

# 自发气调包装对采后“红富士”苹果果皮色素及其相关酶活性的影响

李秀芳<sup>1</sup>, 韩寿坤<sup>1</sup>, 段琪<sup>1</sup>, 赵彦华<sup>2</sup>, 饶景萍<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西华圣果业公司, 陕西 西安 710021)

**摘要:**以“红富士”苹果为试材,在 $(0\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下,分别采用聚氯乙烯袋(PVC,厚度为0.03 mm)包装处理(MAP)和不包装处理(对照),研究 MAP 对苹果果皮色素花青苷、叶绿素、类胡萝卜素含量及色泽指标(果皮光泽的明亮度、果皮色泽比)的影响,以及花青苷含量变化与其合成相关酶[苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查尔酮异构酶(CHI)、二氢黄酮醇还原酶(DFR)、类黄酮-3-O-葡萄糖基转移酶(UFGT)]及降解相关酶[多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)]活性的变化。结果表明:与对照相比,MAP 抑制贮藏期间叶绿素降解及贮藏前期花青苷的积累,延缓类胡萝卜素的积累及花青苷的后期降解;延缓果实色泽亮度  $L^*$  及色泽比  $a^*/b^*$  的下降;贮藏期间花青苷的合成与 PAL、UFGT 活性变化有关,与 CHI、DFR 活性变化不相关;贮藏期间花青苷降解相关酶 PPO、POD 活性都呈现先上升后下降的趋势,MAP 抑制果皮 PPO 活性的升高,MAP 明显抑制贮藏前期果皮 POD 活性的上升及贮藏后期 POD 活性的下降。在采后贮藏过程中,自发气调包装(MAP)有利于延缓“红富士”苹果果皮底色黄化和红色色素的降解,可较好地保持外观品质。

**关键词:**气调包装;苹果;果皮色素;花青苷

**中图分类号:**S 661.109<sup>+</sup>.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)22-0121-07

果实外观色泽是决定果实商品价值的重要质量指标之一,它包含果实果面的底色和表色。“红富士”苹果果皮的色泽是色素花青苷、类胡萝卜素及叶绿素的含量共同作用的结果,其中花青苷积累的多少和分布状况决定着果面表皮红色着色的程度,类胡萝卜素和叶绿素的含量形成果皮底色,它们与果皮的鲜艳程度有关<sup>[1-3]</sup>。花青苷是“红富士”苹果果实色素的主要成分,其含量和组分直接决定着果实的色泽品质<sup>[4]</sup>。“红富士”苹果酸甜适宜较耐贮藏,但贮藏至后期,其外观光亮度降低,色泽变暗,果皮褪色变黄,这些质量问题导致后期果实商品价值明显下降,经济效益大大降低。因此,亟需对采后果实色泽变化的研究。近几年关于果实采前着色机理、花青苷的合成及降解研究进展迅速,苹果和葡萄的花色苷合成途径已经明确,参与花色苷合成的酶蛋白结构基因都已经得到克隆,环境因子和其它因素对花青苷合成

的影响及调控机制的研究也取得了一定的进展<sup>[5]</sup>;果实体内花青苷降解的相关酶已研究清楚,但是花青苷降解的机制尚不十分清楚<sup>[6]</sup>。自发气调包装(Modified atmosphere packaging, MAP)是一种利用不同透气性的包装袋产生一定的气调环境,从而调节产品的代谢,延缓果蔬衰老,以达到提高保鲜效果的方法<sup>[7]</sup>。近几年的研究表明,MAP 贮藏对于采后荔枝<sup>[8]</sup>、蓝莓<sup>[9]</sup>等多种果实外观品质的保持具有一定的作用。而目前 MAP 对苹果采后果皮色素变化及其色素代谢相关酶活性变化的研究尚鲜见报道。现研究了 MAP 低温冷藏的保鲜方式对于“红富士”苹果果皮色泽、色素的影响,并重点研究了 MAP 对花青苷合成相关酶(苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查尔酮异构酶(CHI)、二氢黄酮醇还原酶(DFR)、类黄酮-3-O-葡萄糖基转移酶(UFGT))及降解相关酶(多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD))活性的影响,旨在了解“红富士”苹果在采后贮藏过程中果皮色素、色泽变化及 MAP 对花青苷代谢的调控,以期对“红富士”苹果的贮藏保鲜提供技术及理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试“红富士”苹果(*Malus domestica* Borkh. ‘Red Fuji’)于2012年10月15日采自陕西省白水一管理良

**第一作者简介:**李秀芳(1989-),女,硕士研究生,研究方向为园艺产品采后生理及贮藏保鲜。E-mail:lixiaofang@foxmail.com.

**责任作者:**饶景萍(1957-),女,教授,博士生导师,现主要从事园艺产品采后生理与贮藏保鲜等研究工作。E-mail: dqr0723@163.com.

**基金项目:**国家科技支撑计划资助项目(2013BAD19B04);国家现代农业产业技术体系专项资助项目(CARS-28)。

**收稿日期:**2014-08-27

好的农家果园,选择色泽相近、大小基本一致、果形端正、成熟度一致、无损伤、无病虫害的果实,当天运回实验室处理。花青苷的标准样品:矢车菊素-3-半乳糖苷(Aladdin公司)。

