

采前和采后贮藏对果蔬中抗氧化物质影响的研究进展

潘永贵*, 黎寿英

(海南大学食品学院, 海口 570228)

摘要: 自由基是人体正常代谢的产物, 但自由基过量会引发一系列的疾病。越来越多的研究表明, 食用果蔬有助于预防由过量自由基引起的多种疾病, 这主要源于果蔬中富含的各种抗氧化物质。本文主要从采前和采后贮藏保鲜两个阶段对果蔬组织中的抗氧化物质(重点包括总酚、总黄酮、抗坏血酸、花青素)以及抗氧化能力的影响因素及其影响效果进行了较为全面的综述。

关键词: 果蔬; 抗氧化物质; 贮藏; 采前; 采后

Research advances in pre-harvest and post-harvest storage effects on antioxidants in fruits and vegetables

PAN Yong-Gui*, LI Shou-Ying

(College of Food Science, Hainan University, Haikou 570228, China)

ABSTRACT: Free radicals are the normal metabolism products of human body, but excessive free radicals will cause a series of diseases. A number of studies suggested that eating fruits and vegetables can help to prevent many diseases caused by excess free radicals, mainly due to the rich antioxidants in fruits and vegetables. This article reviewed the effects of pre-harvest and post-harvest storage on antioxidants (mainly including total phenolics, total flavonoids, ascorbic acid, and anthocyanins) and antioxidant capacity.

KEY WORDS: fruits and vegetables; antioxidant; storage; pre-harvest; postharvest

1 前言

自由基是人体正常代谢的产物, 可以促进细胞增殖, 刺激白细胞和吞噬细胞, 杀灭细菌, 消除炎症, 分解毒物。但是, 由环境污染、农药、食品添加剂、酒精、吸烟等外来因素引发的外源性自由基及人体新陈代谢失衡导致体内的自由基过量, 则会引发一系列的疾病, 包括心血管疾病、白内障、癌症、风湿病和许多其他自体免疫性疾病^[1]。越来越多的研究表明,

食用果蔬有助于预防由过量自由基引起的多种疾病, 例如各种癌症、心血管疾病、炎症及衰老等^[2]。这主要与果蔬中富含各种抗氧化物质有关, 尤其是酚类物质如黄酮类物质和其他酚类物质, 以及生育酚(V_E)、抗坏血酸(V_C)、 β -胡萝卜素、类胡萝卜素、番茄红素等^[3]。因此, 目前采后果蔬保鲜研究已经不再仅仅局限于对传统的六大类营养素的保持, 非营养素, 尤其贮藏保鲜对果蔬组织中酚类抗氧化物的影响及其保持也已经成为采后果蔬保鲜的一个重要研

*通讯作者: 潘永贵, 教授, 主要研究方向为果蔬采后生理和贮运保鲜技术。E-mail: yongui123@126.com

*Corresponding author: PAN Yong-Gui, Professor, College of Food Science, Hainan University, No.38, Renming Road, Meilan District, Haikou 570228, China. E-mail: yongui123@126.com

究内容。本文对近十几年来这方面的研究作一综述。

2 采前影响果蔬组织中抗氧化物质因素

2.1 种类和品种

不同种类果蔬,其抗氧化物质种类、含量差异很大,从而导致不同果蔬之间的抗氧化性差异也较大。以黄酮类物质为例,黄酮类主要存在于柑橘类果实中,而黄酮主要在芹菜中,花青素则在草莓等浆果类果实中含量丰富^[4]。除了所含抗氧化物质不同外,许多研究人员对不同果蔬中总酚与抗氧化能力作了大量研究^[5-7]。Medoua等^[6]对南非瓦尔河区域的主要果蔬的植物化学物质和抗氧化物质研究表明,该地区不同果蔬中,总抗氧化能力(TEAC)变化范围从178.5 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g FW}$ (荷包豆, *Phaseolus coccineus*)到1814.4 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g FW}$ (苹果),总酚从胡萝卜的28.4 $\text{mg}/100\text{ g FW}$ 到苹果的103.8 $\text{mg}/100\text{ g FW}$ 。同时,在不同的果蔬中, V_c 和 V_E 的差别也很大。在水果中, Patthamakanokporn等^[8]比较了芒果、番石榴、木瓜、山竹果、香蕉以及两种本土水果的抗氧化能力和总酚含量,结果表明,山竹果、芒果和番石榴具有高的抗氧化活性和总酚物质,而香蕉和木瓜最低。在蔬菜中,杨冬梅等^[9]比较了12种常见蔬菜的总酚含量和抗氧化活性,结果发现,总酚含量最多的是苋菜,而最少的是黄瓜,前者是后者的12倍。从抗氧化性来看,苋菜、藕、生姜和蘑菇具有较强的抗氧化能力,而竹笋、黄瓜和胡萝卜的抗氧化能力较弱。即使是同一种类果蔬,不同品种之间差异也较大。Schmitz-Eiberger等^[10]曾研究了31个苹果品种的抗氧化物质和抗氧化能力,发现不同品种之间的抗氧化物质(主要包括总酚和抗坏血酸)和抗氧化能力差异非常大,这一点在Matthes等^[11]的研究中也得到证实。同样石榴^[12]、桃^[13]、梨^[14]、苹果^[15]、洋葱^[16]、甜薯^[17]等果实中也是如此。

