

果蔬褐变抑制机理研究进展

曾朝珍, 张永茂, 康三江, 张芳, 张霁红, 张俊

(甘肃省农业科学院 农产品贮藏加工所, 甘肃 兰州 730070)

摘要:食品加工和贮藏过程中尤其是水果和蔬菜加工中的褐变导致的色泽、香味的变化均会降低产品的感官特性, 因此, 控制褐变对保持果蔬品质是十分必要的。现着重对抑制褐变的物理方法和利用有机酸、络合剂、亚硫酸盐或硫酸盐、己基间苯二酚、巯基化合物、蜂蜜等化学试剂进行的化学方法作以综述, 以期对果蔬褐变机理的更深入研究提供有益参考。

关键词:水果和蔬菜; 褐变; 抑制

中图分类号:TS 255 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)05-0186-05

果蔬在贮藏和加工中发生褐变现象主要表现为果蔬颜色的变化, 这会直接导致营养的损失, 对口感、质地也有所影响^[1]。果蔬在贮藏加工中对褐变的抑制一直是科研工作者研究攻克的关键问题。现重点对近年来果蔬褐变抑制的研究进展进行了综述, 旨在为褐变抑制的深入研究提供有益参考。

1 果蔬褐变抑制方法

为了抑制果蔬褐变和保持果蔬品质, 国内外科研工作者进行了大量广泛而深入的研究。在传统褐变化学抑制剂中, 亚硫酸盐被广泛用作褐变的抑制剂, 但它会影响人体健康。因此, 亚硫酸盐的替代物如有机酸、天然抑制剂、络合剂(如 EDTA 和糊精)、巯基氨基酸等正在被作为可能的替代物而被深入研究。另外, 高压、温度、预加热处理等物理方法也会降低与品质相关的褐变。目前, 随着对果蔬褐变机理广泛而深入的研究, 特别是先进分析检测手段的出现, 使褐变控制技术的研究也在不断深入和发展。

1.1 化学方法

化学方法抑制褐变主要是利用化学试剂与酶产生竞争性抑制, 与褐变底物酚类结合, 促使酚结构发生改变的原理, 从而实现褐变抑制。目前国内外研究较多的褐变抑制剂, 主要有亚硫酸盐或硫酸盐、乙二胺四乙酸、糊精、有机酸、己基间苯二酚、巯基化合物和蜂蜜等。

1.1.1 亚硫酸盐或硫酸盐 亚硫酸盐作为多酚氧化酶抑制剂是与中间媒介物反应来抑制色素的形成。亚硫酸盐通过与羰基中间媒介物的反应可以抑制非酶促褐

变, 从而抑制它们反应生成褐变色素。我国传统的苹果加工贮藏过程中的护色都是使用硫磺熏蒸, 利用残留于产品上的亚硫酸根离子的强还原作用来抗氧化, 抑制酶的活性^[2-3]。Chutichudet 等^[4]在硫酸钙对莴苣多酚氧化酶酶促褐变的影响中发现, 尽管经硫酸钙处理的样品与对照相比维生素 C 含量减少, 但用 50 mg/kg 硫酸钙处理的样品具有最大的鲜重(25.83 g/株)和最高的叶绿素含量(26.80 mg/m²)。经 100 mg/kg 硫酸钙处理的莴苣样品在栽种后 3 周具有最低的多酚氧化酶活性, 此外, 硫酸钙对收获期莴苣的生物产量、叶色、酚和醌的含量没有影响。Wang 等^[5]研究了酸性亚硫酸钙对荔枝贮藏品质的影响, 结果表明 1.25% 或较高浓度的酸性亚硫酸钙可以显著抑制在 5℃ 和 10℃ 下贮藏的荔枝果皮中的多酚氧化酶和过氧化物酶的活性。酸性亚硫酸钙也可以增加对 ROO⁻、DPPH⁻、OH⁻ 和 O₂⁻ 自由基的清除活性, 尤其是在 2.5% 和 5% 的浓度下。另外, 酸性亚硫酸钙可以提高抗氧化酶和抗坏血酸-谷胱甘肽循环酶(包括过氧化氢酶、抗坏血酸过氧化物酶、谷胱甘肽过氧化物酶、谷胱甘肽还原酶、脱氢抗坏血酸还原酶和单脱氢抗坏血酸还原酶)的活性, 尤其是在贮藏初期。荔枝果肉中的可溶性固形物、糖和有机酸的含量在各处理间没有差异, 表明酸性亚硫酸钙对果实内部品质没有产生不利影响。Wedzicha 等^[6]在对亚硫酸盐对褐变的抑制研究中发现, 亚硫酸盐能够广泛的抑制褐变反应的原因是亚硫酸盐离子的亲核反应性。研究结果还发现, 由葡萄糖和甘氨酸生成的类黑精与亚硫酸盐反应程度如此广泛以至于 1 分子硫原子要与每 2 分子葡萄糖结合。由于羰基可与亚硫酸根生成加成产物, 此加成产物与 R-NH₂ 反应的生成物不能进一步生成希夫碱, 因此可以用 SO₂ 和亚硫酸盐来抑制美拉德反应的发生。虽然二氧化硫和亚硫酸盐是高效的褐变抑制剂, 但对人体健康有害, 近年来被限制使用^[7]。如今有研究者已找到了一些亚硫酸盐的

