

采后果蔬低温贮藏冷害研究进展

张敏, 解越

(上海海洋大学 食品学院, 上海 201306)

摘要: 低温贮藏是控制和延长采后果蔬贮藏品质有效的方法之一,但不适的低温贮藏会造成采后果蔬冷害的发生。作者从采后果蔬低温贮藏冷害的研究现状出发,分别从影响冷害的因素(内、外因)、冷害的机理及症状、冷害发生时生理生化指标的变化(尤其关注冷害对采后果蔬细胞膜透性、抗氧化酶活性以及组织细胞超微结构的影响)、防止和减轻采后果蔬冷害措施等方面,阐述了近年来关于采后果蔬低温贮藏冷害的研究进展。

关键词: 采后果蔬;低温贮藏;冷害的机理及症状;生理生化指标;抗氧化酶活性;组织细胞超微结构

中图分类号:TS 255.3 文献标志码:A 文章编号:1673—1689(2016)01—0001—11

Research Progress of Chilling Injury on Post-Harvest Fruits and Vegetables Stored at Low Temperature

ZHANG Min, XIE Yue

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Cold storage is an effective way to control the quality and extend the shelf life of post-harvest fruits and vegetables. However, the inappropriate cold storage would cause chilling injury. The research process of chilling injury on post-harvest fruits and vegetables in cold storage is reviewed here, summarizing the internal and external factors affecting chilling injury, the mechanisms and symptoms, the relevant changes of physiological and biochemical index (especially the effects on the cell membrane permeability, antioxidant enzyme activity, the ultra-structures of cell tissues for the post-harvest fruits and vegetables), and the methods to prevent and alleviate chilling injury.

Keywords: post-harvest fruits and vegetables, cold storage, mechanisms and symptoms of chilling injury, physiological and biochemical index, antioxidant enzyme activity, ultrastructure of cell tissues

果蔬中含有丰富的营养成分,如碳水化合物、矿物质、维生素、无机盐和食用纤维等。但是由于果蔬生产过程中可以说是“靠天吃饭”,因而有很强的季节性、区域性和易变性,而且新鲜的果蔬采后会

产生各种生理代谢活动,分解和消耗自身的养分,并放出呼吸热,使新鲜果蔬变质、变味、干燥、腐败,贮藏品质下降。

我国果蔬产业的发展很快,人们对于果蔬产品

收稿日期:2015-06-30

基金项目:国家自然科学基金项目(31371526)。

作者简介:张敏(1969—),女,河南郑州人,工学博士,教授,主要从事果蔬贮藏保鲜研究。E-mail:zhangm@shou.edu.cn

在数量上的需求已经基本得到了满足,但是供应量仍然非常的不足,人均的年果蔬分配量严重落后于发达国家,据最新的统计数据表明^[1],中国的年果蔬分配量只有英国的 25%,另一个存在的问题是中国果蔬制品的质量也不尽如人意。尤其在中国北部偏远的地区,冬季的果蔬品种单一,增加品种迫在眉睫^[2]。同时,由于我国冷藏链的起步较晚,发展相对较慢^[3],果蔬在采后的贮藏保鲜方面遇到严重的困境,设备落后,经验不足,科学原理掌握不够,导致果蔬产品损失严重,最多时达到将近 50%,进而导致经济损失不可估量^[4],而发达国家拥有先进完善的果蔬采后保鲜技术,其损失微不足道。因此,采取有针对性的采后贮藏保鲜技术对于降低采后果蔬数量损失和提高质量都具有重要的意义。

温度是影响果蔬采后贮藏期的重要因素,不适宜的贮藏温度极易影响果蔬贮藏品质,破坏果蔬正常生理代谢平衡,造成内部细胞膜组织结构性损伤,即会发生冷害。冷害是指果蔬在其冰点以上的不适低温环境中受到的生理伤害,是冷敏性果蔬对逆境胁迫的一种不良反应^[5]。而在我国销售的果蔬中大约有 50%是冷敏性的,而低温贮藏又是保存果蔬产品最有效的方法之一^[6]。总之,冷害所引起的损失往往比所预料到的要更加严重^[7]。因此,降低采后果蔬产品损失及通过研究不同果蔬采后不同生理生化特性,来提高采后果蔬贮藏品质,延长采后果蔬贮藏周期已成为一个重要的课题。作者主要从采后果蔬低温贮藏冷害国内外的研究现状出发,分别从影响冷害的因素(内、外因)、冷害的机理及症状、冷害发生时生理生化指标的变化(尤其关注冷害对采后果蔬细胞膜透性、抗氧化酶活性以及组织细胞超微结构的影响)、防止和减轻采后果蔬冷害措施等方面,阐述了近年来关于采后果蔬低温贮藏冷害的研究进展。

1 影响冷害的因素

1.1 内在因素

包括果蔬的品种、原产地、成熟度、采收期等因素^[8]。一些原产于热带或亚热带的冷敏性果蔬,由于其生长过程中环境温度高、湿度大,当果蔬在不适的低温下贮藏时极易发生冷害,造成巨大的损失。而一些原产于温带的果蔬,如苹果^[9]中的一些品种,如贮藏环境不当,也同样会发生冷害。冷敏性果

蔬在不适低温下,并不会立即产生冷害症状,只有将这些在低温下贮藏的果蔬产品转移至 20~25 °C 较温暖的环境中,稍后冷害症状才会显现出来^[10]。果蔬采后低温贮藏时冷害的发生以及严重程度是由果蔬本身的冷敏性所决定的,其冷敏性则受到内在因素的影响^[11]。此外,同一果蔬不同品种间也存在着冷敏性的差异^[12]。

1.2 外在因素

包括温度、相对湿度、光照、大气成分、栽培管理条件等因素^[13]。在外界环境因素中,温度的影响极其显著。在果蔬产品贮藏期间,贮藏温度的高低和持续时间的长短是果蔬产品是否受到冷害和冷害严重程度的决定性因素。即贮藏温度越低,持续时间越长,冷害程度越严重^[14]。但对某些特定的水果说来,温度与冷害的关系,又不完全与上述规律相同,如葡萄在稍低于最适宜的贮藏温度下却比在较低的温度下更快地显现出冷害症状^[15]。对于某些果蔬产品,贮藏期间提高相对湿度,可以减轻冷害症状。陈健华^[16]等研究发现,黄瓜在 0 °C 相对湿度为 95% 环境中贮藏产生的冷害斑数量显著小于相对湿度为 90% 的环境中。赵月^[17]等将辣椒在 0 °C 及相对湿度为 88%~90% 的环境中贮藏 12 d,发现有 67% 的辣椒出现冷害斑;而在相对湿度为 96%~98% 的环境中,只有 33% 的辣椒出现冷害斑。此外,调节贮藏环境的气体成分也可降低冷害发生的机率。对于某些果蔬产品,如西双版纳橡树^[18]、越南青冈^[19]、枣^[20]和西葫芦^[21]等,运用低浓度 O₂ 和高浓度 CO₂ 进行气调贮藏,冷害症状得到有效的缓解^[22]。