2.2 地理位置

果蔬生长的地理位置也会对其抗氧化物质产生影响。通过对生长于高纬度挪威的斯彻达尔(63°36'N)到中纬度德国的盖森海姆(49°59'N)再到低纬度瑞士的孔泰(46°12'N)三个不同地区的三个不同品种草莓果实的抗氧化物质进行研究分析,结果表明北部地区的草莓果实中花青素含量较南部地区低,而且不同地区果实中花青素种类也是不同的。与此相反,草

莓果实中的 V_c 含量和抗氧化能力却随着纬度的升高而增加,但同时研究也表明品种的影响可能要超过环境的影响^[18]。而通过对生长在不同纬度或虽然生长在同一地区但原产地不同的越橘(*Vaccinium myrtillus* L)果实中花青素含量进行分析却发现,生长在纬度靠北的或者原产地在北部的,果实中花青素含量较高^[19]。

2.3 栽培的方式

随着生产技术的发展,许多野生型果蔬得到驯化,开始人工栽培;同时,栽培的方式也在逐步发生许多变化。而所有这些同样会影响到果蔬组织中抗氧化物质和抗氧化能力。Jin等^[20]对美国马里兰两个分别采用有机栽培和传统栽培农场的两个草莓品种进行研究,结果表明,有机栽培的果实含有更高的抗氧化物质。但在葡萄柚果实中,除了有机栽培的 V_c 含量稍高外,果实中的胡萝卜素和番茄红素则是传统栽培的葡萄柚果实较有机栽培的高^[21]。Jaime等^[22]对智利生长的野生型和栽培型的不同浆果研究发现其抗氧化活性明显不同,并且发现果实的抗氧化能力与总酚含量呈高度相关性。在悬钩子^[23]和蓝莓^[24]果实上也发现,果实中酚类物质的含量上,野生型要比栽培型高很多;抗氧化能力方面,野生型也表现出更强的抗氧化能力。

2.4 成熟度

对于大部分果蔬而言,随着果实成熟度的提高,果实中酚类物质和抗氧化能力逐渐下降。在番石榴果实中,在未成熟的果实中,总酚、总黄酮以及DPPH自由基清除活性最强,而随着果实逐渐到半熟和全熟,这些抗氧化物质和抗氧化能力也逐渐下降;但是抗坏血酸在全熟时达到最高^[25]。同样,枣椰子(*Phoenix dactylifera* L.)果实在还未开始后熟时,果实中总酚和抗坏血酸含量较高,随着果实逐步后熟,果实中总抗氧化活性、总酚和抗坏血酸含量开始逐步下降,当果实完熟时达到最低^[26]。此外,在蓝莓^[27]、苹果^[28]、芒果^[29]等果实中,同样果实达到完熟时,果实中总酚含量和自由基清除能力也下降了。

同时,在许多果蔬中,研究者也发现成熟度对不同果实中抗氧化物质和抗氧化能力产生明显不同的影响。腰果梨(*Anacardium occidentale* L.)果实中,虽然酚类物质含量同样是随着果实成熟度提高含量下降,但抗氧化能力与抗坏血酸含量却随着果实成熟

度的提高而增加,因此,腰果梨中抗氧化能力主要与抗坏血酸有关^[30]。而在蔓越橘果实中,总酚和抗氧化能力在果实成熟过程中相对保持恒定^[27]。对于杨梅果实,随着其逐步从未成熟到成熟再到完熟,果实中的总酚、总黄酮、花青素和矢车菊素-3-葡萄糖苷却逐步增加,与此相对应,果实的抗氧化能力也随之上升^[31]。同样随着成熟度的提高,苦瓜果实中含有了更高的总酚含量,相对应 ERAP 值更高,但当果实达到完熟时,其 EPPH 值最低^[32]。在李上, Diaz-Mula 等^[33]对 8 个不同品种的李果实进行研究表明,所有品种中,果实中花青素、总酚含量同样均随着果实成熟度的提高而增加,同时,果实抗氧化能力也随之提高,但研究者认为抗氧化能力主要来自于花青素的贡献。但在 Miletić 等^[34]从 2008 年到 2010 年连续三年的研究中,虽然也发现李果实花青素含量也随着果实成熟的提高而提高,但多酚和抗氧化能力与果实成熟度之间的关系不是非常明显。

