

# 活性氧在果蔬采后成熟衰老过程中的作用及几种气体处理对其影响的研究进展

王馨<sup>1</sup> 胡文忠<sup>1\*</sup> 陈晨<sup>1</sup> 李鹤<sup>1</sup> 冯可<sup>1,2</sup>  
 (1.大连民族学院生命科学学院 辽宁大连 116600;  
 2.大连理工大学 辽宁大连 116024)

**摘要:** 果蔬在采后贮藏过程中,机体本身的活性氧平衡体系会逐渐被破坏,使得大量的  $O_2^- \cdot$ 、 $H_2O_2$  等在体内积累,最终导致细胞膜的过氧化、蛋白质结构的破坏以及 DNA 的损伤。近年来,研究者一直致力于调节采后果蔬活性氧代谢的研究。本文综述了活性氧在采后果蔬成熟衰老过程中的作用及一氧化氮(NO)、硫化氢( $H_2S$ )、臭氧( $O_3$ )和气调包装(MAP)三种气体处理对采后果蔬活性氧代谢过程的影响,以期为未来的研究提供一定的理论参考。

**关键词:** 采后果蔬 活性氧代谢 气体处理

## The role of reactive oxygen in harvested fruits and vegetables during maturation and senescence and the influences which handled by several gas treatments

WANG Xin<sup>1</sup>, HU Wen-zhong<sup>1\*</sup>, CHEN Chen<sup>1</sup>, LI He<sup>1</sup>, FENG Ke<sup>1,2</sup>

(1.College of Life Science, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China;  
 2.Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** After harvest, the body's own active oxygen equilibrium system will gradually be destroyed of fruits and vegetables so that there will be a huge accumulation of  $O_2^- \cdot$ ,  $H_2O_2$  and MDA, which eventually leading to peroxidation of cell membranes, damage of protein structure and DNA. Thus, in recent years, researchers have been working on the research of the reactive oxygen metabolism of postharvest fruits and vegetables. This paper reviewed the role of reactive oxygen in harvested fruits and vegetables during maturation and senescence and the influences which handled by NO,  $H_2S$ ,  $O_3$  and MAP after the harvest, in order to provide references for the future research.

**Key words:** postharvest fruits and vegetables; reactive oxygen metabolism; gas treatment

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)05-0375-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.05.063

果蔬具有良好的口感以及丰富营养价值,已经成为人们日常生活中不可缺少的一类食品。世界每年的果蔬总产量很高,但是由于果蔬本身质地因素,采后贮藏过程中因衰老及腐败变质造成的损失高达20%~30%<sup>[1]</sup>,而其中活性氧的积累是造成果蔬衰

老,品质下降的主要原因之一。对采后果蔬活性氧代谢进行合理调控,能够更好地保持采后果蔬的品质,延长其贮藏期<sup>[2]</sup>。因此国内外学者也已经就采后果蔬的活性氧代谢问题进行了深入研究,本文就气体处理对采后果蔬活性氧代谢影响的研究进展进行

收稿日期: 2016-08-17

作者简介: 王馨(1992-) 在读硕士 研究方向: 食品加工与质量安全控制 E-mail: 445736227@qq.com。

\* 通讯作者: 胡文忠(1959-) 男 博士 教授 研究方向: 食品加工与质量安全控制 E-mail: h wz@dlnu.edu.cn。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0400903); 国家科技支撑计划项目(2012BAD38B05); 国家自然科学基金项目(31172009, 31340038, 31471923); 大连市金州新区科技计划项目(2012-A1-049)。

[40] Rostami H, Gharibzahedi S M T. Microwave - assisted extraction of jujube polysaccharide: Optimization, purification and functional characterization [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 143: 100-107.

[41] Shu-Yan Q I. Research on extraction condition and anti-oxidation of jujube polysaccharide [J]. Food & Machinery, 2012,

28(4): 117-120.

[42] Katiyar S K, Mukhtar H. Green tea polyphenol (-) - epigallocatechin-3-gallate treatment to mouse skin prevents UVB - induced infiltration of leukocytes, depletion of antigen - presenting cells, and oxidative stress [J]. Journal of Leukocyte Biology, 2001, 69(5): 719-26.