第一作者简介:曾朝珍(1981-), 男, 硕士, 研究方向为食品科学。
E-mail: zengchaozhen1999@163.com

基金项目:农业部现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-28)。

收稿日期:2012-11-12

替代品,如硫化物(谷胱甘肽等)、含硫氨基酸(半胱氨酸、胱氨酸、蛋氨酸等)、各种络合剂等,但各类替代品只能替代亚硫酸盐的 1 项或 2 项功能,因此常需要配合使用^[8]。

1.1.2 络合剂 Weemaes 等^[9]以蘑菇为材料,就乙二胺四乙酸(EDTA)在一定压力下对其多酚氧化酶失活动力学的影响研究中发现,在 pH=6.5 时,5 mM 乙二胺四乙酸(EDTA)可以对蘑菇中多酚氧化酶有轻微稳固的作用。而 Weemaes 等^[10]在乙二胺四乙酸就蘑菇在一定压力和(或)温度下对其多酚氧化酶失活动力学的影响研究中指出,EDTA 显著增加了多酚氧化酶的热稳定性但没有改变其压力稳定性。Lopez-Nicolas 等^[11]在天然和改性环糊精对桃汁酶促褐变抑制作用的试验中利用标准颜色测量系统,就天然糊精的 2 种类型(α -环糊精和 β -环糊精)和修饰糊精(麦芽糖基- β -环糊精)对新鲜桃汁的颜色以及其作为褐变抑制剂的效力做出了评价,估计了桃汁中苯二酚混合物和环糊精某些类型的表观络合常数。结果表明, α -环糊精的亲合常数 K_c 最高,紧接着是麦芽糖基- β -环糊精,而 β -环糊精不能够抑制桃汁酶促褐变。Lopez-Nicolas 等^[12]在一些天然(α -环糊精和 β -环糊精)和修饰的环糊精(麦芽糖基- β -环糊精)对新鲜梨汁颜色的影响和其抗氧化效力的试验中发现,麦芽糖基- β -环糊精可以防止抗坏血酸的氧化,从而提高抗坏血酸的能力而抑制酶促褐变。在这方面,麦芽糖基- β -环糊精似乎是作为一个既降低了梨汁褐变,又提高了梨汁中天然抗氧化剂抗氧化能力的辅助抗氧化剂。Lopez-Nicolas 等^[13]就 α -环糊精对新鲜梨汁的感官品质,挥发性物质和色泽参数的影响进行研究,并指出当添加了 90 mM α -环糊精时,梨汁具有最好的色泽,但是具有较低的芳香强度和感官质量。另一方面,15 mM α -环糊精可使梨汁具有可以接受的色泽及较高的果味强度及梨香。Gacche 等^[14]在 β -环糊精和 L-抗坏血酸-2-三磷酸对苹果汁中多酚氧化酶介导的褐变抑制动力学研究中指出, β -环糊精和 L-抗坏血酸-2-三磷酸混合处理与单个处理相比较可以减少醌的形成速率,动力学试验表明,2 种化合物对多酚氧化酶是非竞争性抑制剂。