3 采后保鲜贮藏对果蔬组织中抗氧化物质的影响

3.1 植物生长调节剂

植物生长调节剂是一类与植物激素具有相似生理和生物学效应的物质,其由于具有调控植物生长发育的功能不仅在植物栽培过程中广泛使用,同样,在果蔬贮藏保鲜中也得到应用。

3.1.1 茉莉酮酸甲酯

茉莉酮酸甲酯(MJ)是一种自然挥发物质,具有植物激素的多效作用。对于采后果蔬而言,可以促进果实成熟衰老,延缓冷害的发生,增强果蔬抗病性。此外,研究发现其同时还有助于增加采后果实中的抗氧化物质和抗氧化能力。树莓经茉莉酮酸甲酯处理后,在贮存期间,果实中抗坏血酸盐、氢氧抗坏血酸和酚类的含量得到增加。而且,使用茉莉酮酸甲酯处理可以增强果实中抗氧化酶包括 SOD, POX, APX, MDHAR 和 DHAR 的活性^[35],蓝莓和草莓的使用结果也一样^[36]。这表明茉莉酮酸甲酯处理措施可以增强水果中的抗氧化剂活性和清除自由基的能力。同时,采前采用 MJ 处理同样可以明显增加树莓果实中花青素和总酚含量^[37]。MJ 这种效果可能与其可以刺激相应的酶,包括 PAL 活性有关。使用乙醇和 MJ 综合处理也可以提高储存期间草莓的酚类和花

色素含量^[38]。

3.1.2 水杨酸

水杨酸(SA)是一种非常重要的苯丙烷类化合物,被认为是植物生长调节剂、信号转导子或信使,在植物代谢中具有非常重要的作用。同时,对于采后果蔬同样可以起到延缓甚至增加组织的抗氧化物质和抗氧化能力的作用。Attri 等^[39]分别采用水杨酸和 EDTA-Ca 处理三个不同品种的苹果果实后于室温下贮藏,均有助于保持果实中的抗坏血酸和其他抗氧化物质。Wei 等^[40]研究发现,水杨酸在处理一定时间内同样会对芦笋中抗氧化物质产生影响,包括了延缓了总酚的下降,刺激了总黄酮和抗坏血酸的上升,从而增强了组织的抗氧化能力,包括清除 FRAP 和 DPPH 活性。Chen 等^[41]也报道 SA 处理诱导了葡萄果实中酚酸含量的上升,包括 6 种羟基苯甲酸衍生物以及 5 种羟基肉桂酸衍生物。

3.1.3 脱落酸

脱落酸(ABA)作为促进果实成熟衰老的激素,同样可以显著增加果实中花色素苷的积累,从而增强果实的抗氧化能力。ABA 在草莓和樱桃中的外源性应用均促进了果实中花色素苷的合成^[42]。周莉等^[43]研究了萘乙酸(NAA)和脱落酸(ABA)处理对葡萄果皮花色素苷积累及其生物合成相关基因表达的影响,同样表明 ABA 处理的花色素苷含量高于对照。同时,ABA 处理的果皮比对照和 NAA 多出 3 种花色素苷;ABA 处理的果皮花色素苷结构基因相对表达量高于对照,而 NAA 则低于对照。外源 ABA 促进花色素苷积累及其合成相关基因的表达,而 NAA 则抑制其表达。进一步研究表明,ABA 处理增加果皮花色素苷含量的同时还能够提高花色素苷合成相关基因的转录水平,并使其表达时期前移^[44]。

3.2 钙处理

采后果实使用钙处理保持果实硬度已经在商业上得到应用,与此同时,它对果实中抗氧化物质的影响也引起人们的注意。在用浓度 1%的 CaCl₂ 浸渍处理的猕猴桃片中观察到了抗坏血酸含量的增长,在富含乙烯的储存气体环境下,使用 CaCl₂ 浸渍处理的猕猴桃片中的抗坏血酸含量的增长则更明显^[45]。在使用 CaCl₂ 浸渍处理的苹果中也发现了维生素 C 含量的增长^[46],一项研究表明,经历 60 天的存储过程后,使用浓度 2%的 CaCl₂ 浸渍处理的苹果比使用 1%或

1.5%CaCl₂浸渍处理的苹果可以保持更高的抗坏血酸含量^[47]。

3.3 1-MCP

1-MCP 作为一种乙烯拮抗剂从而有助于延长果蔬采后贮藏寿命已经得到公认。而其对果实中抗氧化物质的影响也开始受到研究者的关注。在枇杷果实上,采用 1-MCP 处理后发现,果实中总酚和总黄酮含量均比对照要高,与此相对应,果实也保持了较高的抗氧化能力^[48]。同样,经 1-MCP 处理的苹果果实中其黄酮类含量得到了提高^[49]。然而,在甜樱桃中,经过 1-MCP 处理并冷藏存储,并没有发现花青素类、羟基肉桂酸类和主要的多酚类的总含量有所增加^[50]。并且 1-MCP 处理对抗氧化物质的影响可能与处理时果实的成熟度有很大关系,例如成熟度较低的苹果较最适成熟度以及晚采的果实经 1-MCP 处理后,果实中绿原酸含量较低^[49]。