仪器:高效液相色谱仪(LC-2010AVP),检测器(SHIMADZUSPD-10AVP),泵(LC-10AVP),进样器(SIL-10ADVP),色谱柱(SHIMADZU VP-ODS 250 mm×4.6 mm),溶液 A(10%甲酸)和溶液 B(甲醇)。洗脱条件参照陈艺晖等<sup>[10]</sup>的方法,略有改动。利用溶液 B 进行梯度洗脱:0 min,17%;1 min,17%;15 min,35%;20 min,37%;25 min,100%。流动相速度:1.0 mL/min,进样量 10  $\mu$ L,柱温 40℃,检测波长 520 nm。

## 1.2 试验方法

将以上果实随机分成 2 组,第 1 组不做任何处理直接将果实放在塑料筐内(对照);第 2 组先将果实放入 0.03 mm 的 PVC 袋内扎口密封放于塑料筐内(MAP 处理),每袋装 25 个苹果。然后将以上果实均置于温度为(0±1)℃、相对湿度为 80%~90%条件下贮藏。对照和处理均设 3 次重复,每重复用果 10 kg,贮藏过程中定期取样测定相关指标,并取果皮(厚度约 0.5 mm)用液氮冷冻,保存到-80℃冰箱,用来测定色素及相关酶活性。

## 1.3 项目测定

1.3.1 果皮花青苷的测定方法 果皮花青苷总量参照 Liu 等<sup>[11]</sup>的方法测定。1% HCl-甲醇浸提果皮 24 h,利用分光光度计(Beckman coulter, DU530)于 530、657 nm 处测定浸提液的吸光值,以二者之差表示花青苷的相对含量,差值每增加 0.01 定义为 1 个单位 U。果皮中花青苷组分分析:采用高效液相色谱(HPLC)分析,取 1 g 果皮并用液氮研磨成粉末,加入 5 mL 1%的盐酸-甲醇(v/v),4℃黑暗条件下提取 24 h,之后 4℃下样品在 13 000×g 离心 15 min,取 1 mL 上清液转移到自动进样器样品瓶中进行分析。

1.3.2 果皮叶绿素和类胡萝卜素含量测定 果皮叶绿素和类胡萝卜素含量测定参照全月澳等<sup>[12]</sup>的方法。

1.3.3 果皮 PAL、CHI 活性测定 取果皮样品加液氮研磨后,准确称取 1 g 粉末,加入 5 mL 提取液[(0.05 mol/L  $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{KH}_2\text{PO}_4$  (pH 7.0), 0.05 mol/L 抗坏血酸, 0.018 mol/L 巯基乙醇)],冰浴匀浆,4℃下 15 000×g 离心 20 min,上清液为酶粗提液用于 PAL、CHI 酶活性。PAL、CHI 活性测定参照 Lister 等<sup>[13]</sup>的方法。

1.3.4 果皮 DFR、UFGT 活性测定 酶液的提取参照 Murray 等<sup>[14]</sup>的方法。取冷冻苹果皮样品并加液氮研磨成粉末,称取 1 g 粉末加入 6 mL 提取液[(0.1 mol/L Tris-HCl(pH 7.5), 0.01 mol/L 抗坏血酸, 0.005 mol/L 二硫苏糖醇, 0.1%  $\beta$ -巯基乙醇, 0.01 mol/L 对氨基苯基甲磺酰(APMSF)],冰浴匀浆,4℃下 12 000×g 离心 20 min,取上清液用硫酸铵分级分离,之后沉淀用[(0.02 mol/L Tris-HCl(pH 7.5), 0.1% (v/v)  $\beta$ -巯基乙醇, 10% (v/v) 甘油, 0.01 mol/L APMSF]提取,上清液为 DFR 和 UFGT 酶的粗提液。DFR 活性测定参照 Stafford 等<sup>[15]</sup>的方法, UFGT 活性的测定参照 Lister 等<sup>[13]</sup>、刘金等<sup>[16]</sup>的方法。

1.3.5 果皮 PPO、POD 活性测定 POD 粗酶液提取及活性测定参照 Jiang 等<sup>[17]</sup>的方法; PPO 粗酶液提取及活性测定参照 Liu 等<sup>[18]</sup>的方法。

1.3.6 果皮色泽的测定 采用日本美能达 CR-400 型全自动测色色差仪测定果皮颜色,每处理测定 15 个果,记录  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  空间值并计算综合色度指标色泽比( $a^*/b^*$ )。

## 1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS 软件进行显著性统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 MAP 对果皮花青苷含量的影响

由图 1 可知,在整个贮藏过程中,对照(CK)与 MAP 的花青苷含量均呈先略微下降后逐渐升高达到积累高峰后又下降的变化趋势。贮藏前 30 d,对照的花青苷含量低于 MAP,贮藏 30 d 后,对照花青苷含量大幅度增加且高于 MAP,100 d 时二者都出现了花青苷合成高峰,之后趋于降解且对照的降解速度大于 MAP。矢车菊素-3-