2 冷害发生的机理及症状

2.1 冷害发生的机理

2.1.1 膜脂相变理论 膜脂相变理论认为,细胞组织在遭受低温逆境下的生理生化变化都是次生反应,冷害的原初反应发生在生物膜系统的膜脂上,即冷害的发生是源于膜脂在冷害临界温度下由液晶态向凝胶态转变。膜脂相变引发的两个后续变化,一是细胞膜透性的增大,二是细胞膜结合抗氧化酶活性的改变,这是最终导致组织发生不可逆伤害的关键。由于膜脂发生相变,从而导致膜透性发生变化,并且使膜结合酶的分子有可能受到压缩而处于低活性状态,甚至发生构象的变化,导致其不能发挥正常的生理功能,最终引起生理代谢失调,

组织出现各种紊乱症状^[23]。由该理论可以解释一系列由冷害引发的代谢障碍。如呼吸失调,即受冷害组织表现为有氧呼吸受抑而无氧呼吸增强,这主要是因为前者依赖线粒体的完整性,而低温下线粒体膜脂相变使其不能正常执行功能,造成细胞中 ATP 短缺,蛋白质不能合成,离子主动吸收过程不能进行,结果蛋白质净分解,细胞离子出现渗漏;而无氧呼吸则在细胞质中进行,与膜脂相变无关,但无氧呼吸产生的有毒物质会造成细胞的伤害;离子渗漏主要是因为膜脂固化引起膜上离子泵钝化所致^[24]。

2.1.2 蛋白质伤害理论 蛋白质伤害论认为,蛋白质是冷害发生的原初部位。由于蛋白质既是细胞的组分,又直接参与细胞代谢酶的组成。低温首先使蛋白质分子中疏水键削弱,使氢键与静电引力的相互作用加强。在低温逆境胁迫下,首先引起蛋白质包括抗氧化酶构象发生变化,这将直接影响到酶的活性,导致其不断下降,从而影响到许多抗氧化酶类对于细胞内积累的活性氧自由基的调控,导致代谢平衡异常^[25]。此外,细胞中的一些对低温敏感的多聚蛋白质结构如微管、微丝,在低温逆境胁迫下会发生解聚,从而影响到细胞在低温下发挥正常的结构与功能,引起代谢平衡的失调^[26]。但是 Lyons^[27]等却对此提出质疑,他们认为蛋白质在低温逆境胁迫下的变化确实对细胞造成各种伤害,但它是否是冷害的原初反应值得进一步研究,因为在他们发现代谢失调与蛋白质构象变化并没有之间的关联,但与膜脂流动性的变化有一定的关系。许多酶在较小的温度范围内对低温逆境胁迫做出反应,但在构象上并没有明显的变化^[28]。

2.1.3 自由基伤害理论 自由基伤害理论认为,生物自由基对细胞中的叶绿体、蛋白质核酸等生物大分子具有强烈的破坏作用。当生物组织受到低温逆境胁迫时,生物体内清除活性氧自由基的能力减弱,导致体内积累过多的自由基,导致生物大分子被破坏,特别是膜脂中的不饱和脂肪酸双键非常容易受到自由基攻击而发生过氧化反应,而脂质过氧化反应又会产生新的自由基,自由基再促进膜脂过氧化反应,膜的完整性受到破坏,最终引起一系列生理生化变化,组织代谢发生紊乱,细胞受损,直至死亡^[29]。

2.2 冷害发生的症状

通常表现的症状有:外表皮破损,出现冷害斑,

表皮凹陷,失色或组织出现水渍状,果实褐变,组织开裂,果实不能完熟,抗病性减弱,易遭病菌侵害,易腐烂,成分发生变化(特别是香味和风味发生变化),种子丧失发芽能力等^[30]。这些冷害症状的出现,会极大地缩短采后果蔬的贮藏周期,严重影响采后果蔬食用品质和产品价值。植物遭受冷害后的症状依植物的品种、器官及发育阶段的不同而异,如种子萌发期冷害表现为不发芽或延迟发芽,从而导致胚根受到伤害^[31]。田间许多草本植物,冷害的明显症状是叶子萎蔫^[32]。如果在冷害温度下贮藏超过 24 h,则会出现坏死斑^[33]。木本植物冷害症状发生在茎干和枝条上,出现芽枯的现象^[34]。果蔬贮藏期间的冷害症状主要表现为变色、坏死、褐斑等,如黄瓜果实发生冷害时会出现水渍状、表皮凹陷,易导致腐烂^[35]。

3 冷害对采后果蔬低温贮藏的影响

3.1 冷害对采后果蔬细胞膜透性的影响

冷敏果蔬在低温胁迫下,细胞膜透性增大,离子渗出率增加。冷害造成细胞膜透性的增大明显早于果蔬外部形态的变化,可作为预测冷害的指标^[36]。细胞膜的流动性和稳定性是细胞维持正常生理代谢的基础。一些冷敏果蔬,在低温下细胞膜的物理特性发生改变,膜脂从一个富有柔性的液晶态转变为固性的凝胶态,膜相发生了改变^[37]。与此同时,膜的功能也发生了变化,破坏了细胞膜的选择透性,引起细胞内物质如电解质、氨基酸、糖和无机盐等的外渗。一般认为这种透性的增加,是低温对细胞膜伤害的标志之一^[38]。

果蔬膜脂组成的不同,其对低温的抗逆性也不同。膜中磷脂含量的变化与抗逆性的变化呈显著正相关。膜脂脂肪酸的不饱和度与膜脂的流动性的变化相一致,通过改变细胞膜脂成分以维持细胞膜在低温逆境胁迫下的流动性和稳定性,对果蔬抗逆性的提高发挥重要的作用。即膜脂脂肪酸的不饱和度越高,膜脂流动性越大,抗逆性越强^[39]。

3.2 冷害对抗氧化酶活性的影响

果蔬遭受低温逆境胁迫时,首先是细胞膜相态的改变,随后抗氧化酶的活性也发生变化,进而引起物质代谢失调和有毒物质的积累,最后导致组织死亡。酶活性受到温度影响很大,并且不同种类酶的活性都有相对应的最适宜温度^[40]。

目前研究较多的抗氧化酶包括超氧化物歧化

酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等^[41]。冷害正是由于低温降低了SOD、POD、CAT等抗氧化酶的活性,从而导致了活性氧自由基在细胞体内不断积累,造成细胞受到不可逆的伤害。低温胁迫后黄瓜的SOD、POD、CAT活性都受到抑制,果实表面出现了明显的冷害症状^[41,42]。Liu^[43]等研究发现,经过适当的低温锻炼后,黄瓜果实的SOD、POD、CAT在受低温胁迫时仍能保持较高活性,从而减轻冷害症状,而未经低温锻炼的黄瓜果实在低温胁迫下,抗氧化酶的活性均显著下降,结果导致黄瓜果实受到不可逆伤害。