3.4 贮藏条件

3.4.1 贮藏温度

果蔬采后贮运过程中,温度是影响组织中抗氧化物质的重要因素之一,但不同的果蔬、不同的抗氧化物质受到的影响也不同。对于大多数水果而言,贮藏并不会对果实抗氧化能力产生不利影响,甚至在许多情况下,果蔬抗氧化性会有所上升^[51]。例如苹果经冷藏可以提高其抗氧化能力^[11,28]。同时,果实中花青素含量在低温贮藏下出现增加,例如在低温下的草莓^[52,53],曼越橘^[54],和石榴^[55]等都显示出较高的花青素含量。但是,Gonçalves 等^[56]研究发现,在 1~2 °C 和(15±5) °C 的两个温度区间,储存期间甜樱桃总酚含量均出现增加,但在(15±5) °C 条件下总酚含量水平比低温 1~2 °C 更高,他们也发现个别的酚在低温条件下比高温条件下变化幅度要低。同样,草莓果实贮藏较高的温度下(10 °C),较低的温度(5 °C 和 0 °C)显示出较高的抗氧化能力、总酚和花青素含量^[20,57]。类似的结果在番茄中也有发现^[58]。

对于抗坏血酸,Toor 等^[58]研究表明,将番茄果实采后贮藏于 7、15、25 °C 三个不同温度下,抗坏血酸均出现轻微的增加;而草莓和蓝莓在采后贮藏过程中也没有出现抗坏血酸含量的损失^[59]。这主要与果实中高的可滴定酸度有关,其对于抗坏血酸具有稳定作用。此外,酚类物质对抗坏血酸也具有一定的保护作用。

但当果蔬贮藏温度降低到冻结点以下时,则会导致果实中抗氧化物质含量的减少。在储藏温度处于冻结温度下时,樱桃中的花青素和酚含量均减少。在冻藏的 Bing 樱桃中,经过 6 个月-23 °C 的冻藏,果实中损失约 75% 的花青素^[60],但总酚含量的减少不如花青素丧失这么高。花青素含量剧烈的减少可能归结为 PPO 活性的存在,在大多数果蔬品质劣变过程中,这种酶扮演着重要的角色。

3.4.2 气调贮藏

气调贮藏是延长许多果蔬保质期的重要贮藏方法。西兰花含有丰富的诸如类黄酮、吲哚-3-甲醇和 V_C 等抗氧化物质。许多报告指出,存储期间这些抗氧化化合物被逐渐分解^[61]。而在 MAP 中使用微穿孔或穿孔的薄膜包装的西兰花,存储 28 天后依然保持了原先的抗氧化活性和酚类含量水平,但是在经过 20 天冷藏存储的西兰花中则观察到这些促进健康的成分含量快速下降^[62]。

通常来讲,高浓度 CO₂ 会导致果蔬组织中抗坏血酸含量的减少。在高浓度 CO₂(20%或 30%)的 CA 贮藏环境中,草莓中的抗坏血酸含量出现减少,而在空气中贮藏的则没有变化,红醋栗和黑莓的情况也与之相似^[45]。Shin 等^[63]进一步研究发现,虽然 20% CO₂ 贮藏抑制了草莓果实中总抗坏血酸和还原性抗坏血酸的上升,但是脱氢抗坏血酸的含量却上升了。草莓中抗坏血酸的减少表现为 DHA 浓度的增加,可能是因为在高浓度 CO₂ 环境刺激了抗坏血酸过氧化物酶活性上升的结果。更可能的原因是,高浓度 CO₂ 抑制了单脱氢抗坏血酸还原酶(MDHAR)和脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)的活性^[45]。苹果在高 CO₂ 气体中存储时抗坏血酸含量也有所下降。在猕猴桃片中也观察到随着 CO₂ 浓度的增加抗坏血酸含量减少,猕猴桃片在空气中 CO₂ 压力为 5、10、20 kPa 条件下其抗坏血酸损失分别为 14%、22%和 34%^[46]。

同样,高浓度 CO₂ 处理也会导致果实中花青素含量的下降。在空气中贮藏的草莓果实花青素含量水平比用 CO₂ 处理后贮藏于 5 °C 环境下的高,并且,随着 CO₂ 浓度的提高,水果内部组织的 pH 值也增加,这可能是导致花青素含量下降的原因^[63,64]。同样,在甜樱桃中也发现高浓度的 CO₂(12%)导致了果实中花青素含量的下降^[65]。同时,研究还发现,高 CO₂(20%)贮藏的草莓果实中总黄酮含量以及抗氧化能力均较空气中贮藏的较低^[63]。

