设备和保鲜技术还不足以满足工业化生产的需求,加之目前没有科学合理的相关法律法规来规范鲜切果蔬的生产与流通,因此,鲜切果蔬的 MAP 保鲜在我国的发展是机遇与挑战并存的。

MAP 作为一种有效的保鲜技术和包装手段,具有安全、方便快捷等优势^[42],已广泛应用在各种果蔬保鲜中,但由于 MAP 内部产品的呼吸作用产生的水珠凝结在包装上,滴落到产品上会对产品造成损伤^[43],因此需要更完善的气调包装。自发气调在应用上还存在一定局限性,如自发气调需与温度控制相结合,才能最大程度地发挥作用,另外,所选用的包装材料可能会对环境造成一定程度的污染^[44],目前国内的 MAP 包装材料方面,需要研制出透湿性、透气性等符合果蔬特点的,且适合不同鲜切果蔬的安全环保绿色的 MAP 包装材料,如聚乳酸^[45]、聚己内酯^[46]等生物可降解材料。目前所应用的复合气调保鲜^[47—48]可以解决这一问题,但操作较为复杂,因此仍需要发

展新型的气调保鲜技术, 如将 MAP 与目前新兴的智能包装相结合。智能包装是一种记录食品在其生命周期内的状态, 并传达与产品质量有关信息的包装^[49], 既可以有效保持其内产品的品质, 又可传达食品的状态信息, 是今后气调包装保鲜的发展趋势。

4 结语

MAP 可防止鲜切果蔬褐变, 减缓鲜切果蔬的生理代谢, 延迟衰老并延长货架期, 维持鲜切果蔬的香气, 减少其中微生物的滋生, 保持鲜切果蔬良好的品质, 是维持鲜切果蔬在贮藏和运输中良好品质的有效技术手段。鲜切果蔬贮藏在未来的研究中不仅可以依靠单纯气体进行自发气调, 更可以着眼于自发气调与冷藏、涂膜、臭氧等多种物理、化学、生物贮藏方式相结合的方法来实现鲜切果蔬最佳保鲜效果。

参考文献:

- [1] KAUR C, KAPOOR H C. Antioxidants in Fruits and Vegetables-the Millennium's Health[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2008, 36(7): 703—725.
- [2] OLIVEIRA M, ABADIAS M, USALL J, et al. Application of Modified Atmosphere Packaging as a Safety Approach to Fresh-cut Fruits and Vegetables—a Review[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2015, 46(1): 13—26.
- [3] CORTELLINO G, GOBBI S, BIANCHI G, et al. Modified Atmosphere Packaging for Shelf Life Extension of Fresh-cut Apples[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, 46(2): 320—330.
- [4] 戚英伟, 田建文, 王春良. 水果气调贮藏保鲜研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2014(4): 53—58.
QI Ying-wei, TIAN Jian-wen, WANG Chun-liang. Research Advances in Modified Atmosphere Preservation of Fruits[J]. *Storage and Process*, 2014, 14(4): 53—58.
- [5] 孙涵, 王相友, 李玲. 高氧动态气调对双孢蘑菇细胞壁代谢及木质化进程的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(11): 255—262.
SUN Han, WANG Xiang-you, LI Ling. Effect of High Oxygen Dynamic Atmosphere on Cell Wall Metabolism and Lignification Process of *Agaricus Bisporus*[J]. *Food Science*, 2018, 39(11): 255—262.
- [6] 胡文忠. 鲜切果蔬科学与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 249—267.
HU Wen-zhong. *Science and Technology of Fresh-cut Fruit and Vegetable*[M]. Beijing: Chemical Industry Publishing, 2009: 249—267.
- [7] LEE L, ARUL J, LENCKI R, et al. A Review on Modified Atmosphere Packaging and Preservation of Fresh Fruits and Vegetables: Physiological Basis and Practical Aspects—Part I[J]. *Packaging Technology & Science*, 2010, 8(6): 315—331.
- [8] ANSAH F A, AMODIO M L, COLELLI G. Quality of Fresh-cut Products as Affected by Harvest and Post-harvest Operations[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(1): 3614—3626.
- [9] TOIVONEN P M A, BRUMMELL D A. Biochemical Bases of Appearance and Texture Changes in Fresh-cut Fruit and Vegetables[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2008, 48(1): 1—14.
- [10] HOMAIDA M A, YAN S L, YANG H. Effects of Ethanol Treatment on Inhibiting Fresh-cut Sugarcane Enzymatic Browning and Microbial Growth[J]. *LWT-food Science and Technology*, 2017, 77: 8—14.
- [11] MOON K M, LEE B, CHO W K, et al. Swertiajaponin as an Anti-browning and Antioxidant Flavonoid[J]. *Food Chemistry*, 2018, 252: 207—214.
- [12] MARIA C, LUNA J A, TUDELA F A, et al. Modified Atmosphere (MA) Prevents Browning of Fresh-cut Romaine Lettuce through Multi-target Effects Related to Phenolic Metabolism[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 119: 84—93.
- [13] 谢晶, 王肽, 杨胜平. 复合保鲜剂结合 MAP 对鲜切茄子贮藏品质的影响[J]. *食品与机械*, 2015, 31(4): 134—137.
XIE Jing, WANG Tai, YANG Sheng-ping. Effect of Chitosan Compound Preservative Combined with Modified Atmosphere Packaging on Quality of Fresh-cut Eggplant during Storage[J]. *Food & Machinery*, 2015, 31(4): 134—137.
- [14] CHRISTIAN G, MILAGROS M, CRISTINA R A, et al. Novel Approaches to Control Browning of Fresh-cut Artichoke: Effect of A Soy Protein-based Coating and Modified Atmosphere Packaging[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 99: 105—113.
- [15] 余江涛, 谢晶. 臭氧水处理结合气调包装对鲜切生菜保鲜效果的影响[J]. *食品与机械*, 2015, 31(1): 111—115.
YU Jiang-tao, XIE Jing. Effect of Preservation of Fresh-cut Lettuce by Ozonated Water Combined with Modified Atmosphere Packaging[J]. *Food & Machinery*, 2015, 31(1): 111—115.
- [16] DREWNOWSKI A. Taste Preferences and Food Intake[J]. *Annual Review of Nutrition*, 1997, 17(17): 237—253.
- [17] SONG J, FORNEY C F. Flavour Volatile Production and Regulation in Fruit[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2008, 88(3): 537—550.
- [18] VOILLEY A, SOUCHON I, VOILLEY A, et al. Flavour Retention and Release from the Food Matrix: an Overview[J]. *Flavour in Food*, 2006: 117—132.
- [19] VILLALOBOS M C, SERRADILLA M J, MARTIN A, et al. Influence of Modified Atmosphere Packaging