综述,旨在为采后果蔬活性氧代谢的调控提供一定理论基础。

## 1 采后果蔬体内的活性氧代谢

活性氧(ROS)是指那些有氧生物进化过程中产生的一系列含氧的代谢产物及其衍生物,具有活泼的化学性质及较高的生物活性。主要有超氧化物自由基( $O_2^- \cdot$ )、单线态氧( $^1O_2$ )、羟自由基( $OH \cdot$ )、脂类过氧化物( $ROO \cdot$ )和 $H_2O_2$ 等类型。是植物在成熟衰老的过程中产生的代谢产物,而植物体存在着相关的抗氧化酶类与之相互调节,调控ROS的含量进行,已达到动态平衡<sup>[3]</sup>。

### 1.1 采后果蔬体内活性氧的产生

活性氧是大多数植物细胞正常代谢的副产物,当植物处于胁迫条件下或衰老过程中时,例如干旱、冷害、热害、机械损伤等胁迫环境下,植物体内活性氧水平就会上升并加以积累<sup>[4]</sup>。活性氧在植物体的产生途径大致可分为细胞内途径和细胞外途径两种,细胞内的主要产生场所是叶绿体和线粒体。其中在叶绿体内,活性氧的产生主要通过3个途径:类囊体途径、叶绿体基质途径和类囊体膜途径。线粒体是呼吸耗氧的主要部位,也是活性氧产生的主要部位,线粒体产生的 $O_2^- \cdot$ 的部位在内膜上<sup>[5]</sup>。植物体内通过氧化猝发产生活性氧的主要途径为胞外途径,细胞质膜电子传递系统或质膜氧化还原系统是产生 $H_2O_2$ 的重要部位<sup>[6]</sup>。

### 1.2 采后果蔬体内活性氧清除体系

活性氧的产生和清除间的平衡是植物在系统进化过程中维持正常生长和对抗环境胁迫的重要防御手段。果蔬体内存在活性氧清除体系,可以清除由于衰老而产生的自由基的累积、维持机体正常代谢并且对抗逆境下对机体产生的损伤。果蔬有效地活性氧清除机制一般分为酶促和非酶促两类。

酶促清除系统在活性氧清除过程中起着至关重要的作用,主要包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)等多种酶系。SOD抗氧化酶的辅基分别含有三种不同金属离子(Cu-Zn、Fe或Mn),其广泛分布于叶绿体、线粒体、细胞溶质等多个部位,通过歧化反应将 $O_2^- \cdot$ 转化生成 $H_2O_2$ 和 $O_2$ ,以消除超氧阴离子对细胞的损伤。SOD是一种典型的诱导酶,SOD的水平会随着自由基含量升高而上升。CAT主要作用于高浓度的 $H_2O_2$ ,将 $H_2O_2$ 转化为 $H_2O$ 和 $O_2$ ,使 $H_2O_2$ 控制在较低的水平。SOD和CAT是酶促体系中最主要的清除酶。POD是一种较为复杂的酶,一方面与CAT协作将低浓度的 $H_2O_2$ 消化;另一方面,它又参与 $H_2O_2$ 的产生,由于偏碱性有利于过氧化物酶的活性,当病原体入侵时,激发子处理导致质外体或溶液碱化,从而促进了该机制 $H_2O_2$ 的产生。GSH是一种含硒酶,在作为氢供体的条件下可以清除有基氢中的过氧化物,维持细胞的正常生理功能。而APX可以将 $H_2O_2$ 催化还原成 $H_2O$ 协助SOD和CAT共同清除体内的活性氧,减缓和阻止过氧化作用。通常植物体以

SOD对于超氧阴离子的转化做为第一道防线,CAT和GSH等酶的共同作用做为第二道防线。

非酶促清除体系主要是指在植物体内含有的抗氧化物质,也就是具有还原性等生物活性的物质,会与活性氧发生一系列反应清除活性氧。主要的非酶清除剂主要包括抗坏血酸、多元醇、 $\alpha$ -生育酚、黄酮类化合物、类胡萝卜素和甘露醇及还原性谷胱甘肽等几十种化合物。这些化合物既可以直接消除植物体内的活性氧,同时,又作为酶类清除剂的底物在活性氧的清除中发挥着至关重要作用。当植物处在逆生长环境下,酶促与非酶促两大清除体系会协同作用共同清除活性氧,维持植物体正常的生理代谢活动。