与 CO₂ 贮藏影响不同, 随着贮藏环境中氧气浓度的提高, 可能更有助于刺激果实中抗氧化物质和抗氧化能力的上升。草莓果实高浓度氧气环境中贮藏, 当 O₂ 达到 40 kPa 以上时, 随着氧气浓度的提高, 组织中的多酚含量与抗氧化能力随之上升, 同时, 减少了腐烂, 延长了产品保质期^[66]。类似的结果在蓝莓果实中也得到了证实。蓝莓果实持续处于 60%~100% 的 O₂ 浓度下, 组织中抗氧化物质水平显著地高于 40%O₂ 浓度和对照果实, O₂ 浓度在 60%~100% 之间, 随着氧气浓度的提高, 也促进了组织中的总酚和总花青素的含量^[67]。

气调贮藏对果蔬组织中抗氧化物质的影响可能与果实的种类以及气体组成有很大关系。在苹果中, 虽然有报道指出冷藏或 CA 贮藏对存储期间苹果的抗氧化剂活性没有任何影响^[68], 而另一报道则指出, 苹果在 CA (2% CO₂ + 2% O₂) 或冷藏存储 4 个月过程中发现了其抗氧化剂活性增加了^[69]。在随后的研究中也发现, 大部分品种苹果果实在 CA 贮藏下, 果实中总酚含量和抗氧化能力有所增加, 但部分品种却保持稳定^[11]。在芒果果实中, 低氧(3%O₂)贮藏并没有改变果实的抗氧化能力, 而低氧结合高 CO₂(3%O₂+10%CO₂)贮藏则提高了组织中多酚, 相应地抗氧化能力也得到了提高, 表明对于芒果这种提高主要是高 CO₂ 的结果^[70]。同样, 在 95% O₂ + 5% CO₂ 存储条件下的鲜切紫色胡萝卜丝中观察到总的抗氧化剂活性出现明显下降, 然而, 其存储在 90%N₂ + 5% O₂ + 5% CO₂ 条件下可以保持抗氧化剂活性达 10 天之久^[71]。

3.5 其他

Oliveira 等^[72]分别对 2008 年和 2009 年同期采收的黑莓进行涂膜处理并冷藏, 结果发现, 对于 2008 年的果实, 分别经 2.5% 的木薯淀粉溶液和 20% 的水开菲尔粒(water kefir grains)涂膜处理均增加了果实中花青素的含量, 但是对于 2009 年的果实却没有相同的效果。研究者认为这可能与采前因素如气候条件以及采收成熟度等有关。Furlan 等^[73]研究了臭氧处理对黑莓果实的影响。黑莓果实分别采用臭氧杀菌处理 30 s 和 3 min, 组织中总酚含量和抗氧化能力与对照果实相比并没有明显差异。

4 结 语

大量的研究已经证实过量的自由基会引发人体

一系列疾病, 而果蔬中由于含有丰富的抗氧化物质而具有清除自由基的作用受到消费者的重视。与此同时, 越来越多的研究者开始关注影响果蔬中抗氧化物质和抗氧化能力的因素, 果蔬采后贮藏、加工会对这些抗氧化物质和抗氧化能力产生什么影响, 以及如何保持果蔬中的抗氧化物质和抗氧化能力。但从目前大量的研究来看, 这方面的研究在采后研究中由于相对起步较晚, 研究的深度还不够, 尤其是从机理方面来研究贮藏保鲜对果蔬组织中抗氧化物质和抗氧化能力的影响; 此外, 国内这方面的研究更少。因此, 国内果蔬贮藏保鲜的科研人员在这个方面应该有所重视。

参考文献

- [1] Kaur C, Kapoor HC. Antioxidants in fruits and vegetables - the millennium's health [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2001, 36: 703-725.
- [2] Shui GH, Leong LP. Analysis of polyphenolic antioxidants in star fruit using liquid chromatography and mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2004, 1022: 67-75.
- [3] Chun OK, Kim DO, Moon HY, *et al.* Contribution of individual polyphenolics to total antioxidant capacity of plums [J]. *J Agr Food Chem*, 2003, 51(7):240-245.
- [4] Yao LH, Jiang YM, Shi J, *et al.* Flavonoids in Food and Their Health Benefits [J]. *Plant Foods Human Nutr*, 2002, 59: 113-122.
- [5] Shaheen N, Goto M, Watanabe J, *et al.* Antioxidant Capacity and Total Phenol Content of Commonly Consumed Indigenous Foods of Asian Tropical Regions [J]. *J Food Sci Eng*, 2012, 2: 187-195.
- [6] Medoua GN, Oldewage-Theron WH. Bioactive compounds and antioxidant properties of selected fruits and vegetables available in the vaal region, south Africa [J]. *J Food Biochem*, 2011, 35: 1424-1433.
- [7] Zujko ME, Witkowska AM. Antioxidant potential and polyphenol content of selected food [J]. *Int J Food Prop*, 2011, 14: 300-308.
- [8] Patthamakanokporn O, Puwastien P, Nitithamyong A, *et al.* Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits [J]. *J Food Compos Anal*, 2008, 21: 241-248.
- [9] 杨冬梅, 金月亭, 柯乐芹, 等. 12 种常见蔬菜抗氧化活性的比较研究[J]. *中国食品学报*, 2007, 7(5): 24-29.
Yang DM, Jin YT, Ke LQ, *et al.* Antioxidant Activities of 12 Common Vegetables [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2007, 7(5): 24-29.
- [10] Schmitz-Eiberger M, Weber V, Treutter D, *et al.* Bioactive com-