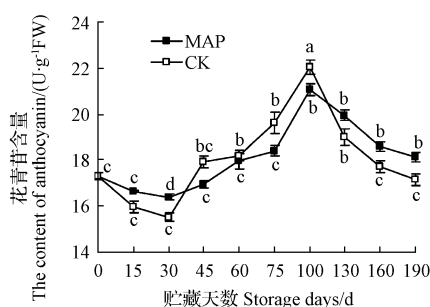
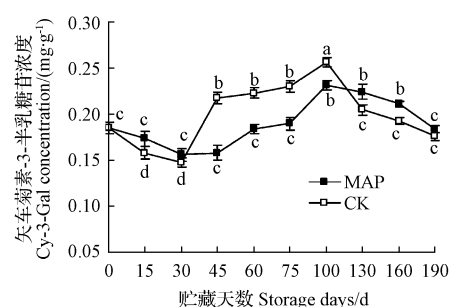


图 1 MAP 对“红富士”苹果果皮花青苷及其主要组分的影响

Fig. 1 Effect of MAP on the content of anthocyanin and the ingredients of anthocyanin of 'Red Fuji' apple peel



半乳糖苷作为苹果果皮花青苷的主要组分物质,其在贮藏期间的变化趋势与花青苷总含量变化基本一致。

## 2.2 MAP 对果皮叶绿素含量的影响

由图 2 可知,整个贮藏期间,叶绿素 a 和叶绿素 b

都随着贮藏时间的延长持续下降,且叶绿素 b 降解的速度大于叶绿素 a,对照与处理呈显著差异( $P<0.05$ ),MAP 贮藏延缓了叶绿素 a 和叶绿素 b 的降解。

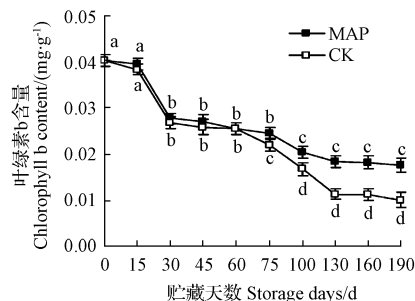
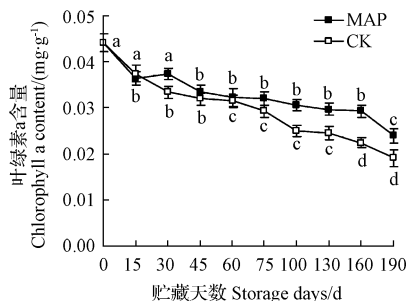


图 2 MAP 对“红富士”苹果果皮叶绿素 a、叶绿素 b 含量的影响

Fig. 2 Effect of MAP on the content of chlorophyll a and chlorophyll b of ‘Red Fuji’ apple peel

## 2.3 MAP 对果皮类胡萝卜素含量的影响

类胡萝卜素和叶绿素共同作为果皮的底色,因其含量不同果皮呈现不同的色泽。由图 3 可知,贮藏前 30 d,对照和 MAP 处理的类胡萝卜素含量均略微降低,但是 MAP 降低的较快。在贮藏 30 d 到贮藏结束,对照与 MAP 的类胡萝卜素含量均表现为逐渐升高,但是升高幅度不大,对照形成的类胡萝卜素始终显著高于 MAP( $P<0.05$ ),这说明 MAP 贮藏有延缓果皮类胡萝卜素积累的作用。

## 2.4 MAP 对果皮色泽的影响

果皮色泽比  $a^*/b^*$  是果皮色度指标的综合指标,能较直观的反映果皮色泽的变化情况。由图 4 可知,随着贮藏时间的延长对照和 MAP 的色泽比总体均呈下降趋势。相比于对照,MAP 显著延缓了果皮色泽比的下降( $P<0.05$ )。L\* 值表示果皮光泽的明亮度,值越大果实亮度越高。“红富士”苹果果实在贮藏期间 L\* 值的变化表明了花青苷的变化和类胡萝卜素的积累与叶绿素的降

解导致的色泽亮度的变化。由图 4 可知,果皮亮度在贮藏期间呈先下降后上升再下降的变化趋势,贮藏至 75 d 果皮亮度为最低,在整个贮藏过程中,MAP 的果皮亮度始终显著高于对照( $P<0.05$ )。

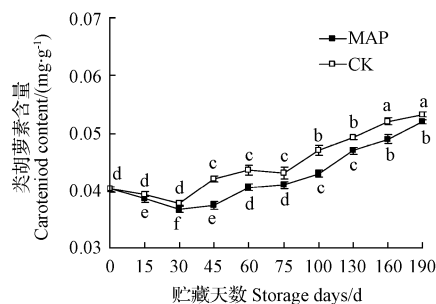


图 3 MAP 对“红富士”苹果果皮类胡萝卜素含量的影响

Fig. 3 Effect of MAP on the content of carotenoid of ‘Red Fuji’ apple peel

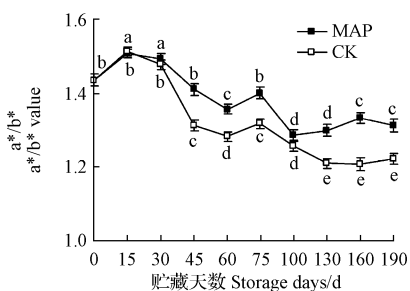


图 4 MAP 对“红富士”苹果果皮亮度 L\* 及色泽比  $a^*/b^*$  的影响

Fig. 4 Effect of MAP on on the background L\* and the color of  $a^*/b^*$  of ‘Red Fuji’ apple peel