1.1.3 有机酸 一些有机酸如安息香酸、肉桂酸、抗坏血酸、草酸、曲酸、柠檬酸等可以作为有效地褐变抑制剂抑制果蔬的褐变。Weemaes 等^[9]在安息香酸对蘑菇多酚氧化酶失活动力学的影响研究中指出,5 mM 的安息香酸对多酚氧化酶压力稳定性没有显著的改变。而 Weemaes 等^[10]在 1997 年对蘑菇的研究中发现,50 mM 安息香酸在温度变化时对酶具有保护作用,在压力变化下对酶有敏化作用。Gacche 等^[15]研究了肉桂酸对苹果汁中多酚氧化酶的影响,结果表明,肉桂酸通过抑制多酚氧化酶而可以有效地延迟褐变反应速率,动力学试验表明肉桂酸对多酚氧化酶是竞争性抑制剂。Arias

等^[16-17]在抗坏血酸和己基间苯二酚对褐变抑制的研究中指出,抗坏血酸并不直接与多酚氧化酶相互作用,但可以通过减少氧化底物抑制褐变。抗坏血酸和己基间苯二酚同时添加是否具有协同抑制和灭活效能取决于是否存在多酚氧化酶底物。抗坏血酸可以通过 2 种不同机制抑制褐变:在缺乏多酚氧化酶底物时,抗坏血酸可能是通过在其活性位点的结合,尤其是在其氧化形式下结合可使其不可逆失活;在多酚氧化酶底物存在时,抗坏血酸减少了多酚氧化酶氧化产物,这导致了黑色产物的形成会有一个时间延滞。同时使用己基间苯二酚和抗坏血酸可以抑制多酚氧化酶引起的褐变。Nahed 等^[18]对不同条件(pH、温度、时间)下抗坏血酸对苹果片酶促褐变的控制研究中发现,1%和 1.5%的抗坏血酸几乎可以使酶失活。抗坏血酸溶液在酸度增加到 pH=1 时有显著的抑制作用。对在 1%抗坏血酸溶液中浸泡过的苹果片加热处理可以减少酶促褐变,酶失活的最适温度是在 60~70℃ 15 min。苹果片在 1%抗坏血酸溶液中的浸泡时间的增加和在不同 pH 下可减少酚类物质活性有关。Rojas-Graü 等^[19]的研究发现,抗坏血酸和其它任何一种天然抗氧化剂混合处理苹果片可使其过氧化物酶活性显著抑制。另一方面,抗坏血酸从贮藏第 1 天起就不足以防止苹果片变色。抗坏血酸对于鲜切富士苹果色泽及酶促褐变的控制效果低于一些天然的抗氧化剂。Soliva 等^[20]对蘑菇多酚氧化酶的研究表明,抗坏血酸也能直接灭活多酚氧化酶,进而减少苯醌转变为二羟基酚。Son 等^[21]对草酸抑制酶促褐变的动力学研究表明,草酸具有很强的抗氧化活性。对儿茶酚-多酚氧化酶模式系统的抑制类型很明显是竞争型的。当草酸与多酚氧化酶结合后,通过渗析,酶活性不能够恢复。当二价铜离子加入后失活酶可以部分恢复活性。草酸的相对抗氧化活性比半胱氨酸和谷胱甘肽有效。Burdock 等^[22]在食品中曲酸安全方面评价的研究中发现,曲酸可作为一个竞争性可逆抑制剂抑制动物和植物多酚氧化酶、黄嘌呤氧化酶、D-和 L-氨基酸氧化酶。基于文献的报道和证实,曲酸在食品中正常水平下不会出现安全问题。Benjawan 等^[23]在有机溶剂浸泡对桑托尔(Santol)水果色泽和多酚氧化酶活性的控制中研究了柠檬酸和抗坏血酸对水果重量,色泽和多酚氧化酶活性等指标的影响,结果表明,对桑托尔水果最适合的抗褐变剂是 5%柠檬酸,可使 28℃下贮藏 4 d 和 10 d 的果实亮度分别达到 57.37 和 55.95。另外,也可使新鲜组织中的多酚氧化酶活性最低。随着贮藏时间延长,酚含量显著增加,而 pH 则不断下降,柠檬酸处理的 pH 最低。而对总可溶性固形物含量、可滴定酸度和抗坏血酸含量的影响各处理间差异不明显。