### 1.3 活性氧对果蔬的双重作用

活性氧产生于需氧生物的正常代谢过程中,在植物处于逆环境下会快速产生并大量积累。活性氧具有极强氧化性,能够扰乱植物正常的物质代谢;同时活性氧对蛋白质的初级结构、二级结构、三级结构有很大的影响<sup>[7]</sup>,会导致蛋白质和核酸(酶)等大分子物质的分解,并引起原生质膜脱脂化和过氧化,改变膜的通透性,使细胞膜丧失正常的生理功能<sup>[8]</sup>,加速植物的衰老凋亡。Zolla<sup>[9]</sup>等研究发现在光胁迫条件下,光能捕获蛋白的降解过程,可以找到含氧化合物随机攻击蛋白质氨基末端的亲水性部分,导致了叶绿素结合蛋白完全的片段化。同时, $O_2^- \cdot$ 和 $H_2O_2$ 会作用于DNA链中糖磷酸键,导致DNA链断裂且双螺旋中的碱基暴露使其极易遭受ROS的攻击,最终引起碱基丢失、碱基修饰、DNA交联、单链或双链DNA断裂等,严重损伤DNA和各种核苷酸,引发DNA突变<sup>[10]</sup>。

另一方面,在植物正常生长代谢过程中,活性氧对植物体积极的方面。活性氧在植物体内具有抗菌作用,可直接作为抗菌剂。研究发现, $O_2^- \cdot$ 和 $H_2O_2$ 可以抑制病原菌的生长,迅速杀死病原菌,并在植物菌株上加以证实<sup>[11]</sup>。还可以加强寄主的结构抗病性,经多方证明ROS参与了细胞壁与蛋白质的交联以及细胞壁的木质化。加强细胞壁的防御性、减缓病原菌入侵<sup>[12]</sup>。同时,活性氧还可作为重要的第二信使激发信号,低浓度的 $H_2O_2$ 能够诱导相关蛋白的表达使系统获得性抗性(SAR)。

## 2 气体处理对果蔬活性氧代谢的影响

### 2.1 气调包装对果蔬活性氧代谢影响

由于果蔬采摘后仍是一个以呼吸代谢为中心的生命活体,因此,为了达到果蔬的保鲜目的,以维持果蔬最低正常生理活动为前提,通过气调方式对贮藏环境中温度、湿度、气体成分等进行合理配比及调控,最大限度地延长果蔬保鲜期。

研究者采用五种不同的气体质量分数的 $O_2$ 和 $CO_2$ 组合对15℃贮藏的西兰花进行气调保鲜,结果显示100% $O_2$ 处理加速了 $H_2O_2$ 和 $O_2^- \cdot$ 产生以及丙二醛(MDA)积累,缩短了保鲜期;而40% $O_2$ +60% $CO_2$ 处理显著降低呼吸速率和乙烯释放量,减少了 $H_2O_2$ 和 $O_2^- \cdot$ 产生抑制MDA的积累,表现出很好的保鲜效果<sup>[13]</sup>。而使用 $O_2/CO_2$ 气调对20℃贮藏条件下

的生姜进行处理,并研究其活性氧代谢及保鲜效果的变化,结果表明:适宜  $O_2/CO_2$  处理,特别是 100%  $O_2$  处理能保持较高的 SOD 酶、POD 酶活性,从而快速分解产生的  $O_2^-$  和  $H_2O_2$ ,增强了生姜的自身活性氧防御体系,并延长了生姜保鲜的贮藏期;90%  $O_2 + 10\% CO_2$  处理的保鲜效果次之,但该处理与 100%  $O_2$  处理没有显著差异,而 70%  $O_2 + 30\% CO_2$  处理的保鲜效果最差<sup>[14]</sup>。在  $(20 \pm 1)^\circ C$ 、相对湿度 80%~90% 的条件下,研究 9 组气体组分( $O_2 + CO_2$ ,  $N_2$  为平衡气)处理对刀豆贮藏品质的影响。结果表明,与其他处理组及对照组相比,气体组分为(1%~4%)  $O_2 + 1\% CO_2$  处理的刀豆感官品质最好,并且有效地抑制了刀豆中 MDA 含量及多酚氧化酶活性的增加,并且抑制了超氧化物歧化酶活性降低<sup>[15]</sup>。气调处理被用于绿芦笋<sup>[16]</sup>、干杏鲜果<sup>[17]</sup>、甜椒<sup>[18]</sup> 等果蔬时同样能起到调控其体内活性氧代谢的作用。