3.3 冷害对组织细胞超微结构的影响

在一个成熟的组织细胞中,细胞壁由3部分组成,即胞间层、初生壁和次生壁。胞间层又叫中间层,其具有很强的亲水性和可塑性,既可以使相邻细胞彼此粘结在一起,又可以缓冲细胞间相互的挤压,同时又不会阻碍细胞的生长。初生壁一般比较薄,厚度约为1~3 μm,具有弹性,可以使细胞保持一定的形状和伸缩度。初生壁位于胞间层的内侧,是细胞生长过程中形成的壁层。次生壁是在细胞生长停止以后,原生质体的后续分泌物沉积于初生壁内侧而形成的,一般较厚而坚韧,厚度约为5~10 μm。但并不是每一个细胞均具有次生壁,其在细胞中主要是起到输导、支持和保护的作用。在光学显微镜下,厚的次生壁层又可以分为不同的3层,分别为外层、中层和内层^[44]。

Zhao^[45]等研究发现,采后果蔬在低温胁迫下的组织细胞超微结构变化是一个复杂的变化过程,也是一个循序渐进的累积过程。在低温胁迫下,开始这些微小变化可能是机体本身对低温的适应性的调节反应,但随着低温胁迫程度的加剧,这种适应性超过机体本身的所能承受的界限时,就会发生不可逆的变化。这时,组织细胞就表现出一定症状的冷害,通常导致低温贮藏后期细胞组织解体,大量细胞液外渗,膜透性增加,微生物侵染,出现组织腐烂变质。总之,冷害发生是组织生理生化变化与组织细胞超微结构变化共同产生的结果^[46]。

4 防止和减轻采后果蔬低温贮藏冷害的措施

4.1 暖温处理

对冷敏果蔬而言,在贮藏前通常采用略高于冷

害临界温度15℃左右的温度短期贮藏一定时间,以达到低温贮藏过程中提高抗逆性的目的。如红树莓果实贮藏前在10℃中存放5 d或10 d,可以一定程度减轻冷害症状^[47]。山葡萄贮藏前在10℃或15℃中放7 d,可以降低果实在1℃贮藏时发生冷害的概率^[48]。经过预冷处理后果蔬组织减轻冷害的机理尚没有定论,目前普遍认为可能与多胺水平有关^[49]。Trischuk^[50]等研究发现,分别对小麦和油菜在贮藏前进行暖温处理,结果在贮藏过程中多胺水平不断上升,有效地推迟了冷害症状过早地出现,增强了果蔬的抗逆性。

4.2 热处理

热处理就是采取30~50℃的温度对果蔬在贮藏前处理一定的时间,延缓果蔬采后成熟的速度,杀死病原微生物,抑制降解酶的活性,从而提高贮藏品质的一种物理辅助保鲜方法^[51]。一般来说,热带或亚热带果蔬对低温有较高的敏感性,如遇到不适的低温贮藏环境,极易出现冷害症状。李海杰^[52]等研究表明,热处理可以有效地缓解冷害症状的发生。闫世江^[53]等对黄瓜进行热处理后在1℃贮藏15 d,热处理组果实发生的冷害程度显著低于对照组。热处理防止或减轻冷害发生的作用机理主要有以下几点。首先,热处理能促进外果皮损伤细胞的愈合,减少活性氧自由基的积累,抑制褐斑的形成;其次,热处理能提高果蔬中细胞膜的不饱和脂肪酸含量,使细胞膜即使在低温下也能保持正常的稳定性和流动性,缓解细胞膜因发生相变而受到伤害,维持细胞膜正常的功能,降低细胞膜透性的过快增加,从而提高果蔬的抗逆性;最后,热处理有助于维持活性氧的代谢平衡,减少自由基对细胞膜结构的破坏,降低膜脂过氧化产物MDA的含量,使细胞膜发挥正常的生理功能,从而抑制低冷害的发生^[54]。

4.3 变温处理

4.3.1 间歇升温 间歇升温是指将经过低温贮藏一定时间后的果蔬,在20℃下放置较短的时间,通常为1~2 d,随后再将这些果实进行第二次冷藏。间歇升温的次数根据不同种类果实而异。不同变温贮藏方式对果实贮藏效果各不相同,Aghaee^[55]等研究认为适宜的间歇升温能够显著提高果实的抗逆性,使果实品质保持在较高的水平。但也有将间歇升温应当与其他贮藏方式相结合,更能充分发挥其作用^[56]。对于间歇升温处理维持果实品质的作用机理,Li

[57]等通过对芒果冷藏研究后发现,间歇升温处理使2℃贮藏果实SOD活性维持在较高水平,细胞膜透性增加缓慢,从而显著地提高了芒果抗逆性。Khademi[58]等认为,间歇升温处理可以降低细胞壁中纤维素和果胶质含量的增加,延缓原果胶向可溶性的降解速率,减轻果实在低温下果实絮败现象的发生。

4.3.2 波温贮藏 波温贮藏是指将采后果实在适宜温度下贮藏,期间在较小的波动温度范围内对贮藏温度进行调节,如杨晓宇[59]等将扁桃放在0~3.5℃的条件下进行调节,温度变化频率为1~2次/h。波温贮藏可以提高贮藏期间桃果实的可溶性糖含量,较好地保持了桃的口感和品质,延长了采后贮藏周期。关于波温贮藏对延缓果实衰老的作用机理,研究表明,波温贮藏是抑制了多酚氧化酶(PPO)活性,使果胶酯酶(PE)和聚半乳糖醛酸酶(PG)保持较高的活性,延缓果实硬度下降[60]。

4.4 湿度调节

相对湿度是影响果蔬贮藏期间冷害程度的另一个因素。对于某些果蔬,在贮藏期间提高贮藏环境的相对湿度,可以减轻其冷害的发生。较高的相对湿度可以明显缓解冷害症状,相反相对湿度过低则会加重冷害症状[61]。实际上较高的相对湿度并不能减轻低温对细胞的伤害,也并不是缓解冷害症状的直接原因,只是较高的相对湿度降低了采后果蔬的蒸腾作用,抑制了水分的蒸发[62]。但必须注意的是在较高的湿度下果蔬容易遭受到病原微生物的侵染,因此,必须配合使用杀菌剂[63]。

4.5 化学调控(钙处理)