1.1.4 己基间苯二酚 己基间苯二酚是一种能作为抑制褐变的新型抗氧化剂。可安全取代亚硫酸盐,而且抑

制力强,安全性高^[24]。Arias 等^[16-17]就已基间苯二酚对褐变抑制的研究表明己基间苯二酚对多酚氧化酶施加了双重角色。如果没有底物存在,己基间苯二酚更适合与脱氧形式的多酚氧化酶相互作用而使其失活。如果底物与己基间苯二酚同时存在,它们就会竞争催化部位。然后己基间苯二酚就会作为一个典型的酶抑制剂,结合到多酚氧化酶的活性部位。己基间苯二酚和抗坏血酸同时添加是否具有协同抑制和灭火效能取决于是否存在多酚氧化酶底物。另外,多酚氧化酶的活性在与己基间苯二酚作用后通过渗析可以被恢复。己基间苯二酚是一种优先与多酚氧化酶氧化形式结合的典型酶抑制剂,它是一种混合型抑制剂,因为它既可以影响多酚氧化酶最大反应速度 $V(\max)$,也可以影响其米氏常数 $K(m)$ 。Weemaes 等^[9]研究了己基间苯二酚对蘑菇多酚氧化酶的影响,发现在 $\text{pH}=6.5$ 时,蘑菇多酚氧化酶的压力稳定性可被 2.5 mM 己基间苯二酚显著敏化,己基间苯二酚对蘑菇多酚氧化酶有显著的影响。Schna 等^[25]研究发现己基间苯二酚也可以抑制蘑菇多酚氧化酶但不能有效抑制葡萄多酚氧化酶。Lyengar 等^[26]报道了己基间苯二酚和亚硫酸盐或抗坏血酸相比,只能部分抑制苹果片褐变。

1.1.5 巯基化合物 一些新的抗氧化剂如多肽,含硫氨基酸、硫醇等在国外的研究已有很多报道^[27-28]。Negishi 等^[28]在 2000 年提出硫醇控制褐变的机理可能是因为形成了二巯基聚合反应产物。Jiang 等^[29]的试验表明, 10 mmol 谷胱甘肽结合柠檬酸能有效控制荔枝多酚氧化酶引起得褐变。Rojas-Grau 等^[19]的研究结果证实鲜切“富士”苹果片的多酚氧化酶活性在 4°C 下贮藏 14 d 过程中会随贮藏时间的延长而增加,并可被单个使用的 N -乙酰半胱氨酸和谷胱甘肽抑制。另一方面, 1% N -乙酰半胱氨酸有助于鲜切苹果片在 14 d 贮藏过程中保持颜色不变。Gacche 等^[15]在天然膳食成分谷胱甘肽和肉桂酸对苹果汁抗褐变的试验结果说明,谷胱甘肽和肉桂酸通过抑制多酚氧化酶而可以有效地延迟褐变反应速率。动力学试验表明,谷胱甘肽对多酚氧化酶分别是非竞争性抑制剂。Weemaes 等^[10]的研究结果表明,谷胱甘肽在温度和压力变化下都对蘑菇多酚氧化酶有敏化作用。其敏化作用是由于谷胱甘肽和多酚氧化酶中的二硫键相互作用而造成的。Billaud 等^[30]在由巯基化合物衍生的美拉德反应产物在作为果蔬酶褐变抑制剂时对结构活性关系的研究中指出,由葡萄糖或果糖和半胱氨酸或谷胱甘肽混合物衍生的美拉德反应产物可以显著的抑制造成鲜切或轻度加工果蔬变色的多酚氧化酶和氧化还原酶的活性。葡萄糖和谷胱甘肽对美拉德反应产物具有抗氧化性起了很大的作用。在半胱氨酸存在时,同一摩尔浓度下不同糖的抑制效果是戊糖>蔗糖>己糖>麦芽糖。在 1 个分子中同时存在葡萄糖、氨基、