## 2.2 一氧化氮(NO)处理对果蔬活性氧代谢的影响

一氧化氮(NO)是一种具有水溶性和脂溶性的气体小分子。自 1987 年生物体内源合成机制被发现及其生理特性被证实以来,NO 就引起科学界的关注<sup>[19]</sup>。迄今为止,人们已经发现 NO 可控制许多植物的生理过程,如生长<sup>[20]</sup>、成熟<sup>[21]</sup> 和抗病性<sup>[22]</sup>。1997 年 Leshem 等研究发现,果实采后会产生 NO,释放的含量随着果实的逐步衰老而慢慢降低,而乙烯的释放量逐渐升高。随着对 NO 研究的逐步深入,发现可以通过注入外援 NO 的方式对采集后的果蔬进行短时间的处理,能够达到增强果蔬的保鲜效果,延长果蔬货价期的目的<sup>[2]</sup>。同时,NO 处理后能够显著调控果蔬内与活性氧代谢相关的酶,如 SOD、CAT、APX 和 PPO、POD 等的活性进而调节内源  $H_2O_2$  和  $O_2^-$  的含量,抑制过氧化物的产生,保护膜完整性,从而延缓采后果蔬衰老进程。

研究显示,采用 NO 对番茄进行熏蒸实验时,经过 NO 处理后的果实有效地降低了内部  $H_2O_2$  的含量以及  $O_2^-$  的发生速率,从而保护了细胞膜的脂化并且降低了 MDA 的大量累积,NO 对于活性氧的抑制机理就在于延长了多种果实膜保护酶的活性,经过处理的 SOD 和 CAT 在贮藏后期仍有较高的活性<sup>[23]</sup>。但是,NO 对于不同成熟期番茄活性氧代谢相关酶活性的影响是不同的,处理后绿熟期番茄 POD、SOD 和粉红期番茄中 SOD 的活性增加,从而增强了果实清除 ROS 的能力。而不同成熟时期 SOD 等酶的活性却不同<sup>[24]</sup>。同样,NO 处理不同时期的杏,绿熟期果实的 SOD、POD、CAT、APX 活性在贮藏期间都高于对照杏果,可能是因为 NO 处理抑制了杏果实中活性氧的产生,从而延缓了小白杏果实的成熟和衰老。但完熟期小白杏用 NO 处理,其抗氧化酶活性与对照果相比却无显著差异,这可能是因为在果实成熟的不同时期,NO 的作用方式不同,使得最后作用结果不同<sup>[25]</sup>。杨梅经适当浓度 NO 处理后,其果实内部的活性氧清除酶活性一直处于较高活性。抑制了  $H_2O_2$  的产生和降低  $O_2^-$  的产生速率,并减少了膜脂过氧化产物 MDA 的积累,保持了细胞膜的完整性,维持

了杨梅采后的活性氧代谢平衡,延缓了果实的衰老和抑制果实的腐烂<sup>[26]</sup>。此外,还有研究表明,NO 能够促进采后猕猴桃果实、芒果、桃等的 PPO、POD 活性,抑制 MDA 含量的上升,延缓果实的衰老<sup>[27-29]</sup>。NO 影响 CAT、SOD 和 POD 等酶的活性,是因为这几种酶之中含有金属离子的蛋白,可以作为 NO 的靶酶,与 NO 相互结合形成硝酰化复合物调节酶的活性,除此之外,NO 还参与了与  $O_2^-$  的还原反应,进而减少了  $O_2^-$  的含量<sup>[30]</sup>。