- (MAP) on Aroma Quality of Figs (*Ficus Carica* L)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 136: 145—151.
- [20] ZINASH A B, OLUWAFEMI J C, UMEZURUIKE L O. Impacts of Low and Super-atmosphere Oxygen Concentrations on Quality Attributes, Phytonutrient Content and Volatile Compounds of Minimally Processed Pomegranate Arils (cv Wonderful)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 124: 119—127.
- [21] 郭彦峰, 王大威, 候秦, 等. 自然气调包装对采后苹果蒸腾作用的影响[J]. 包装工程, 2011, 32(15): 1—4.
- GUO Yan-Feng, WANG Da-Wei, HOU Qin, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Transpiration of Postharvest Apple[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15): 1—4.
- [22] 李颖, 王红育. 生鲜预分切果蔬保鲜方法的研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 645—648.
- LI Ying, WANG Hong-Yu. Advances in Fresh-keeping Methods of Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. Food Science, 2008, 29(10): 645—648.
- [23] 赵春霞, 胡蓉, 魏丹, 等. 氩气气调包装对鲜切香菇品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 327—331.
- ZHAO Chun-xia, HU Rong, WEI Dan, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) with Argon on the Quality of Fresh-cut Lentinus Edodes[J]. Food Science, 2013, 34(18): 327—331.
- [24] SURJADINATA B B, CINSNEROS-ZEVALLOS L. Biosynthesis of Phenolic Antioxidants in Carrot Tissue Increases with Wounding Intensity[J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 616—624.
- [25] SALTVEIT M E. Wound Induced Changes in Phenolic Metabolism and Tissue Browning are Altered by Heat Shock[J]. Postharvest Biology & Technology, 2000, 21(1): 61—69.
- [26] SHEWFELT R L, ROSARIO D. The Role of Lipid Peroxidation in Storage Disorders of Fresh Fruits and Vegetables[J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2000, 35(4): 575—579.
- [27] MITTLER R. Oxidative Stress, Antioxidants and Stress Tolerance[J]. Trends in Plant Science, 2002, 7(9): 405—410.
- [28] JOSÉ J F B D S, ANDRADE N J D, RAMOS A M, et al. Decontamination by Ultrasound Application in Fresh Fruits and Vegetables[J]. Food Control, 2014, 45(1): 36—50.
- [29] CISNERO-ZEVALLOS L. The Use of Controlled Postharvest Abiotic Stresses as a Tool for Enhancing the Nutraceutical Content and Adding-value of Fresh Fruits and Vegetables[J]. Journal of Food Science, 2010, 68(5): 1560—1565.
- [30] BANERJEE A, PENNA S, VARIYAR P S. Allyl Isothiocyanate Enhances Shelf Life of Minimally Processed Shredded Cabbage[J]. Food Chemistry, 2015, 183: 265—272.
- [31] OMS-OLIU G I, ODRIOZOLA-SERRANO R, SOLIVA-FORTUNY O, et al. The Role of Peroxidase on the Antioxidant Potential of Fresh-cut 'Piel de Sape' Melon Packaged under Different Modified[J]. Food Chemistry, 2008, 106: 1085—1092.
- [32] JIANSHEEN A, MIN Z, QIRUI L. 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: 340—344.
- [33] ERICKSON M C. Internalization of Fresh Produce by Foodborne Pathogens[J]. Annual Review Food Science Technology, 2012, 3(1): 283—310.
- [34] BRECHT J K. Physiology of Lightly Processed Fruits and Vegetables[J]. Horticultural Science, 1995, 30(1): 18—22.
- [35] CALEB O J, MAHAJIAN P V, AL-SAID A J, et al. Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences—a Review[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(2): 303—329.
- [36] PARISH M E, BEUCHAT L R, SUSLOW T V, et al. Methods to Reduce/Eliminate Pathogens from Fresh and Fresh-Cut Produce[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2003, 2(S1): 161—173.
- [37] PREDRAG P, SHAHIN R, RALF G, et al. Prediction and Modeling of Microbial Growth in Minimally Processed Fresh-cut Apples Packaged in a Modified Atmosphere: a Review[J]. Food Control, 2017, 80: 411—419.
- [38] JAIME G B, NATALIE P, CHELSEA K, et al. Effect of Non-conventional Atmosphere and Bio-based Packaging on the Quality and Safety of *Listeria Monocytogenes* Inoculated Fresh-cut Celery (*Apium Graveolens* L) during Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 93: 29—37.
- [39] GOMES C, MOREIRA R G, CASTELL-PEREZ E. Radiosensitization of *Salmonella* spp. and *Listeria* spp in Ready-to-eat Baby Spinach Leaves[J]. Journal of Food Science, 2011, 76: 141—148.
- [40] 陈晨, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 栅栏技术在鲜切果蔬中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 338—343.
- CHEN Chen, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Application of Hurdle Technology in Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. Food Science, 2013, 34(11): 338—343.
- [41] GASTON A, INES M, CLAUDIA L, et al. Failure Criteria Based on Consumers' Rejection to Determine the Sensory Shelf Life of Minimally Processed Lettuce[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49: 255—259.
- [42] SANDYA. Modified Atmosphere Packaging of Fresh