## 2.5 MAP 对果皮花青苷合成相关酶活性的影响

由图 5 可知,在整个贮藏期间,对照和 MAP 果实果皮中 CHI、DFR 活性的变化趋势基本一致,始终在呈下降的变化趋势,这与花青苷的积累表现不一致,对照与 MAP 均无明显差异,这说明花青苷的积累与 CHI、DFR

活性不相关。

由图 6 可知,果皮中的 PAL、UFGT 的活性都呈先逐渐升高后下降的变化趋势。PAL 活性在 100 d 时达活性高峰,且对照与 MAP 之间活性高峰差异显著( $P<0.05$ )。贮藏前 100 d 对照的 PAL 活性高于 MAP,之后

MAP 的 PAL 活性反而高于对照,说明 MAP 延缓贮藏前期 PAL 活性的上升及贮藏后期 PAL 活性的下降。MAP 果皮中 UFGT 活性在贮藏前 75 d 低于对照,之后

又高于对照,对照的 UFGT 活性高峰出现在 75 d,而 MAP 延迟了 UFGT 活性高峰出现的时间,其在 100 d 时活性达到最高。

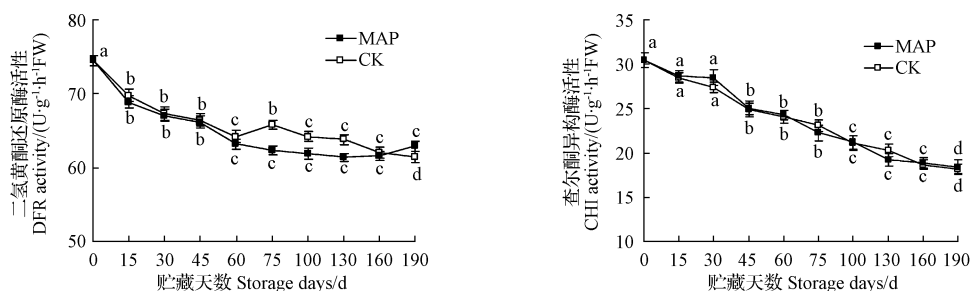


图5 MAP对“红富士”苹果采后贮藏过程中DFR、CHI活性的变化

Fig. 5 Effect of MAP on the activities of DFR and CHI of 'Red Fuji' apple peel during storage process

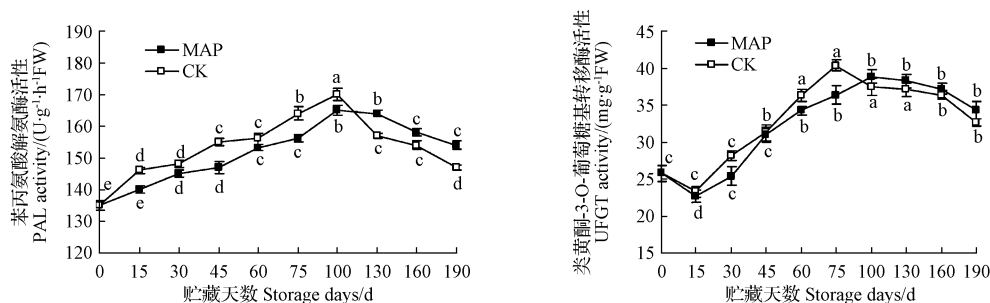


图6 MAP对“红富士”苹果采后贮藏过程中PAL、UFGT活性的变化

Fig. 6 Effect of MAP on the activities of PAL and UFGT of 'Red Fuji' apple peel during storage process

## 2.6 MAP对果皮花青苷降解酶PPO、POD活性变化

PPO能催化氧化酚类物质,它也能间接的降解花青苷类物质。由图7可知,贮藏期间PPO活性呈先上升后下降的变化趋势,对照在75 d出现PPO活性高峰,而MAP在贮藏100 d时出现PPO活性高峰,除100 d外,对照果皮中PPO活性高于MAP,说明MAP对抑制PPO活性的升高具有明显作用。

POD不仅具有清除植物体内自由基而减轻伤害的

作用,同时它也被认为是引起花青苷降解的一个重要酶。由图7可知,对照与MAP的“红富士”POD活性变化趋势相似,即先升高后降低。其中,对照与MAP都在贮藏75 d出现活性高峰,且二者的峰值差异显著( $P < 0.05$ )。在贮藏初期,对照与处理的果皮POD活性均先上升后下降,这可能与花青苷在贮藏前期降解变化有关。整个贮藏期间,MAP抑制贮藏前期果皮POD活性的上升,延缓贮藏后期POD活性的下降。