## 2.3 硫化氢( $H_2S$ )处理对果蔬活性氧代谢的影响

硫化氢( $H_2S$ )近年来受到了国内外广泛的关注,它被认为是继一氧化氮(NO)和一氧化碳(CO)之后另一种气体的信号分子。多年来, $H_2S$  作为动物体内源性的信号分子的作用机制已有了初步的了解<sup>[31]</sup>。而今越来越多的研究表明, $H_2S$  也可以作为信号参与诸多植物体内的生理反应,如诱导不定根的形成、促进种子萌发、保卫细胞的信号传导并调控植物的气孔关闭、缓解抗逆反应和重金属胁迫等多种生理过程<sup>[32-35]</sup>。

近年来,研究者们尝试将  $H_2S$  应用在果蔬贮藏和贮藏方面,结果表明  $H_2S$  能有效地提高贮藏中果蔬的活性氧分子清除体系中抗氧化酶类的活性,降低果实中过量产生的  $H_2O_2$ 、 $O_2^-$  等活性氧分子的含量,进而提高果蔬贮藏时间。低浓度  $H_2S$  可以提高果蔬体内 SOD、CAT 活性,加速 ROS 降解,保持细胞内较低 ROS 水平,保护细胞膜,延缓了果蔬的衰老。Zhang 等<sup>[36-37]</sup> 研究发现大豆和红薯中  $H_2S$  通过调节  $H_2O_2$  含量抵抗不同胁迫。桑葚果实经过  $H_2S$  处理后,体内的 CAT、SOD 和 POD 等酶的活性明显提升,提高了水果的抗氧化活性,降低了  $O_2^-$  在桑葚果实中的含量<sup>[38]</sup>。Luo 等<sup>[39]</sup> 经过研究表明, $H_2S$  既参与了多种抗氧化酶的合成又可以提升了酶的活性,降低了水果中的  $H_2O_2$  和  $O_2^-$  的含量,同时, $H_2S$  又作为一种重要的非酶类抗氧化物,抑制了 PPO 和 PAL 的产生,加强了果蔬的抗氧化能力并且提高了果蔬储存期的抗氧化作用。除上述研究外,研究者还发现,适宜浓度  $H_2S$  处理也能够对桃<sup>[29]</sup>、草莓<sup>[40]</sup>、酥梨<sup>[41]</sup> 等果蔬的活性氧代谢进行调节,有效延长采后果蔬的成熟和衰老时间。

## 2.4 臭氧处理对果蔬活性氧代谢的影响

臭氧是一种不稳定气体,但是由于它具有很强的氧化和杀菌能力,并且在水中和空气中能够逐渐分解成氧气,不会有残留,且它在果蔬保鲜中能够起到抑菌及杀菌、降低果蔬中有害物质、降低果蔬代谢、诱导果蔬产生抗病性的作用,因此在果蔬保鲜中被广泛应用<sup>[42]</sup>。

臭氧处理采后果蔬在降低代谢作用的同时也对活性氧代谢体系产生了不同程度的影响。经臭氧处理后的无花果、巨峰葡萄和砂梨,其 SOD、CAT 和 POD 三种抗氧化酶活性的下降均得到了有效地抑制,维持在较高水平,从而保持了自由基、活性氧代谢的平衡,进而减少了 MDA 的积累和细胞膜透性的增加,延缓了果实的衰老<sup>[43-45]</sup>。而不同浓度的臭氧对不同果蔬的活性氧代谢的影响也不尽相同。分别采

用 0、1.5、2.5、3.5 和 5.0  $\mu\text{L/L}$  的臭氧熏蒸贮藏期间的木瓜。结果表明,浓度低于 5  $\mu\text{L/L}$  的臭氧处理果实与对照相比有较低的呼吸速率且延缓了果实成熟,并且处理木瓜果实的臭氧浓度越高,果实 POD、PPO 酶活性越大,但是臭氧浓度高于 3.5  $\mu\text{L/L}$  时会对果实组织造成伤害<sup>[46]</sup>。当使用不同浓度臭氧处理猕猴桃时发现,浓度为 0.3  $\mu\text{L/L}$  时处理与对照相比显著延缓了贮藏期间猕猴桃的成熟,此外还对猕猴桃的果肉软化、活性氧含量积累及细胞膜透性增加具有显著的减缓作用<sup>[47]</sup>。此外,大量研究表明适宜浓度的臭氧处理有利于番茄<sup>[48-49]</sup>、番石榴<sup>[50]</sup>、柑橘<sup>[42]</sup>等果蔬的活性氧代谢。