- Produce: Current Status and Future Needs[J]. *LWT-food Science and Technology*, 2010, 43: 381—392.
- [43] 赵春霞, 胡蓉, 冯丽萍, 等. 涂膜处理对氩气气调包装的鲜切香菇品质的影响[J]. *包装工程*, 2013, 34(5): 14—19.
- ZHAO Chun-xia, HU Rong, FENG Li-ping, et al. Effect of Coating on Quality of Fresh-cut *Lentinus Edodes* with Argon MAP[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(5): 14—19.
- [44] RAMOS B, MILLER F A, BRANDAO T R S, et al. Fresh Fruits and Vegetables—an Overview on Applied Methodologies to Improve Its Quality and Safety[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013, 20: 1—15.
- [45] 云雪艳, 李晓芳, 董同力嘎. 基于聚乳酸的草莓自发气调包装薄膜设计[J]. *包装工程*, 2017, 38(17): 1—7.
- YUN Xue-yan, LI Xiao-fang, DONG Tungalag. Design of AMAP Packaging Film of Strawberry Based on Polylactic Acid[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(17): 1—7.
- [46] 成培芳, 董同力嘎, 春艳, 等. 聚己内酯自发气调包装薄膜对菠菜贮藏品质的影响[J]. *食品与机械*, 2018, 34(2): 133—137.
- CHENG Pei-fang, DONG Tungalag, CHUN Yan, et al. Effect of Poly (ϵ -caprolactone) Modified Atmosphere Packaging Film on Postharvest Quality of Spinach[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(2): 133—137.
- [47] LIZ S P, DIEGO A C, ANIBAL O G. Influence of 1-MCP and Modified Atmosphere Packaging in the Quality and Preservation of Fresh Basil[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 136: 57—65.
- [48] JOUKI M, KHAZAEI N. Effect of Low-dose Gamma Radiation and Active Equilibrium Modified Atmosphere Packaging on Shelf Life Extension of Fresh Strawberry Fruits[J]. *Food Packaging & Shelf Life*, 2014, 1(1): 49—55.
- [49] JENNEKE K. H, MATTHIJS D, PAUL V B, et al. Monitoring the Quality of Perishable Foods: Opportunities for Intelligent Packaging[J]. *Food Science and Nutrition*, 2014, 54: 645—654.