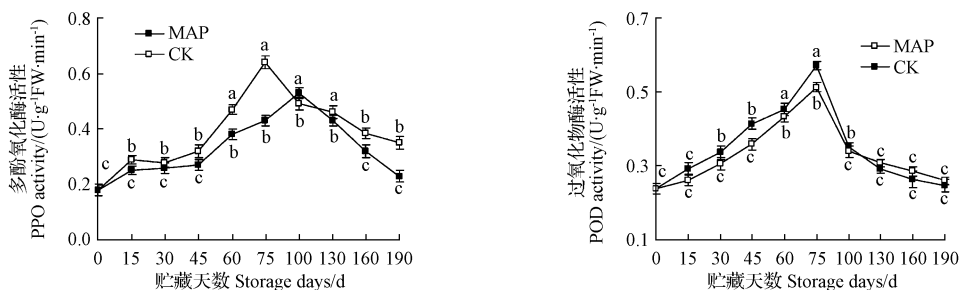


图7 MAP对“红富士”苹果采后贮藏过程中PPO、POD活性的变化

Fig. 7 Effect of MAP on the activates of PPO and POD of 'Red Fuji' apple peel during storage process

## 3 讨论与结论

关文强等<sup>[19]</sup>在“红富士”苹果自发气调保鲜技术研究发现,0.03 mm的聚氯乙烯袋(PVC)能较长时间的

保持果实自身的品质,不影响其商品价值。龙眼及荔枝上的研究证实了MAP在贮藏期间能更有效的保持果实风味品质及果实原有颜色<sup>[8-10]</sup>。MAP贮藏抑制叶绿素



降解、延缓花青苷降解分别在油桃<sup>[21]</sup>、蓝莓<sup>[9]</sup>上已有报道。该研究中发现,在贮藏过程中,MAP 明显抑制果皮叶绿素的降解及贮藏前期果皮花青苷的积累,延缓果皮类胡萝卜素的积累及贮藏后期果皮花青苷的降解,这与高慧等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。

花青苷是决定果实外观品质的重要指标。影响花青苷积累的因素除了外界光、温度及营养等环境条件外,还与自身的遗传因子及果实花青苷合成相关酶的活性有关<sup>[22-24]</sup>。有研究指出,低温及 UV-B 都能诱导果实中与花青苷合成的相关酶基因的表达,从而促进花青苷大量合成<sup>[25-26]</sup>。该研究发现,在贮藏过程中,“红富士”苹果果皮花青苷在贮藏初期稍有下降,之后逐渐积累至 100 d 达到积累高峰随后开始降解,这说明花青苷在采后贮藏过程中又有一个合成过程。在低温贮藏过程中花青苷的再合成,一方面可能是由于低温诱导花青苷合成的相关酶基因的表达,从而促进花青苷的积累;另一方面可能与果实的可溶性糖、大量的花青苷前体物质及自身生理状态有关。在贮藏过程中,MAP 抑制贮藏前期花青苷的积累,这可能与 MAP 贮藏延缓苹果中淀粉向可溶性糖转化有关;在贮藏后期 MAP 贮藏延缓花青苷的降解,这可能与延缓苹果果实衰老有关,从而在贮藏末期仍然保持有较高的花青苷含量。

已有研究表明,PAL、CHI、DFR、UFGT 是花青苷合成所必需的酶<sup>[21]</sup>。花青苷的生物合成始于苯丙氨酸代谢途径,PAL 是花青苷合成过程中的起始酶。对草莓<sup>[27]</sup>的研究中发现,PAL 活性与花青苷的合成在 0.05 水平上呈正相关;也有研究指出只有在缺少前体的条件下,花青苷的合成才与 PAL 活性有关<sup>[28]</sup>。CHI 酶在黄酮类化合物的进一步转化中起重要作用<sup>[13]</sup>。Lister 等<sup>[13]</sup>在生长发育期苹果果皮花青苷合成酶的研究报道中指出 CHI 活性与花青苷含量的增加相一致。王慧聪等<sup>[21]</sup>指出 CHI 与荔枝果皮的花青苷合成的关系不密切。DFR 是催化二氢栎皮黄酮(DHQ)生成无色花青素这一转变中起作用的第一个酶,失去 DFR 活性的突变体产生象牙色或者白色<sup>[29]</sup>;Murray 等<sup>[14]</sup>在研究常春藤时指出,DFR 是花青苷合成的主要抑制因子。王慧聪等<sup>[21]</sup>则指出 DFR 与荔枝果皮的花青苷合成的无密切关系。UFGT 是花青苷合成过程中的最后一个酶,它使不稳定的花青素与糖结合成稳定的花青苷;研究表明,草莓和荔枝花青苷的合成与 UFGT 呈明显的正相关<sup>[21,30]</sup>。但是 Ju 等<sup>[31]</sup>发现,在苹果果实膨大、而无花青苷积累的时期,UFGT 活性仍然很高,而且施用乙烯利后 UFGT 活性提高了,但花青苷却没有积累。以往的大量研究结果说明,与花青苷合成代谢相关的同工酶在不同树种中表现不同。