羧基和游离巯基对生成高抗氧化性化合物是必须的。而 Billaud 等^[31]发现由甘氨酸和葡萄糖合成的美拉德反应褐变产物能抑制“金元帅”苹果的多酚氧化酶。Lucas 等^[32]和 Buedo 等^[33]也报道了由葡萄糖和赖氨酸合成的美拉德反应产物对多酚氧化酶有抑制作用。Friedman 等^[34]在巯基氨基酸对新鲜和脱水马铃薯的褐变抑制中发现, N -乙酰-L-半胱氨酸和还原型谷胱甘肽可以很好的抑制马铃薯褐变,在多数情况下,这 2 个含有巯基的化合物比 L-半胱氨酸有更好的抑制效果,且抑制作用接近亚硫酸钠。Billaud 等^[35]对一系列巯基化合物抑制模拟体系绿原酸溶液和枇杷汁多酚氧化酶活性的效果进行了评估,指出 L-半胱氨酸是有效的褐变抑制剂,并分析了褐变产物。Haleva-Toledo 等^[36]在 L-半胱氨酸和 N -乙酰-L-半胱氨酸在包含鼠李糖或葡萄糖和精氨酸的缓冲溶液中对 4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮, 5-(羟甲基)糠醛和 5-(甲基)糠醛的形成和褐变的影响中指出,在酸性条件下, L-半胱氨酸和 N -乙酰-L-半胱氨酸可以抑制由葡萄糖产生的(羟甲基)糠醛和由鼠李糖产生的(甲基)糠醛。 N -乙酰-L-半胱氨酸可以抑制由鼠李糖产生的 4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮的累积。但 L-半胱氨酸加剧了由鼠李糖产生的呋喃酮的累积。 L-半胱氨酸和 N -乙酰-L-半胱氨酸可以直接和呋喃酮反应但不和(羟甲基)糠醛和(甲基)糠醛反应。 L-半胱氨酸和 N -乙酰-L-半胱氨酸在 $\text{pH}=7$ 时都可以抑制非酶褐变。然而,在 $\text{pH}=3$ 时, L-半胱氨酸可以和葡萄糖和鼠李糖反应生成一种可以显著增加可见吸光度的未知化合物。

1.1.6 蜂蜜 由于消费者对天然食品添加剂的需求,已有一些研究转向寻求酶促褐变的天然抑制剂。蜂蜜作为天然试剂能够抑制多酚氧化酶活性。Jeon 等^[37]通过把苹果片简单地浸泡在 10% 的蜂蜜溶液中 30 min 或在同一溶液中真空浸渍(真空度 75 mm Hg , 15 min ,紧接着在大气压下恢复 30 min)后,研究了来自不同花源的 13 种美国西北蜂蜜的抗氧化能力和其对鲜切苹果抗氧化的作用,研究中发现野花蜂蜜在所有测试的蜂蜜中具有最深的颜色和最高的抗氧化能力。用蜂蜜真空浸渍控制褐变化色要比简单浸渍更有效。蜂蜜和真空浸渍相结合对发展高品质鲜切水果会有更大的潜力。Chen 等^[38]在不同花源蜂蜜作为果蔬组织匀浆酶促褐变抑制剂的研究中指出,不同花源蜂蜜的抗氧化剂含量差别很大,使其对酶促褐变的抑制作用差异显著。果蔬组织匀浆中的多酚氧化酶活性被减少了大概 $2\%\sim 45\%$ 以上,对应的褐变指数也降低了 $2.5\sim 12$ 。在具有相同抗氧化剂含量下,大豆蜜比苜蓿蜜更有效。但蜂蜜的褐变抑制效果不及商业褐变抑制剂。然而,当混合使用时,蜂蜜可以增加焦亚硫酸钠和抗坏血酸的抗褐变能力。