钙不仅仅是果蔬生长发育所需的矿物元素之一,更是重要的生理调节物质。首先,钙在维持细胞壁结构中起到稳定的作用,能保护细胞壁免受伤害,容易与细胞壁中的果胶酸形成果胶酸钙。在果实成熟衰老过程中,未经钙处理的果实中胶层容易分解,导致细胞间粘合力下降,细胞间发生分离,而经过钙处理的果实,细胞壁仍能保持坚硬,中胶层分解缓慢,细胞紧密相连。其次,钙能使细胞发挥正常的功能[64]。目前,关于钙对细胞膜结构的保护机理尚不清楚。Mirdehghan[65]等认为钙能减少活性氧自由基对膜系统的伤害,从而保护细胞膜结构的完整性。Wang[66]等报道,钙处理能提高苹果SOD的活性,降低膜脂过氧化产物MDA的含量。Yang[67]等的观

点是认为钙离子在细胞内能作为磷脂的磷酸和蛋白质的羧基间联结的桥梁,是细胞膜结构更为牢固。总之,钙能维持细胞膜结构的完整性和细胞内膜系统的区域化作用。研究发现,果实抗逆性与钙含量的高低有显著的相关性,而且钙处理的方法同样可以降低冷害的发生。目前,贮藏前钙处理已经在火龙果[68]和草莓[69]等的贮藏过程中得到了广泛的应用。

4.6 气调贮藏

气调贮藏是通过调节贮藏环境内温度、湿度以及CO₂、O₂等的浓度,抑制采后果蔬呼吸作用,延缓采后果蔬成熟衰老,进而达到保鲜效果的一种贮藏方法[70]。其中,CO₂具有抑制细菌生长繁殖的作用,O₂则为采后果蔬呼吸作用提供适量的氧气。在贮藏过程中,果蔬呼吸作用会导致贮藏环境中O₂浓度下降和CO₂浓度升高。当O₂浓度过低或CO₂浓度过高时,都会影响到果蔬贮藏品质和正常生理代谢活动,不适的低温贮藏甚至会导致采后果蔬发生冷害。影响气调贮藏减轻采后果蔬冷害症状的因素有很多,如果蔬种类、O₂和CO₂浓度、贮藏时间、贮藏温度等[71]。

适当降低O₂浓度会抑制采后果蔬新陈代谢,同时低氧会降低活性氧自由基的生成速率,减缓膜脂过氧化反应对细胞的伤害程度。此外,适当提高CO₂浓度可以降低采后果蔬的呼吸强度,还可以抑制乙烯的生成速率[72]。先前国内外的学者经过了大量的研究,发现气调贮藏有利于减轻采后果蔬冷害的发生[73]。如芒果经过复合气调包装后(体积分数4%O₂、10%CO₂、86%N₂)贮藏期得到了显著的延长,芒果保持了较好的色泽以及较高的硬度[74]。杜小琴[75]等将“拉宾斯”甜樱桃贮藏于体积分数5%O₂和8%CO₂的环境中,采后甜樱桃的呼吸强度得到了显著地抑制,降低了果实的腐烂率及褐变指数。

4.7 1-甲基环丙烯(1-MCP)处理

1-甲基环丙烯(1-MCP)是近年来发现的一种乙烯合成抑制剂,能降低乙烯生成速率,延缓采后果蔬成熟衰老,提高采后果蔬贮藏品质,但是不同品种果蔬之间作用差异明显[76]。李辉[77]等经过实验后发现,1-甲基环丙烯(1-MCP)处理能延缓果实细胞膜透性上升,保持较高的果实硬度,能较好的维持细胞膜完整性。阚娟[78]等研究后得出结论,经1-甲基环丙烯(1-MCP)处理过的梨果实,硬度下降缓

慢,乙烯合成速率显著降低,延缓了梨果实的后熟软化。高元惠^[79]等将西葫芦果实进行1-甲基环丙烯(1-MCP)处理后发现,果实呼吸强度受到抑制,呼吸高峰出现的时间被推迟,果实品质总体维持在较高的水平,这与陈艺晖^[80]等对“香蜜”杨桃经过1-甲基环丙烯(1-MCP)处理后的实验结论相一致。

4.8 硫化氢(H₂S)处理

硫化氢(H₂S)被认为参与了采后果蔬内部多种生理反应,起到了调控的作用,是一种典型的信号气体分子。目前,硫化氢(H₂S)在采后果蔬贮藏保鲜方面已取得了一定的进展,先前研究表明硫化氢(H₂S)可以延缓果蔬成熟衰老并提高采后果蔬低温贮藏抗逆性。采用不同浓度的硫化氢(H₂S)溶液处理采后果蔬,能延长贮藏保鲜周期^[81]。王倩^[82]等研究发现,较为理想的硫化氢(H₂S)处理浓度为2.0 mmol/L,经过该浓度处理后的梨果实,可溶性糖及蛋白质含量下降速度减缓,同时硫化氢(H₂S)处理能有效地提高抗氧化酶类的活性,减缓活性氧自由基过度积累对细胞膜造成的损伤,进而提高果实的抗逆性。沈勇根^[83]等经过实验后发现,用45 μmol/L硫化氢(H₂S)溶液处理能提高低温贮藏下猕猴桃果实的抗氧化能力,保持较高的VC含量及叶绿素含量,延缓果实质地软化,维持猕猴桃果实货架期品质。胡树立^[84]等用硫化氢(H₂S)气体熏制草莓后发现,有效地抑制冷害指数及腐烂指数的上升,同时还能提高游离脯氨酸含量,增强了果实的抗逆性,其中0.80 mmol/L硫化氢(H₂S)溶液处理效果最为明显。

5 结语

果蔬是在一定生态环境下形成和发展起来的,因而任何一种果蔬的生长发育都需要一定的环境条件,如果果蔬的生长环境未能达到或超过一定的

要求时,那么果蔬的正常生理活动就会受到一定的影响,并引起一系列活性物质代谢的不正常,从而影响果蔬生长发育的正常过程。所以说冷害会对果蔬生理活动产生很大的影响,造成严重的损失,因此对于冷害研究在就显得非常的重要。近年来国内外相关领域的学者针对上述情况进行了大量而又细致的研究,并且主要集中在冷害发生的机理上。果蔬采后进行低温贮藏保鲜,以保证其货架期寿命及产品价值,但是部分果蔬在采后并未达到完全成熟,贮藏环境对其影响很大,尤其是贮藏温度和贮藏时间,不适的贮藏温度极易影响果蔬正常的生理代谢,造成内部膜组织结构性损伤,产生冷害症状。冷害的发生会导致贮藏品质下降,严重影响商品价值。在防止和减轻采后果蔬低温贮藏冷害的措施方面,目前主要有暖温处理、热处理、变温处理等,但其如何减轻冷害的机理尚没有定论,学者普遍认为与多胺的水平有关。气调贮藏是通过调节贮藏环境内温度、湿度以及CO₂、O₂等的浓度,延缓采后果蔬成熟衰老,但在调节贮藏环境气体的比例问题上,还需要进一步实验研究得出最佳配比。此外,不同贮藏保鲜技术之间还可以相互结合,如钙处理、1-MCP处理、H₂S处理等,以达到最优化的目的。综合先前已有的研究结果,对果蔬低温贮藏冷害机理的研究仍然不是十分的清楚,目前主要有Lyons提出的膜脂相变理论,蛋白质伤害论以及近年来提出的生物自由基造成膜脂过氧化伤害论,对可以延缓和降低冷害症状的有效措施也各不相同。在影响果蔬低温贮藏冷害的因素中,除了贮藏环境等外界因素外,还与果蔬本身所具有的特性有着更为紧密的联系。因此,在今后的研究过程中,应该从更广泛、更深层次的角度出发进行研究,才能进一步揭示果蔬低温贮藏冷害发生的机理并找出行之有效的降低果蔬冷害途径的综合技术。