- ponents in fruits from different apple varieties [J]. *J Appl Bot*, 2003, 77: 167–171.
- [11] Matthes A, Schmitz-Eiberger M. Polyphenol content and antioxidant capacity of apple fruit: effect of cultivar and storage conditions [J]. *J Appl Bot Food Qual*, 2009, 82: 152–157.
- [12] Legua P, Melgarejo P, Abdelmajid H, *et al.* Total Phenols and Antioxidant Capacity in 10 Moroccan Pomegranate Varieties [J]. *J Food Sci*, 2012, 71(1): 115–120.
- [13] Manzoor M, Anwar F, Mahmood Z, *et al.* Variation in Minerals, Phenolics and Antioxidant Activity of Peel and Pulp of Different Varieties of Peach (*Prunus persica* L.) Fruit from Pakistan [J]. *Molecules*, 2012, 17: 6491–6506.
- [14] Tavarini S, Degl'Innocenti E, Remorini D, *et al.* Preliminary characterisation of peach cultivars for their antioxidant capacity [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2008, 43: 810–815.
- [15] Sacchetti G, Cocci E, Pinnavaia GG, *et al.* Influence of processing and storage on the antioxidant activity of apple derivatives [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2008, 43: 797–804.
- [16] Denre M, Pal S, Chattopadhyay A, *et al.* Antioxidants and Pungency of Onion [J]. *Int J Veg Sci*, 2011, 17: 233–245.
- [17] Rautenbach F, Faber M, Laurie S, *et al.* Antioxidant Capacity and Antioxidant Content in Roots of 4 Sweetpotato Varieties [J]. *J Food Sci*, 2010, 75(5): 400–405.
- [18] Josuttis M, Carlen C, Crespo P, *et al.* A comparison of bioactive compounds of strawberry fruit from Europe affected by genotype and latitude [J]. *J Berry Res*, 2012, 2: 73–95.
- [19] Åkerström A, Jaakola L, Bång U, *et al.* Effects of Latitude-Related Factors and Geographical Origin on Anthocyanidin Concentrations in Fruits of *Vaccinium myrtillus* L. (Bilberries) [J]. *J Agr Food Chem*, 2010, 58 (22): 11939–11945.
- [20] Jin P, Wang SY, Wang CY, *et al.* Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries [J]. *Food Chem*, 2011, 124: 262–270.
- [21] Chebroli KK, Jayaprakasha GK, Jifon J, *et al.* Production System and Storage Temperature Influence Grapefruit Vitamin C, Limonoids, and Carotenoids [J]. *J Agr Food Chem*, 2012, 60 (29): 7096–7103.
- [22] Jaime GC, Luigi CP, Andrea CC, *et al.* Antioxidant capacity, anthocyanins, and total phenols of wild and cultivated berries in Chile [J]. *Chil J Agr Res*, 2010, 70 (4): 537–544.
- [23] Tsao R., Yang R, Sockovie E, *et al.* Antioxidant phytochemicals in cultivated and wild Canadian strawberries [J]. *Acta Hort*, 2003, 626: 25–35.
- [24] Halvorsen B, Holte K, Myhrstad M, *et al.* A systematic screening of total antioxidants in dietary plants [J]. *J Nutr*, 2002, 132: 461–471.
- [25] Gull J, Sultana B, Anwar F, *et al.* Variation in Antioxidant Attributes at Three Ripening Stages of Guava (*Psidium guajava* L.) Fruit from Different Geographical Regions of Pakistan [J]. *Molecules*, 2012, 17: 3165–3180.
- [26] Allaith AA. Degradation kinetics of the antioxidant activity in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits as affected by maturity-stages [J]. *Arab Gulf J Sci Res*, 2009, 27: 16–25.
- [27] Forney CF, Kalt W, Jordan MA, *et al.* Blueberry and cranberry fruit composition during development [J]. *J Berry Res*, 2012, 2: 169–177.
- [28] Duda-Chodak A, Tarko T, Tuszyński T. Antioxidant activity of apples – an impact of maturity stage and fruit part [J]. *Acta Sci Pol, Technol Aliment*, 2011, 10(4): 443–454.
- [29] Niranjana P, Gopalakrishna RKP, Sudhakar RDV, *et al.* Effect of controlled atmosphere storage (cas) on antioxidant enzymes and DPPH- radical scavenging activity of mango (*mangifera indica* L.) cv. Alphonso [J]. *Ajfood Online*, 2009, 9(2): 779–792.
- [30] Gordon A, Riedrich MF, Matta VM *et al.* Changes in phenolic composition, ascorbic acid and antioxidant capacity in cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) during ripening [J]. *Fruits*, 2012, 67: 267–276.
- [31] Zhang WS, Li X, Zheng JT, *et al.* Bioactive components and antioxidant capacity of Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. and Zucc.) fruit in relation to fruit maturity and postharvest storage [J]. *Eur Food Res Technol*, 2008, 227: 1091–1097.
- [32] Aminah, A. and Anna, P. K. Influence of ripening stages on physicochemical characteristics and antioxidant properties of bitter melon (*Momordica charantia*) [J]. *Int Food Res J*, 2011, 18(3): 895–900.
- [33] Diaz-Mula HM, Zapata PJ, Guillén F, *et al.* Changes in phytochemical and nutritive parameters and bioactive compounds during development and on-tree ripening of eight plum cultivars: A comparative study [J]. *J Sci Food Agr*, 2008, 88: 2499–2507.
- [34] Miletić N, Popović B, Mitrović O, *et al.* Phenolic content and antioxidant capacity of fruits of plum cv. 'Stanley' (*Prunus domestica* L.) as influenced by maturity stage and on-tree ripening [J]. *AJCS*, 2012, 6(4): 681–687.
- [35] Chanjirakul K, Wang SY, Wang CY, *et al.* Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2006, 40: 106–115.
- [36] Chanjirakul K, Wang SY, Wang CY, *et al.* Natural volatile treatments increase free-radical scavenging capacity of strawberries and blackberries [J]. *J Sci Food Agr*, 2007, 87: 1463–1472.
- [37] Wang SY, Zheng W. Preharvest application of methyl jasmonate increases fruit quality and antioxidant capacity in raspberries [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2005, 40: 187–195.