### 3 结论与展望

ROS 在植物体内扮演着双重角色,低浓度的活性氧能在细胞信号传递过程中作为第二信使诱导植物对激素或环境胁迫产生多种应答反应;相反的高浓度的 ROS 如果无法及时清除将会迫使植物细胞内脂质、蛋白、核酸等生物大分子的受到重伤,破坏蛋白质的结构,造成 DNA 损伤等等,最终导致细胞衰老和死亡。由于果蔬被采集后自身的活性氧平衡体系被打破,体内活性氧会迅速的累积并加快其衰老。因此如何使有机体内活性氧的产生和清除之间维持平衡成了关键的问题。文章中提到的几种气体处理可以有效达到降低采后果蔬体内 ROS 的目的。NO、 $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{O}_3$  这几种气体可以有效提高 CAT、POD 等多种活性氧清除酶的活性,降低  $\text{H}_2\text{O}_2$  和  $\text{O}_2^{\cdot-}$  的含量。此外,NO 还会参加  $\text{O}_2^{\cdot-}$  的还原反应,共同加强机体的抗氧化性。而气调包装则是现阶段十分常用的处理采集后果蔬的办法。它通过改变果蔬周围的气体环境来抑制果蔬的呼吸作用,减缓组织代谢同时控制活性氧代谢活动,以达到长期保存的目的。

随着科技的不断进步与发展越来越多的气体处理方法能够有效调节采后果蔬体内的活性氧代谢。然而,许多方面的研究还有待继续延伸和扩展。现今,被应用于控制采后果蔬活性氧代谢的气体主要是 NO、 $\text{H}_2\text{S}$ ,气调的方式也大多是高氧气调,而其他气体如一氧化碳(CO)、二氧化氯( $\text{ClO}_2$ )处理或是高  $\text{CO}_2$  的气调方式还研究较少<sup>[51]</sup>;并且不同果蔬对于同一种气体处理方式的耐受度和最适浓度不同,这方面也还有待进一步的研究。

### 参考文献

- [1]赵瑞平.我国果蔬贮运保鲜现状发展趋势及对策.北方园艺,1999,6:28-29.
- [2]王静,孙广宇,姬俏俏,等.活性氧在果蔬采后衰老过程中的作用及其控制[J].包装与食品机械,2015(5):51-54.
- [3]田世平,罗云波,王贵禧.园艺产品采后生物学基础[M].科学出版社,2011.
- [4]施征,史胜青,姚洪军,等.植物线粒体中活性氧的产生及其抗氧化系统[J].北京林业大学学报,2009,31(1):150-154.
- [5]杨书珍.油桃采后活性氧代谢及几种保鲜试剂处理效应的研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2000.
- [6]吕品,张岩,李建华,等.植物细胞活性氧的产生和清除机