参考文献:

- [1] 张慜,刘倩. 国内外果蔬保鲜技术及其发展趋势[J]. 食品与生物技术学报,2014,33(8):785-792.
ZHANG Min, LIU Qian. Study on present situation and development trends of fruit and vegetable preservation in the world[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2014, 33(8):785-792. (in Chinese)
- [2] 张敏,袁海涛,黄汝国,等. 果蔬活组织冰点测试系统设计与实验[J]. 农业机械学报,2014,45(3):223-226.
ZHANG Min, YUAN Haitao, HUANG Ruguo, et al. Design and test of measurement system for freezing point of living tissue of fruits and vegetables[J]. *Transactions of the CSAM*, 2014, 45(3):223-226. (in Chinese)
- [3] 李文文, 汤元睿, 谢晶, 等. 物流过程中大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 的品质变化 [J]. 食品科学, 2013, 34(14):319-323.

- LI Nianwen, TANG Yuanrui, XIE Jing, et al. Physicochemical quality properties of *Thunnus obesus* logistic process [J]. **Food Science**, 2013, 34(14):319-323. (in Chinese)
- [4] 高元惠, 刘凤娟, 高丽朴, 等. 1-MCP 处理对西葫芦采后生理及品质的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(6):44-47.
GAO Yuanhui, LIU Fengjuan, GAO Lipu, et al. Effect of 1-MCP on post-harvest physiology and quality of summer squash[J]. **Food Science and Technology**, 2012, 37(6):44-47. (in Chinese)
- [5] 钟志友, 张敏, 杨乐, 等. 果蔬冰点与其生理生化指标关系的研究[J]. 食品工业科技, 2011(2):76-78.
ZHONG Zhiyou, ZHANG Min, YANG Le, et al. Study on relation between freezing and physiological and biochemical indexes of fruits and vegetables[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2011(2):76-78. (in Chinese)
- [6] 励建荣, 朱丹实. 果蔬保鲜新技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(4):337-347.
LI Jianrong, ZHU Danshi. Research progress of new postharvest technology on fruits and vegetables [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2012, 31(4):337-347. (in Chinese)
- [7] Luo Z, Wu X, Xie Y, et al. Alleviation of chilling injury and browning of postharvest bamboo shoot by salicylic acid treatment[J]. **Food Chemistry**, 2012, 131(2):456-461.
- [8] 王清, 杨娜, 刘凤娟, 等. 不同温度对西葫芦果实冷害及生理变化的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(18):4027-4030.
WANG Qing, YANG Na, LIU Fengjuan, et al. Effects of different temperature on chilling injury and physiological changes during storage of cucurbita pepo[J]. **Hebei Agricultural Sciences**, 2012, 51(18):4027-4030. (in Chinese)
- [9] 时朝, 王亚芝, 刘国杰. 应用 Logistic 方程确定 5 种苹果枝条的半致死温度的研究[J]. 北方园艺, 2013(2):36-38.
SHI Chao, WANG Yazhi, LIU Guojie. Application of logistic equation on determination of the semi-lethal temperature of five different varieties of apple branches[J]. **Northern Horticulture**, 2013(2):36-38. (in Chinese)
- [10] 王艳颖, 胡文忠, 刘程惠, 等. 低温贮藏引起果蔬冷害的研究进展[J]. 食品科技, 2010(1):72-75.
WANG Yanying, HU Wenzhong, LIU Chenghui, et al. Progress of research on chilling injury of fruit and vegetable during low temperature storage[J]. **Food Science and Technology**, 2010(1):72-75. (in Chinese)
- [11] Chiang C M, Kuo W S, Lin K H. Cloning and gene expression analysis of sponge gourd ascorbate peroxidase gene and winter squash superoxide dismutase gene under respective flooding and chilling stresses [J]. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, 2014, 55(2):129-137.
- [12] 陈京京, 金鹏, 李会会, 等. 低温贮藏对桃果实冷害和能量水平的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4):275-281.
CHEN Jingjing, JIN Peng, LI Huihui, et al. Effects of low temperature storage on chilling injury and energy status in peach fruit [J]. **Transactions of the CSAE**, 2012, 28(4):275-281. (in Chinese)
- [13] Sayyari M. Improving chilling resistance of cucumber seedlings by salicylic acid[J]. **American-Eurasian J Agric Environ Sci**, 2012, 12(2):204-209.
- [14] 刘同业, 张婷, 车凤斌, 等. 不同贮藏温度下西州密 25 号哈密瓜果实冷害生理的研究[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(1):26-32.
LIU Tongye, ZHANG Ting, CHE Fengbin, et al. Studies on chilling injury physiology of Xizhoumi No.25 Hami melon fruits at different storage temperatures[J]. **Xinjiang Agricultural Sciences**, 2015, 52(1):26-32. (in Chinese)
- [15] 张倩, 刘崇怀, 郭大龙, 等. 5 个葡萄种群的低温半致死温度与其抗寒适应性的关系[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013(5):149-154.
ZHANG Qian, LIU Chonghuai, GUO Dalong, et al. Relationship between LT50 and cold adaptability of five grape varieties[J]. **Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.)**, 2013(5):149-154. (in Chinese)
- [16] 陈健华, 张敏, 车贞花, 等. 不同贮藏温度及时间对黄瓜果实冷害发生的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9):394-397.
CHEN Jianhua, ZHANG Min, CHE Zhenhua, et al. The influence on chilling injury of the cucumber fruit under different storage temperatures and storage time[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2012, 33(9):394-397. (in Chinese)
- [17] 赵月, 陶乐仁, 陈娟娟. 包装材料和贮藏温度对辣椒冷藏货架期品质变化的影响[J]. 食品与发酵科技, 2015, 51(1):25-30.
ZHAO Yue, TANG Leren, CHEN Juanjuan. Effect of packing material and temperature on preservation quality of hot pepper[J]. **Food and Fermentation Technology**, 2015, 51(1):25-30. (in Chinese)
- [18] 刘世红, 田耀华, 魏丽萍, 等. 西双版纳 30 个橡胶树品种的低温半致死温度及低温对抗氧化系统的影响[J]. 植物生理学报, 2011, 47(5):505-511.
LIU Shihong, TIAN Yaohua, WEI Liping, et al. Semi-lethal low temperatures and impact of low temperature on antioxidant