该研究中发现,苹果在贮藏期间,果皮 CHI、DFR 活

性始终都呈下降的变化趋势,这与花青苷的积累表现不一致,说明贮藏过程中果皮 CHI、DFR 并不是花青苷合成的关键酶。MAP 贮藏至 100 d,PAL 与 UFGT 活性都出现活性高峰,这与花青苷的积累高峰相一致;而对照贮藏至 100 d PAL 活性达活性高峰,UFGT 活性在贮藏至 75 d 出现活性高峰,PAL 活性高峰与花青苷的积累一致,因此推断,在贮藏过程中 PAL 与 UFGT 为花青苷合成的关键酶。MAP 抑制采后花青苷的积累并且延缓花青苷的降解,这可能与以下两方面有关,一方面可能与 MAP 抑制 PAL、UFGT 二者酶活性有关,另一方面可能与 MAP 通过抑制采后果实的整体生理变化从而调节了花青苷的合成代谢,具体哪一方面为主导,需要进一步从调控花青苷代谢的结构基因及其调节基因方面来探讨 MAP 对花青苷合成代谢的作用机理。

研究报道指出,花青苷的体内降解是由多种酶共同催化完成的,PPO、POD、花色素苷酶被认为是负责花青苷降解相关的酶类<sup>[6,32]</sup>,而花色素苷酶的活性目前仅在微生物及荔枝果实中检测到<sup>[33]</sup>。Zhang 等<sup>[34]</sup>、Kader 等<sup>[35]</sup>研究证实了 PPO 本身并不能促进花青苷的降解,而是在有邻二酚结构的其它酚类物质存在时才能进一步降解花青苷;与 PPO 相似,POD 也不能直接降解花青苷,它需要依赖  $H_2O_2$  和其它酚类的存在,经“偶联氧化”才能实现花青苷降解。

该研究发现,苹果果皮花青苷在采后贮藏 100 d 后表现为趋于降解,且对照的花青苷降解幅度明显大于 MAP,一方面这可能与贮藏期间(除 75 d 外)对照的 PPO 活性显著高于 MAP 有关,随着果实的成熟衰老,更多的酚类物质与 PPO 接触而被氧化,花青苷参与该反应加速了自身的降解,而 MAP 明显抑制了 PPO 活性的上升,所以延缓了花青苷的降解;另一方面可能与 POD 活性有关,POD 通过清除体内的过氧化物,使机体免受过氧化物的毒害,延缓果实的衰老,从而延缓花青苷的采后降解,MAP 延缓果实花青苷的降解可能与 MAP 延缓了贮藏后期 POD 活性下降有关。花青苷的稳定性除了受相关酶活性的影响外,还与植物细胞液的 pH 值、果实糖浓度等有关;适宜的 pH 值及高浓度的糖利于花青苷的稳定,而糖浓度较低时,花青素与糖的亲合力降低,花青苷结构不稳定,从而促进了花青苷的降解。因此,花青苷的降解也不能单一的认为是花青苷降解酶所引起,要综合考虑各种因素,目前关于采后贮藏过程中花青苷的降解途径缺乏系统的研究,因此有待进一步的研究。

在采后贮藏过程中,自发气调包装(MAP)有利于延缓“红富士”苹果果皮底色黄化和红色色素的降解,可较好地保持外观品质。该研究仅从生理层面对采后贮藏过程中花青苷的合成途径及降解途径进行了研究,关于贮藏过程中花青苷合成及降解途径在分子层面上的