- 制[J].生物学教学,2010,35(2):4-5.
- [7]陈少裕.膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J].植物生理学报,1991(2):84-90.
- [8]Bartosz G.Oxidative stress in plants[J].Current Opinion in Biotechnology,1995,6(2):153-158.
- [9]Zolla L,Rinalducci S.Involvement of active oxygen species in cegregation of light-harvesting proteins uncer light stresses [J].Biochemistry,2002,41(48):391-402.
- [10]唐兆新,王炫英.氧自由基在细胞凋亡中的作用[J].畜牧兽医学志,1997(3):52-54.
- [11]Grant J J,Loake G J.Role of reactive oxygen intermediates and cognate redox signaling in disease resistance. [J]. Plant Physiology,2000,124(1):21-9.
- [12]Hückelhoven R,Kogel K H.Reactive oxygen intermediates in plant-microbe interactions: Who is who in powdery mildew resistance? [J].Planta,2003,216(6):891-902.
- [13]郭衍银,李玲,陈东,等. $\text{O}_2$ 联合 $\text{CO}_2$ 气调对西兰花活性氧代谢及保鲜效果的影响[J].食品科学,2013,34(24):304-308.
- [14]年彬彬,李盼,郭衍银. $\text{O}_2/\text{CO}_2$ 气调对生姜活性氧代谢及保鲜效果的影响[J].北方园艺,2015(8):130-133.
- [15]罗淑芬,胡花丽,陈筱艳,等.气调包装对刀豆贮藏品质及抗氧化酶活性的影响[J].食品科学,2015,36(22):260-265.
- [16]周秋阳,赵利,濮杨,等.高 $\text{O}_2$ 结合高 $\text{CO}_2$ 气调包装对绿芦笋抗氧化活性的影响[J].食品科技,2016,41(5):18-23.
- [17]张文涛,李喜宏,王威,等.高氧气调对树上干杏采后生理和贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(8):220-225.
- [18]金砚舒.甜椒保鲜技术的研究[J].贵州农业科学,2016,10:135-137.
- [19]Millar A H,Day D A.Nitric oxide inhibits the cytochrome oxidase but not the alternative oxidase of plant mitochondria[J].Febs Letters,1996,398(2-3):155-158.
- [20]Šírová J,Sedlářová M,Piterková J,et al.The role of nitric oxide in the germination of plant seeds and pollen [J].Plant Science An International Journal of Experimental Plant Biology,2011,181(5):560-72.
- [21]Manjunatha G,Lokesh V,Neelwarne B.Nitric oxide in fruit ripening: Trends and opportunities [J].Biotechnology Advances,2010,28(4):489-499.
- [22]Zheng Y,Shen L,Yu M,et al.Nitric oxide synthase as a postharvest response in pathogen resistance of tomato fruit [J].Postharvest Biology & Technology,2011,60(1):38-46.
- [23]徐福乐.外源一氧化氮熏蒸处理对番茄采后活性氧代谢的影响[J].食品科技,2010(1):66-71.
- [24]李洁.外源NO和乙烯处理对番茄采后品质及乙烯合成相关基因表达的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.
- [25]温昕晔.一氧化氮对小白杏冷藏特性及有机酸代谢相关基因表达的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.
- [26]杨虎清,吴峰华,周村山,等.NO对杨梅采后活性氧代谢和腐烂的影响[J].林业科学,2010,46(12):70-74.
- [27]宋丽君.一氧化氮处理对猕猴桃果实的保鲜效应及其生

理机制研究[D].杭州:浙江工商大学 2016.

[28]陈娇,袁德保,谭琳,等.NO处理对采后芒果抗氧化酶系统的影响[J].安徽农业科学 2014(26):9164-9166.

[29]汪伟.NO和H<sub>2</sub>S抑制采后桃果实软化机理研究[D].南昌:江西农业大学 2014.

[30]李洁,温昕晔,张辉,等.一氧化氮对绿熟和粉红色番茄采后抗氧化相关酶的影响[J].食品工业科技 2014,35(6):329-333.

[31] Rui W. Physiological Implications of Hydrogen Sulfide: A Whiff Exploration That Blossomed [J]. Physiological Reviews, 2012, 92(2): 791-896.

[32]李东波,肖朝霞,刘灵霞,等.外源硫化氢对豌豆根尖及其边缘细胞的影响[J].植物学报 2010,45(3):354-362.

[33]刘菁,侯丽霞,刘国华,等.NO介导的H<sub>2</sub>S合成参与乙烯诱导的拟南芥气孔关闭[J].科学通报 2011(30):2515-2522.

[34] Chen J, Wang W H, Wu F H, et al. Hydrogen sulfide alleviates aluminum toxicity in barley seedlings [J]. Plant & Soil, 2012, 362(1-2): 301-318.

[35] Sun J, Wang R, Zhang X, et al. Hydrogen sulfide alleviates cadmium toxicity through regulations of cadmium transport across the plasma and vacuolar membranes in *Populus euphratica* cells [J]. Plant Physiology & Biochemistry 2013, 65C(6): 67-74.