- system of 30 varieties of rubber trees in xishuangbanna[J]. **Plant Physiology Journal**, 2011, 47(5):505-511. (in Chinese)
- [19] 李谦盛, 邓敏, 沈娟, 等. 濒危树种越南青冈的半致死温度研究[J]. 西部林业科学, 2014, 43(5): 8-12.
LI Qiansheng, DENG Min, SHEN Quan, et al. Study on the lethal temperature of the endangered cyclobalanopsis austrocochinchinensis[J]. **Journal of West China Forestry Science**, 2014, 43(5): 8-12. (in Chinese)
- [20] 王晓玲, 胡亚岚, 毛丽衡. 不同枣品种抗寒性的比较[J]. 北方园艺, 2012(19): 1-4.
WANG Xiaoling, HU Yalan, MAO Liheng. The comparison of cold resistance among various of chinese jujube [J]. **Northern Horticulture**, 2012(19): 1-4. (in Chinese)
- [21] 袁蒙蒙, 高丽朴, 王清, 等. 壳聚糖涂膜处理对西葫芦冷害的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(10): 114-117.
YUAN Mengmeng, GAO Lipu, WANG Qing, et al. Effect of chitosan coating on chilling injury in summer squash[J]. **Journal of Henan Agricultural Science**, 2012, 41(10): 114-117. (in Chinese)
- [22] 周任佳, 乔勇进, 王海宏, 等. 不同保鲜膜包装对鲜切哈密瓜品质的影响 [J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2012(6): 131-138.
ZHOU Renjia, QIAO Yongjin, WANG Haihong, et al. Effect of different preservative film package on the quality of fresh-cut Hami melon[J]. **Journal of East China Normal University: Natural Science**, 2012(6): 131-138. (in Chinese)
- [23] Guan N, Blomsma S A, Fahy G M, et al. Analysis of gene expression changes to elucidate the mechanism of chilling injury in precision-cut liver slices[J]. **Toxicology in Vitro**, 2013, 27(2): 890-899.
- [24] Bradley M J, Colville M J, Crumley M J, et al. Differential effects of membrane order on membrane permeability[J]. 2013.
- [25] Dong J, Yu Q, Lu L, et al. Effect of yeast saccharide treatment on nitric oxide accumulation and chilling injury in cucumber fruit during cold storage[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2012, 68: 1-7.
- [26] 邓扬梧, 张萍, 陈火平, 等. 果蔬冷藏损伤及其生理机制与对策研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(29): 14473-14477.
DENG Wuyang, ZHANG Ping, CHEN Huoping, et al. Physiological mechanisms and countermeasures of chilling injury of fruits and vegetables[J]. **Journal of Anhui Agricultural Science**, 2012, 40(29): 14473-14477. (in Chinese)
- [27] Massolo J F, Lemoine M L, Chaves A R, et al. Benzyl-aminopurine (BAP) treatments delay cell wall degradation and softening, improving quality maintenance of refrigerated summer squash[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2014, 93: 122-129.
- [28] Shi K, Fu L J, Zhang S, et al. Flexible change and cooperation between mitochondrial electron transport and cytosolic glycolysis as the basis for chilling tolerance in tomato plants[J]. **Planta**, 2013, 237(2): 589-601.
- [29] DanFeng Z, XiaoLing C, Nan W, et al. Determination of cold resistance of *Camellia sasanqua* Thunb. varieties using conductance and Logistic equation methods[J]. **Journal of Southern Agriculture**, 2011, 42(10): 1248-1250.
- [30] 袁方, 苏卫国, 张振玲. 不同无花果品种抗寒性的测定[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(14): 4183-4184.
YUAN Fang, SU Weiguo, ZHANG Zhengling. Determination of cold tolerance of different varieties of figs [J]. **Journal of Anhui Agricultural Science**, 2014, 42(14): 4183-4184. (in Chinese)
- [31] Hashim N, Pflanz M, Regen C, et al. An approach for monitoring the chilling injury appearance in bananas by means of backscattering imaging[J]. **Journal of Food Engineering**, 2013, 116(1): 28-36.
- [32] Livingston III D P, Henson C A, Tuong T D, et al. Histological analysis and 3D reconstruction of winter cereal crowns recovering from freezing: a unique response in oat (*Avena sativa* L.) [J]. **PLoS one**, 2013, 8(1): e53468.
- [33] 刘璐, 鲁晓翔, 陈绍慧, 等. 低温驯化对冰温贮藏樱桃品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 301-305.
LIU Lu, LU Xiaoxiang, CHEN Shaohui, et al. Effect of cold acclimation combined with ice-temperature storage on the quality of cherry[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2015, 36(5): 301-305. (in Chinese)
- [34] Huang S, Li T, Jiang G, et al. 1-Methylcyclopropene reduces chilling injury of harvested okra (*Hibiscus esculentus* L.) pods[J]. **Scientia Horticulturae**, 2012, 141: 42-46.
- [35] 卢佳华. 低温贮藏黄瓜组织生理生化特性, 传热特性及组织细胞结构变化研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- [36] Khan M M, Al-Mas'oudi R S M, Al-Said F, et al. Salinity Effects on Growth, Electrolyte Leakage, Chlorophyll Content and Lipid Peroxidation in Cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. **International Proceedings of Chemical, Biological & Environmental Engineering**, 2013, 55(6): 28-32.
- [37] Rolny N, Costa L, Carrión C, et al. Is the electrolyte leakage assay an unequivocal test of membrane deterioration during leaf senescence[J]. **Plant Physiology and Biochemistry**, 2011, 49(10): 1220-1227.