- [38] Ayala-Zavala JA, Wang SW, Wang CY, *et al.* Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity, volatile compounds and postharvest life of strawberry fruit [J]. *Eur Food Res Technol*, 2005, 221: 731–738.
- [39] Attri BL, Krishna H, Das B, *et al.* Effect of plant bio-regulators on physico-chemical characteristics of three apple varieties during ambient storage[J]. *J Appl Hort*, 2012, 14(2): 124–128.
- [40] Wei YX, Liu ZF, Su YD, *et al.* Effect of salicylic acid treatment on postharvest quality, antioxidant activities, and free polyamines of asparagus [J]. *J Food Sci*, 2011, 76(2): 126–132.
- [41] Chen JY, Wen PF, Kong WF, *et al.* Effect of salicylic acid on phenylpropanoids and phenylalanine ammonia-lyase in harvested grape berries [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2006, 40:64–72.
- [42] Jiang Y, Joyce DC. ABA effects on ethylene production, PAL activity, anthocyanin and phenolic contents of strawberry fruit [J]. *Plant Growth Regul*, 2003, 39: 171–174.
- [43] 周莉, 王军. NAA 和 ABA 处理对‘京优’葡萄花色苷生物合成相关基因表达的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(4): 30–37.
Zhou L, Wang J. Effects of NAA and ABA treatments on the expression of anthocyanin biosynthetic genes in ‘Jing You’ grape berry skin [J]. *J China Agr Univ*, 2011, 16(4): 30–37.
- [44] 于淼, 刘海峰, 王军. ABA 对葡萄花色苷合成相关基因表达的影响[J]. *果树学报*, 2012, 29(1): 35–41, 163.
Yu M, Liu HF, Wang J. Effect of ABA on expression of genes related to anthocyanin biosynthesis in grapevine [J]. *J Fruit Sci*, 2012, 29(1): 35–41, 163.
- [45] Agar IT, Streif J, Bangerth F. Effect of high CO₂ and controlled atmosphere (CA) on the ascorbic and dehydroascorbic acid content of some berry fruits [J]. *Postharvest Biol Technol*, 1997, 11: 47–55.
- [46] Lee SK, Kader AA. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2000, 20: 207–220.
- [47] Hayat I, Masud T, Rathore H. Effect of coating and wrapping materials on the shelf life of apple (*Malus domestica* cv. Borkh) [J]. *Int J Food Safe*, 2005, 5: 24–34.
- [48] Cao S, Zheng Y, Yang Z. Effect of 1-MCP treatment on nutritive and functional properties of loquat fruit during cold storage [J]. *NZJ Crop Hortic Sci*, 2011, 39(1): 61–70.
- [49] MacLean DD, Murr DP, DeEll JR, *et al.* Postharvest variation in apple (*Malus × domestica* Borkh.) flavonoids following harvest, storage, and 1-MCP treatment [J]. *J Agr Food Chem*, 2006, 54: 870–878.
- [50] Mozetič B, Simčič M, Trebše P. Anthocyanins and hydroxycinnamic acids of Lambert Compact cherries (*Prunus avium* L.) after cold storage and 1-methylcyclopropene treatment [J]. *Food Chem*, 2006, 97: 302–309.
- [51] Kevers C, Falkowski M, Tabart J, *et al.* Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables [J]. *J Agr Food Chem*, 2007, 55: 8596–8603.
- [52] Gil MI, Holcroft DM, Kader AA. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments [J]. *J Agr Food Chem*, 1997, 45: 1662–1667.
- [53] Sanz C, Pérez AG, Olías R, *et al.* Quality of strawberries packed with perforated polypropylene [J]. *J Food Sci*, 1999, 64: 748–752.
- [54] Kalt W, McDonald JE. Chemical composition of low bush blueberry cultivars [J]. *J Am Soc Hort Sci*, 1996, 121: 142–146.
- [55] Holcroft DM, Gil MI, Kader AA. Effect of carbon dioxide on anthocyanins, phenylalanine ammonia lyase and glucosyltransferase in the arils of stored pomegranates [J]. *J Am Soc Hort Sci*, 1998, 123: 136–140.
- [56] Gonçalves B, Landbo AK, Knudse D, *et al.* Effect of ripeness and postharvest storage on the phenolic profiles of cherries (*Prunus avium* L.) [J]. *J Agr Food Chem*, 2004, 52: 523–530.
- [57] Ayala-Zavala JF, Wang SY, Wang CY, *et al.* Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2004, 37(7): 687–695.
- [58] Toor RK, Savage GP. Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage [J]. *Food Chem*, 2006, 99: 724–727.
- [59] Kalt W, Forney CF, Martin A, *et al.* Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits [J]. *J Agr Food Chem*, 1999, 47: 4638–4644.
- [60] Chaovanalikit A, Wrolstad, RE. Total anthocyanins and total phenolics of fresh and processed cherries and their antioxidant properties [J]. *J Food Sci*, 2004, 69: FCT67–FCT72.
- [61] Paliyath G, Murr DP, Handa AK, *et al.* Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers[M]. USA: Wiley-Blackwell Publishing, 2008.
- [62] Serrano M, Martinez-Romero D, Guillén F, *et al.* Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2006, 39: 61–68.
- [63] Shin Y, Ryu JA, Liu RH, *et al.* Fruit Quality, Antioxidant Contents and Activity, and Antiproliferative Activity of S trawberry-Fruit S stored in Elevated CO₂ Atmospheres [J]. *J Food Sci*, 2008, 73(6): 339–344.
- [64] Gil MI, Holcroft DM, Kader AA. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments [J]. *J Agr Food Chem*, 1997, 45: 1662–1667.