机理有待进一步的研究,以期为保持果实外观品质提供更加充实有力的理论依据。

### 参考文献

- [1] 张学英,张上隆,叶正文,等.不同颜色果袋对李果实着色及花色素苷合成的影响因素分析[J].果树学报,2007(5):605-610.
- [2] Bee R N, Lee S K. Influence of chlorophyll, internal ethylene, and PAL on anthocyanin synthesis in Fuji apple[J]. Korean Society Hort Sci, 1995, 36(3):361-370.
- [3] Lancaster J E, Grant J E, Carolgn E L. Skin color in apples-influence of copigmentation and plastid pigments on shade and darkness of red color in five genotypes[J]. Amer Soc Hort, 1994, 119:63-69.
- [4] Holton T A, Cornish E C. Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis[J]. Plant Cell, 1995, 7:1071-1083.
- [5] Awad M A, Jagera D, Plashtw V, et al. Flavonoid and Chlorogenic acid changes in skin of Elstar and Jonagold apples during development and ripening[J]. Sci Hortic, 2001, 901(1/2):69-83.
- [6] Oren-Shamir M. Does anthocyanin degradation play a significant role in determining pigment concentration in plants? [J]. Plant Sci, 2009, 177(4):310-316.
- [7] 董晓庆,饶景萍,朱守亮,等.气调包装与1-MCP结合抑制苹果蜡质成分降低[J].农业工程学报,2013(16):269-277.
- [8] 杨胜平,谢晶,钱韵芳,等.壳聚糖复合保鲜剂涂膜与MAP保鲜“妃子笑”荔枝[J].食品科学,2013(8):279-283.
- [9] 陈杭君,王翠红,邵海燕,等.不同包装方法对蓝莓采后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J].中国农业科学,2013(6):1230-1236.
- [10] 陈艺晖,瓮红利,林河通,等.龙眼果实聚乙烯薄膜袋包装和贮藏的研究[J].农业机械学报,2007(9):192-195.
- [11] Liu Y L, Che F, Wang L X, et al. Fruit coloration and anthocyanin biosynthesis after bag removal in non-red and red apples (*Malus × domestica* Borkh.)[J]. Molecules, 2013, 18:1549-1563.
- [12] 全月澳,周厚基.果树营养诊断法[M].北京:高等教育出版社,2000:149-150.
- [13] Lister C E, Lancaster J E. Developmental changes in enzymes of flavonoid biosynthesis in the skins of red and green apple cultivars[J]. Journal Science of Food Agriculture, 1996, 71:313-320.
- [14] Murray J R, Hackett W P. Dihydroflavonol reductase activity in relation to differential anthocyanin accumulation in juvenile and mature phase *Hedera helix* L[J]. Plant Physiology, 1991, 97:343-351.
- [15] Stafford H A, Lester H. Flavan-3-ol biosynthesis The conversion of (+) dihydroquercetin and flavan-3,4-cis-diol (leucocyanidin) to (+) catechin by reductases extracted from cell suspension cultures of Douglas fir[J]. Plant Physiology, 1984, 76:184-186.
- [16] 刘金,刘美艳,魏景立,等.早熟苹果花青苷积累与其相关酶活性及乙烯生成之间的关系[J].园艺学报,2012,39(7):1235-1242.
- [17] Jiang Y M. Role of anthocyanins, polyphenol oxidase and phenols in lychee pericarp browning[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80:305-310.
- [18] Liu L, Cao S Q, Xie B J, et al. Degradation of Cyanidin 3-Rutinoside in the Presence of (-)-Epicatechin and Litchi Pericarp Polyphenol Oxidase[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55:9074-9078.
- [19] 关文强,陈丽,李喜宏,等.红富士苹果自发气调保鲜技术研究[J].农业工程学报,2004,20(5):218-221.
- [20] 高慧,饶景萍.自发气调贮藏对油桃采后生理及相关酶活性变化的影响[J].园艺学报,2005(1):91-93.
- [21] 王惠聪,黄旭明,胡桂兵,等.荔枝果皮花青苷合成与相关酶的关系研究[J].中国农业科学,2004,37(12):2028-2032.
- [22] Lancaster J E. Regulation of skin color in apples[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1992, 10:487-502.
- [23] Saure M C. External control of anthocyanin formation in apple[J]. Scientia Horticulturae, 1990, 42:181-218.
- [24] Lopiero A R, Puglisi I, Rapisarda P, et al. Anthocyanin accumulation and related gene expression in red orange fruit induced by low temperature storage[J]. Journal of Agricultural and Chemistry, 2005, 53:9083-9088.
- [25] Benjamin E U, Chikako H, Hideo B, et al. Expression analysis of anthocyanin biosynthetic gene in apple skin; Effect of UV-B and temperature[J]. Plant Science, 2006, 170:571-578.
- [26] Ju Z G, Yuan Y B, Liu C L, et al. Relationship among phenylalanine ammonia-lyase activity, simple phenol concentrations and anthocyanin accumulation in apple[J]. Scientia Horticulturae, 1995, 61:215-226.
- [27] Kataoka I, Kusunoki R, Inoue H. Effect of abscisic acid on anthocyanin accumulation and sugar content in berry skin of grapes [J]. Jpn Soc Hortic Sci, 1992, 61(1):84-85.
- [28] Given N K, Venis N A, Grierson D. Phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin synthesis in ripening strawberry fruit[J]. Plant Physiology, 1988, 133:25-30.
- [29] 侯夫云,王庆美,李爱贤,等.植物花青素合成酶的研究进展[J].中国农学通报,2009,25(21):188-190.
- [30] Given N K, Venis N A, Grierson D. Phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin synthesis in ripening strawberry fruit[J]. Plant Physiology, 1988, 133:25-30.
- [31] Ju Z, Liu C, Yuan Y B. Activity of Chalcone synthase and UDPGal: flavonoid-3-glycosyltransferase in relation to anthocyanin synthesis in apple[J]. Scientia Horticulturae, 1995, 63:175-185.
- [32] 孙建霞,张燕,胡小松,等.花色苷的结构稳定性与降解机制研究进展[J].中国农业科学,2009,42(3):996-1008.
- [33] 张昭其,庞学群,段学武,等.荔枝采后果皮花色苷的降解与花色素苷酶活性的变化[J].中国农业科学,2003,36(8):945-949.
- [34] Zhang Z Q, Pang X Q, Ji Z L, et al. Role of anthocyanin degradation in Litchi pericarp browning[J]. Journal of Food Chemistry, 2001, 84(4):601-604.
- [35] Kader F, Irmouli M, Zitouni N, et al. Degradation of cyanidin 3-glucoside by caffeic acid oquinone. Determination of the stoichiometry and characterization of the degradation products[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47:4625-4630.