- [38] 申春苗,汪良驹,王文辉,等. 12个梨品种果实冰点温度的测定与影响因素分析[J]. 南京农业大学学报,2011,34(1):35-40.
SHEN Chunmiao,WANG Liangju,WANG Wenhui,et al. Determination of the freezing point temperature of 12 pear cultivars and the correlation analysis of the impact factors [J]. **Journal of Nanjing Agricultural University**,2011,34 (1):35-40. (in Chinese with English abstract)
- [39] 相昆,张美勇,徐颖,等. 不同核桃品种耐寒特性综合评价[J]. 应用生态学报,2011,22(9):2325-2330.
XIANG Kun,ZHANG Meiyong,XU Ying,et al. Cold-tolerance of walnut cultivars:A comprehensive evaluation [J]. **Chinese Journal of Applied Ecology**,2011,22(9):2325-2330. (in Chinese)
- [40] Yang H,Wu F,Cheng J. Reduced chilling injury in cucumber by nitric oxide and the antioxidant response [J]. **Food Chemistry**,2011,127(3):1237-1242.
- [41] Yang Q,Rao J,Yi S,et al. Antioxidant enzyme activity and chilling injury during low-temperature storage of Kiwifruit cv. Hongyang exposed to gradual postharvest cooling[J]. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**,2012,53(6):505-512.
- [42] Liu X,Wang L,Liu L,et al. Alleviating effect of exogenous nitric oxide in cucumber seedling against chilling stress [J]. **African Journal of Biotechnology**,2013,10(21):4380-4386.
- [43] 张婷,陈娟,潘俨,等. 不同贮藏温度对采后 86-1 哈密瓜果实冷害及品质的影响[J]. 食品工业科技,2015,36(3):345-348.
ZHANG Ting,CHEN Juan,PAN Yan,et al. Influence on chilling injury and quality of postharvest 86-1 Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruit under different storage temperatures [J]. **Science and Technology of Food Industry**,2015,36 (3):345-348. (in Chinese)
- [44] Kratsch H A,Wise R R. The ultrastructure of chilling stress[J]. **Plant, Cell & Environment**,2000,23(4):337-350.
- [45] Zhao Y,Chen J,Tao X,et al. The possible role of BAX and BI-1 genes in chilling-induced cell death in cucumber fruit [J]. **Acta Physiologiae Plantarum**,2014,36(6):1345-1351.
- [46] 汤元睿,谢晶,李念文,等. 不同冷链物流过程对金枪鱼品质及组织形态的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(5):285-292.
TANG Yuanrui,XIE Jing,LI Nianwen,et al. Effects of different cold chain logistics situation on quality and microstructure of tuna (*Thunnus obesus*) fillets[J]. **Transactions of the CSAE**,2014,30(5):285-292.
- [47] Lindé n L,Palonen P,Lindé n M. Relating freeze-induced electrolyte leakage measurements to lethal temperature in red raspberry[J]. **Journal of the American Society for Horticultural Science**,2000,125(4):429-435.
- [48] 何伟,艾军,杨义明,等. 山葡萄种质资源枝条的低温半致死温度研究[J]. 北方园艺,2014,21:19-21.
HE Wei,AI Jun,YANG Yiming,et al. Effect of inclined sort long stem form shaping on the fruitage characteristics and tree nutrition in red globe grapes[J]. **Northern Horticulture**,2014,21:19-21. (in Chinese)
- [49] 邱佳容,张良清,陈纯,等. 成熟度对香蕉冷害及贮藏品质的影响研究[J]. 食品工业,2015,36(3):185-189.
QIU Jiarong,ZHANG Liangqing,CHEN Chun,et al. Effect of maturity on bananas chilling injury and storage quality [J]. **Food Industry**,2012,53(6):505-512. (in Chinese)
- [50] Trischuk R G,Schilling B S,Low N H,et al. Cold acclimation,de-acclimation and re-acclimation of spring canola,winter canola and winter wheat:The role of carbohydrates,cold-induced stress proteins and vernalization [J]. **Environmental and Experimental Botany**,2014,106:156-163.
- [51] 沈丽雯,刘娟,董红敏,等. 热激处理对黄瓜低温贮藏特性的影响[J]. 食品工业科技,2015,36(2):343-348.
SHEN Liwen,LIU Juan,DONG Hongmin,et al. Effect of heat shock treatment on storage properties of cucumber at low temperature[J]. **Science and Technology of Food Industry**,2015,36(2):343-348. (in Chinese)
- [52] 李海杰,葛永红,董柏余,等. 三种贮藏低温对厚皮甜瓜果实活性氧产生和清除的比较 [J]. 食品工业科技,2015,36(5):325-328+342.
LI Haijie,GE Yonghong,DONG Boyu,et al. A comparison of reactive oxygen species production and scavenging in muskmelon fruits during storage under three low temperatures [J]. **Science and Technology of Food Industry**,2015,36(5):325-328+342. (in Chinese)
- [53] 阎世江,刘洁,张继宁,等. 低温对黄瓜若干生理指标的影响[J]. 河北科技师范学院学报,2013,27(2):12-17.
YAN Shijiang,LIU Jie,ZHANG Jining,et al. Effects of low temperature and poor light on physiological index in cucumber[J]. **Journal of Hebei Normal University of Science and Technology**,2013,27(2):12-17. (in Chinese)
- [54] Luengwilai K,Beckles D M,Saltveit M E. Chilling-injury of harvested tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Micro-Tom fruit is

- reduced by temperature pre-treatments[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2012, 63(1):123-128.
- [55] Aghaee A, Moradi F, Zare-Maivan H, et al. Physiological responses of two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to chilling stress at seedling stage[J]. **African Journal of Biotechnology**, 2013, 10(39):7617-7621.
- [56] 闫世江, 张继宁, 刘洁. 茄子幼苗耐低温性生理机制研究[J]. 西北植物学报, 2011, 31(12):2498-2502.
YAN Shijiang, ZHANG Jining, LIU Jie. Physiological mechanism of chilling tolerance in eggplant seedling [J]. **Acta Botanica, Boreali-Occidentalia Sinica**, 2011, 31(12):2498-2502. (in Chinese)
- [57] Li P, Zheng X, Liu Y, et al. Pre-storage application of oxalic acid alleviates chilling injury in mango fruit by modulating proline metabolism and energy status under chilling stress[J]. **Food Chemistry**, 2014, 142:72-78.
- [58] Khademi O, Besada C, Mostofi Y, et al. Changes in pectin methylesterase, polygalacturonase, catalase and peroxidase activities associated with alleviation of chilling injury in persimmon by hot water and 1-MCP treatments [J]. **Scientia Horticulturae**, 2014, 179:191-197.
- [59] 杨晓宇, 田建保, 韩凤, 等. 应用电导法测定晋扁系列扁桃抗寒性研究[J]. 山西农业科学, 2010, 38(3):20-22.
YANG Xiaoyu, TIAN Jianbao, HAN Feng, et al. Study on cold hardiness testing of jinbian series almond by electrical conductivity[J]. **Journal of Shanxi Agricultural Sciences**, 2010, 38(3):20-22. (in Chinese)
- [60] Nukuntornprakit O, Chanjirakul K, van Doorn W G, et al. Chilling injury in pineapple fruit: Fatty acid composition and antioxidant metabolism[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2015, 99:20-26.
- [61] Ma Q, Suo J, Huber D J, et al. Effect of hot water treatments on chilling injury and expression of a new C-repeat binding factor (CBF) in 'Hongyang' kiwifruit during low temperature storage[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2014, 97:102-110.
- [62] Zaharah S S, Singh Z. Postharvest nitric oxide fumigation alleviates chilling injury, delays fruit ripening and maintains quality in cold-stored 'Kensington Pride' mango[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2011, 60(3):202-210.
- [63] Francko D A, Wilson K G, Li Q Q, et al. A topical spray to enhance plant resistance to cold injury and mortality [J]. **HortTechnology**, 2011, 21(1):109-118.
- [64] Gang C, Li J, Chen Y, et al. Synergistic Effect of Chemical Treatments on Storage Quality and Chilling Injury of Honey Peaches [J]. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2014.
- [65] Mirdehghan S H, Ghotbi F. Effects of Salicylic Acid, Jasmonic Acid, and Calcium Chloride on Reducing Chilling Injury of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Fruit[J]. **Journal of Agricultural Science and Technology**, 2014, 16(1):163-173.
- [66] Wang C Y. Managing chilling injury in vegetables[C]//VII International Postharvest Symposium 1012. 2012:1081-1085.
- [67] Yang T, Peng H, Whitaker B D, et al. Differential expression of calcium/calmodulin-regulated SISR in response to abiotic and biotic stresses in tomato fruit[J]. **Physiologia Plantarum**, 2013, 148(3):445-455.
- [68] 邓仁菊, 范建新, 王永清, 等. 低温胁迫下火龙果的半致死温度及抗寒性分析[J]. 植物生理学报, 2014, 50(11):1742-1748.
DENG Renju, FAN Jianxin, WANG Yongqing, et al. Semilethal temperature of pitaya under low temperature stress and evaluation on their cold resistance[J]. **Plant Physiological Journal**, 2014, 50(11):1742-1748. (in Chinese)
- [69] 王静, 赵密珍, 于红梅, 等. 低温胁迫下草莓花半致死温度的研究[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(2):255-258.
WANG Jing, ZHAO Mizhen, YU Hongmei, et al. Semilethal temperatures of flowers of two strawberry varieties under low temperature stress[J]. **Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis**, 2012, 34(2):255-258. (in Chinese)
- [70] 刘润平. 复合气调保鲜技术的保鲜工艺[J]. 农村新技术:加工版, 2009(3):71-72.
LIU Runping. Complex atmosphere controlled technical of preservation process [J]. **Nongcun Xinjishu**, 2009 (3):71-72. (in Chinese)
- [71] 陈永春. 气调贮藏—果蔬保鲜的最佳贮藏方法[J]. 新疆农垦科技, 2011(4):68-69.
CHEN Yongchun. Atmosphere storage—the best method on fruits and vegetables preservation [J]. **Xinjiang Farmland Reclamation Science and Technology**, 2011(4):68-69. (in Chinese)
- [72] 陈永春. 果蔬采后气调保鲜技术[J]. 新疆农垦科技, 2011(5):50-51.
CHEN Yongchun. Atmosphere controlled technical of preservation on fruits and vegetables [J]. **Xinjiang Farmland Reclamation Science and Technology**, 2011(5):50-51. (in Chinese)
- [73] 李颖, 王红育. 复合气调保鲜包装(MAP)在果蔬保鲜中的应用[J]. 农技服务, 2008, 25(1):120-121.
LI Yin, WANG Hongyu. Application of modified atmosphere packaging on fresh fruit and vegetable[J]. **Agricultural Technical**