[36] Zhang H, Ye Y K, Wang S H, et al. Hydrogen sulfide counteracts chlorophyll loss in sweetpotato seedling leaves and alleviates oxidative damage against osmotic stress [J]. Plant Growth Regulation 2009, 58(58): 243-250.

[37] Zhang H, Jiao H, Jiang C X, et al. Hydrogen sulfide protects soybean seedlings against drought-induced oxidative stress [J]. Acta Physiologiae Plantarum 2010, 32(5): 849-857.

[38] Hu H, Shen W, Li P. Effects of hydrogen sulphide on quality and antioxidant capacity of mulberry fruit [J]. International Journal of Food Science & Technology 2014, 49(49): 399-409.

[39] Luo Z, Li D, Du R, et al. Hydrogen sulfide alleviates chilling injury of banana fruit by enhanced antioxidant system and proline

content [J]. Scientia Horticulturae 2015, 183(183): 144-151.

[40]胡树立.H<sub>2</sub>S延缓采后草莓衰老及调控植物切花保鲜的信号机制[D].合肥:合肥工业大学 2012.

[41]方明明.硫化氢对砀山酥梨采后病害及贮藏效果的影响[D].合肥:合肥工业大学 2013.

[42]牛锐.臭氧处理对柑橘保鲜效果的研究[D].晋中:山西农业大学 2015.

[43]韩璐,苑社强,张晓娜,等.1-MCP处理对无花果贮藏品质及采后生理的影响[J].食品工业科技,2013,34(3):339-341.

[44]王秋芳.高能电子束和臭氧对巨峰葡萄贮藏品质的影响[D].泰安:山东农业大学 2010.

[45]黄雯.臭氧与1-MCP、微孔膜处理对砂梨货架期的影响[D].南京:南京农业大学 2011.

[46] 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: 163-169.

[47] Minas I S, Vicente A R, Dhanapal A P, et al. Ozone-induced kiwifruit ripening delay is mediated by ethylene biosynthesis inhibition and cell wall dismantling regulation. [J]. Plant Science, 2014, 229: 76-85.

[48] Aguayo E, Escalona V H, Artes F. Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical, sensorial and microbial quality of whole and sliced tomatoes [J]. Postharvest Biology & Technology, 2006, 39(2): 169-177.

[49]潘洁,黄焰,童智莹,等.臭氧处理对番茄采后品质的影响[J].杭州师范大学学报:自然科学版 2013,12(6):528-534.

[50]林银凤,温玉辉,董华强,等.臭氧处理对番石榴贮藏保鲜的效果[J].江苏农业科学 2010(5):389-390.

[51]姜爱丽,孟宪军,胡文忠,等.高CO<sub>2</sub>冲击处理对采后蓝莓生理代谢及品质的影响[J].农业工程学报 2011,27(3):362-368.

## 送餐员首次被纳入网络餐饮服务监管

日前,国家食药监总局发布了《网络餐饮服务监督管理办法》(征求意见稿)(以下简称《办法》),对于网络餐饮服务提供者以及网络餐饮服务第三方平台在网络餐饮服务中应当担负的责任进一步细化。其中,配送员也首次被纳入了监管范围。

《办法》中第十二条规定,送餐人员应当保持个人卫生,使用安全、无害的配送容器,并保持容器清洁。第三十六条则规定,违反《办法》第十二条规定,送餐人员未履行相关义务,由县级以上地方食品药品监督管理部门对其所在单位处5000元以上1万元以下罚款。

这也是首次明确将配送员纳入监管范围。相关企业方面在接受北京商报记者采访时表示,目前在招聘骑手时须要求配送员持健康证以及无刑事犯罪证明方能上岗,在源头降低因配送员可能造成的对用户的影响。并对此次《办法》中纳入对配送员进行监管表示欢迎,也将有助于进一步加强外卖行业对于配送员的监督管理。

有业内人士认为,随着外卖平台快速增长而来的是外卖配送员队伍的不断壮大,配送员群体也越来越受到社会各界的关注,将配送员纳入监管,不仅有利于行业的进一步规范,保证消费者消费权益,同时也是对外卖配送员群体权益的保障。

来源:北京商报