1.2 物理方法

除了化学抑制剂在果蔬褐变中的应用外,一些物理

方法如高压、温度和预加热处理也被应用到果蔬褐变抑制中。Macdonald 等^[39]在就压力等条件对香蕉的多酚氧化酶和过氧化物酶的影响进行了研究,结果表现,当压力、温度、作用时间分别在 110 MPa、70℃ 和 25 min 以上时,温度、压力和作用时间对 2 种酶活性都有作用,且这些复合处理对过氧化物酶活性的影响要大于对多酚氧化酶活性的影响。Zhao 等^[40]对高压或结合加热对枣汁多酚氧化酶活性的影响的研究结果表明,当压力在 300 MPa 时,对多酚氧化酶活性没有显著影响;当压力为 600 MPa 以上,温度高于 50℃ 时可以显著钝化枣汁中的多酚氧化酶活性。另外,随着保压时间和加热温度的增加和升高,多酚氧化酶的活性会逐步降低。Buckow 等^[41]以高静压和温度处理对苹果浊汁多酚氧化酶稳定性进行试验,结果发现当压力高于 300 MPa 时,压力和温度对苹果多酚氧化酶钝化起到协同效应,而在低压时起到拮抗效应。Rapeanu 等^[42]也就加热和高压对葡萄汁中多酚氧化酶的影响研究表明,除了在高温低压下发现是拮抗效应外,压力和温度对多酚氧化酶的影响是协同效应。而 Kingsly 等^[43]通过高压下热水预煮的方法对桃片多酚氧化酶活性的研究中也发现了当压力高于 300 MPa 时,配合 1%~1.2% 柠檬酸可以钝化桃中多酚氧化酶的活性。Sandy 等^[44]的研究发现,高压低温对果蔬多酚氧化酶和过氧化物酶等酶的活性没有或只能部分钝化。Murata 等^[45]在热激对生菜切块品质影响中指出 50℃ 下 90 s 的热激可以抑制生菜切块的褐变,同时也不影响抗坏血酸的含量。

2 展望

国内外关于果蔬加工贮藏中褐变抑制的研究已很多,上述各种抑制方法对于褐变的抑制各有其优缺点,应用时应根据不同的果蔬种类选择适宜的褐变抑制方法以达到最佳护色效果。

目前,人们已经意识到硫护色在果蔬加工贮藏过程中可以产生一些有害的结果,而且在果蔬贮藏加工过程开始使用无硫护色剂来防止褐变,全面了解无硫护色剂褐变抑制的机制及护色技术十分重要。大力加强无硫护色剂对果蔬加工贮藏褐变抑制的研究,将为果蔬褐变抑制提供新的途径或手段,具有重要的理论和应用价值。

参考文献

- [1] Martinez M V, Whitaker J R. The biochemistry and control of enzymatic browning[J]. Trends in Food Science and Technology, 1995(6): 195-200.
- [2] 张建华,杨兆艳,董文宾. 苹果(非油炸)干制护色工艺的研究[J]. 食品科技, 2006(5): 29-30.
- [3] 吴立根,王岸娜,连东军,等. 浓缩苹果原浆的护色工艺研究[J]. 河南农业科学, 2006(5): 34-38.
- [4] Chutichudet P, Hutichudet B, Kaewtist S. Effect of gypsum application on enzymatic browning activity in lettuce[J]. Pakistan Journal of Biological

Sciences, 2009, 12(18): 1226-1236.