- Services**, 2008, 25(1):120-121. (in Chinese)
- [74] 赵迎丽,王春生,闫根柱,等. 气调对凯特杏冷藏及货架后品质及色泽的影响[J]. 山西农业科学, 2015, 43(2):192-195.
ZHAO Yingli, WANG Chunsheng, YAN Genzhu, et al. Effect of controlled atmosphere on the postharvest fruit storage quality and fruit color of Katy Apricot[J]. **Journal of Shanxi Agricultural Sciences**, 2015, 43(2):192-195. (in Chinese)
- [75] 杜小琴,李玉,秦文,等. 气调贮藏对甜樱桃果实采后生理生化变化的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12):314-318.
DU Xiaoqin, LI Yu, QING Wen, et al. Effect of controlled atmosphere storage on postharvest physiological and biochemical change of sweet cherry[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2015, 36(12):314-318. (in Chinese)
- [76] Biswas P, East A R, Hewett E W, et al. Ripening delay caused by 1-MCP may increase tomato chilling sensitivity [J]. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, 2014, 42(2):145-150.
- [77] 李辉,林毅雄,林河通,等. 1-MCP 延缓采后‘油木奈’果实衰老及其与能量代谢的关系[J]. 现代食品科技, 2015, 31(4):121-127.
LI Hui, LIN Yixiong, LIN Tonghe, et al. Delaying senescence of harvested ‘Younai’ plum fruit by 1-MCP treatment and its relation energy metabolism[J]. **Modern Food Science and Technology**, 2015, 31(4):121-127. (in Chinese)
- [78] 阚娟,苗秀梅,金昌海. 1-MCP 对梨果实脂膜过氧化影响的研究[J]. 食品科技, 2012, 37(9):38-42.
KAN Juan, MIAO Xiumei, JIN Changhai. The effect of 1-MCP on lipid peroxidation during pear fruit ripening and softening[J]. **Food Science and Technology**, 2012, 37(9):38-42. (in Chinese)
- [79] 高元惠,刘凤娟,高丽朴,等. 1-MCP 处理对西葫芦采后生理及品质的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(6):44-47.
GAO Yuanhui, LIU Fengjuan, GAO Lipu, et al. Effect of 1-MCP on post-harvest physiology and quality of summer squash[J]. **Food Science and Technology**, 2012, 37(6):44-47. (in Chinese)
- [80] 陈艺晖,张华,林河通,等. 1-MCP 处理对杨桃果实采后生理和贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(1):16-21.
CHEN Yihui, ZHANG Hua, LIN Tonghe, et al. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on physiology and storage quality of carambola fruits[J]. **Modern Food Science and Technology**, 2014, 30(1):16-21. (in Chinese)
- [81] 汪伟. NO 和 H₂S 抑制采后桃果实软化机理研究[D]. 南昌:江西农业大学, 2014.
- [82] 王倩. H₂S 延长梨果实及甘薯块根采后贮藏期的抗氧化机制研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2012.
- [83] 沈勇根,汪伟,张伟,等. 硫化氢提高低温贮藏下猕猴桃的抗氧化能力及果实品质[J]. 农业工程学报, 2015, 31(增刊1):367-372.
SHEN Yonggen, WANG Wei, ZHANG Wei, et al. Hydrogen sulfide facilitating enhancement of antioxidant ability and maintainance of fruit quality of kiwifruits during low-temperature storage[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)**, 2015, 31(Supp.1):367-372. (in English with Chinese abstract)
- [84] 胡树立. H₂S 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.

会议信息

会议名称(中文): 第五届全国微纳尺度生物分离分析学术会议

所属学科: 分析化学, 化学生物学, 生物物理学, 生物化学及分子生物学, 生物技术与生物工程

开始日期: 2016-05-06

结束日期: 2016-05-09

所在城市: 甘肃省 兰州市

主办单位: 中国化学会

协办单位: 南京大学、复旦大学、浙江大学

承办单位: 兰州大学

全文截稿日期: 2016-03-31

联系人: 蒲巧生

联系电话: 13028796293

E-MAIL: microtas2016@lzu.edu.cn puqs@lzu.edu.cn

会议网站: <http://microtas2016.lzu.edu.cn/>