- [65] Remòn S, Ferrer A, López-Buesa P, *et al.* Atmosphere composition effects on Burlat cherry colour during cold storage [J]. *J Sci Food Agr*, 2004, 84: 140–146.
- [66] Ayala-Zavala JF, Wang SY, Wang CY, *et al.* High Oxygen Treatment of Strawberries [J]. *Food Technol Biotechnol*, 2007, 45 (2): 166–173.
- [67] Zheng YH, Wang CY, Wang SY, *et al.* Effect of High-Oxygen Atmospheres on Blueberry Phenolics, Anthocyanins, and Antioxidant Capacity [J]. *J Agr Food Chem*, 2003, 51: 7162–7169.
- [68] Sluis AA, Dekker M, Jager A, *et al.* Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple: effect of cultivar, harvest year, and storage conditions [J]. *J Agr Food Chem*, 2001, 49: 3606–3613.
- [69] Leja M, Mareczek A, Ben J. Antioxidant properties of two apple cultivars during long-term storage [J]. *Food Chem*, 2003, 80: 303–307.
- [70] Kim Y. Changes in polyphenolics and resultant antioxidant capacity in ‘tommy Atkins’ mangos (*mangifera indica* L.) by selected postharvest treatments [D]. University of Florida, 2005.
- [71] Alasalvar C, Al-Farsi M, Quantick PC, *et al.* Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots [J]. *Food Chem*, 2005, 89: 69–76.
- [72] Oliveira DM, Rosa CILF, Clemente AKE. Biodegradable coatings on the postharvest of blackberry stored under refrigeration [J]. *Revista Ciência Agronômica*, 2013, 44(2): 302–309.
- [73] Furlan VJM, Corrêa APA, Carbonera N *et al.* Total Phenols, Antioxidant Activity and Microbiological Quality of Ozone Sanitized Blackberry (*Rubus spp.* L.) [J]. *Adv J Food Sci Technol*, 2011, 3 (6): 436–441.

(责任编辑:赵静)

作者简介



潘永贵, 教授, 主要研究方向为果蔬采后生理和贮运保鲜技术。
E-mail: yongui123@126.com