- [5] Wang C Y, Chen H, Jin P, et al. Maintaining quality of litchi fruit with acidified calcium sulfate[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(15): 8658-8666.
- [6] Wedzicha B L, Bellion I, Goddard S J. Inhibition of browning by sulfites[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 1991, 289: 217-236.
- [7] 杜克生. 食品生物化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 254.
- [8] 刘金豹. 果汁褐变及其影响因素研究进展[J]. 饮料工业, 2004, 7(3): 1-5.
- [9] Weemaes C A, Ludikhuyze L R, Van D B I, et al. Influence of pH, benzoic acid, glutathione, EDTA, 4-hexylresorcinol, and sodium chloride on the pressure inactivation kinetics of mushroom polyphenol oxidase[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(9): 3526-3530.
- [10] Weemaes C A, De Cordt S V, Lundikhuyze L R, et al. Influence of pH, benzoic acid, EDTA, and glutathione on the pressure and/or temperature inactivation kinetics of mushroom polyphenoloxidase [J]. Biotechnology Progress, 1997, 13(1): 25-32.
- [11] López-Nicolás J M, Pérez-López A J, Carbonell-Barrachina A, et al. Use of natural and modified cyclodextrins as inhibiting agents of peach juice enzymatic browning[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(13): 5312-5319.
- [12] López-Nicolás J M, García-Carmona F. Use of cyclodextrins as secondary antioxidants to improve the color of fresh pear juice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(15): 6330-6338.
- [13] López-Nicolás J M, Andreu-Sevilla A J, Carbonell-Barrachina A, et al. Effects of addition of alpha-cyclodextrin on the sensory quality, volatile compounds, and color parameters of fresh pear juice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(20): 9668-9675.
- [14] Gacche R N, Zore G B, Ghole V S. Kinetics of inhibition of polyphenol oxidase mediated browning in apple juice by beta-cyclodextrin and L-ascorbate-2-triphosphate[J]. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry, 2003, 18(1): 1-5.
- [15] Gacche R N, Warangkar S C, Ghole V S. Glutathione and cinnamic acid: natural dietary components used in preventing the process of browning by inhibition of Polyphenol Oxidase in apple juice[J]. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry, 2004, 19(2): 175-179.
- [16] Arias E, González J, Oria R, et al. Ascorbic acid and 4-hexylresorcinol effects on pear PPO and PPO catalyzed browning reaction[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(8): 422-429.
- [17] Arias E, González J, Peiró J M, et al. Browning prevention by ascorbic acid and 4-hexylresorcinol: different mechanisms of action on polyphenol oxidase in the presence and in the absence of substrates[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(9): 464-470.
- [18] Nahed M, El-Shimi. Control of enzymatic browning in apple slices by using ascorbic acid under different conditions[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 1993, 43(1): 71-76.
- [19] Rojas-Grau M A, Soliva-Fortuny R, Niarín-Belloso O. Effect of natural antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut Fuji apples as an alternative to the use of ascorbic acid[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(6): 267-272.
- [20] Soliva R C, Elez P, Sebastián M, et al. Evaluation of browning effect on avocado purée preserved by combined methods[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2000, 4(1): 261-268.
- [21] Son S M, Moon K D, Lee C Y. Kinetic study of oxalic acid inhibition on enzymatic browning[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(6): 2071-2074.
- [22] Burdoc G A, Soni M G, Carabin I G. Evaluation of health aspects of ko-