## Effect of Modified Atmosphere Packaging on Peel Pigment and Activity of Related Enzymes of ‘Red Fuji’ Apple During Postharvest Storage Days

LI Xiu-fang<sup>1</sup>, HAN Shou-kun<sup>1</sup>, DUAN Qi<sup>1</sup>, ZHAO Yan-hua<sup>2</sup>, RAO Jing-ping<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Shanxi Huasheng Fruit Company, Xi'an, Shaanxi 710021)

# 优质薄壳山核桃果实采收加工方法

贾晓东, 宣继萍, 张计育, 刘永芝, 王翔, 郭忠仁

(江苏省中国科学院植物研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:**介绍了薄壳山核桃果实采收加工方法,通过该方法可统一果实成熟度,提早采收时间,减少产量损失,提高果实品质卖相,并有效提高薄壳山核桃售价。

**关键词:**薄壳山核桃;果实;采收加工

**中图分类号:**S 664.109 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2014)22-0127-02

薄壳山核桃(*Carya illinoensis* (Wangech.) K. Koch), 又名碧根果、美国山核桃、长山核桃,原产美国,是世界上最重要、最有价值的干果树种之一<sup>[1]</sup>,果实营养价值丰富,果仁中所含的不饱和脂肪酸高于油橄榄,是核桃(*Juglans regia*)的4倍,还富含对人体有益的各种氨基酸、维生素 B<sub>1</sub>、维生素 B<sub>2</sub>,既可鲜食又可榨油<sup>[2]</sup>。近年来,随着人民生活水平的提高和对薄壳山核桃的逐步认识,人们对薄壳山核桃的需要正在逐年增大,目前国内

每年至少消费果实 20 万 t,薄壳山核桃的种植面积也在逐年快速增加。

薄壳山核桃适时采收非常重要,采收过早,青皮不易剥离、种仁不饱满、出仁率和出油率低,且不耐储藏;采收过晚,果实易脱落,同时,青皮开裂后停留在树上的时间过长,会增加受霉菌感染的机会,导致坚果品质下降。但是,由于相关研究及配套技术的缺乏及薄壳山核桃本身存在成熟时间相对不统一等问题,目前薄壳山核桃的采收及加工还普遍采用原始方法,如目测大概熟了就收、竹竿打、晒等。这样的采收方法存在“采收果实成熟度相差大”、“对树体损伤大”、“提前落果产量损失”、“成品质量差”及“上市时间集中”等问题,导致薄壳山核桃售价降低。

江苏省中国科学院植物研究所从 20 世纪 60 年代就开始了薄壳山核桃的引种、实施选种和栽培工作<sup>[3]</sup>。现总结作者多年积累的薄壳山核桃采收加工经验,提出一种先进的优质薄壳山核桃果实采收加工方法,可统一果实成熟度,采收时间提前,显著减少产量损失,提高果

**第一作者简介:**贾晓东(1981-),女,博士研究生,助理研究员,现主要从事经济植物等研究工作。E-mail: jiaxiaodongjxd@hotmail.com.

**责任作者:**郭忠仁(1960-),男,硕士,研究员,现主要从事果树种子资源收集和分子生物学等研究工作。E-mail: zhongrenguo@aliyun.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31200502);江苏省林业三新工程资助项目(lysx[2013]06);江苏省农业科技自主创新资金品种创新资助项目[CX(12)2012]。

**收稿日期:**2014-07-25

**Abstract:** Taking ‘Red Fuji’ apple as material, stored under the temperature at  $(0 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ , using 0.03 mm polyvinyl chloride bags packaging(MAP) and unpacked treatment(control), apart from this, MAP treatment should be sealed, then the effect of MAP on the content of pigment anthocyanin, chlorophyll, carotenoids and color indicators ( $L^*$ ,  $a^*/b^*$ ) of ‘Red Fuji’ apple peel were studied, and changes of anthocyanin biosynthesis enzymes (PAL, CHI, DFR, UFGT) activity and anthocyanin degrading enzymes (PPO, POD) activity on the MAP conditions were further researched. The results showed that compared with control, MAP treatment significantly ( $P < 0.05$ ) inhibited the degradation of chlorophyll during storage days and anthocyanin accumulation during early storage days, significantly ( $P < 0.05$ ) delayed the accumulation of carotenoids and the degradation of anthocyanins during later storage days; retarded color indicator lustre and color ratio  $a^*/b^*$  declined significantly ( $P < 0.05$ ); during postharvest storage, anthocyanin accumulation was related with the activities of PAL, UFGT, unrelated with the activities of CHI, DFR; MAP significantly ( $P < 0.05$ ) inhibited the increasing of PPO activity and POD activity in apple peel during early storage and deferred the decreasing of POD activity during later storage days. During postharvest storage days, the method of modified atmosphere packaging storage could keep better external quality by delaying peel background etiolation and red pigment in peel degradation of ‘Red Fuji’ apple.

**Keywords:** modified atmosphere packaging; apple; peel pigment; anthocyanin