- jic acid in food[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2001, 33(1): 80-101.
- [23] Benjawan C, Chutichude P. Control of skin color and polyphenol oxidase activity in santol fruit by dipping in organic acid solution[J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2009, 12(11): 852-858.
- [24] 张兰, 郑永华. 4-己基间苯二酚最新研究进展[J]. 食品科技, 2005(2): 36-38.
- [25] Schena L, Nigro F, Pentimone I, et al. Control of postharvest rots of sweet cherries and table grapes with endophytic isolates of *Aureobasidium pullulans*[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 30(3): 209-220.
- [26] Lyengar R, Mcevely A J. Anti-browning agents; alternatives to the use of sulfites in foods[J]. Trends in Food Science and Technology, 1992(3): 60-64.
- [27] Danehy J P. Maillard reactions; nonenzymatic browning in food systems with special reference to the development of flavor[J]. Advances in Food Research, 1986, 30: 77-138.
- [28] Negishi O, Ozawa T. Inhibition of enzymatic browning and protection of sulfhydryl enzymes by thiol compounds[J]. Phytochemistry, 2000, 54(5): 481-487.
- [29] Jiang Y M, Fu J R, Zauberman G, et al. Purification of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79(7): 950-954.
- [30] Billaud C, Maraschin C, Peyrat-maillard M N, et al. Maillard reaction products derived from thiol compounds as inhibitors of enzymatic browning of fruits and vegetables; the structure-activity relationship[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2005, 1043: 876-885.
- [31] Billaud C, MÉRIMÉE S B, Louarme L, et al. Effect of glutathione and Maillard reaction products prepared from glucose or fructose with glutathione on polyphenoloxidase from apple-I; Enzymatic browning and enzyme activity inhibition[J]. Food Chemistry, 2004, 84(2): 223-233.
- [32] Lucas C D, Hallagan J B, Taylor S L. The role of natural color additives in food allergy[J]. Advances in Food and Nutrition Research, 2001, 43: 195-216.
- [33] Buedo A P, Elustondo M P, Urbicain M J. Non-enzymatic browning of peach juice concentrate during storage[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2000(4): 255-260.
- [34] Friedman M, Molnár-perl I, Knighton D R. Browning prevention in fresh and dehydrated potatoes by SH-containing amino acids[J]. Food Additives and Contaminants, 1992, 9(5): 499-503.
- [35] Billaud C, Roux E, MÉRIMÉE S B, et al. Inhibitory effect of unheated and heated D-glucose, D-fructose and L-cysteine solutions and Maillard reaction product model systems on polyphenoloxidase from apple. I. Enzymatic browning and enzyme activity inhibition using spectrophotometric and polarographic methods[J]. Food Chemistry, 2003, 81(1): 35-50.
- [36] Haleva-Toledo E, Naim M, Zehavi U, et al. Effects of L-cysteine and N-acetyl-L-cysteine on 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone (furanol), 5-(hydroxymethyl) furfural, and 5-methylfurfural formation and browning in buffer solutions containing either rhamnose or glucose and arginine[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(10): 4140-4145.
- [37] Jeon M, Zhao Y. Honey in combination with vacuum impregnation to prevent enzymatic browning of fresh-cut apples[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2005, 56(3): 165-176.
- [38] Chen L, Mehta A, Berenbaum M, et al. Honeys from different floral sources as inhibitors of enzymatic browning in fruit and vegetable homogenates[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(10): 4997-5000.
- [39] Macdonald L, Schaschke C J. Combined effect of high pressure, temperature and holding time on polyphenoloxidase and peroxidase activity in banana (*Musa acuminata*) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(6): 719-724.
- [40] Zhao G Y, Xu Q P. Effect of Ultra High Pressure on Polyphenoloxidase of Jujube Fruit [C]//Liu M J. I International Jujube Symposium. Baoding, china, 2009.
- [41] Buckow R, Weiss U, Knorr D. Inactivation kinetics of apple polyphenol oxidase in different pressure-temperature domains[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(4): 441-448.
- [42] Rapeanu G, Vanloey, Smout, et al. Thermal and high-pressure inactivation kinetics of polyphenol oxidase in Victoria grape must[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(8): 2988-2994.
- [43] Kingsly A R P, Balasubramaniam V M, Rastogi N K. Influence of High-Pressure Blanching on Polyphenoloxidase Activity of Peach Fruits and its Drying Behavior[J]. International Journal of Food Properties, 2009, 12(3): 671-680.
- [44] Sandy V B, Inge M, Iesel V D P, et al. Influence of high-pressure-low-temperature treatments on fruit and vegetable quality related enzymes[J]. European Food Research and Technology, 2006, 223(4): 475-485.
- [45] Muratam, Tanakae, Minourae, et al. Quality of cut lettuce treated by heat shock; prevention of enzymatic browning, repression of phenylalanine ammonia-lyase activity, and improvement on sensory evaluation during storage [J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2004, 68(3): 501-507.

Research Progress of Browning Inhibitory Mechanism in Fruits and Vegetables

ZENG Chao-zhen, ZHANG Yong-mao, KANG San-jiang, ZHANG Fang, ZHANG Ji-hong, ZHANG Jun

(Institute of Agricultural Product Storage and Processing Research, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract: Browning of foods during processing and storage, especially during manufacture of fruits and vegetables decreased the sensory properties of products due to associated changes in the color and flavor. Therefore, its control was essential to preserve the quality of fruits and vegetables. The methods of anti-browning using organic acids, complexing agents, sulfites, sulfates, hexylresorcinol, mercapto compounds, honey and other chemical agents were reviewed, which will provide helpful guidance for further research.

Key words: fruits and vegetables; browning; inhibition